ISBN 978-985-521-880-8

ПРЫРОДНАЕ АСЯРОДДЗЕ ПАЛЕССЯ І НАВУКОВА-ПРАКТЫЧНЫЯ АСПЕКТЫ РАЦЫЯНАЛЬНАГА РЭСУРСАКАРЫСТАННЯ

2025 г.

Нацыянальная акадэмія навук Беларусі
Палескі аграрна-экалагічны інстытут

РЫРОДНАЕ АСЯРОДДЗЕ ПАЛЕССЯ

І НАВУКОВА-ПРАКТЫЧНЫЯ АСПЕКТЫ РАЦЫЯНАЛЬНАГА РЭСУРСАКАРЫСТАННЯ

Зборнік навуковых прац
XII Міжнароднай навуковай канферэнцыі

8–10 кастрычніка 2025 года
Брэст, Рэспубліка Беларусь

Брэст
«Альтернатива»
2025

НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ

ПАЛЕСКІ АГРАРНА-ЭКАЛАГІЧНЫ ІНСТЫТУТ

ПРЫРОДНАЕ АСЯРОДДЗЕ ПАЛЕССЯ

І НАВУКОВА-ПРАКТЫЧНЫЯ АСПЕКТЫ РАЦЫЯНАЛЬНАГА РЭСУРСАКАРЫСТАННЯ

Зборнік навуковых прац
XII Міжнароднай навуковай канферэнцыі

8–10 кастрычніка 2025 года

Брэст, Рэспубліка Беларусь

Брэст
«Альтернатива»
2025

УДК [502/504+574](476-13)(082)

Прыроднае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання : зборнік навуковых прац XII Міжнароднай навуковай канферэнцыі, 8–10 кастрычніка 2025 г., Брэст, Рэспубліка Беларусь / Нацыянальная акадэмія навук Беларусі ; Палескі аграрна-экалагічны інстытут ; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2025. – 364 с. – ISBN 978-985-521-880-8.

У зборніку навуковых прац змешчаны матэрыялы XII Міжнароднай навуковай канферэнцыі «Прыроднае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання», прысвечаныя абагульненню нацыянальнага і замежнага вопыта па захаванні ландшафтнай і біялагічнай разнастайнасці ва ўмовах антрапагеннай трансфармацыі асяроддзя і кліматычных выклікаў, рацыянальнаму выкарыстанню зямельных (глебавых) і водных рэсурсаў рэгіёна, эколагасумяшчальным тэхналогіям у раслінаводстве і выкарыстанні адходаў, а таксама па выпрацоўцы шляхоў вырашэння надзённых праблем Палесся, якія забяспечаць экалагічную бяспеку і ўстойлівае сацыяльна-эканамічнае развіццё трансгранічнага рэгіёна.

Выданне адрасавана навукоўцам, спецыялістам сельскай, лясной гаспадарак і органаў аховы навакольнага асяроддзя, выкладчыкам і студэнтам адпаведных спецыяльнасцей УВА.

Рэдакцыйная калегія:

М. В. Міхальчук (галоўны рэдактар),
А. М. Ажгірэвіч, А. А. Волчак, В. Т. Дзямянчык, Л. М. Іёвік, М. А. Пастухова,
А. А. Брыль (адказны сакратар)

ISBN 978-985-521-880-8

© Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі, 2025
© Афармленне. ТАА «Издательство Альтернатива», 2025

ЗМЕСТ

Н. В. МИХАЛЬЧУК, Е. А. БРЫЛЬ
К 25-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ ПОЛЕССКОГО АГРАРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НАН БЕЛАРУСИ 9

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

Ю. А. БРОВКА, И. В. БУЯКОВ
ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ И ПРОГНОЗИРУЕМЫХ УСЛОВИЙ ПЕРЕЗИМОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ 16

И. В. БУЯКОВ, В. И. МЕЛЬНИК, М. А. ХИТРИКОВ
ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНИЦ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ БЕЛАРУСИ К 2035 ГОДУ 21

А. А. ВОЛЧЕК
ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ 25

А. А. ВОЛЧЕК, Л. В. ОБРАЗЦОВ, Л. Г. СРЫВКИНА
ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА В КОНТЕКСТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 29

А. А. ВОЛЧЕК, С. И. ПАРФОМУК, Н. Н. ШЕШКО, Н. Н. ШПЕНДИК
ПРОБЛЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩА «СВЕТЛОГОРСКОЕ» 33

О. И. ГРЯДУНОВА
СОВРЕМЕННАЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИТУАЦИЯ В БАССЕЙНЕ Р. МУХАВЕЦ 37

Ю. С. ДАВИДОВИЧ, А. Н. ЧЕРВАНЬ
ПОДБОР ТЕСТОВЫХ ПОЛИГОНОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГЕОСИСТЕМ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ (ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ) 41

И. С. ДАНИЛОВИЧ, И. В. ТАРАСЕВИЧ, Е. Г. КВАЧ
ДИНАМИКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ПРИПЯТЬ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 45

Л. Н. ИОВИК, А. Н. АЖГИРЕВИЧ
ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АККУМУЛЯТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА.. 49

П. В. КАЧАНОВИЧ, М. М. ДАШКЕВИЧ, М. И. ХВАЩЕВСКИЙ
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ПОЧВ ИГРОВЫХ ПЛОЩАДОК УЧРЕЖДЕНИЙ ДОШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ Г. БРЕСТА 53

А. П. КОЛБАС, Н. Ю. КОЛБАС, П. В. КАЧАНОВИЧ, М. О. КАЙДАЛОВА, М. И. ХВАЩЕВСКИЙ, Т. И. НОВИКОВА, М. М. ДАШКЕВИЧ
ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ САДОВЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ БРЕСТСКОГО РЕГИОНА 57

Л. А. КРАВЧУК, А. А. ЯНОВСКИЙ, Н. М. БАЖЕНОВА, С. Г. ЖИВНАЧ, Н. К. БЫКОВА
ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНЫХ ФУНКЦИЙ ГОРОДСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. ПИНСКА) 61

Б. В. КУРЗО, О. М. ГАЙДУКЕВИЧ, В. П. ЗЕРНИЦКАЯ, А. Ю. ТАТКОВ
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСАДКОВ ОЗЕР ВЫГОНОЩАНСКОЕ И БОБРОВИЧСКОЕ 66

В. Ф. ЛОГИНОВ
ВЫСОКОШИРОТНОЕ УСИЛЕНИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА КАК «ГЕНЕРАТОР» СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ И РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА 71

Ю. А. МАЖАЙСКИЙ, М. И. ГОЛУБЕНКО
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКАХ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИХ ВОЗГОРАНИЯ..... 81

В. И. МЕЛЬНИК, М. А. ХИТРИКОВ, Ю. А. БРОВКА, И. В. БУЯКОВ
АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 83

О. П. МЕШИК, А. А. ВОЛЧЕК, С. И. ПАРФОМУК, Д. О. ПЕТРОВ, М. В. БОРУШКО, В. А. МОРОЗОВА, А. С. ПРОТАСЕВИЧ
СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ КАК ФАКТОР ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК БЕЛАРУСИ 87

Н. В. МИХАЛЬЧУК, Е. А. БРЫЛЬ
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ В ОКРЕСТНОСТЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СВИНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ 91

Н. В. МИХАЛЬЧУК, А. А. ВОЛЧЕК, А. В. БЕЗРУЧКО
ФИЛЬТРАТ КАК ОСНОВНОЙ АГЕНТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 95

Н. В. МИХАЛЬЧУК, М. И. ХВАЩЕВСКИЙ
ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ Г. БАРАНОВИЧИ 100

А. М. НЕБЫШИНЕЦ, Ю. А. ГЛЕДКО
КЛИМАТИЧЕСКАЯ УЯЗВИМОСТЬ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ 104

В. С. НЕСТЕРУК, А. П. КОЛБАС, Н. В. МИХАЛЬЧУК, Н. Ю. КОЛБАС, М. И. ХВАЩЕВСКИЙ, М. М. ДАШКЕВИЧ, Е. А. РОСТОВА
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СФАГНОВЫХ ЛОВУШЕК 108

Е. П. ОВЧАРОВА
ДИНАМИКА ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ПРИПЯТИ 113

П. И. ПЫЛЕНОК, Р. О. ЕФРЕМОВ
УТИЛИЗАЦИЯ ДРЕНАЖНОГО СТОКА ПУТЕМ УВЛАЖНЕНИЯ ОСУШАЕМЫХ ТОРФЯНИКОВ В УСЛОВИЯХ МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ 118

В. А. РАКОВИЧ, Н. Е. СОСНОВСКАЯ, Т. Д. ЯРМОШУК
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫБЫВШИХ ИЗ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТОЛИНСКОГО РАЙОНА БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ 122

М. Л. РОМАНОВА, А. Р. ПОНТУС, А. Н. ЧЕРВАНЬ, А. А. ЯКУШЕВ
ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ НУЖД СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ПОЛЕССКОГО РЕГИОНА 126

Е. А. РОСТОВА, П. В. КАЧАНОВИЧ
НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ 129

М. И. СТРУК, С. Г. ЖИВНАЧ, Г. М. БОКАЯ
СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ПТИЧЬ 132

Н. С. СТУПЕНЬ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОСТОЙКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ КАУСТИЧЕСКОГО ДОЛОМИТА 137

М. А. ХИТРИКОВ, В. И. МЕЛЬНИК, Ю. А. БРОВКА, И. В. БУЯКОВ
МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫДЕЛЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ 140

В. С. ХОМИЧ, В. В. ПАРФЕНОВ
ПРИОРИТЕТНЫЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ГОРОДОВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ... 145

Т. А. ШЕЛЕСТ
ИЗМЕНЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕКИ ЛЕСНАЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ 149

В. Н. ШТЕПА, А. В. ДУБИНА, Е. В. РОССОХА
ФОРМИРОВАНИЕ ПОДХОДОВ МИНИМИЗАЦИИ НЕГАТИВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОЧНЫХ ВОД ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ 153

К. С. ЮДЫЦКАЯ, В. И. МЕЛЬНИК
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ УВЛАЖНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ 157

Е. П. ЯНИН
АКАДЕМИК В. И. ВЕРНАДСКИЙ И МЕТЕОРИТ БРАГИН ИЗ ВОСТОЧНОГО ПОЛЕСЬЯ 161

СЕЛЬСКАЯ ГАСПАДАРКА

Т. Н. АЗАРЁНОК, О. В. МАТЫЧЕНКОВА, С. В. ДЫДЫШКО
ГЕОСТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ БОБОВЫХ КУЛЬТУР 166

Е. В. АЛЕКСЕЙЧИК, Н. Н. ЦЫБУЛЬКО
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В АГРАРНЫХ ЛАНДШАФТАХ ПОЛЕСЬЯ..... 170

А. А. БЕРКИ
СРАВНЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ УРОЖАЙНОСТИ ПОЙМЕННЫХ ЛУГОВ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ РАЗЛИЧНЫМ ХОЗЯЙСТВЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ, НА ТЕРРИТОРИИ НП «ПРИПЯТСКИЙ» 175

Н. П. ВЛАСЮК, Т. В. ГОНЧАРЕВИЧ, Е. А. ДЫДЫШКО, Д. Н. ПРУДНИКОВ
ФОРМИРОВАНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОСТА И РАЗВИТИЯ ЛЮЦЕРНЫ ПОСЕВНОЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОКРОВНЫХ КУЛЬТУР, УБРАННЫХ НА РАЗЛИЧНЫЕ КОРМОВЫЕ ЦЕЛИ 177

А. Н. ГАПОНЮК, Н. Н. КОСТЮЧЕНКО, А. С. АНТОНЮК, Н. Ф. ТЕРЛЕЦКАЯ, А. Е. ЛЕБЕДЕВА
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «САРИЯ»)..... 180

Г. А. КАМЫШЕНКО
ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ И ЕЕ УСТОЙЧИВОСТЬ В ПОЛЕССКОМ РЕГИОНЕ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ 184

С. С. КОЛОТКОВ, В. А. САТИШУР
ВЛИЯНИЕ ОПЫЛЕНИЯ ПЧЕЛАМИ НА СЕМЕННУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ФАЦЕЛИИ ПИЖМОЛИСТНОЙ..... 188

Н. Н. КОСТЮЧЕНКО, М. А. ПАСТУХОВА
СОДЕРЖАНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕЛЕНОЙ МАССЕ КУКУРУЗЫ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ НА ПОЧВЕ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАЛИЯ 191

Т. В. ЛАСЬКО, Е. А. ТАНКЕВИЧ, Ю. К. СИМОНЧИК
ПОЙМЕННЫЕ ЛУГА КАК ИСТОЧНИК ЗЕЛЕНЫХ КОРМОВ В ЗАСУШЛИВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПОЛЕСЬЯ..... 194

М. А. ПАСТУХОВА, И. А. ЛЕВЧЕНКО, З. А. ЗАЙЦЕВА, Б. В. ШЕЛЮТО
НЕСТРУКТУРНЫЕ УГЛЕВОДЫ В КОМБИКОРМАХ СОБСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА 198

М. А. ПАСТУХОВА, С. Н. МИХАЛЬЧУК, Т. И. НОВИКОВА, Б. В. ШЕЛЮТО
СОДЕРЖАНИЕ СЫРОГО ПРОТЕИНА В КОМБИКОРМАХ СОБСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА 201

С. А. РАДЧЕНКО
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ БЫСТРО УЛУЧШАТЬ ПОДГОТОВКУ КАДРОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, ОХРАНУ ТРУДА И РАЗВИТИЕ ВУЗОВ, ИСПОЛЬЗУЯ ЛУЧШИЙ МИРОВОЙ ОПЫТ И МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО 204

В. А. САТИШУР, А. Н. ЛИЦКЕВИЧ, Е. А. БРЫЛЬ, Т. И. МАКАРЕНКО
АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕЛИОРАНТОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ 209

В. А. САТИШУР, Б. В. ШЕЛЮТО
ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА КАЧЕСТВО РАССАДЫ ТАБАКА ОБЫКНОВЕННОГО СОРТА БЕЛОРУССКИЙ СИГАРНЫЙ 214

Т. М. СЕРАЯ, Е. Н. БОГАТЫРЕВА, Т. М. КИРДУН
СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПРИ РЕГУЛЯРНОМ ВНЕСЕНИИ ВЫСОКИХ ДОЗ ЖИДКОГО НАВОЗА И ПОМЕТА 218

Н. Ю. ЩЕМЕЛЕВА, В. П. ВАСИЛЬКОВА, И. А. БЕЛЬКЕВИЧ, Т. Д. ПОГУЛЯЕВА
ВЛИЯНИЕ РЕПЕЛЛЕНТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ЭТИЛ БУТИЛАЦЕТИЛАМИНОПРОПИОНАТА НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КРОЛИКОВ 221

В. М. ЯЦУХНО, С. С. БАЧИЛА
ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕГИОНА БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ 225

ЭКАЛОГІЯ

И. В. АБРАМОВА
ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОРНИТОКОМПЛЕКСОВ БЕРЕЗОВЫХ ЛЕСОВ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ СУКЦЕССИИ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ БЕЛАРУСИ 231

А. Н. АЖГИРЕВИЧ, Н. Ф. ТЕРЛЕЦКАЯ, А. С. АНТОНЮК
АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОСТАВА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД 235

И. В. БУЛЬСКАЯ
ВЛИЯНИЕ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА И 2-МОНОСАЛИЦИЛАТА 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА НА КОЛЕУС БЛЮМЕ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ИЗ СЕМЯН 239

М. М. ВАБИЩЕВИЧ
ОЦЕНКА ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ УРБАНОФЛОРЫ ГОРОДА ПИНСКА И ЕЕ ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ 242

А. Н. ГАПОНЮК, А. С. АНТОНЮК, Н. Ф. ТЕРЛЕЦКАЯ, Е. А. БРЫЛЬ, И. Г. МАРЗАН, Е. Ю. МАЦУКА
СОСТАВ И СВОЙСТВА ОРГАНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ КОМПОСТИРОВАНИЯ 246

С. В. ГОРЕЛОВА, К. И. ЧААДАЕВА, А. П. КОЛБАС
НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ АНТИОКСИДАНТЫ ГОЛОСЕМЕННЫХ В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТАХ 249

Г. З. ГУЦЕВА, Н. В. ТЕЛИЦЫНА
ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ ПОВЕДЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ) 253

В. Т. ДЕМЯНЧИК, В. П. РАБЧУК, В. В. ДЕМЯНЧИК
ИЗМЕНЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА ПТИЦ В УРБАНИЗИРОВАННОМ ЛАНДШАФТЕ БРЕСТА 257

В. Т. ДЕМЯНЧИК, В. П. РАБЧУК, В. В. ДЕМЯНЧИК
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ОХРАНЯЕМЫХ ВИДОВ ОРНИТОФАУНЫ БРЕСТА..... 261

В. Т. ДЕМЯНЧИК, В. П. РАБЧУК, Д. А. КУНАХОВЕЦ, В. В. ДЕМЯНЧИК
ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ОРНИТОКОМПЛЕКСА КРУПНОГО ГОРОДА 265

И. В. ЗАМОТАЕВ, О. В. КАЙДАНОВА, С. Б. СУСЛОВА, Р. Г. ГРАЧЕВА, Д. Н. КОТЮН, Н. С. МЕРГЕЛОВ, Ю. В. КОНОПЛЯНИКОВА, А. В. ПОЧИКАЛОВ
АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОТХОДОВ САХАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ЦЕНТРАЛЬНОЕ ЧЕРНОЗЕМЬЕ) 269

С. И. ИВАНОВСКАЯ, Д. И. КАГАН, В. Е. ПАДУТОВ
ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ОБЪЕКТАХ СОХРАНЕНИЯ ГЕНОФОНДА ПОЛЕССКОГО ЛЕСОСЕМЕННОГО РАЙОНА 273

М. О. КАЙДАЛОВА, Н. Ю. КОЛБАС
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ПЛОДОВ *MALUS DOMESTICA* ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОПРЕПАРАТОВ 278

В. О. КИТИКОВ, И. И. ПОЛОЗ, А. И. ЧУХОЛЬСКИЙ
ИССЛЕДОВАНИЕ УДОБРИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА ПЕРЕРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ 282

Н. Ю. КОЛБАС, О. Н. ФРАНЧУК, А. П. КОЛБАС, М. О. КАЙДАЛОВА, О. В. СИНЧУК
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ ВИШНИ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНТОМОЦИДНЫХ БИОПРЕПАРАТОВ 286

А. В. КОНСТАНТИНОВ, С. В. ПАНТЕЛЕЕВ, М. Я. ОСТРИКОВА
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ МИКОТРОФНОСТИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СУБСТРАТА МИКОРИЗООБРАЗУЮЩИМИ ГРИБАМИ 290

Л. А. КУТАЕВА, О. Е. ЧЕЗЛОВА
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД БАССЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ ПО СОДЕРЖАНИЮ НЕФТЕПРОДУКТОВ 292

А. В. ЛЕВЫЙ, А. С. АНТОНЮК, А. П. КОЛБАС, Т. В. НИКОНОВИЧ
ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *PAULOWNIA* SIEBOLD & ZUCC. ДЛЯ ИНТРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕССКОГО РЕГИОНА 296

С. Н. ЛЕШИК, И. В. БУЛЬСКАЯ
ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН КРЕСС-САЛАТА (*LEPIDIUM SATIVUM*) НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ ПРОРОСТКОВ 300

А. Н. ЛИЦКЕВИЧ, М. О. КАЙДАЛОВА, Л. А. КУТАЕВА, И. С. ПАШКОВИЧ, Е. А. РОСТОВА
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОСАДКАХ СТОЧНЫХ ВОД ГП «ГОМЕЛЬВОДОКАНАЛ»..... 302

А. Н. ЛИЦКЕВИЧ, М. О. КАЙДАЛОВА, Л. А. КУТАЕВА, И. С. ПАШКОВИЧ, Л. И. ЧИРУК, О. Е. ЧЕЗЛОВА
КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. ГОМЕЛЯ 306

А. Н. ЛИЦКЕВИЧ, О. Е. ЧЕЗЛОВА, Л. А. КУТАЕВА, М. О. КАЙДАЛОВА, И. С. ПАШКОВИЧ
ИСКУССТВЕННЫЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ БАРЬЕР КАК СПОСОБ МИНИМИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ САНИТАРНОЙ ОБРАБОТКИ ОСВ 311

А. М. МЯЛІК, Т. Г. КУЛАГІНА, Н. У. ГУДНАЯ, У. У. ЦІТОК
ГЕНЕТЫЧНАЯ РАЗНАСТАЙНАСЦЬ ПАПУЛЯЦЫЙ НЕКАТОРЫХ АХОЎВАЕМЫХ ВІДАЎ РАСЛІН БЕЛАРУСКАГА ПАЛЕССЯ 315

С. В. ОНИЩУК, Т. П. ЧИЖЕВСКАЯ, Г. Г. ЯНУТА
ВЛИЯНИЕ АВТОТРАНСПОРТА НА МИГРАЦИЮ АМФИБИЙ В ПОЙМЕ РЕКИ ПРИПЯТЬ НА ТЕРРИТОРИЯХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИПЯТСКИЙ» 319

М. В. ПАШУК
ТЕКУЩАЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ CS-137 РЕЧНОЙ РЫБЫ, ОБИТАЮЩЕЙ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «ПРИПЯТСКИЙ» 323

П. В. ПИНЧУК
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЗОННЫХ МИГРАЦИЙ РЖАНКООБРАЗНЫХ ПТИЦ *(CHARADRIIFORMES)* НА ЮГЕ БЕЛАРУСИ В 1996–2024 гг. 327

О. В. ПРИЩЕПЧИК, Е. В. ГУЗЕНКО, А. А. БЕСПАЛЫЙ, О. В. СИНЧУК
СОХРАНЕНИЕ ТЁМНОЙ ЛЕСНОЙ ПЧЕЛЫ (*APIS MELLIFERA MELLIFERA*) НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИПЯТСКИЙ» 330

А. В. ПУГАЧЕВСКИЙ, Т. Л. БАРСУКОВА, В. В. ЛУКИН
СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ РОБИНИИ ПСЕВДОАКАЦИИ ПРИ ЕЁ ИНВАЗИИ В ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 333

О. В. СИНЧУК, А. П. КОЛБАС, Н. В. АРХИПОВА, О. В. ПРИЩЕПЧИК
ВИДОВОЙ СОСТАВ ФИТОФАГОВ ВРЕДИТЕЛЕЙ ЯБЛОНЕВЫХ САДОВ БРЕСТСКОГО РЕГИОНА 339

А. М. СЛУКВИН, Я. И. ШЕЙКО, Я. П. КУЛЕШЕВИЧ, Т. В. ДОЛМАТОВИЧ, Н. Н. ЧАКОВА, С. С. НИЯЗОВА, В. Т. ДЕМЯНЧИК, В. В. ДЕМЯНЧИК, В. П. РАБЧУК, А. Н. ЛИЦКЕВИЧ, М. А. ПАСТУХОВА, Д. А. КУНАХОВЕЦ, О. С. ГРОДА
РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО ПРОЕКТА ПО СОХРАНЕНИЮ ГЕНОФОНДА ЕДИНСТВЕННОГО В СТРАНЕ МАТОЧНОГО СТАДА БЕЛУГИ (*HUSO HUSO L.*), ВЫРАЩИВАЕМОГО В АКВАКУЛЬТУРЕ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ 342

М. В. ФЕДОРОВИЧ, И. И. ПОЛОЗ, Д. В. ВОЙТКА
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАССАДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ЦВЕТОЧНО-ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУР 347

Н. В. ШАМАЛЬ, Е. В. КОПЫЛЬЦОВА, В. Н. СЕГЛИН, Р. К. СПИРОВ, Н. И. ТИМОХИНА, А. Н. НИКИТИН
РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ НИЗОВОГО ПОЖАРА В РАЗНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ЯСНАЯ ПОЛЯНА» 350

Е. А. ШЛЯХОТКО, А. А. ШЕПШЕЛЕВ, И. В. МОРОЗ, Л. И. САПУНОВА, И. И. АЛЕШКЕВИЧ, А. Г. МАШЕЧКО
ФЕРМЕНТАТИВНАЯ ОБРАБОТКА ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ 354

А. П. ЯКОВЛЕВ, Е. А. МАСЛЮКОВ, Г. И. БУЛАВКО, А. А. ЛЕШКОВ, С. К. БАКЕЙ, П. Н. БЕЛЫЙ
ОЦЕНКА ПРИЕМОВ БИОРЕКУЛЬТИВАЦИИ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ КАРЬЕРОВ 358

УДК 001.89:061.62

К 25-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ ПОЛЕССКОГО АГРАРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НАН БЕЛАРУСИ

Н. В. Михальчук, Е. А. Брыль

Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Статья посвящена 25-летию основания и деятельности государственного научного учреждения «Полесский аграрно-экологический институт Национальной академии наук Беларуси». Отражен исторический аспект создания и развития учреждения. Приведены основные направления и результаты научной, научно-технической и инновационной деятельности Института. Представлены сведения о внедрении научных разработок в различных отраслях народно-хозяйственного комплекса Республики Беларусь и социально-экологической сфере. Изложены перспективы развития организации.

Ключевые слова: институт, научные результаты, разработки, практическая реализация, перспективы развития.

В 2025 г. государственному научному учреждению «Полесский аграрно-экологический институт Национальной академии наук Беларуси» исполняется 25 лет. Создание учреждения – это четвертая попытка за последние почти 100 лет организации на Брестчине самостоятельного научно-исследовательского заведения в ранге академического Института. До сентября 1939 г. единственной научной организацией в регионе было Бюро проектов мелиорации Полесья, начавшее свою деятельность в г. Бресте в июне 1928 г. Бюро возглавлял бывший министр публичных работ Речи Посполитой, мелиоратор Юзеф Прухник (1873–1951). За время существования Бюро (до апреля 1934 г.) были проведены значительные исследования в области геологии, почвоведения, болотоведения и мелиорации, гидрологии, ботаники и др. С 1929 г. под редакцией ботаника Д. Шимкевича издавались «Prace Biura Meljoracji Polesia». В 1933 г. опубликован коллективный труд «Postępy prac przy meljoracji Polesia», в который вошли материалы С. Воллосовича, Р. Рослонского, Ю. Полянского, Б. Крыговского. За пять лет (1929–1933 гг.) сотрудниками Бюро было подготовлено около десятка фундаментальных научных изданий.

В середине 1970-х гг. в Беловежской пуще планировалось открытие научно-исследовательского Института биогеоценологии и экологии (по другой версии – Института охраны природы и биогеоценологии). Эту идею активно продвигал тогдашний директор С. Б. Кочановский (1935–2020), возглавлявший заповедно-охотничье хозяйство с 1973 по 1976 г. В этот период в научном отделе Беловежской пущи, состоявшем из 3-х лабораторий, работало более 50 человек, из которых 37 – научные сотрудники. Под эту идею было даже построено двухэтажное здание, где планировалось разместить 10 научных лабораторий со штатом около 200 человек. Однако планы так и остались планами.

Ещё одна попытка была предпринята в конце 1980-х гг.: постановлениями Совета Министров БССР от 10.01.1989 г. № 10 и Президиума Академии наук БССР от 02.02.1989 г. № 16 было принято решение создать в г. Бресте Отделение Института технической кибернетики АН БССР. Руководителем Отделения был назначен В. А. Мищенко (1936 г.р.), доктор технических наук, специалист в области вычислительной техники, защиты информации. Институт технической кибернетики АН БССР (сейчас – Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси) в 1980-х гг. в качестве головной организации активно работал над созданием комплекса технических и программных средств базы цифровых картографических данных для нужд Министерства обороны. В 1992 г. началось резкое сокращение финансирования Института по оборонной тематике, ранее составлявшее до 90 %. К концу этого года численность сотрудников была сокращена в 1,6 раза. На фоне возникших проблем деятельность Отделения в г. Бресте была свёрнута.

Из краткого исторического экскурса видно, что в инфраструктуре академической науки в Беларуси к концу XX века сложилась ситуация, когда в отличие от остальных регионов страны в Брестской области отсутствовало академическое учреждение в статусе самостоятельного Института. Осенью 1999 г. в г. Брест прибыла представительная делегация Национальной академии наук Беларуси. В ее составе – академик-секретарь Отделения химических наук и наук о Земле академик Иван Иванович Лиштван, Главный учёный секретарь НАН Беларуси член-корреспондент (с 2000 г. академик) Фёдор Адамович Лахвич и академик Владимир Фёдорович Логинов, директор Института проблем использования природных ресурсов и экологии (с 2008 г. – Институт природопользования). Состоялись встречи в облисполкоме и с руководством Брестского государственного университета. Главный обсуждаемый вопрос – целесообразность и, главное, возможность основания в Бресте академического учреждения: первоначально как структурного подразделения Института использования природных ресурсов и экологии, а в перспективе – самостоятельной академической организации. На всех уровнях эта идея была воспринята позитивно и в результате Совет Министров Республики Беларусь своим постановлением от 01.12.1999 № 1870 принял решение о создании в г. Бресте Отдела проблем Полесья НАН Беларуси; соответствующее постановление Президиума НАН Беларуси обнародовано 19.01.2000 за № 3. Директором-организатором Отдела был назначен доктор химических наук Н. П. Ерчак.Организация была включена в Единый государственный регистр юридических

лиц и индивидуальных предпринимателей 25.10.2000, поэтому в истории создания Института точкой отсчета стал октябрь 2000 г. Постановлением Президиума НАН Беларуси от 27.06.2005 № 350 Отдел проблем Полесья преобразован в государственное научное учреждение «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси». По сути, рождение первого академического института на Брестчине состоялось в стенах Брестского государственного университета с опорой преимущественно на его научные кадры. Редкое явление в Беларуси в историческом контексте, а возможно, и уникальное.

Институт аккредитован на соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 (ISO/IEC 17025:2017, IDT) («Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий») и имеет аттестат аккредитации от 04.11.2022 № BY/112 1.1832. Область аккредитации весьма обширная: определение качественных и количественных показателей питьевых (14 показателей), поверхностных (17), сточных вод (16), земель, включая почвы, грунты (22), кормов сельскохозяйственных животных (6 видов кормов по 18 показателям); оказываются лабораторные услуги по договорам с физическими и юридическими лицами с обязательной выдачей протоколов испытаний.

Институт аттестован на право проведения испытаний средств защиты растений и удобрений, подлежащих государственной регистрации (приказ Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 01.04.2014 № 231). Институт зарегистрирован в качестве производителя семян кормовых растений (многолетние и однолетние травы) в государственном реестре производителей семян сельскохозяйственных растений и имеет аттестат производителя оригинальных и элитных семян сельскохозяйственных растений от 18.02.2022 № 01-23-2022.

До 2019 г. включительно учреждение располагалось на безвозмездно арендуемых площадях ОАО «Брестский электроламповый завод». Мощным импульсом развития Института стало обретение коллективом собственного здания, переданного в оперативное управление Национальной академии наук Беларуси от Брестского областного суда. Решающую роль сыграло содействие М. В. Мясниковича, Председателя Совета Республики Национального собрания Республики Беларусь, В. Г. Гусакова, Председателя Президиума НАН Беларуси, и В. О. Сукало, Председателя Верховного Суда Республики Беларусь.

В настоящий момент в Институте функционирует 5 лабораторий: агробиологии, биогеохимии, оптимизации экосистем, гидроэкологии и экотехнологий, отраслевая научно-исследовательская лаборатория качества кормов. На 01.09.2025 г. общая численность работников Института составила 41 человек (25 женщин), из них 10 кандидатов наук, из которых 4 доцента; 9 работников окончили аспирантуру с присвоением квалификации «Исследователь», 5 работников имеют степень «Магистр». В докторантуре обучаются 2 сотрудника, в аспирантуре – 2, в магистратуре – 1. Средний возраст работников – 42,8 года. Разумный баланс возрастов, всемерная поддержка молодых ученых, неустанное развитие компетенций персонала и стимулирование мотиваций – главные составляющие кадровой политики, проводимой в Институте.

Основная миссия Института заключается в научном обеспечении устойчивого социально-экономического развития и экологического благополучия Белорусского Полесья на основе разработки и внедрения научно-инновационных подходов в агроэкологии, геохимии, кормопроизводстве, обращении с отходами, мелиоративном земледелии, водопотреблении и водоочистке, охране ландшафтного и биологического разнообразия, вовлечении природного и культурно-исторического наследия региона в реальный сектор экономики с учетом повышения качества жизни людей, возрастающих требований к качеству продукции, в том числе экспортноориентированной и импортозамещающей.

За годы становления и развития Института получен целый ряд значимых научных и практических результатов, востребованных в различных отраслях народно-хозяйственного комплекса Брестской области и Республики Беларусь, включая и социально-экологическую сферу. Так, сотрудниками лаборатории оптимизации экосистем развиты и конкретизированы теоретические основы классификации экосистем, которые были использованы при обосновании создания первого в стране специализированного биосферного резервата «Прибужское Полесье», интегрированного в состав первого на равнинах Европы 3-стороннего биосферного резервата «Западное Полесье». Проведена большая работа по научному обеспечению Государственной программы развития особо охраняемых природных территорий. Для этого подготовлены научные и технико-экономические обоснования 116 заказников и памятников природы, обеспечивающие необходимый уровень территориальной охраны природных ландшафтов, сообществ и биотопов. Результаты исследований гидрогенно-карбонатных ландшафтов позволили выяснить проблемные вопросы генезиса их почв, а также обосновать природоохранную концепцию «Орхидный пояс Полесья», которая подтверждена натурными исследованиями и реализована путём создания целого ряда ООПТ – биологических заказников республиканского значения «Луково», «Тырвовичи», «Бусловка», местных биологических заказников «Дивин-Великий Лес», «Изин», «Хмелевка», «Ярута» и др. Они определяют авторитет природоохранной политики Беларуси в сохранении популяций глобально угрожаемых видов орхидей, по своей численности и жизненности не имеющих аналогов в Европе.

Значительные результаты достигнуты в эколого-фаунистических и мелиоративно-экологических исследованиях. Определен полный список и общая динамика видового состава позвоночных (рыб и рыбообразных, земноводных, пресмыкающихся, птиц, млекопитающих), обитающих на современной территории

Брестской области в XIX–XX вв. и в первое десятилетие XXI в. Обосновано включение в Красную книгу Республики Беларусь 2 вымирающих видов: хомяка обыкновенного и суслика крапчатого. Обоснована концепция бореально-монтанного Западнополесского хорологического моста.

Исследован региональный состав наземных животных в зависимости от отношения к селитебным территориям (на примере Брестской области). Предложена оригинальная система количественной оценки уровня синантропизации тетрапод. Проведены первые в стране успешные эксперименты по размножению в неволе с целью восстановления угасающих популяций исчезающих синантропных видов – жабы камышовой, тритона гребенчатого, антропофобного вида – медянки обыкновенной.

Выполнено наиболее многолетнее и полное в Беларуси исследование хироптерофауны (рукокрылых), включающее международное представительство EUROBATS; составлены очерки для трех изданий Красной книги Республики Беларусь, организован первый в стране и один из немногих в Европе специализированный заказник «Барбастелла».

Осуществлено первое в Беларуси и сопредельных зарубежных регионах системное документированное исследование орнитофауны на примере второго по площади города страны – Бреста. Составлен перечень основных природно-экологических достопримечательностей г. Бреста, включающий около 1500 объектов. Впервые разработана комплексная научная основа активного вовлечения природных достоинств в ландшафтно-архитектурную и социально-экологическую сферу г. Бреста, что нашло отражение в решении Брестского городского исполнительного комитета от 17.09.2021 № 1236, которым утвержден «Перечень мероприятий по сохранению основных природно-экологических достопримечательностей городской среды г. Бреста».

Проведена серия исследований эколого-ихтиологической направленности: мониторинг проблемы конкурентов и хищников рыб естественных и искусственных водных объектов; научное сопровождение выращивания осетровых на рыбхозе; оценка многообразия и запасов неиспользуемых рыбных ресурсов; успешный эксперимент по выращиванию мальков и молоди бестера и белуги на местных естественных кормах; мониторинг и консультационное содействие в минимизации заморов рыб.

Разработана и апробирована концепция создания экологических зон и натурных экосистемных аналогов на сельскохозяйственных мелиоративных системах. Составлен Перечень показателей для обоснования эффективности устройства экологических зон на мелиоративных объектах. Разработаны: Методика устройства и обоснования эффективности экологических зон на мелиоративных объектах и Требования к выбору участков для устройства экологических зон на мелиоративных объектах.

Востребованной услугой, оказываемой лабораторией оптимизации экосистем, является выполнение работ по оценке воздействия на окружающую среду в отношении планируемой хозяйственной и иной деятельности, которая может оказывать негативное влияние на природные комплексы, и определению размеров компенсационных выплат за вредное воздействие на объекты животного мира и среду их обитания при реализации различных строительных проектов. Спрос на подобные услуги постоянно повышается: если в 2020–2023 гг. в среднем за год выполнялось по 15 договоров, то в 2024 г. – в два раза больше, а в текущем – свыше 40 договоров.

В рамках направления по рециклингу отходов сотрудниками лабораторий агробиологии, гидроэкологии и экотехнологий осуществляется разработка способов трансформации неопасных и малоопасных органосодержащих отходов и побочных продуктов производств в органические, органоминеральные удобрения и почвогрунты. За последние 10 лет создано 22 Технических условия на изготовление удобрений и почвогрунтов с использованием органических отходов производств пищевой промышленности, осадков городских сточных вод; удобрений органических, органоминеральных и органо-бактериальных на основе осадков производственных сточных вод рыбо- и молокоперерабатывающих предприятий, отходов грибного производства и зерноперерабатывающих предприятий, сепарированных отходов животноводческих комплексов КРС, отходов биогазовых установок животноводческих комплексов. Впервые для Брестской области научно обоснованы комплексные способы безопасного применения зольных отходов теплоэнергетических предприятий (древесная и древесно-торфяная зола) в качестве компонентов удобрений, а также рационального использования крупнотоннажного отхода сахарного производства – дефеката.

При этом география сотрудничества по данной проблематике охватывает практически всю Беларусь. Так, работы по использованию отходов молокоперерабатывающих производств в качестве компонентов удобрений выполнены в интересах около 20 предприятий: ОАО «Савушкин продукт», ОАО «Пружанский молочный комбинат», ОАО «Бабушкина крынка», ОАО «Поставский молочный завод», ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод», Щучинский филиал ОАО «Молочный мир», ОАО «Рогачевский молочноконсервный комбинат, ОАО «Милкавита» и др.

В рамках Госпрограммы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021–2025 гг. проведены масштабные работы по обоснованию способов переработки и направлений дифференцированного применения осадков сточных вод городских очистных сооружений и органической части твердых коммунальных отходов с целью снижения антропогенного воздействия на окружающую среду.

В Институте на протяжении многих лет силами сотрудников лаборатории биогеохимии активно ведется изучение миграции ксенобиотиков в экологических системах и механизмов включения их в природные циклы. Основные усилия направлены на изучение воздействия тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) на биоти-

ческие и абиотические компоненты экосистем, разработку мероприятий по минимизации соответствующих рисков. Классический пример востребованности научных разработок Института в этой сфере – реализация комплекса мероприятий по минимизации последствий геохимического инцидента в районе посёлка Зеленый Бор Ивацевичского района, возникшего в результате несанкционированного складирования на заброшенной промплощадке около 10,0 тыс. тонн золы свинцовой (изгари) – отхода переработки лома свинцовых аккумуляторных батарей в марочный свинец. В результате аэрогенного переноса пылевых фракций произошло загрязнение грунтов самой площадки, а также прилегающих лесопокрытых участков. Выполнение в полном объеме предложенных Институтом рекомендаций позволило устранить угрозу загрязнения грунтовых вод ТММ, резко ограничить их миграционную активность и опасность интенсивного поступления в пищевые цепи.

Впервые получены данные об особенностях поведения ТММ в почвах и возделываемых растениях на агроучастках некоторых промышленных городов Брестской области (Брест, Береза, Пинск). Выявлены уровни и специфика накопления ТММ в огородной продукции в зависимости от топологии участков по отношению к источникам загрязнения, почвенно-геохимических условий и биологических особенностей культур. Проведен анализ пространственной структуры загрязнения почвенного покрова и овощной продукции ТММ с выделением неблагоприятных зон и определением уровней соответствующих рисков для населения. Разработаны методы экологической реабилитации химически загрязненных земель с помощью фиторемедиационных технологий как экологически и экономически наиболее оптимальных способов их восстановления.

Выявлены особенности влияния 6-ти полигонов захоронения твердых коммунальных отходов Брестской области, претендующих на статус региональных (межрайонных) объектов по обращению с отходами, на состояние поверхностных и подземных вод, почв, растительности и разработаны рекомендации по оптимизации экологической ситуации в зонах их воздействия.

В рамках данного направления Институт оказывает услуги по геоэкологическому обследованию земель в местах расположения выявленных или потенциальных источников их загрязнения, результаты которого используются субъектами хозяйствования для создания системы наблюдений в рамках локального мониторинга окружающей среды. Среди заказчиков как крупные производственные предприятия – ОАО «Белорусский металлургический завод», филиал «Березовская ГРЭС» РУП «Брестэнерго», ООО «Брестгазоаппарат», ООО «Аккумуляторный альянс», так и многочисленные коммунальные предприятия (ЖКХ, водоканалы).

Проводится комплексная оценка садовых агроэкосистем Брестского региона с целью повышения качества и экологичности продукции при переходе к органическому земледелию. Модифицирован метод биологической регуляции численности вредителей садовых агроэкосистем за счет формирования устойчивой популяции энтомофагов. Созданы информационные базы данных для помощи в определении комплекса вредителей и подбора доступных методов и средств по эффективной биологической борьбе с ними.

Создан банк данных антиоксидантной активности 60 видов лекарственных и пряно-ароматических растений флоры Белорусского Полесья, в соответствии с которым подобраны фитокомпозиции для получения фитопрепаратов – биологически активных добавок к пище (БАД) и функциональных напитков с высокой антиоксидантной активностью. Разработан технологический регламент для производства БАД к пище «Фитополесье-антиоксидант» (7 вариантов) и функциональных напитков «Фитополесье» (5 вариантов) на основе водных экстрактов и БАД к пище «Масла-антиоксиданты» (2 варианта) на основе CO_2-экстрактов. Предложены также фитокомпозиции для создания апифитопрепаратов; разработан технологический регламент для производства комбинированных продуктов пчеловодства «Мед Плюс» (4 варианта) и функциональных напитков в виде збитней (3 варианта).

Большое внимание уделяется водным проблемам. Сформирована научная школа «Гидрология речных бассейнов в условиях изменяющегося климата», возглавляемая д.г.н., профессором А. А. Волчеком. Впервые с использованием наиболее полного массива гидрометеорологических данных и современных статистических методов, включая методы, разработанные в Институте, выполнен комплексный анализ формирования водного режима речных водосборов Беларуси и сопредельных территорий в условиях изменяющихся природных и антропогенных факторов. На основании метода водного баланса, базирующегося на фактическом материале по стоку малых рек Беларуси, разработана и апробирована методика расчета, моделирования и прогноза стока неизученных рек Беларуси. С помощью полученных моделей оценена антропогенная нагрузка на речной сток отдельных рек и даны прогнозные оценки изменения годового стока рек при различных сценариях изменения климата. Дана комплексная оценка пространственно-временных колебаний продуктивных влагозапасов минеральных почв Беларуси. Разработан программный комплекс «Гидролог-2» для определения гидрологических характеристик и создана электронная база основных элементов водного баланса с месячной дискретностью за период инструментальных наблюдений. Научная гидрологическая школа, созданная в Институте, активно развивается на кафедрах обоих университетов г. Бреста.

В лаборатории гидроэкологии и экотехнологий выполнен анализ действующих систем водопользования перерабатывающих предприятий АПК Белорусского Полесья. Впервые создана модель системы нормирования и регулирования водопользования, на основе которой разработана комплексная научно-техническая программа по совершенствованию систем водопользования мясо- и молокоперерабатывающих предприятий.

Одним из направлений деятельности Института является решение проблемы создания устойчивой кормовой базы предприятий АПК. Сотрудниками лаборатории агробиологии Института и отдела многолетних трав РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» проведены исследования по разработке сенокосных травосмесей на основе белорусских сортов костреца безостого, формирующих трехукосные травостои с содержанием обменной энергии 10 МДж/кг и сырого протеина не менее 16 %. Разработаны «Рекомендации по возделыванию сенокосных травостоев с кострецом безостым в Брестской области». Совместно с ГП «Брест-травы» осуществляется семеноводство костреца безостого сорта Выдатны.

С 2019 г. в Институте функционирует Отраслевая научно-исследовательская лаборатория качества кормов (ОНИЛКК). В лаборатории анализ кормового сырья и кормов осуществляется сочетанием их исследований традиционными лабораторными методами («мокрая химия») и спектроскопией в ближней инфракрасной области, что позволило впервые создать отечественную базу данных (библиотеку спектров) параметров качества кормов, построить математические модели для большинства исследуемых показателей качества и обеспечить импортозамещение соответствующих услуг. Использование этих двух подходов позволило увеличить пропускную способность лаборатории, удешевить стоимость анализов и существенно повысить их точность.

На сегодняшний день ОНИЛКК сотрудничает со 182 сельскохозяйственными предприятиями 20 районов Брестской, Минской, Гомельской и Гродненской областей. Выполняется анализ образцов консервированных кормов (сенаж, силос) по 43 показателям питательности, переваримости, сохранности, включая определение содержания биологически значимых макро- и микроэлементов, что дает возможность адресного составления рационов кормления, грамотно работать с премиксами, а также при необходимости осуществлять корректировку геохимического статуса почв кормового поля. Деятельность ОНИЛКК полностью интегрирована в систему животноводства Брестской области, а ее руководством неоднократно подчеркивалось, что результаты работы лаборатории – это наглядный пример эффективного сотрудничества академической науки и реального производства, что наряду с другими факторами позволило молочной отрасли Брестской области занять лидирующие позиции в Республике Беларусь.

В Институте создан и успешно функционирует опытно-производственный участок «Полесская Сильфия» для отработки приемов возделывания сильфии пронзеннолистной (*Silfium perfoliatum* L.) как культуры медоносно-кормового и агросредостабилизирующего назначения, в т.ч. в целях производства оригинальных семян. Несомненным достоинством культуры является возможность использования ее плантаций на протяжении более 15 лет без существенного снижения продуктивности. Сильфия незаменима для выращивания на агроэкологически проблемных землях (деградированных торфяно-болотных почвах, бедных песчаных и слаборазвитых почвах). Являясь глубокоукореняющимся растением, сильфия успешно переносит засушливые периоды вегетации, чем выгодно отличается от других кормовых культур, обеспечивая получение зеленой массы до 1000 ц/га за два укоса.

Сортовые семена Сильфии пронзеннолистной являются инновационным товаром на рынке. На сегодняшний день Институт является единственным официальным производителем оригинальных семян сильфии пронзеннолистной сорта «Первый Белорусский». Достоинства культуры оценены и за пределами Беларуси – Институт успешно сотрудничает с предприятиями АПК Российской Федерации, поставляя семенной материал на экспорт.

Одним из убедительных показателей научной состоятельности академического института является участие в проектах Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований. За 34-летний период деятельности Фонда 5-ю учреждениями образования и науки, расположенными на территории Брестской области (4 университета и Полесский аграрно-экологический институт), выполнено около 170 проектов при финансовой поддержке Фонда. Из них 60 грантов (или 35 %) за 20 лет реализовано в стенах Института. За период с 2006 г. Фондом совместно с Брестским облисполкомом было проведено 8 совместных тематических конкурсов по различным проблемам Брестской области, включая и аграрно-экологические. Институт неизменно выступал головной организацией по проведению конкурса и самым активным его участником. Наиболее весомые результаты были получены в области геохимии почв и биогеохимии растений, особенно в отношении экологически проблемных территорий, а также в сфере безопасного обращения с отходами производств, включая их рациональное использование в качестве вторичных материальных ресурсов.

В рамках международного сотрудничества сотрудниками Института обоснованы, подготовлены и получили финансирование пять проектов по различным трансграничным Программам. Два из них являлись очень крупными: «Расширение трансграничной системы очистки сточных вод в бассейне реки Западный Буг», главной целью которого являлось строительство очистных сооружений в г. Каменце, и «Чистая река – главный приоритет» – строительство новых очистных сооружений в г. Жабинка. Общий объем привлеченных финансовых средств в социально-экологическую сферу Брестской области по итогам реализации проектов превысил 4,5 млн евро. На базе Института создан Гидроэкологический центр, при котором оборудована современная аналитическая лаборатория, которая проводит исследования качества природных вод, выполняет разработку рекомендаций по решению водных проблем.

Институтом экологии, окружающей среды и почвоведения Академии наук провинции Гуандун (КНР), Институтом природопользования НАН Беларуси и Полесским аграрно-экологическим институтом НАН Беларуси в январе 2025 г. подписан трёхсторонний меморандум о создании совместной китайско-белорусской лаборатории в рамках инициативы «Один пояс, один путь» по зеленому и низкоуглеродному использованию сельскохозяйственных ресурсов и здоровью почв. Лаборатория создается под патронажем ООО «Китайско-Белорусский инновационный центр промышленных технологий» (резидент «Великого Камня»).

Разработано научное обоснование и выполнены организационно-практические мероприятия по созданию первого в Беларуси и сопредельных зарубежных регионах «Музея болотной природы Полесья». Выполнена первая в Беларуси научно-методическая разработка и апробация курса для ВУЗов – экологическое краеведение, включающая серию пособий «Экологическое краеведение», «Ресурсы растительного мира», «Ресурсы животного мира», «Полевая практика».

Видение перспективного развития Института представляется в усилении его инновационной роли в качестве единственного комплексного (по экологической и аграрной отраслям) учреждения регионального сектора академической науки Беларуси и формировании на его основе консолидирующего центра трансфера инноваций в природно-экологическую, агрохозяйственную и образовательную сферу Белорусского Полесья по направлениям: вовлечение в хозяйственный оборот вторичных материальных ресурсов, экологический рециклинг; экологизация гидромелиоративной сети; ресурсо- и энергосберегающие технологии водопотребления и водоочистки; регионально адаптированное кормопроизводство, оценка качества сельскохозяйственного сырья и продукции*;* вовлечение ресурсов ландшафтно-биологического разнообразия в доходные статьи местного населения и макроэкономики; устойчивое сохранение природного и культурно-исторического наследия.

Продолжится поиск эффективных способов реабилитации химически загрязненных земель с использованием технологий биоремедиации (фитоэкстракция и фитостабилизация), а также применения биочара. Перспективным направлением в реабилитационных технологиях является микроклональное размножение растений-ремедиантов в условиях *in vitro*, позволяющее получать генетически выровненные линии с заданными свойствами. В Институте уже положено начало этим работам – разработана технология клонального микроразмножения сильфии пронзеннолистной как потенциальной фиторемедиационной культуры. Разрабатывается также технология размножения павловнии войлочной в условиях *in vitro* с учетом направлений ее использования в прикладной экологии в качестве ремедиационной культуры.

В числе приоритетов – дальнейшее развитие и повышение эффективности системы контроля и управления качеством кормов, ориентированной на 100 % охват анализом кормов, заготавливаемых предприятиями АПК Брестской области (при необходимости – и смежных регионов), выявление и анализ факторов, влияющих на их качество, а также создание цифровой платформы управления соответствующей системой.

Среди новых направлений научной деятельности Института, которые формируются на основе выполняемых исследований и разработок, следует выделить точное земледелие. Цель таких работ – оптимизация процессов диагностики зон неоднородности сельскохозяйственных полей в условиях сложных структур почвенного покрова, а также отработка методов спектрального анализа проб почв методами FT-NIR спектроскопии для формирования пользовательской библиотеки спектров и поиск оптимальных методов экспресс-диагностики агрохимических и агрофизических свойств почв сельхозугодий.

Создание, основные вехи успешного становления и развития Института были бы невозможными без всемерной поддержки со стороны руководства Национальной академии наук Беларуси и Брестского областного исполнительного комитета. Огромную роль в выборе тематических направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности учреждения и их развитии сыграли ценные и своевременные советы и указания академиков В. Г. Гусакова, В. Ф. Логинова, И. И. Лиштвана, Н. Н. Бамбалова, И. М. Богдевича, В. В. Лапа, В. И. Парфенова, членов-корреспондентов А. П. Лихацевича, С. А. Усанова, докторов наук А. С. Мееровского, К. К. Красовского. Эстафета продуктивного содействия со стороны ведущих ученых нашей страны в последние годы продолжается в активной поддержке научных инициатив Института академиками А. В. Кильчевским, М. Е. Никифоровым, членом-корреспондентом П. П. Казакевичем, докторами наук А. В. Трухановым, В. С. Хомичем, В. Г. Левашкевичем, С. А. Лысенко, Б. В. Курзо, С. Е. Головатым, Б. В. Шелюто и др. Неизменная научно-организационная и консультационная поддержка оказывается ученым секретарем института природопользования Г. А. Камышенко. Искренняя благодарность кураторам, коллегам, друзьям!

TO THE 25TH ANNIVERSARY OF THE STATE SCIENTIFIC INSTITUTION «POLESIE AGRARIAN ECOLOGICAL INSTITUTE OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS»

N. V. Mikhalchuk, A. A. Bryl

The article is dedicated to the 25th anniversary of the foundation and operation of the State Scientific Institution «Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus». It reflects on the historical aspects of the establishment and development of this institution. The article presents the main directions and results of the institute scientific, scientific-technical, and innovative activities. It also provides information on the implementation of scientific developments in various sectors of Belarus national economy and socio-environmental sphere. Finally, the article outlines the prospects for the organization's future development.

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

УДК 551.583:551.524.36(476.2-22)

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ И ПРОГНОЗИРУЕМЫХ УСЛОВИЙ ПЕРЕЗИМОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Ю. А. Бровка, И. В. Буяков
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Выполнена оценка условий перезимовки культур на территории Белорусского Полесья за 2000–2022 гг.: термических показателей холодного периода, продолжительности залегания устойчивого снежного покрова, дат наступления мягкопластичного состояния почвы. Рассчитаны прогнозные значения температурных показателей к 2050 г. для сценариев изменения выбросов парниковых газов SSP2-4.5 и SSP3-7.0.

Ключевые слова: отрицательные температуры, морозные дни, снежный покров, прогноз.

Введение. Наблюдаемое в последние несколько десятилетий на территории Беларуси изменение климата сопровождается ростом температуры воздуха, наиболее быстрыми темпами с 2000 г. в летний период, увеличением продолжительности вегетационного периода, изменением температурных условий зимнего периода (увеличением повторяемости теплых зим, изменением дат перехода температуры через пороговые значения и др.) [1–3]. Кроме положительных последствий современного потепления климата для растениеводства Беларуси, все чаще проявляется негативное его влияние. Так, засухи и засушливые явления вызывают снижение урожайности сельскохозяйственных культур, деградацию земель. Согласно результатам исследований [1, 2, 4–6], Белорусское Полесье является наиболее подверженным климатическим рискам регионом страны, где в большей степени проявляются негативные последствия изменения климата (аномально высокие температуры воздуха, увеличение повторяемости волн тепла, атмосферных и почвенных засух, отрицательный водный баланс между количеством осадков и испаряемостью и др.).

Цели и задачи работы – выявить пространственно-временные изменения условий перезимовки культур на территории Белорусского Полесья за период 2000–2022 гг. и дать прогноз температурных показателей на период до 2050 г. (2041–2060 гг.) на основе ансамбля климатических моделей CMIP6 для разных сценариев изменения выбросов парниковых газов (SSP2-4.5 и SSP3-7.0).

Выполнена оценка изменений среднемесячных температур воздуха в холодный период в 2000–2022 гг. по сравнению с климатической нормой (1991–2020 гг.), а также прогнозных изменений среднемесячных температур зимы и в целом холодного периода по отношению к рассматриваемому периоду для территории Белорусского Полесья. Исследована динамика сумм отрицательных температур, продолжительности периода с отрицательными температурами, числа морозных дней (с минимальной суточной температурой ≤ 0 °С) и холодных дней (с минимальной температурой ниже -25 °С). Проведен анализ пространственного изменения сумм отрицательных температур за 2000–2022 гг., а также их прогнозных значений к 2050 г. (в среднем за 2041–2060 гг.) для сценариев изменения выбросов парниковых газов SSP2-4.5 и SSP3-7.0. Рассмотрены пространственные особенности изменения числа дней со снежным покровом, средних из абсолютных минимумов температуры воздуха, средних дат наступления мягкопластичного состояния почвы в период 2000–2022 гг. для Белорусского Полесья.

Исходные данные. В работе использованы данные наблюдений за температурой воздуха и расчетные данные Белгидромета о сумме отрицательных температур, количестве дней со снежным покровом, датах наступления мягкопластичного состояния почвы [7], а также полученные в лаборатории климатических исследований Института природопользования НАН Беларуси на основе ансамбля климатических моделей проекта CMIP6 проекции изменения температуры воздуха на текущее столетие, адаптированные для территории Беларуси [8]. Рассмотрены наиболее вероятные сценарии антропогенного радиационного воздействия SSP2-4.5 (выбросы парниковых газов и выбросы CO_2 сохранятся примерно на текущем уровне до середины века) и SSP3-7.0 (выбросы увеличатся в 2 раза к 2100 г.).

Расчет большинства показателей, характеризующих условия перезимовки, выполнен за холодный период (ноябрь–март) в 2000–2022 гг. для пунктов гидрометеорологических наблюдений (станций), расположенных в границах Белорусского Полесья. Методом интерполяции построены карты пространственного распределения климатических и агроклиматических показателей. Для оценки многолетних тенденций изменения отдельных показателей использованы их осредненные для территории Полесья значения.

Результаты и заключение. Территория Белорусского Полесья включает Брестскую и Гомельскую области, отдельные южные районы Минской и Могилевской областей. Анализ отклонений среднемесяч-

ных температур в холодный период за 2000–2022 гг. по отношению к климатической норме показал рост температуры воздуха во все месяцы периода, за исключением января. Наибольший рост средней температуры отмечается в ноябре (0,9–1,0 °С) и декабре (0,5–0,6 °С). Небольшое уменьшение температуры воздуха (-0,1 °С) наблюдается в январе преимущественно в восточной части Белорусского Полесья (Гомельская область).

Согласно расчетам ансамбля климатических моделей проекта CMIP6, рост среднемесячных температур зимнего периода (декабрь–февраль) в Белорусском Полесье к 2050 году по сравнению с современным периодом (2000–2020 гг.) составит от 1,4–1,5 °С для сценария SSP2-4.5 и до 1,9 °С для сценария SSP3-7.0, для всего холодного периода – соответственно 1,3–1,4 °С и 1,6–1,7 °С. Для сценария SSP2-4.5 средняя температура зимнего периода к 2050 г. будет варьироваться от -0,6 °С в западной части до -1,6 °С в восточной части Полесья, для сценария SSP3-7.0 – соответственно от -0,2 °С до -1,1°С.

Расчет осредненной суммы отрицательных температур в период 2000–2022 гг. выполнен с использованием данных о средней суточной температуре в пунктах наблюдений. На рисунке 1 показаны особенности пространственного распределения суммы отрицательных температур на территории Полесья в период потепления климата. Наименьшая абсолютная величина суммы отрицательных температур отмечается на юго-западе региона (менее |-200| °С); к востоку и северо-востоку она увеличивается до |-300| °С и более. На большей части территории Полесья абсолютная величина суммы отрицательных температур составляет от |-200| °С до |-299| °С.



***Рисунок 1** – Пространственное изменение суммы отрицательных температур за 2000–2022 гг. в Белорусском Полесье*

Анализ динамики суммы отрицательных температур воздуха и продолжительности периода с температурами воздуха ниже 0 °С в целом на территории Белорусского Полесья за 2000–2022 гг. показал тенденцию к уменьшению по абсолютному значению сумм отрицательных температур воздуха и продолжительности периода с этими суммами. В то же время следует отметить значительные колебания сумм отрицательных температур в отдельные годы: от -600 – -700 °С (2012, 2010 гг.) до отсутствия устойчивых переходов температуры через 0 °С в некоторые зимние периоды (2020, 2015 гг.), которое при определенных агрометеорологических условиях может неблагоприятно отразиться на перезимовке озимых зерновых культур и трав.

Для расчета прогноза изменения сумм отрицательных температур были использованы полученные ранее прогнозные значения среднемесячных температур воздуха к 2050 году, рассчитанные для сценариев SSP2-4.5 и SSP3-7.0. Пространственное изменение суммы отрицательных температур воздуха для этих сценариев представлено на рисунке 2. Как и в настоящее время наибольшие абсолютные значения сумм отрицательных температур будут наблюдаться в восточной части Белорусского Полесья; они будут занимать почти 1/3 территории региона и составят |-120| °С и более (SSP2-4.5), |-90| °С и более (SSP3–7.0). Согласно расчетным данным, суммы отрицательных температур уменьшатся по абсолютной величине на 120–150 °С в зависимости от пункта наблюдения для сценария SSP2-4.5 и на 140–180 °С для сценария SSP3–7.0.

а)



б)



***Рисунок 2** – Прогнозные значения сумм отрицательных температур воздуха к 2050 году для территории Белорусского Полесья для двух сценариев: а) сценарий SSP2-4.5, б) сценарий SSP3-7.0*

Определенный интерес для оценки холодного периода на территории Полесья представляют морозные дни. Морозными считаются дни с минимальной суточной температурой воздуха ≤ 0 °С. Временные изменения числа морозных дней в период потепления (рисунок 3) исследованы для 3-х метеостанций, расположенных на западе (Высокое), в центральной части (Житковичи) и на востоке (Гомель) Полесского региона. Число морозных дней на западе изменяется в пределах 69–121, в центре Полесья – 80–119, на востоке – 84–131. Установлена тенденция к уменьшению числа морозных дней, наиболее выраженная на метеостанциях Высокое и Житковичи.

Анализ изменения числа холодных дней с минимальной температурой ниже -25 °С в западной (Высокое), центральной (Житковичи) и восточной (Гомель) частях Белорусского Полесья показывает их полное отсутствие в 15 годах из 23 и тенденцию к их уменьшению. Наибольшее количество холодных дней (4) наблюдалось в центральной и восточной частях региона в 2006 г. и 2012 г.



***Рисунок 3** – Динамика числа морозных дней в период наибольшего потепления климата (2000–2022 гг.)*

Одним из показателей, характеризующих условия перезимовки озимых зерновых культур и рапса, является среднее из абсолютных минимумов температуры воздуха. Анализ его пространственного распределения в Белорусском Полесье за 2000–2022 гг. показал, что наибольшие значения (по абсолютной величине) средних из абсолютных минимумов наблюдаются в понижениях и на торфяных почвах Полесья (метеостанции Полесская, Василевичи, Брагин) и составляют -23,4 °С – -23,8 °С. В большинстве районов среднее из абсолютных минимумов варьируется в пределах -23,3 °С – -20,6 °С, а в юго-западной и южной частях Полесья (Брест, Пинск, Мозырь, Лельчицы) уменьшается по абсолютной величине до |-20| °С и менее. Зафиксированные в Полесском регионе за 2000–2022 гг. абсолютные минимумы температуры составляют от -26,2 – -28,2 °С на юго-западе до -34,1 – -34,3 °С в центральной и юго-восточной частях (Полесская, Брагин).

Выявлены особенности изменения количества дней со снежным покровом (от даты его образования до даты разрушения) по территории Белорусского Полесья в период 2000–2022 гг. Наименьшее число дней со снежным покровом отмечается на юго-западе региона (менее 70 дней). Установлено увеличение числа дней в центральной части, к востоку и северо-востоку региона до 100 дней (Полесская и Жлобин). Чуть менее половины территории Полесья характеризуется количеством дней со снежным покровом более 80.

Начало снеготаяния и разрушения снежного покрова определяется переходом температуры воздуха через 0 ºС в сторону повышения. Начало разрушения снежного покрова отмечается в конце февраля – начале первой пятидневки марта для западной и юго-западной частей Белорусского Полесья и в начале первой – конце второй пятидневки марта для юго-восточной и восточной частей. Примерно через 15–20 дней после схода снежного покрова наступает мягкопластичное состояние почвы, которое характеризует начало полевых работ и сева ранних яровых культур. На большей части территории Полесья мягкопластичное состояние почвы наступает с 15 по 20 марта (южная и центральная части) или с 20 по 25 марта, на востоке и северо-западе региона – в более поздние сроки (до 30 марта и позднее).

Таким образом, на территории Белорусского Полесья в период 2000–2022 гг. выявлены пространственные различия показателей условий перезимовки: уменьшение к западу и юго-западу региона сумм отрицательных температур по абсолютному значению, числа морозных дней и дней со снежным покровом, среднего из абсолютных минимумов температуры воздуха, более ранние даты разрушения снежного покрова. Установлена многолетняя тенденция к уменьшению числа морозных дней, наиболее выраженная на западе и в центре Полесья. Для сценариев изменения климата SSP2-4.5 и SSP3–7.0 получен прогноз роста среднемесячных температур в холодный период (ноябрь–март), а также уменьшения сумм отрицательных температур по абсолютному значению.

Благодарности. Исследования выполнены при финансовой поддержке БРФФИ (грант № Х23КУБ-010).

Список использованных источников

1. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. – Минск : УП «Энциклопедикс», 2020. – 264 с.

2. Водный баланс Беларуси и его изменения в результате глобального потепления / С. А. Лысенко [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2024. – № 1. – С. 72–85.

3. Новое агроклиматическое районирование и оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за 2000–2022 гг. / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – 2025. – № 1. – С. 5–21.

4. Почвенные засухи на территории Беларуси в условиях изменения климата / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – 2023. – № 2. – С. 12–21.

5. Лысенко, С. А. Оценки современных изменений биоклиматических параметров почвенно-растительного покрова Гомельской области / С. А. Лысенко, М. А. Хитриков // Природные ресурсы. – 2024. – № 2. – С. 17–29.

6. Лысенко, С. А. Влияние изменений климата на продуктивность наземных экосистем в Белорусско-Украинском Полесье / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов, П. О. Зайко // Метеорология и гидрология. – 2022. – № 1. – С. 59–71.

7. Выполнение расчетов агроклиматических и климатических показателей и их оценка по территории Республики Беларусь за 2000–2022 гг.: отчет о НИР (заключ.) / Белгидромет; рук. Е. В. Истомина. – Минск, 2024. – 47 с. – № ГР 20240594.

8. Модельные оценки влияния процессов обводнения и заболачивания территорий Беларуси на микроклимат прилегающей местности: отчет о НИР (промежут.) / Институт природопользования НАН Беларуси; рук. С. А. Лысенко. – Минск, 2023. – 178 с. – № ГР 20210214.

ASSESSMENT OF CURRENT AND PROJECTED WINTERING CONDITIONS IN THE REGION OF BELARUSIAN POLESIE

Yu. A. Brovka, I. V. Buyakov

In the period of the most pronounced climate warming (2000–2022) it is relevant to assess spatial and temporal changes in the conditions of wintering of crops in the region of Belarusian Polesie. Such indicators as average monthly air temperatures during the cold period of the year (November–March), sums of negative temperatures, duration of the period with negative temperatures, number of frosty and cold days, duration of stable snow cover, average of absolute minimum temperatures, average date of onset of soft plastic state of soil were considered. On the basis of CMIP6 climate model ensemble, the projected values of mean monthly air temperatures and sums of negative temperatures for the period up to 2050 were calculated for SSP2-4.5 and SSP3-7.0 scenarios of changes in greenhouse gas emissions.

УДК 551.586

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНИЦ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ БЕЛАРУСИ К 2035 ГОДУ

И. В. Буяков, В. И. Мельник, М. А. Хитриков
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

В статье показано, что к 2035 году суммы температур воздуха выше 10 ^{0}С вырастут на 150–200 ^{0}С. Произойдет сдвиг агроклиматических областей на север, а в крайних юго-западных и юго-восточных районах Беларуси начнет зарождаться новая, третья по счёту агроклиматическая область с суммами температур воздуха превышающими 3000 ^{0}С.

Ключевые слова: агроклиматическое районирование, термические ресурсы, изменение климата.

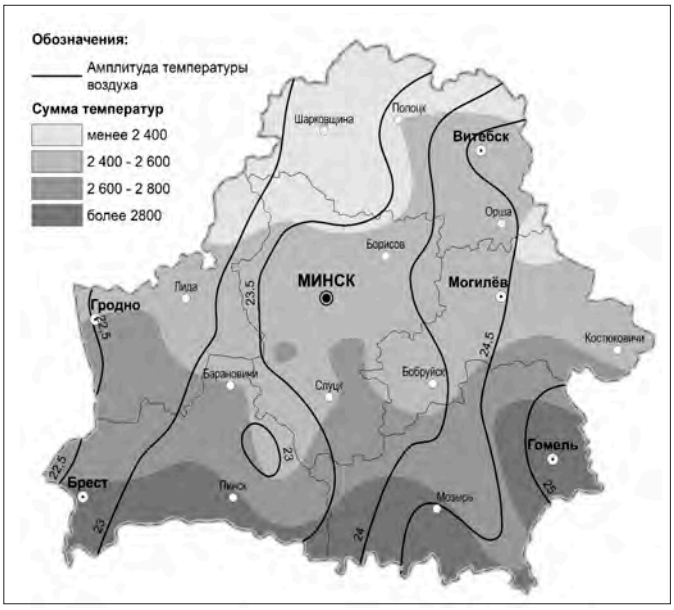
Введение. Одним из главных результатов современного и будущего изменения климата является рост суммы температур воздуха выше 10 ^{0}С. Согласно данным проведенного агроклиматического районирования А. Х. Шкляра, для территории Беларуси суммы температур воздуха выше 10 ^{0}С колебались от 2050 ^{0}С на севере Беларуси до 2650 ^{0}С на крайнем юго-западе [1]. За период с начала потепления суммы температур значительно возросли и составили от 2230 ^{0}С на крайнем северо-востоке и северо-западе Беларуси до 2900 ^{0}С на крайнем юго-западе, увеличившись таким образом на 200–250 ^{0}С. Термические ресурсы, ранее характерные для южных регионов страны, в настоящее время наблюдаются в центральных, а в южных регионах появились новые агроклиматические области, ранее характерные по температурным условиям для северных районов Украины. Северная агроклиматическая область, выделенная ранее А. Х. Шкляром, полностью исчезла [2]. Установлено, что в среднем за 10 лет изолинии сумм температур сдвигаются на север со средней скоростью 120–200 км [2–4]. Учитывая изменение климата и необходимость планирования развития ряда климатозависимых секторов экономики, в первую очередь сельского хозяйства, заданием 1.10 «Новое агроклиматическое районирование и оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси в условиях изменения климата» подпрограммы «Природные ресурсы и их рациональное использование» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. предусмотрено дать оценку возможного изменения границ агроклиматических областей к 2035 г. при различных сценариях изменения климата.

Цели и задачи. Использованные методы. Целью работы является прогноз термических ресурсов территории Беларуси и построение потенциальных границ агроклиматических областей Беларуси на период до 2035 г. При прогнозировании температуры воздуха на территории Беларуси были использованы данные эксперимента SSP2-4.5 ансамбля моделей семейства CMIP6, адаптированных для территории Беларуси С. А. Лысенко в 2023 г. [5]. В качестве прогнозного периода был выбран интервал с 2031 по 2040 г. Для каждой административной области на каждый месяц года были рассчитаны поправки, на основании которых был рассчитан новый сглаженный годовой ход среднесуточных температур воздуха, который был использован для расчёта будущих сумм температур выше 10 ^{0}С. Результаты расчётов были обработаны в программном продукте MS Office Excel; картографирование выполнено в программной среде ArcGis. На основании прогнозируемых сумм температур были выделены будущие границы агроклиматических областей. Границы подобластей выделены по разности прогнозируемой температуры воздуха самого теплого (июль) и самого холодного (январь) месяцев года.

Результаты и заключение. В текущий период с 2000 по 2022 г. суммы температур воздуха выше 10 ^{0}С на территории Беларуси колеблются в пределах от 2230 до 2900 ^{0}С (рисунок 1а). Амплитуда температур воздуха уменьшается с запада на восток и составляет от 22,5 ^{0}С на западе республики до 25,4 ^{0}С на крайнем юго-востоке. Согласно схеме агроклиматического районирования, выполненного в 2024–2025 гг., агроклиматические области выделялись по суммам активных температур с интервалами 200 ^{0}С [2]. При этом в южных районах Беларуси образовалась новая, вторая по счету агроклиматическая область с суммами температур воздуха более 2800 ^{0}С относительно схемы нового агроклиматического районирования, предложенного В. И. Мельником в 2004 г. [3].

Первая по счёту новая агроклиматическая область с суммами температур воздуха более 2600 ^{0}С, выделенная в 2004 г. в настоящее время является южной агроклиматической областью.

а)



а)

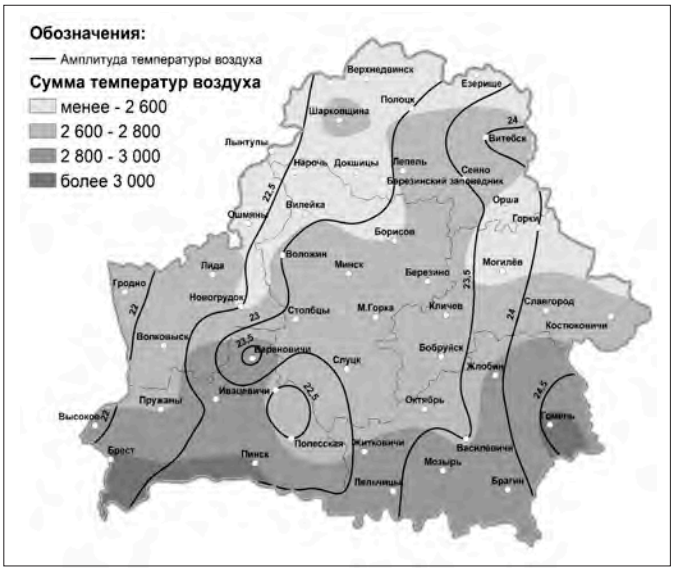


Рисунок 1 *– Пространственное распределение сумм активных температур и амплитуды температуры воздуха по территории Беларуси: а) – фактическое за 2000–2022 гг., б) прогнозируемое к 2035 г. по данным эксперимента SSP2-4.5 ансамбля моделей семейства CMIP6*

Прогноз сумм температур воздуха предполагает дальнейший их рост (рисунок 1б). Так, в северных районах республики суммы температур воздуха выше 10 ^{0}C будут составлять 2450–2600 ^{0}C, а в крайних юго-западных и юго-восточных районах превысят 3000 ^{0}C. Амплитуды температуры воздуха снизятся на 0,4–0,7 ^{0}C по пунктам наблюдений гидрометеорологической сети, а в среднем по республике снизятся на 0,5 ^{0}C.

Таким образом, к 2035 г. современная северная агроклиматическая область с суммами активных температур менее 2400 ^{0}C полностью распадется и сдвинется на север, центральная агроклиматическая область с суммами активных температур от 2400 до 2600 ^{0}C станет северной (рисунок 2). К 2035 г. на территории Беларуси по суммам температур воздуха выше 10 ^{0}C предполагается три агроклиматические области: северная с суммами температур воздуха 2450–2600 ^{0}C, центральная с суммами температур 2600–

2800 ^{0}C и южная с суммами температур 2800–3000 ^{0}C. Из рисунка 1а видно, что в крайних юго-западных и юго-восточных районах начнет зарождаться очередная новая третья по счёту агроклиматическая область с суммами температур выше 3000 ^{0}C.



***Рисунок 2** – Прогнозное агроклиматическое районирование к 2035 г.*

Расчеты показали, что годовая амплитуда температуры воздуха снизится в среднем на 0,5 ^{0}C и составит 23,5 ^{0}C. На рисунке 1б видно, что изолиния прогнозной амплитуды температуры воздуха, равная 23,5 ^{0}C, практически совпадает с изолинией 24 ^{0}C на рисунке 1а. Таким образом, для сохранения преемственности в выделении агроклиматических подобластей их граница была проведена по новой изолинии амплитуды, равной 23,5 ^{0}C. На картах распределения сумм активных температур видно, что по МС Витебск, Сенно и Лепель суммы температур значительно отличаются от окружающих метеорологических станций. Это объясняется тем, что метеорологическая площадка МС Витебск располагается в городе, где температура воздуха выше, чем в окружающих его сельских территориях, а на метеорологических станциях Лепель и Сенно в 2013–2017 гг. имеются пропуски в рядах наблюдений.

Таким образом, основываясь на вышеизложенном, можно сделать следующие выводы:

1. К 2035 г. термические ресурсы Беларуси существенно возрастут. Суммы температур воздуха выше 10 ^{0}C по всей территории вырастут на 150–200 ^{0}C.

2. Снизится континентальность климата. Годовая амплитуда температур уменьшится на 0,5 ^{0}C в среднем по Беларуси и на 0,4–0,7 ^{0}C по данным отдельных метеорологических станций.

3. Произойдет очередной сдвиг агроклиматических областей. Нынешняя северная область полностью распадется. Современная центральная агроклиматическая область с суммами температур воздуха выше 10 ^{0}C от 2450 до 2600 ^{0}C станет северной. К 2035 г. на территории Беларуси по суммам температур прогнозируется выделение трех агроклиматических областей: северной с суммами температур воздуха 2450–2600 ^{0}C, центральной с суммами температур 2600–2800 ^{0}C и южной с суммами температур 2800–3000 ^{0}C. В крайних юго-западных и юго-восточных районах начнет зарождаться очередная новая третья по счёту агроклиматическая область с суммами температур выше 3000 ^{0}C.

4. Граница агроклиматических подобластей, проходящая по изолинии годовой амплитуды температуры воздуха, равной 24 °C, сдвинется на восток, а прогнозная изолиния амплитуды температуры воздуха, равная 23,5 °C, практически совпадет с нынешним расположением современной границы подобластей.

Список использованных источников

1. Шкляр, А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и их использование в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. – Минск : Выш. шк., 1973. – 430 с.

2. Мельник, В. И. Новое агроклиматическое районирование и оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за 2000–2022 гг. / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – 2025. – № 1. – С. 5–21.

3. Мельник, В. И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси : автореф. дис. … канд. геогр. наук : 25.00.23 / В. И. Мельник ; Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2004. – 22 с.

4. Лысенко, С. А. Особенности современного изменения климата в Республике Беларусь / С. А. Лысенко, И. В. Буяков // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2020. – № 3. – С. 22–41.

5. Модельные оценки влияния процессов обводнения и заболачивания территорий Беларуси на микроклимат прилегающей местности : отчет о НИР (промежут.) / Институт природопользования НАН Беларуси ; рук. С. А. Лысенко. – Минск, 2023. – 178 с. – № ГР 20210214.

FORECAST OF CHANGES IN THE BORDERS OF AGROCLIMATIC REGIONS OF BELARUS BY 2035

I. V. Buyakov, V. I. Melnik, M. A. Khitrykau

The paper shows that by 2035, the sums of air temperatures above 10 ^{0}C will increase by 150–200 ^{0}C. There will be a shift of the boundaries of agroclimatic zones to the north. Thus, by 2035 the Northern zone with the sums of air temperature below 2400 ^{0}C will disappear, and the territory of Belarus is going to have three agroclimatic zones with a new, third agroclimatic region with the sums of air temperatures exceeding 3000 ^{0}C that will start to emerge in the extreme southwestern and southeastern regions of the country.

УДК 551.48(476.7)

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ

А. А. Волчек
Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

Дана современная оценка водных ресурсов рек бассейна Западного Буга. Показана тенденция изменения температуры воздуха, атмосферных осадков и речного стока. Выполнено моделирование изменения климата по трём сценариям выбросов парниковых газов (A1B, A2 и B1), на основании которых смоделированы вероятностные прогнозные оценки стока рек.

Ключевые слова: *Западный Буг, сток, прогноз, сценарий, изменение климата.*

Введение. Речной сток в основном формируется под воздействием природно-климатических факторов, однако в последнее время антропогенные воздействия становятся все более существенными и в ряде случаев соизмеримы с естественными процессами формирования стока. Мощным антропогенным фактором, оказывающим значительное влияние на речные экосистемы, являются крупномасштабные мелиорации, начало которых приходится на середину 60-х гг. прошлого столетия. При этом бассейн Западного Буга был масштабно мелиорирован, что не могло не сказаться на речном стоке. Кроме того, существенное влияние на сток оказывает наблюдаемое глобальное потепление климата.

Река Западный Буг является самым западным водотоком Беларуси. По ней проходит часть государственной границы Беларуси и Польши. Начинается Западный Буг на западном склоне Подольской возвышенности, около д. Верхобуж Залочанского района Львовской области (Украина), впадает в Загжинское водохранилище на р. Нарев вблизи Варшавы (Польша). До 1962 г. Западный Буг считался притоком Вислы, а Нарев его крупнейшим притоком. В настоящее время часто рассматривается как основной приток Нарева, на котором построено Загжинское водохранилище – основной источник питьевого водоснабжения г. Варшава [1].

Цель работы – современная оценка водных ресурсов р. Западный Буг и их прогноз.

Исходные данные и методы исследования. Река Западный Буг имеет протяженность 772 км, из которых 587 км относится к территории Польши. Кроме ее верхнего участка на территории Украины, где расположены плотины Добротворовской и Сокальской электростанций, основное русло реки Западный Буг незарегулировано. Однако притоки относятся к категории сильно зарегулированных рек, особенно в Украине (более 218 плотин) и в Пловдиве (более 400 плотин) [1].

Водосбор р. Западный Буг в пределах Беларуси располагается на северо-западной оконечности Полесской низменности (Брестское Полесье), сливающейся с Прибугской равниной и относится к Западно-Бугскому гидрологическому району [2]. У р. Западный Буг имеется 13 притоков протяженностью более 50 км, в том числе 5 – в Украине, 2 – в Беларуси и 6 – в Польше. Четыре из них являются трансграничными реками. На территории Беларуси Западный Буг включает более десятка притоков. Суммарная длина притоков, протяженностью более 10 км, превышает 4 тыс. км. Основными притоками в Беларуси являются Мухавец, Лесная, Нарев, Пульва, Копаевка и Спановка.

Ресурсы поверхностных вод бассейна р. Западный Буг в пределах Беларуси (среднемноголетний речной сток) составляют 1,4 км^3/год. Ресурсы подземных вод – 0,51 км^3/год, общий объем водных ресурсов – 1,91 км^3/год.

Исходными данными послужили материалы государственных кадастров наблюдений за стоком рек по действующим гидрологическим постам за период инструментальных наблюдений.

Для прогнозов изменения климата использованы как глобальные, так и региональные климатические модели, которые основаны на описании процессов в динамике и базируются на численном решении систем уравнений в частных производных математической физики. Кроме того, необходимость использования климатических моделей для прогноза метеорологических показателей вместо статистических методов обработки метеорологических данных обусловлена многообразием как природных, так и антропогенных факторов, как в целом на планете, так и в регионе, которые оказывают и потенциально могут оказывать влияние на изменение климата [3]. Именно поэтому прогнозирование, основанное на использовании глобальных и региональных климатических моделей, является более корректным, чем просто использование статистических методов. Вместе с тем, для выполнения первичного анализа и обобщения исходной информации, определения тенденций изменения климата за предыдущий период использованы статистические методы.

Результаты моделирования с помощью глобальной модели служат граничными и начальными условиями для региональной климатической модели, которая уточняет глобальный прогноз с использованием более мелкой сетки [1].

В исследовании использованы выходные данные моделирования по трём сценариям выбросов парниковых газов (A1B, A2 и B1) [1].

Для прогнозных оценок изменения стока рек адаптирован метод гидролого-климатических расчетов, основанный на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов [4]. Модель использована для оценки возможных изменений водных ресурсов рек в зависимости от тех или иных гипотез климатических колебаний и антропогенных воздействий на характеристики водосборов [4, 5].

Моделирование водного баланса исследуемой реки осуществлялось в два этапа. На первом этапе производилась настройка модели по известным составляющим водного и теплового балансов исследуемой реки. Второй этап представлял собой непосредственный расчет водного баланса исследуемой реки с использованием параметров, полученных при калибровке модели. Расчет элементов водного баланса исследуемой реки производился с учетом конкретных особенностей рассматриваемого водосбора.

Результаты и их обсуждение. В течение последних лет водные ресурсы рек бассейна Западный Буг были подвержены трансформации в силу воздействия естественных и антропогенных факторов на сток. Уточненные поверхностные водные ресурсы Западного Буга за период с 1956 по 2015 г. и данные о трансформации стока на исследуемом 60-летнем интервале по отношению к периоду инструментальных наблюдений до 1996 г. приведены в таблице 1 [1].

***Таблица 1** – Естественные ресурсы речных вод бассейна Западного Буга в 1956–2015 гг. (числитель) и изменение стока по отношению к периоду до 1996 г. (знаменатель)*

Речной бассейн	Речной сток, км^3/год									
	местный					общий				
	обеспеченность, %					обеспеченность, %				
	5	25	50	75	95	5	25	50	75	95
Западный Буг	2,8 -0,2	1,6 -0,2	1,3 -0,1	0,9 -0,2	0,7 -0,1	2,8 -0,2	1,6 -0,2	1,3 -0,1	0,9 -0,2	0,7 -0,1
В целом по Беларуси	**51,8** **0,3**	**37,9** **0,4**	**34,1** **0,1**	**28,1** **-0,2**	**22,7** **-0,1**	**88,2** **1,1**	**64,3** **0,9**	**56,9** **0,7**	**46,4** **0,2**	**37,5** **1,2**

Выявлено незначительное уменьшение стока. Изменения объемов стока рек и гидрологического режима в современных условиях вызваны усилением интенсивности общей циркуляции атмосферы.

В обобщенном виде характеристики расходов воды в р. Западный Буг и в его притоках, на которых проводятся регулярные наблюдения стоковых характеристик, приведены в таблице 2.

***Таблица 2** – Обобщенные гидрологические характеристики р. Западный Буг и его основных притоков [6]*

Наименование реки – створ	Расстояние от устья, км	Расход воды, м^3/с		
		средне-многолетний	максимальный	минимальный
р. Зап. Буг – Лыховец (Украина)	602	30,3	216	8,2
р. Зап. Буг – Сишижув (Польша)	536,6	40,9	692,0	3,2
р. Зап. Буг – Влодава (Польша)	378,3	54,4	769,0	8,0
р. Зап. Буг – Франкополь (ниже по течению от границы Беларуси и Польши)	163,2	119,0	1480,0	12,4
р. Зап. Буг – Вышкув (Польша)	33,8	157,0	2400,0	19,8
р. Копаювка – Черск	10,0	1,4	20,7	0,0
р. Мухавец – Брест (н/б)	1,8	23,4	269,0	0,8
р. Пульва – Высокое	28,0	1,17	42,8	0,018
р. Лесная Правая	63,0	8,4	201,0	0,4

На территории Беларуси не производятся измерения стоковых характеристик р. Западный Буг. Поэтому данные о среднемноголетних, минимальных и максимальных расходах воды в реке приведены по данным украинской и польской сторон. Среднемноголетние расходы воды в р. Западный Буг составляют [1]:

- перед Зегжинским озером (Польша) – 157 м³/с (5,0 км³/год);
- на границе между Украиной и Республикой Беларусь – 50 м³/с;
- на границе между Республикой Беларусь и Польшей – 100 м³/с.

Характеристики стока р. Западный Буг приведены в таблице 3.

Таблица 3 *– Ресурсы речного стока в характерные годы [1]*

Расчетные створы	Объем, млн м³/год / расход, м³/с		
	средние за многолетний период	обеспеченность, 75/95%	
р. Западный Буг – граница с Украиной	1720 / 54,5	1270 / 40,2	858 / 27,2
в т.ч. в пределах Беларуси	700 / 22,2	470 / 14,9	280 / 8,77
р. Западный Буг – граница с Польшей	2940 / 3,25	2300 / 72,9	1540 / 48,8

Меженный период почти не выражен, грунтовое питание незначительное, распределение стока по месяцам сравнительно равномерное: если на долю каждого весеннего месяца приходится в среднем 10–20 %, то средний расход летних месяцев составляет 7–10 % от годового. В целом на долю весеннего стока приходится 40 %, на летне-осеннюю межень – около 35 % и на зимний период – около 25 % от годового. По мере продвижения от истока к устью несколько увеличивается доля весеннего стока; соответственно несколько снижается доля летне-осеннего и зимнего стока.

Весеннее половодье в бассейне Западного Буга обычно начинается в первой половине марта и продолжается в среднем 40–50 дней. Превышение максимального весеннего уровня над низшим многолетним в среднем составляет 1,4–2,0 м, а в годы с высоким половодьем – 2,0–3,8 м.

Летне-осенняя межень часто нарушается дождевыми паводками. Осенние паводки имеют чётко выраженную волну и обычно продолжаются 15–20 дней. В отдельные годы осенние паводки достигают высоты весеннего половодья.

В последние 50 лет выше нормы были наводнения 1958, 1962,1967, 1971 и 1974 гг. Наиболее значительное весеннее половодье отмечено в 1979 г., когда максимальный расход в створе Бреста составил 269 м³/с (01.04.1979).

Тенденции изменения климата за прошедший репрезентативный период времени определены с использованием статистических методов. В качестве репрезентативных периодов приняты периоды с 1986 г. по 2010 г. по отношению к периоду с 1961 г. по 1985 г. с учетом мирового опыта определения тенденций изменения климатических характеристик. Оценка изменений климатических характеристик выполнена статистическими методами в месячном разрезе с определением изменения температуры воздуха (^{0}C) и количества осадков (%) за период с 1986 г. по 2011 г. по отношению к периоду с 1961 г. по 1985 г. с учетом статистической значимости сравнения двух выборок. При этом статистически значимых различий не обнаружено.

Из результатов оценок тенденций изменения климатических характеристик следует, что за последние 50 лет в бассейне р. Западный Буг произошло повышение температуры воздуха в среднем на 1,1 ^{0}C. При этом отмечается существенная неравномерность внутригодового распределения повышения температуры воздуха с максимальным повышением в зимний период – до 2,4 ^{0}C.

В годовом разрезе существенного изменения суммарного годового количества осадков не произошло – установлено уменьшение их количества в бассейне в среднем на 1,8 %. При этом также отмечается существенная неравномерность внутригодового распределения изменения количества осадков.

В разрезе среднемесячных значений стока отмечается общее его снижение во все месяцы с большей или меньшей интенсивностью.

Долгосрочные на период 35–50 лет сценарии изменения климата для бассейна Западный Буг получены путем расчетов по региональной климатической модели CCLM с использованием выходных данных глобальной климатической модели ECHAM5.

Сценарии изменения климата получены для двух вариантов (сценариев) выбросов парниковых газов (принятых в мировой практике и наиболее используемых для оценок изменения климата сценариев социально-экономического развития человечества):

I вариант: A1B (*relatively high-emission scenario*) – более «жесткий» сценарий, относительно высокие выбросы парниковых газов за счет быстрого развития экономики и роста численности населения до середины XXI века, а затем замедление роста населения, быстрое внедрение современных технологий и сбалансированное использование энергетических ресурсов;

II вариант: B1 (*low-emission scenario*) – более «мягкий» сценарий, невысокие выбросы парниковых газов, весьма вероятна внезапная глобализация, число жителей изменяется подобно тому, как планируется в сценарии A1, но происходит весьма быстрое превращение экономической системы в информационную, а также общество становится менее потребительским, интенсивное внедрение новых чистых технологий.

В общем виде по сценариям изменения климата на период 2025–2050 гг. (для среднего значения 2035 г.) для рек бассейна Западный Буг можно сформулировать следующие выводы:

– в среднем за год повышением температуры воздуха на 1,7 ^{0}C по сценарию A1B с максимальным повышением температуры в зимние и весенние месяцы (на 3,1 ^{0}C);

– в среднем за год повышением температуры воздуха на 1,3 ^{0}C по сценарию B1 с максимальным повышением температуры в зимние и весенние месяцы (на 2,6 ^{0}C);

– в среднем за год увеличением осадков на 3,1 % по сценарию A1B с более значительным уменьшением количества осадков в летние месяцы (на 10 %) и увеличением количества осадков в другие месяцы;

– в среднем за год увеличением осадков на 1,1 % по сценарию B1 с более значительным уменьшением количества осадков в летние месяцы (на 14 %) и увеличением количества осадков в другие месяцы.

Выполнены прогнозные оценки по рекам бассейна Западный Буг для двух сценариев развития климата A1B и B1. В среднем за год в бассейне р. Западный Буг возможно снижение стока на 1,5 %. В зимний период прогнозируется не очень значительное увеличение стока – на 7–13 %. Весной прогнозируется увеличение стока не более чем на 6–10 %. В летний период возможно снижении стока на 11–35 % (табл. 4).

Таблица 4 *– Прогноз изменения поверхностного стока до 2035 года для бассейнов р. Западный Буг, в % от современного состояния*

Река – населенный пункт	Зима	Весна	Лето	Осень	Среднегодовой
Мухавец – Брест	7,6	5,8	-11,9	3,2	1,2
Копаювка – Черск	7,6	5,9	-21,7	1,6	-1,7
Пульва – Высокое	8,4	7,3	-34,6	3,1	-4,0
Среднее по бассейну:	**7,9**	**6,3**	**-22,8**	**2,6**	**-1,5**

Заключение. Прогноз стока на период до 2035 г. в основном подтвердил выявленные тенденции. При незначительном изменении стока в среднем за год высока вероятность его неравномерности и разнонаправленности в сезоны и месяцы. Особенно значительно может изменяться сток в летние месяцы с его снижением во все сезоны.

Прогнозные оценки изменения стока рек в условиях изменяющегося климата следует рассматривать как вероятностные, связанные с допущением ряда неопределенностей. Однако значимость оценок и прогнозов речного стока в условиях изменяющегося климата определяется целесообразностью их последующего учета при планировании водоохранных и водохозяйственных мероприятий, связанных с совершенствованием управления речным бассейном Западного Буга.

Список использованных источников

1. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфомук, И. А. Булак; под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.

2. Волчак, А. А. Гідралагічная вывучанасць / А. А. Волчак, П. С. Лопух // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2024. – С. 136.

3. Руководство по водным ресурсам и адаптации к изменению климата. – ООН, Нью-Йорк и Женева, 2009 г.

4. Мезенцев, В. С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования / В. С. Мезенцев // Водные ресурсы, 1995. – Том 22, № 3. – С. 299–301.

5. Волчек, А. А. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – Екатеринбург, 2007. – № 1. – С. 50–62.

WATER RESOURCES OF THE WESTERN BUG RIVER: CURRENT STATE AND FORECAST

A. A. Volchak

A modern assessment of water resources of the rivers of the Western Bug basin is given. The tendency of change in air temperature, precipitation and river runoff is shown. Climate change modeling is performed for three greenhouse gas emission scenarios (A1B, A2 and B1), on the basis of which probabilistic forecast estimates of river runoff are modeled.

УДК 504.05

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА В КОНТЕКСТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

А. А. Волчек, Л. В. Образцов, Л. Г. Срывкина
Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

Жизненный цикл объекта строительства рассмотрен в качестве объекта управления в системе сокращения воздействия строительной деятельности на окружающую среду. Обоснована необходимость вариантной проработки решений, связанных с выбором строительных материалов и строительных технологий, на предпроектной стадии.

Ключевые слова: объект строительства, жизненный цикл, строительная деятельность, предпроектная документация.

Жизненный цикл объекта строительства представляет собой последовательность стадий от момента возникновения бизнес-идеи о создании объекта до его сноса [1, 2]. Каждая из них определенным образом связана с воздействием на окружающую среду: либо с формированием потенциала этого воздействия, либо с непосредственным воздействием.

На **предынвестиционной (предпроектной)** стадии осуществляется разработка предпроектной документации, финансовая и экономическая оценка инвестиционного проекта, подготовка и выдача комплекта разрешительной документации на возведение или реконструкцию объекта.

На **инвестиционной** стадии разрабатывается проектная документация, возводится (реконструируется) объект и вводится в эксплуатацию.

На **эксплуатационной** стадии осуществляется производственная и техническая эксплуатация объекта, обеспечение его необходимыми коммунальными ресурсами и санитарное содержание. Производственная эксплуатация подразумевает использование объекта по основному назначению, в рамках вида экономической деятельности, для которой он был создан. Техническая эксплуатация включает техническое обслуживание, текущий, капитальный ремонт и модернизацию объекта и его частей. Она создает необходимую базу для извлечения функциональной полезности из объекта. Таким образом, на эксплуатационной стадии жизненного цикла объекта имеет место сочетание эксплуатационной и строительной деятельности.

Ликвидационная стадия заключается в сносе входящих в состав объекта зданий, сооружений, инженерных и транспортных коммуникаций, демонтаже оборудования и утилизации отходов.

Строительная деятельность на инвестиционной, эксплуатационной и ликвидационной стадиях оказывает непосредственное воздействие на окружающую среду. Его можно рассматривать как прямое и косвенное. Прямое влияние строительной деятельности непосредственно связано с процессами, происходящими на строительной площадке (объекте):

1) с освоением территории строительной площадки, в том числе проведением работ, связанных с нарушением земель и вырубкой древесно-кустарниковой растительности;

2) с организацией работы на строительной площадке: устройством и разборкой временных зданий и сооружений административно-бытового, складского и производственного назначения, временного ограждения строительной площадки; устройством внутриплощадочных дорог; прокладкой сетей временного электроснабжения для силовых и технологических потребителей, внутреннего и наружного освещения объекта, участков производства работ и инвентарных временных зданий; организацией временного водоснабжения для обеспечения производственных, хозяйственно-бытовых и противопожарных нужд, временного водоотведения; организацией и обеспечением функционирования пунктов мойки колёс автотранспорта;

3) с выполнением строительно-монтажных работ, включая эксплуатацию строительных машин и механизмов, в ходе возведения, реконструкции, модернизации, технической модернизации, ремонта, сноса объекта, монтажа и демонтажа инженерного, технологического и иного оборудования, а также при постановке на консервацию объекта незавершенного строительства и расконсервации его.

Косвенное влияние строительной деятельности связано с использованием овеществленного труда, воплощенного в различных видах ресурсов: в производственных материальных (основные и вспомогательные материалы, изделия, конструкции) и технических ресурсах (строительные машины и механизмы, оборудование, инструмент, транспортные средства, здания и сооружения производственного назначения); в

непроизводственных ресурсах, непосредственно не занятых в строительном производстве, но создающих условия для его функционирования; в природных ресурсах (минеральном сырье, водных и энергетических ресурсах). Эти ресурсы при своем создании (изготовлении, добыче), доставке к объекту строительства, ликвидации оказывают влияние на окружающую среду.

Особенно велико, в связи с огромной материалоемкостью строительства, влияние на окружающую среду процессов производства, использования и утилизации строительных материалов, изделий и конструкций. Строительный сектор дает не менее 37 % глобальных выбросов парниковых газов. Наибольший углеродный след оставляют бетон, сталь и алюминий. Так, переработка содержащегося в бетоне цемента дает 7 % мировых выбросов углерода [3]. Повсеместно основное внимание уделяется сокращению углеродного воздействия на эксплуатационной стадии при работе технологического и инженерного оборудования; в результате в этой области достигнут значительный прогресс. В то же время оптимизацией решений, связанных с использованием строительных материалов, зачастую пренебрегают.

На предынвестиционной стадии жизненного цикла объект строительства еще не оказывает непосредственного влияния на окружающую, но этот период является определяющим в формировании потенциальных возможностей и рисков объекта. Именно тогда инвестором (заказчиком) принимается принципиальное решение о реализации инвестиционного проекта и его основных параметрах, формализуемых в задании на разработку проектной документации.

Для ряда объектов в соответствии с законодательством об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности на предынвестиционной стадии в составе предпроектной документации (рисунок) разрабатывается обоснование инвестиций и выполняется оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС).



Рисунок *– Назначение предпроектной документации*

ОВОС в соответствии с законодательством [4, 5] проводится с целью определения возможного воздействия на окружающую среду, к которому может привести реализация проектных решений; формирования прогноза в отношении изменений и будущего состояния окружающей среды и связанных с этим социально-экономических последствий; разработки мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды. При этом должен осуществляться поиск экологически и экономически аргументированных проектных решений, направленных на исключение или сокращение влияния планируемой деятельности на окружающую среду и здоровье человека. Условия ОВОС включают рассмотрение *вариантов* размещения и (или) реализации планируемой деятельности, а также учет *всех видов планируемой деятельности*: строительства, эксплуатации, вывода из эксплуатации [6].

Рассмотрение ОВОС в составе предпроектной документации по ряду объектов привело к заключению, что анализ воздействия строительной деятельности на окружающую среду разработчики ОВОС фактически не выполняют. Так, по объекту реконструкции действующего производства древесно-стружечных плит в Брестской области в подразделе «Прогноз и оценка изменения состояния атмосферного воздуха» по стадии строительства:

– описаны без выполнения каких-либо расчетов основные источники загрязнения атмосферного воздуха (дорожно-строительная техника, используемая для подготовки строительной площадки; транспортные и погрузочно-разгрузочные работы, включая доставку на рабочие места строительных материалов, изделий и конструкций, приспособлений и инвентаря; строительные работы (приготовление строительных растворов, сварка, резка, механическая обработка строительных материалов, покрасочные и другие работы);

– сделан вывод о «незначительном, локализованном и кратковременном» воздействии указанных источников на атмосферный воздух.

Подобный подход связан, с одной стороны, со сложностью определения конкретных параметров строительных работ (объемов работ, технологии выполнения, применяемых строительных машин и механизмов) на предпроектной стадии, с другой стороны, с недостаточностью методической базы для оценки комплексного воздействия на окружающую среду строительных материалов и строительных технологий для конкретного объекта.

Выводы:

1. Объект строительства представляет собой уникальную комбинацию человеческих и материально-технических ресурсов и способов их взаимодействия. На протяжении длительного жизненного цикла, в результате чередования и комбинирования строительной и эксплуатационной деятельности человека, объект с разной степенью интенсивности влияет на окружающую среду. Поэтому объект строительства целесообразно рассматривать как основной объект управления с точки зрения сокращения воздействия строительной деятельности на окружающую среду.

2. На предпроектной стадии и (или) на раннем этапе разработки проектной документации следует выполнять комплексный анализ жизненного цикла объекта строительства: альтернативную проработку всех стадий с учетом как эксплуатационной, так и строительной составляющей; рассмотрение вариантов строительных материалов и строительных технологий с целью поиска решений, минимизирующих экологическую нагрузку.

3. На объекте строительства происходит взаимодействие различных заинтересованных сторон: государства, инвестора, заказчика (застройщика), разработчиков проектной документации, подрядчиков, поставщиков материально-технических ресурсов, собственника, эксплуатанта. На каждом этапе жизненного цикла объекта их решения, методы осуществления деятельности, приверженность к достижению экологических целей способны влиять на экологическую нагрузку [7]. Для экологизации деятельности участников жизненного цикла объекта строительства необходимо применять различные инструменты и методы: нормативные, информационные, экономические.

Список использованных источников

1. Кодекс Республики Беларусь об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности : 17 июля 2023 г. № 289-З : принят Палатой представителей 28 июня 2023 г. : одобр. Советом Респ. 30 июня 2023 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 28 июня 2024 г. № 15-З // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 08.07.2025.

2. Состав и порядок разработки предпроектной (предынвестиционной документации) = Склад і парадак распрацоўкі перадпраектнай (перадынвестыцыйнай) дакументацыш : СП 1.02.01-2023. – Взамен ТКП 45-1.02-298-2014 (02250) ; введ. 25.07.2023. – Минск : Минстройархитектуры, 2023. – 75 с.

3. Building Materials and the Climate: Constructing a New Future // UN Environmental Programme [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43293. – Дата доступа : 28.06.2025.

4. О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду : Закон Респ. Беларусь от 18 июля 2016 г. № 399-З : в ред. от 17 июля 2023 г. № 296-З // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система. – Дата доступа : 08.02.2024.

5. О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 19 янв. 2017 г. № 47 : в ред. от 12 дек. 2023 № 872 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система. – Дата доступа : 04.04.2024.

6. Об утверждении экологических норм и правил : постановление Минприроды Респ. Беларусь от 31 дек. 2021 г. № 19-Т : в ред. от 18 янв. 2024 г. № 1-Т // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система. – Дата доступа : 08.07.2025.

7. Волчек, А. А. Внедрение экологических методов в деятельность субъектов малого и среднего предпринимательства в строительстве = Implementation of Environmental Methods in the Activities of Small and Medium Sized Businesses in Construction / А. А. Волчек, Л. В. Образцов, Л. Г. Срывкина // Актуальные научно-технические проблемы среды обитания. ICEP – 2023 : сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды», посвященной памяти доцента кафедры природообустройства, кандидата географических наук, доцента Шпока Ирины Николаевны, Брест, 16–17 октября 2023 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2023. – С. 257–266.

CONSTRUCTION PROJECT LIFE CYCLE IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL IMPACT

A. A. Volchak, L. V. Obrazcov, L. G. Sryvkina

The life cycle of a construction project is considered as a management object in a system for reducing the impact of the construction activities on the environment. The need to consider options for solutions related to the selection of construction materials and construction technologies at the pre-design stage is substantiated.

УДК 627.81

ПРОБЛЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩА «СВЕТЛОГОРСКОЕ»

А. А. Волчек, С. И. Парфомук, Н. Н. Шешко, Н. Н. Шпендик
Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

Дана современная оценка водных ресурсов рек Березина и Сведь. Рассчитан водохозяйственный баланс водохранилища «Светлогорское». Определены объемы изъятия воды из рек Березина и Сведь на нужды водохранилища. Рассмотрены экологические риски, связанные с климатическими изменениями.

Ключевые слова: *водохранилище, водохозяйственный баланс, сток, прогноз.*

Современное климатическое потепление вызвало учащение и продолжительность засушливых периодов, поэтому для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур необходимо дополнительное увлажнение. При этом требуется накопление воды в многоводный период для того, чтобы в засушливый период направить эту воду на увлажнение сельскохозяйственных культур. Равнинный рельеф Беларуси затрудняет создание крупных водохранилищ, поэтому необходим поиск локальных мест аккумуляции воды в прудах или возникает необходимость использовать существующие водохранилища в полном объеме.

Светлогорское водохранилище расположено в Светлогорском районе, в 11 км на юг от г. Светлогорск на территории бывших торфоразработок. Строительство водохранилища было начато в 1980 г., завершение работ планировалось на 1985 г. Однако инженеры допустили просчет в проектной документации, сроки ввода объекта в эксплуатацию затянулись и в результате в 1989 г. при попытке пуска водохранилища насосы не смогли его наполнить более чем наполовину от изначально запланированного уровня. С развалом СССР перестала функционировать и насосная система водоема; сейчас он наполняется самотеком из р. Березина.

Площадь наливного водохранилища достигает 14,4 км^2 (в ненаполненном состоянии, по данным земельной информационной системы – 6,3 км^2). Длина – 6,6 км, максимальная ширина – 3,15 км, средняя – 2,14 км. Максимальная глубина 4,5 м, в карьерах глубина доходит до 18 м. Полный объем воды 64,43 млн м^3, полезный – 54,60 млн м^3. Колебание уровня воды на протяжении года до 4 м. Состав сооружений гидроузла: ограждающая дамба, водоподводящие и ловчие каналы, насосные станции, водовыпуски из водохранилища, водоотводящий канал. Водохранилище предназначено для увлажнения сельскохозяйственных угодий на площади 49,8 тыс. га, а также для целей рыбоводства и рекреации.

Наполнение водохранилища производилось за счет стока р. Березина. Подача воды к комплексу осуществлялась по Светлогорскому магистральному каналу, протяженностью холостой части 22,66 км. Забор воды из р. Березина (в период с декабря по май включительно) предусмотрен насосной станцией № 1 с подачей ее в Светлогорский магистральный канал. Наполнение водохранилища предусмотрено с помощью насосной станции № 2, которая в вегетационный период также подает воду на увлажнение сельскохозяйственных угодий. Подача воды на увлажняемые системы была предусмотрена по оросительным каналам общей протяженностью 49,04 км.

В 1996 г. строительство водохранилища было приостановлено. Незаконченное строительством водохранилище было передано на баланс Светлогорскому ПМС в ноябре 1998 г. Заполненный в 1996 г. объем воды до уровня мертвого объема постепенно уменьшался. Ложе водохранилища превратилось в заболоченную территорию, заросшую древесно-кустарниковой и травяной растительностью на 50–60 %.

В основе любой схемы комплексного использования водных ресурсов лежит водохозяйственный баланс, который необходим для обеспечения устойчивого водопользования и управления гидротехническими сооружениями. В случае нарушения водохозяйственного баланса может наступить гидрологическая нестабильность, ведущая к аномальным уровням воды (переполнение или осушение), ухудшение гидробиологических условий, включая эвтрофикацию и дефицит кислорода, нарушение водного режима прилегающих территорий, что может спровоцировать деградацию экосистем, а также экономические потери, связанные с необходимостью реконструкции инфраструктуры.

В соответствии с нормативными документами, схемы комплексного использования водных ресурсов разрабатываются для оценки предельной антропогенной нагрузки на водные экосистемы при удовлетворении потребностей водопользователей. Основное уравнение имеет вид:

$$B = W_{вх} + W_{бок} + W_{пэв} + W_{вв} + W_{дот} \pm \Delta V - W_{исп} - W_{ф} - W_{у} - W_{пер} - W_{вдп} - W_{кп} \ ,$$

где: В – результирующая водохозяйственного баланса на водохозяйственном участке; $W_{вх}$ – объем стока, поступающий за расчетный период с вышележащих участков рассматриваемого водного объекта, м³; $W_{бок}$ – объем воды, формирующийся за расчетный период на расчетном водохозяйственном участке (боковая приточность); $W_{пэв}$ – объем водозабора из подземных водных объектов, осуществляемый в порядке, установленном законодательством; $W_{вв}$ – возвратные воды на водохозяйственном участке: подземные и поверхностные воды, сточные и (или) дренажные воды, отводимые в водные объекты; $W_{дот}$ – дотационный объем воды, поступающий на водохозяйственный участок из систем территориального перераспределения стока (межбассейновые и внутрибассейновые переброски); $\pm\Delta V$ – сработка или наполнение прудов и водохранилищ на расчетном водохозяйственном участке; $W_{исп}$ – потери на дополнительное испарение с акватории водоемов; $W_{ф}$ – фильтрационные потери из водохранилищ, каналов, других поверхностных водных объектов в пределах расчетного водохозяйственного участка; $W_{у}$ – уменьшение речного стока, вызванное водозабором из подземных водных объектов, имеющих гидравлическую связь с рекой; $W_{пер}$ – переброска части стока (объема воды) за пределы расчетного водохозяйственного участка; $W_{вдп}$ – суммарные требования всех водопользователей данного расчетного водохозяйственного участка; $W_{кп}$ – требуемая величина стока в замыкающем створе расчетного водохозяйственного участка (транзитный сток или комплексный попуск, в котором суммированы санитарно-экологические и хозяйственные попуски).

При составлении водохозяйственного баланса предусматривается многовариантная его проработка. Попуски необходимы для нормальной работы водозаборов, поддержания санитарного состояния реки, обеспечения судоходства, а в некоторых случаях – обводнения пойм и нерестилищ. Наполнение водохранилища предусмотрено стоком рек Березина и Сведь.

Река Березина имеет длину 615 км и площадь водосбора 24 650 км². Общее падение 69 м, средний уклон 0,11 ‰, средневзвешенный уклон – 0,08 ‰, коэффициент извилистости – 1,98. Среднегодовой расход воды в устье – 142 м³/с. Березина относится к категории рек с достаточной самоочищающей способностью. Её водообильность в меженный период позволяет производить водоотбор на промышленные и коммунальные нужды в размере 6–8 м³/с. Присутствует значительная природная зарегулированность стока. Река используется как водоприемник мелиоративных каналов. Лесистость водосбора порядка 35 %. Общая заболоченность составляет около 20 % (в том числе 16 % заболоченные леса). Озерность водосбора около 1 %.

Режим реки изучался на 16 гидрологических постах. В настоящее время действует четыре гидрологических поста в районе населенных пунктов Борисов, Березино, Бобруйск и Светлогорск. Гидрологические характеристики реки оценивались по гидрологическим постам наблюдений на р. Березина – г. Бобруйск и р. Березина – г. Светлогорск.

Река Сведь является правым притоком Березины длиной 49 км и площадью водосбора 625 км², средний расход воды в устье 2,60 м³/с. Ширина русла 10–20 м; русло канализовано кроме небольшого участка возле устья. Вдоль реки – обширная сеть мелиоративных каналов. В среднем течении река соединена каналом со Светлогорским водохранилищем.

Определение расчетных гидрологических характеристик годового стока воды и его внутригодового распределения р. Березина осуществлялось непосредственно по данным наблюдений. Пропущенные данные в рядах наблюдений за период 1978–2018 гг. восстановлены с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [1]. Данные о количественных характеристиках стока р. Березина в створе Светлогорск и р. Сведь представлены в таблице 1.

Таблица 1 *– Основные гидрологические характеристики стока исследуемых рек*

Параметры	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
р. Березина в створе Светлогорск													
Q, м³/с	121	127	171	265	171	116	101	92,6	89,9	104	116	112	132
C_v	0,37	0,34	0,30	0,45	0,30	0,32	0,39	0,42	0,29	0,30	0,32	0,29	0,22
р. Сведь													
Q, м³/с	1,32	1,71	3,06	4,68	2,54	1,42	1,01	0,815	0,896	1,09	1,51	1,29	1,78

Примечание: Q – расход воды, м³/с; C_v – коэффициент вариации; C_s – коэффициент асимметрии.

Анализ внутригодового распределения стока р. Березина по месяцам показал, что на весенний период приходится 39 % от годового стока, зимний сток составляет 22 % от годового стока, на летне-осенний сезон приходится 39 % от годового стока. При определении гидрологических характеристик р. Сведь использованы региональные методы расчета гидрологических характеристик, основанные на результатах обобщения данных гидрометеорологических наблюдений в районе проектирования с учетом поправок на влияние местных азональных факторов (табл. 1). На р. Сведь основной сток приходится на весенний период (48 %), зимний сток составляет 20 % от годового стока, а на летне-осенний сезон – 32 % от годового стока.

Расчет экологического стока осуществлялся по методу повышения обеспеченности, который подразумевает выделение нижнего и верхнего предела изменения стока, встречающегося на реальной реке. Суть метода подробно описана в работе [2]. Учитывая многолетние наблюдения за стоком р. Березина, размер экологического стока в створе Светлогорск принят как 75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности и составил 34,7 м^3/с. По методу переноса обеспеченностей экологический сток р. Березина 95 % вероятности превышения (обеспеченности), согласно проведенным гидрологическим расчетам, составляет 67,7 м^3/с. Для р. Сведь значение экологического стока принято равным 75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности и составляет 0,332 м^3/с. А по методу переноса обеспеченностей экологический сток р. Сведь 95 % вероятности превышения (обеспеченности) равен 0,706 м^3/с.

Формирование режима подземных вод происходит, в основном, под влиянием климатических факторов и поверхностных водотоков. Глубина залегания первого от поверхности горизонта незначительная и, благодаря созданию избыточного увлажнения почвогрунтов в пониженных частях рельефа, способствует заболачиванию. Избыточное увлажнение грунтов связано с незначительными уклонами поверхности земли, а также со слабой врезанностью гидрографической сети, неспособной обеспечить разгрузку накапливающихся подземных и поверхностных вод. Приурочены грунтовые воды к современным болотным образованиям, внутриморенным и водно-ледниковым отложениям. Региональным водоупором в пределах ложа водохранилища являются отложения верхнемелового возраста, которые представлены мергелями и мелами. Залегают они на глубине 90–100 м от поверхности земли.

На берегах р. Березина расположены крупнейшие потребители рекреационных ресурсов – города Борисов, Бобруйск и Светлогорск. У города Борисова выделено 4 участка, вмещающих одновременно до 25 тысяч отдыхающих. Запасы имеющихся пресных поверхностных и подземных вод Светлогорского района достаточны для удовлетворения не только существующих, но и перспективных потребностей населения и отраслей экономики. Наибольшую нагрузку на р. Березина в створе г. Светлогорск, как по объему отводимых очищенных стоков, так и по массе содержащихся в них загрязняющих веществ, оказывает ОАО «СветлогорскХимволокно».

Водохозяйственные балансы участков водосборов, для которых технически возможна подача воды из водохранилища «Светлогорское», выполнены с целью оценки имеющихся ресурсов поверхностного стока в год расчетной обеспеченности (P = 75 %). Расчеты выполнены по составляющим водного баланса – приходная часть и расходная часть. Характеристика водохозяйственного участка р. Березина представлена в таблице 2.

Таблица 2 *– Характеристика водохозяйственного участка р. Березина*

Створ	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км^2	Расходы воды, м^3/с				
			норма стока	C_v	расчетная обеспеченность,%		
					50	75	95
Борисов	383	5690	35,2	0,18	34,7	31,8	28,5
Бобруйск	167	20300	114	0,21	115	99,2	75,3
Светлогорск	68	23300	132	0,22	131	111	82,7

Анализ структуры поверхностного стока позволил установить основные направления линий тока и возможных участков увлажнения непосредственно из р. Сведь. По результатам водохозяйственных расчетов в пределах данного участка определен график подачи воды из двух основных источников р. Березина и р. Сведь. В качестве оценки допустимых объемов изъятия принята разница стока расчетной обеспеченности (75 %) и величины стока данной обеспеченности вычисленной методом переноса обеспеченностей. Это позволяет наиболее объективно оценить объем забора, оказывающий минимальное воздействие на естественный гидрологический режим реки. Общий объем забора из р. Березина составил 37 720,00 тыс. м^3, из р. Сведь – 3 673,71 тыс. м^3. При этом доля снижения стока р. Березина составила около 1 %, что находится в пределах допустимых погрешностей. В свою очередь в период февраль–апрель доля снижения экологического стока р. Сведь составила 20 %, при допустимых 75%.

Поверочный расчет для года 90 % обеспеченности показал достаточность полного объема водохранилища для удовлетворения сельского хозяйства в водных ресурсах, при этом доля забора в стоке

р. Березина в расчетном створе возросла до 1,5 %, что также незначительно влияет на экологическое состояние реки. Начало и график наполнения водохранилища в феврале–мае остается в данном случае без изменений, только в июне забор воды возрастает до 9 000 тыс. м^3 и при необходимости наполнение осуществляется в июле в объеме 2 200 тыс. м^3. Не значительно снижается максимальный объем наполнения и составляет 44 236,6 тыс. м^3.

Для бассейна р. Березина с учетом использования наиболее консервативных сценариев изменения климата повышение температуры в среднем за год может составить до 1,9 ^{0}С при максимальном повышении зимой на 2,3 ^{0}С, летом – на 1,9 ^{0}С, весной и осенью – примерно на 1,7 ^{0}С. При этом годовое количество осадков изменится незначительно (суммарно за год уменьшится на 2 %) с увеличением их зимой (на 7 %), максимальным уменьшением летом (на 10 %), в меньшей степени уменьшением весной (на 4 %) и незначительном уменьшении осенью (в среднем на 1,6 %) [3].

Результаты прогнозных изменений стока по бассейну р. Березина на период до 2035 г. приведены в таблице 3 [3].

Таблица 3 *– Прогноз изменения поверхностного стока до 2035 г. для бассейна реки Березина, в % от современного состояния*

Расчетный створ	Зима	Весна	Лето	Осень	Среднегодовой
Борисов	13,7	-0,8	-3,5	-1,1	2,1
Бобруйск	4,3	-18,4	-2,1	-10,8	-6,7

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы о прогнозном изменении стока в бассейне Березины до 2035 г.:

– снижение среднегодового стока на юге бассейна;

– незначительное изменение стока в зимний период по бассейну на юге и увеличение на севере;

– в весенний период, за редким исключением, вероятно снижение стока;

– в летний период прогнозируется некоторое уменьшение стока;

– в осенний период (особенно в начале осени – до середины октября) также прогнозируется снижение стока.

В качестве инженерно-технического решения для повышения эффективности мониторинга за уровнем водопотребления и водопользования предлагается установка измерительного устройства в реперных точках расчетных створов – стационарной сваи [4].

Таким образом, полный объем водохранилища составил 45 119,00 тыс. м^3, мертвый объем – 21 253,8 тыс. м^3. Средняя глубина при минимальных уровнях водохранилища составила 1,72 м, что обеспечивает защиту от зарастания ложа водохранилища, при этом минимальные средние глубины приходятся на зимний и осенний периоды, когда водная растительность имеет минимальную активность. Общие потери составили 17 320,27 тыс. м^3, из которых 2 204,46 тыс. м^3 – фильтрация в оградительный канал.

Список использованных источников

1. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – № 1. – С. 22–30.

2. Ясельда / И. В. Абрамова [и др.] ; под общ. ред. А. А. Волчека, И. И. Кирвеля, Н. В. Михальчука ; Национальная академия наук Беларуси, Полесский аграрно-экологический институт. – Минск : Беларуская навука, 2017. – (Реки Полесья). – 416 с.

3. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфомук, И. А. Булак; под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.

4. Волчек, А. А. Оценка допустимого отбора речных вод пойменными рыбхозами Белорусского Полесья / А. А. Волчек, Д. Н. Дашкевич, М. Ф. Кухаревич, С. И. Парфомук, С. В. Сидак, Н. Н. Шешко, Н. Н. Шпендик // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2025. – № 1. – С. 76–99.

PROBLEMS OF THE SVETLOGORSKOYE RESERVOIR

A. A. Volchak, S. I. Parfomuk, N. N. Sheshko, N. N. Shpendik

The article presents a modern assessment of water resources of the Berezina and Sved rivers. The water balance of the Svetlogorskoye reservoir was calculated. The volumes of water withdrawal from the Berezina and Sved rivers for the needs of the reservoir were determined. Environmental risks associated with climate change were considered.

УДК 551.48(476)

СОВРЕМЕННАЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИТУАЦИЯ В БАССЕЙНЕ Р. МУХАВЕЦ

О. И. Грядунова
Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

Статья посвящена исследованию современного состояния водохозяйственной ситуации в бассейне реки Мухавец, включая анализ использования водных ресурсов, динамику водопотребления, комплекс антропогенных факторов и основные экологические вызовы в регионе. Особое внимание уделено влиянию хозяйственной деятельности на качество и количество водных ресурсов бассейна р. Мухавец и необходимости рационального ресурсопользования.

Ключевые слова: поверхностные воды, подземные воды, водопользование, добыча воды, изъятие, сточные воды, загрязняющие вещества.

Речной бассейн Мухавца служит наглядным примером территории с высокой степенью освоенности, где интенсивно используются водные ресурсы, подвергаясь качественному и количественному изменению. Водосборная площадь характеризуется высокой концентрацией населенных пунктов, промышленных объектов, сельскохозяйственных предприятий и полигонов твердых бытовых отходов. Загрязнение реки происходит вследствие организованных сбросов, талых и дождевых вод с участков, испытывающих антропогенное воздействие. Это приводит к изменению естественной среды обитания водных организмов и создает риски для систем жизнеобеспечения населения. В этой связи для устойчивого использования водных ресурсов в пределах речного бассейна важным является проведение оценки экологического состояния водных объектов, а также прогнозирование качества воды, предназначенной для питьевого водоснабжения, хозяйственно-бытовых нужд и рыбоводства.

Мухавец играет ключевую роль не только как основная водная артерия Брестского Полесья, но и как важный фактор развития западной части Беларуси. На берегах реки расположены четыре города (Пружаны, Кобрин, Жабинка, Брест) и проживает более 560 тысяч человек (по данным на 01.01.2024), обеспечивая их жизнедеятельность водой, благоприятными условиями для отдыха, судоходства и рыболовства.

В настоящее время большое внимание уделяется выполнению показателей целей устойчивого развития (ЦУР). В области водных ресурсов это ЦУР 6 «Обеспечение учета и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех». Один из таких показателей – это интенсивность использования запасов пресной воды (водный стресс). Водный стресс показывает степень нагрузки на водные ресурсы региона и отражает объемы забираемой воды из доступных источников по сравнению с общим объемом возобновляемых ресурсов. Высокий уровень водного стресса указывает на то, что регион испытывает дефицит воды и существует риск истощения водных ресурсов. В бассейне р. Западный Буг показатель водного стресса варьировал от 1,9 до 2,5 %, что свидетельствует о низком уровне стресса, но в 2023 г. интенсивность водозабора увеличилась в 3 раза.

***Таблица 1** – Интенсивность использования запасов пресной воды (водный стресс)*

Год	Республика Беларусь	Бассейн реки Неман	Бассейн реки Западная Двина	Бассейн реки Западный Буг	Бассейн реки Днепр	Бассейн реки Припять
2012	2,8	3,3	1,2	2,4	3,4	3,6
2013	2,7	3,3	1,2	2,4	3,2	3,4
2014	2,7	3,5	1,2	2,5	3,2	3,2
2015	2,5	3,4	1,2	2,2	3,0	2,6
2016	2,5	3,5	1,1	2,3	3,0	2,8
2017	2,4	3,1	1,0	2,3	2,7	3,1
2018	2,4	3,1	1,0	2,2	3,0	2,7
2019	2,4	3,2	1,0	1,9	3,0	2,5
2020	2,3	3,0	1,0	2,1	3,0	2,4
2021	2,5	3,5	1,0	2,1	3,0	2,7
2022	2,4	3,7	1,0	2,1	3,0	2,6
2023	1,8	3,8	0,7	6,4	1,9	1,7

В настоящее время водопользование осуществляется с изъятием вод из водных объектов (хозяйственно-питьевое, производственное и сельскохозяйственное водоснабжение, орошение) и без изъятия (гидроэнергетика, рыбное хозяйство, водный транспорт, рекреация). Динамика добычи подземных вод и изъятия поверхностных представлена на рисунке 1; отмечается значительное сокращение использования поверхностных вод. В последние 10 лет наметилась тенденция сокращения добычи (изъятия) чистой воды.

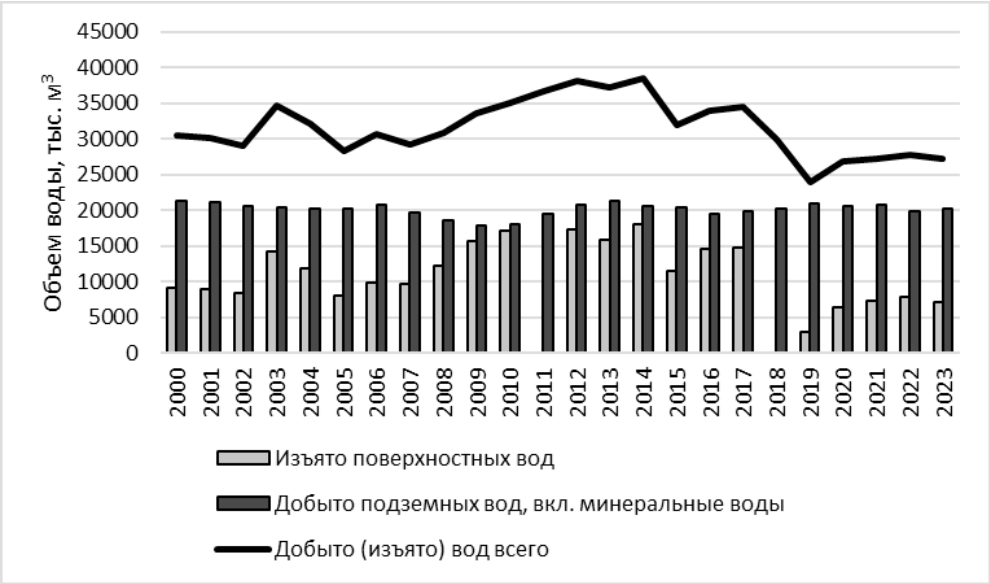


***Рисунок 1** – Динамика добычи подземных и изъятия поверхностных вод в бассейне р. Мухавец*

Структура водопользования за 23 года заметно изменилась (рисунок 2). В 2000 г. 43 % воды уходило на хозяйственно-питьевые нужды, в 2023 г. – 30 %, а в абсолютных значениях уменьшилось практически в 1,7 раза. Суточное потребление воды в 2021 г. на одного жителя области составляло 119 л/сутки, что оказалось меньше среднереспубликанского (143 л/сутки на человека). Увеличилось потребление воды на промышленные нужды с 20 % до 32 %, а в абсолютных значениях уменьшилось в 1,5 раза.

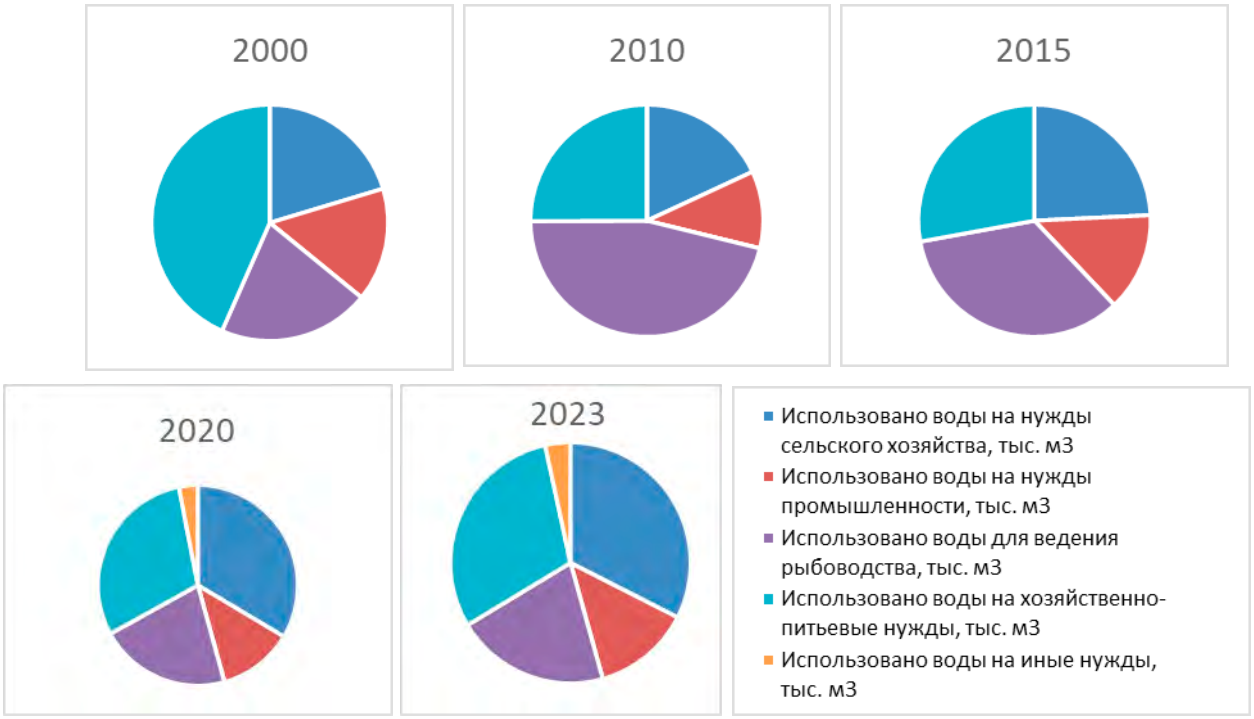


***Рисунок 2** – Структура водопользования в бассейне р. Мухавец*

Водоснабжение населения питьевой водой ведется за счет добычи подземных вод из артезианских скважин, которые имеют глубину 200–300 м; после очистки на фильтрах станций обезжелезивания вода поступает в систему водоснабжения. Коммунальными предприятиями эксплуатируется более 65 станций обезжелезивания (Брестский район – 16, Жабинковский – 9, Кобринский – 24, Малоритский – 7, Пружанский – 6). В рамках Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–

2025 гг. реализуется подпрограмма «Чистая вода», которой предусмотрены работы по строительству и вводу в эксплуатацию станций обезжелезивания.

Самыми крупными водопользователями в бассейне р. Мухавец являются: государственное предприятие «Брестводоканал»; РУП «Брестэнерго» Пружанская ТЭЦ (3,85 МВт); КУПП «Кобринрайводоканал», КУМПП ЖКХ «Жабинковское ЖКХ», Пружанское КУПП «Коммунальник».

Промышленный комплекс представлен предприятиями пищевой промышленности (ОАО «Савушкин продукт», СП ООО «Санта Бремор», ОАО «Брестский мясокомбинат», ОАО «Брестский молочный комбинат», ОАО «Брестское пиво», РУП «Брестский ликеро-водочный завод «БелАлко»), машиностроения и металлообработки (СП ОАО «Брестгазоаппарат», ОАО «Брестский электроламповый завод», ОАО «Брестский электротехнический завод», ОАО «Брестский машиностроительный завод»), легкой промышленности, строительной индустрии и предприятиями по производству мебели.

Сельскохозяйственная освоенность в бассейне р. Мухавец высокая, сельскохозяйственные угодья занимают около 50 % от общей площади угодий в бассейне. Агроклиматические и почвенные условия позволяют достигать высоких урожаев практически по всем видам возделываемых культур. Для повышения продуктивности сельского хозяйства используются минеральные и органические удобрения, объемы внесения которых отражены на рисунках 3 и 4 соответственно.

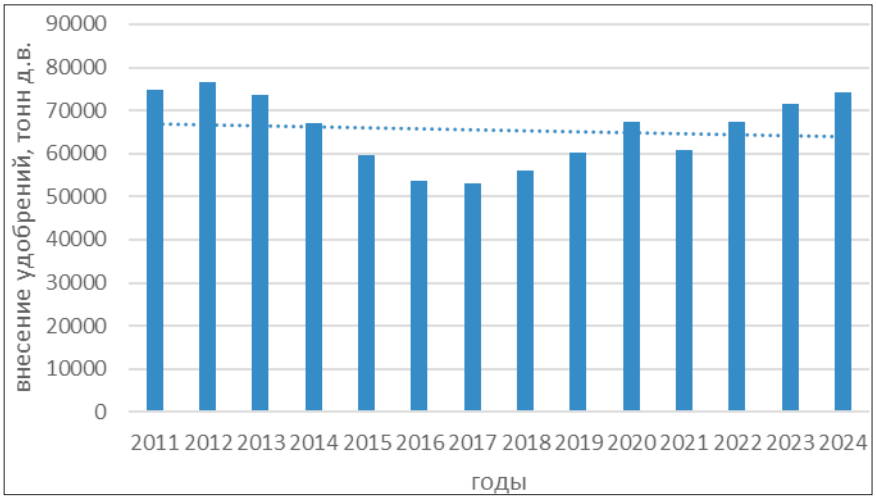


***Рисунок 3** – Динамика внесения минеральных удобрений в бассейне р. Мухавец*

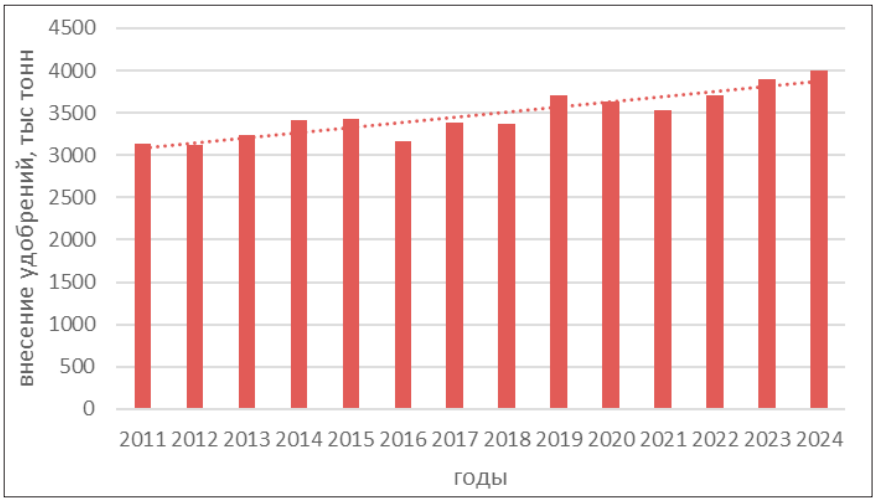


***Рисунок 4** – Динамика внесения органических удобрений в бассейне р. Мухавец*

Использование воды для ведения рыбоводства сильно изменялось: от 46 % в 2010 г. до 21% в 2023 г. Главными потребителями являются: филиал «Рыбхоз «Соколово» Жабинковский район; ООО «ВестФишИнвест» Жабинковский район; крестьянские фермерские хозяйства.

На рисунке 5 представлена динамика сброса сточных вод в пределах бассейна р. Мухавец. Более 70 % сточных вод возвращается в поверхностные источники, т.е. идет «восстановление» запасов природных вод. Около 43 % таких вод поступает без предварительной очистки и 30 % сточных вод сбрасывается без превышения нормативов по загрязнению.

По данным НСМОС, среднегодовое содержание растворенного кислорода в воде р. Мухавец и ее притоков в основном соответствует удовлетворительному функционированию водных экосистем (7,7–9,2 мгO_2/дм^3), за исключением случаев дефицита содержания растворенного кислорода в р. Мухавец выше г. Кобрин. Содержание легкоокисляемых органических веществ (по $БПК_5$) не превышает ПДК, а содержание трудноокисляемых органических веществ, определяемых по $ХПК_{Cr}$, составляет до 2,3 ПДК. Процент проб с превышениями нормативов качества воды увеличился по фосфат-иону и нитрит-иону и уменьшился по фосфору общему и по $ХПК_{Cr}$. Процент проб с превышением норматива качества воды по аммоний-иону составляет около 7,5 %. Содержание металлов фиксируется в следующих пределах: железа общего – от <0,1 мг/дм^3 до 2,36 мг/дм^3 (<0,15–3,1 ПДК); марганца – от 0,01 мг/дм^3 до 0,211 мг/дм^3 (0,17–3,3 ПДК); меди – от <0,001 мг/дм^3 до 0,0163 мг/дм^3 (<0,1–3,1 ПДК); цинка – от 0,0035 мг/дм^3 до 0,035 мг/дм^3 (0,2–1,6 ПДК). Максимум по марганцу, меди и цинку отмечается на р. Мухавец выше и ниже г. Кобрин. Среднегодовые величины содержания нефтепродуктов в воде р. Мухавец и притоков варьируются в пределах 0,0073–0,0232 мг/дм^3, а синтетических поверхностно-активных веществ – 0,013–0,0313 мг/дм^3. Улучшение класса качества по гидрохимическим показателям отмечается в воде на пунктах наблюдений р. Мухавец выше и ниже г. Жабинка и р. Рыта н.п. Малые Радваничи (с 3 на 2).

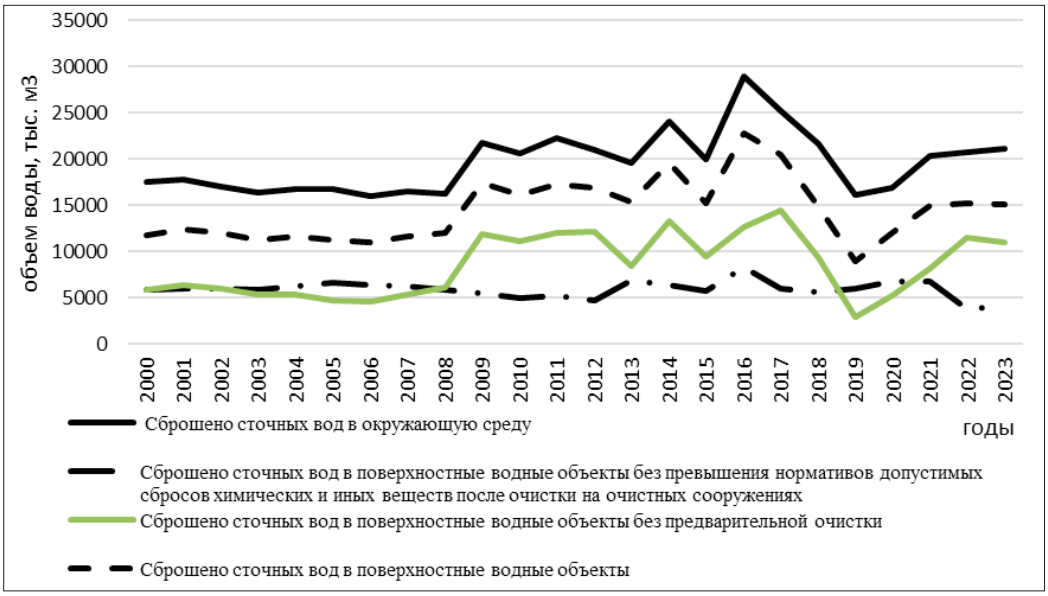


***Рисунок 5** – Динамика сброса сточных вод в пределах бассейна р. Мухавец*

В последние годы сохраняется устойчивая тенденция к сокращению водозабора, особенно поверхностных вод, модернизируются системы водоснабжения и внедряются современные технологии очистки сточных вод, которые позволяют снизить водный стресс на территории бассейна р. Мухавец. Таким образом, для обеспечения социально-экономического развития региона, сохранения биологического разнообразия и качества жизни населения необходима своевременная оценка экологического состояния вод, адаптация водопользования к потребностям современной экономики и постоянное совершенствование системы охраны водных ресурсов.

CURRENT WATER MANAGEMENT SITUATION IN THE MUKHAVETS RIVER BASIN

O. I. Grydunova

The article is devoted to the study of the current state of the water management situation in the Mukhavets River basin, including an analysis of the use of water resources, the dynamics of water consumption, a complex of anthropogenic factors and the main environmental challenges in the region. Special attention is paid to the impact of economic activity on the quality and quantity of water resources in the Mukhavets River basin and the need for rational resource management.

УДК 631.4+504.062:528.8

ПОДБОР ТЕСТОВЫХ ПОЛИГОНОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГЕОСИСТЕМ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ (ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ)

Ю. С. Давидович, А. Н. Червань
Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Работа посвящена методике подбора ключевых участков в пределах геосистем Белорусского Полесья с учетом динамики состояния почвенных комбинаций в их границах. Основой выделения ключевых участков и тестовых валидационных полигонов внутри них являются данные дистанционного зондирования Земли оптического диапазона длин электромагнитных волн открытого доступа, а также нормализованный вегетационный индекс NDVI, рассчитанный на их основе, материалы земельно-информационной системы на территорию исследований, почвенно-экологическое и природно-мелиоративное районирование территории Беларуси.

Ключевые слова: геосистемы, структура почвенного покрова, данные дистанционного зондирования Земли.

Физико-географический регион Белорусское Полесье находится на юге Беларуси и занимает площадь около 60 тыс. км^2, что составляет около 30 % территории страны. Несмотря на однородный рельеф, регион отличается высоким разнообразием и пестротой почвенного покрова, что усложняет его структуру. В соответствии с разработанной типологией геосистем, идентифицированных по структуре почвенного покрова по различным иерархическим критериям (общая динамика природных процессов, орография, геоморфология, гипсометрия и литология), на территории Белорусского Полесья можно выделить достаточно большое количество их вариантов. По общей динамике природных процессов геосистемы (почвенные мезокомбинации) делятся на внепойменные и пойменные. Орографически в пределах внепойменных геосистем выделяются водоразделы и депрессии, а в пределах пойменных – нерасчлененные и расчлененные поймы. Останцы надпойменной террасы не входят ни в одну из групп по общей динамике природных процессов и являются отдельной группой почвенных комбинаций. В отличие от внепойменных и пойменных геосистем они не разделяются по геоморфологическому критерию, занимая промежуточное положение между ними. Геоморфологически водоразделы подразделяются на фрагментарные, выпуклые и плоские, депрессии – на долинообразные и озеровидные. Расчлененные поймы делятся на прирусловые, центральные и притеррасные. По гипсометрическому критерию геосистемы водоразделов делятся на высокие и низкие, депрессии – на неглубокие и глубокие. Поймы и останцы надпойменной террасы подразделяются по уровню на высокие, средние и низкие. В соответствии с литологией почвообразующих пород литология внепойменных геосистем включает варианты на рыхлых породах, двучленных породах без водоупора и с водоупором, суглинистых и глинистых породах, а также торфе. Пойменные геосистемы подстилаются рыхлым и связным аллювием, а также пойменным торфом. Останцы надпойменной террасы подстилаются как почвообразующими породами пойменных, так и внепойменных геосистем. Данные параметры закладываются в «коды» геосистем, более подробно данный вопрос рассмотрен в [1, 2].

Классическими количественными признаками геосистем как природных образований является их площадь, периметр, а также их внутренняя неоднородность. Основной показатель неоднородности геосистем – коэффициент неоднородности – рассчитывается как произведение коэффициентов контрастности и расчлененности почвенных мезокомбинаций групп элементарных почвенных ареалов. Существуют различные способы их вычисления, отличающиеся незначительно, но общий подход остается неизменным.

Данный критерий геосистем является классическим при использовании почвенных карт, однако они должны дополняться и критериями, позволяющими более объективно оценивать текущую ситуацию, в том числе с использованием данных дистанционного зондирования Земли и наземных обследований [3–6].

Для определения критериев подбора тестовых полигонов в границе групп ключевых участков (почвенных мезокомбинаций) были подобраны мультиспектральные космические изображения спутниковых систем Landsat 5 MSS/TM, Landsat 7 ETM+ и Landsat 8/9 OLI TIRS с пространственным разрешением 30 м (в количестве 15 сцен). Была произведена радиометрическая и атмосферная коррекции. По границам геосистем (почвенных мезокомбинаций) были рассчитаны средние, минимальные, максимальные и амплитудные значения нормализованного дифференцированного вегетационного индекса NDVI. Для достоверной

оценки структуры почвенного покрова были рассчитаны ранговые коэффициенты корреляции по каждым из групп значений индекса в границах геосистем. Наиболее статистически достоверными в пространственно-временном анализе оказались амплитудные значения индекса. В данном случае корреляция между амплитудами односезонных значений является наиболее статистически значимым критерием оценки динамики состояния почвенных комбинаций в целом (таблица 1) и по структуре землепользования (таблица 2).

Таблица 1 *– Динамика коэффициента корреляции амплитуд NDVI между различными датами в границах геосистем*

Ключевые геосистемы (группы ключевых участков)	Корреляция между амплитудами NDVI за 1998 и 2000 г.	Корреляция между амплитудами NDVI за 2000 и 2014 г.	Корреляция между амплитудами NDVI за 2014 и 2024 г.
1113(4)	0,24	0,38	0,32
1121(2,3)	0,93	0,24	0,03
1122, 1123	0,98	0,43	0,49
1211, 1211(2), 1213	0,85	0,85	0,53
1211(2,3), 1212(3), 1213	0,96	0,45	0,31
1214	0,91	0,3	0,29
1221, 1221(2)	0,86	0,17	0,22
1222	0,7	0,32	0,67
1223	0,64	0,22	0,14
1224	0,64	0,23	0,34
1311	0,79	0,01	0,04
1311(2)	0,8	0,54	0,64
1313	0,95	0,37	0,32
1314	0,85	0,23	0,17
1321, 1321(2)	0,93	0,67	0,72
1326 тн	0,13	0,22	0,17
1326 тп	0,12	0,24	0,03
2216 тн	0,71	0,28	0,54
2226 тв, 2226 тп	0,63	0,52	0,65
32127	0,18	0,38	0,11
32129, 32139	0,2	0,02	0,02
32227, 32228	0,44	0,25	0,08
32237	0,37	0,34	0,52
32239	0,23	0,25	0,24
3339	0,01	0,4	0,05
4117	0,06	0,41	0,24
4127	0,03	0,53	0,13
4139	0,96	0,78	0,52

***Таблица 2** – Динамика коэффициента корреляции амплитуд NDVI между различными датами в границах групп видов земель*

Группы видов земель	Корреляция между амплитудами индекса NDVI за 1998 и 2000 г.	Корреляция между амплитудами индекса NDVI за 2000 и 2014 г.	Корреляция между амплитудами индекса NDVI за 2014 и 2024 г.
Населенные пункты и дорожная сеть	0,44	0,71	0,54
Пахотные пригодные	0,66	0,59	0,58
Многолетние	0,49	0,46	0,74
Луговые	0,54	0,33	0,22
Лесные	0,14	0,13	0,19
Древесно-кустарниковая растительность	0,54	0,09	0,07
Болотные	0,37	0,07	0,46
Водные	0,72	0,54	0,73
Нарушенные и неиспользуемые	0,69	0,43	0,63

Границы геосистем (почвенных мезокомбинаций) были получены в результате картографической и картометрической обработки почвенных карт, материалов схем землеустройства масштабов 1:50 000 и 1:10 000 административных районов и сельскохозяйственных организаций, а также материалов кадастровой оценки земель сельскохозяйственных организаций. Структура землепользования оценивалась с привлечением данных земельно-информационной системы Республики Беларусь.

Как следует из представленных выше таблиц, выделяются некоторые экстремумы, которые можно объяснить:

1. Продуктивной способностью почв.

2. Неоднородностью структуры почвенного покрова и, как следствие, неоднородностью в структуре землепользования.

3. Преобладанием орографического фактора на немелиорированных территориях (как, например, в 1311).

4. Влиянием широкомасштабной гидротехнической мелиорации.

По объединенным группам видно, что по этим данным можно судить о динамике геосистем в целом и о структуре землепользования.

Для оценки состояния геосистем в наземных условиях необходима выработка определенных критериев и параметров, которые наиболее полно характеризуют физико-географический регион в целом и на отдельных территориях. Данными критериями могут являться: агротехнологическая контрастность, увлажнение, эродированность, завалуненность, окультуренность, опасность дефляции и минерализации осушенных торфяников и другие [7].

Таким образом, объединение геосистемного подхода в совокупности со статистическими и дистанционными методами исследований позволяют сформировать методологическую и пространственно-временную основу для объединения данных земельно-информационной системы, дистанционного зондирования и мониторинга земель для целей территориального планирования, предусматривающего эффективное использование природных ресурсов и охрану окружающей среды как в регионе Белорусского Полесья, так и для территории всей Беларуси.

Список использованных источников

1. Романова, Т. А. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова / Т. А. Романова, А. Н. Червань, В. Л. Андреева // Почвоведение. – 2011. – № 3. – С. 300–310.

2. Червань, А. Н. Типология геосистем Белорусского Полесья / А. Н. Червань, Ю. С. Давидович // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2024. – № 2. – С. 3–23.

3. Годельман, Я. М. Методика определения системы параметров структуры почвенного покрова / Я. М. Годельман. – Кишинев : Молдагроинфореклама, 1989. – 36 с.

4. Кауричев, И. С. Структура почвенного покрова и типизация земель: учебное пособие / И. С. Кауричев, Т. А. Романова, Н. П. Сорокина. – Москва : Издательство МСХА, 1992. – 151 с.

5. Савин, И. Ю. Комплексная оценка неоднородности почвенного покрова по состоянию посевов / И. Ю. Савин, С. А. Бербеков, Д. А. Тутукова // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2022. – Вып. 113. – С. 37–57.

6. Лысенко, С. А. Оценки современных изменений биоклиматических параметров почвенно-растительного покрова Гомельской области / С. А. Лысенко, М. А. Хитриков // Природные ресурсы. – 2024. – № 2. – С. 17–29.

7. Типизация земель и использование ее результатов при формировании рабочих участков / Ю. Качков [и др.] // Земля Беларуси. – 2011. – № 3. – С. 41–48.

SELECTION OF TEST SITES FOR ASSESSING THE DYNAMICS OF THE STATE OF THE STRUCTURE OF THE SOIL COVER OF THE GEOSYSTEMS OF THE BELARUSIAN POLESIE (BASED ON REMOTE SENSING DATA)

Y. S. Davidovich, A. N. Chervan

The work is devoted to the methodology of selection of key areas within the geosystems of Belarusian Polesie taking into account the dynamics of the state of soil combinations within their boundaries. The basis for identifying key areas and test validation sites within them are the data of remote sensing of the Earth in the optical range of electromagnetic wavelengths of open access, as well as the normalized vegetation index NDVI calculated on their basis, materials of the land information system for the research territory, soil-ecological and natural-meliorative zoning of the territory of Belarus.

УДК 551.582.; 551.584; 556,5

ДИНАМИКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ПРИПЯТЬ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

И. С. Данилович[1,3], И. В. Тарасевич[2,3], Е. Г. Квач[2]

[1]Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[2]Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, г. Минск, Беларусь
[3]Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

В работе представлена оценка колебаний водных ресурсов и характерных расходов воды в бассейне реки Припять. Выделены периоды продолжительностью 10–20 лет, а также более короткие периоды 3–4 года с преобладанием низкой водности, наблюдающиеся в условиях изменения климата. Для бассейна реки Припять характерны вдвое меньшие изменения характерных расходов воды по сравнению с другими речными бассейнами.

Ключевые слова: водные ресурсы, гидрологический режим, расходы воды, половодье, паводок, межень, гидрологическая засуха.

Введение. Гидрологический режим реки Припять существенно отличается от режима рек других речных бассейнов на территории Беларуси. Вследствие преобладания плоского рельефа, высокого залегания грунтовых вод и значительной заболоченности водосбора, режим реки характеризуется плавным изменением уровней и расходов воды во времени, более инертными колебаниями водности и растянутыми во времени паводками. Водность рек в рассматриваемом бассейне в каждую из фаз гидрологического цикла обусловлена водностью предшествующего сезона, т.е. отмечается пролонгированное влияние метеорологических факторов на формирование стока. Наименьший расход зимней межени связан (кроме температуры и осадков в декабре–феврале) с осадками в сентябре–октябре. Наибольший расход весеннего половодья (кроме числа дней без оттепелей и снегозапасов) обусловлен величинами осадков и температуры в ноябре–декабре [1]. Вследствие указанных особенностей изменение гидрологического режима рек в бассейне реки Припять характеризуется региональными изменениями, которые рассмотрены ниже.

Исходные данные. В работе использованы количественные характеристики гидрологического режима рек Государственного водного кадастра Республики Беларусь. Период обобщения величин водных ресурсов в бассейне реки Припять охватывает 1900–2023 гг. Под водными ресурсами понимается суммарный объем речного стока, сформированный в пределах территории Беларуси, рассчитанный на замыкающие створы главных рек. Обобщения характерных расходов выполнялись за период 1945–2021 гг. В статье представлен анализ динамики расходов зимней межени, максимальных расходов весеннего половодья, частота и продолжительность маловодных периодов (гидрологических засух), установленных по величинам стандартизированных индексов стока (Standard Streamflow Index, SSFI) на основании среднемесячных расходов воды [2]. Выбор индексов для оценки маловодных периодов связан с широким использованием данных индексов в мировой практике и сравнимостью полученных результатов на территориях с различным режимом увлажнения. Для вычисления индексов SSFI строится функция гамма-распределения и определяется кумулятивная вероятность наблюдаемых значений расходов воды, которая преобразуется далее с использованием обратной функции Гаусса к вероятности нормально распределенной случайной величины Z с нулевым средним и дисперсией, равной единице, которая и является значением SSFI.

Результаты и дискуссия. На территории Беларуси, кроме увеличения среднегодовой температуры воздуха на 1,3 °С за последние 35 лет, отмечается трансформация режима увлажнения. На фоне незначительного изменения годовых сумм осадков в пределах 5–7 % происходит изменение внутригодового распределения осадков. Ряд исследователей отмечает рост осадков на севере страны, особенно в холодный период года. Однако в летние месяцы прослеживается усиление интенсивности выпадения осадков и рост суточных максимумов, а также увеличение частоты и продолжительности засушливых периодов [3]. Эти изменения, безусловно, отразились на гидрологическом режиме рек Беларуси, поскольку водные ресурсы тесно связаны с количеством выпавших осадков на водосборы.

Величина водных ресурсов бассейна реки Припять составляет в среднем 13,3 км^3 (1900–2023 гг.), что составляет около 24 % от общих водных ресурсов, формирующихся в пределах территории Бела-

руси. Динамика водных ресурсов в бассейне реки Припять характеризуется циклическими колебаниями (рисунок 1). Можно выделить циклические периоды продолжительностью 20–30 лет повышенной водности 1910–1935, 1955–1985, 1991–2010 гг., а также периоды продолжительностью 10–20 лет с преобладанием низкой водности 1936–1954, 1985–1990, 2012–2022 гг. В первую треть столетия (1900–1935 гг.) годы с низкой водностью группировались по 1–2 года, в период с 1940 по 1970 гг. периоды низкой водности сохранялись 4– 7 лет подряд, с 1970-х и до настоящего времени наиболее часто периоды пониженной водности составляют 3–4 года.



***Рисунок 1** – Динамика водных ресурсов в бассейне реки Припять (среднее многолетнее значение 13,3 км³)*

Из 124 лет наблюдений зафиксировано 63 года с низкими водными ресурсами (т.е. ниже среднего многолетнего значения 13,3 км³). Самые низкие значения водных ресурсов наблюдались в 1942–1944 гг. и составили 5,35, 3,82 и 3,83 км³ соответственно. Самые высокие значения были в 1970, 1998 и 1999 гг. – 24,7, 25,6 и 24,6 км³ соответственно. В 1999 г. в бассейне реки Припять сформировалось выдающееся наводнение (по Р. А. Нежиховскому) в период весеннего половодья. Одним из неблагоприятных факторов была повышенная водность в бассейне в предшествующий половодью период; на большинстве рек отмечались высокие уровни в течение длительного времени в результате обильных осадков.

В период потепления климата, который на территории Беларуси большинство климатологов принимают с 1989 г., во внутригодовом распределении стока рек сохраняются тенденции роста зимнего меженного стока и снижения стока весеннего половодья. В бассейне реки Припять по сравнению с другими бассейнами изменения стока менее выражены. Увеличение доли зимнего меженного стока составляет около 5 %, в то же время на большей части страны изменение оценивается в 10–20 %. Однако увеличение наименьшего расхода зимней межени на большей части бассейна составило более 12 л/с км², но в других бассейнах эта величина вдвое меньше. Снижение максимальных расходов воды в период весеннего половодья наименьшее по территории страны и составляет преимущественно 10–20 л/с км². В летне-осенний период доля меженного стока практически не изменилась, оценивается в 1 %. На большей части бассейна отмечается небольшой рост минимального стока – на 0,5 л/с км², в бассейнах рек Ясельда и Случь – снижение на 0,5 л/с км².

В первую половину периода потепления отмечался интенсивный рост температуры воздуха и осадков в холодный период года. С 2000-х гг. более быстрыми темпами повышается температура воздуха летом [4]. Кроме того, на территории страны установлен рост повторяемости и продолжительности атмосферных засух [5]. В теплый период года на реках Беларуси наибольший рост повторяемости маловодий характерен для западной части страны. Самыми засушливыми и маловодными в последние ~30 лет являются бассейны рек Неман и Западный Буг, а также верховье Припяти.

На рисунке 2 представлена динамика гидрологических засух и их продолжительность в бассейне реки Припять, установленных на основании величин индексов стока SSFI. Значение индекса ниже нуля указывает на гидрологическую засуху. Несмотря на отсутствие значимых трендов в динамике маловодных периодов, характерной особенностью их динамики в период, предшествующий периоду потепления, являются маловодья в холодный период года (с ноября по апрель), что объясняется низкими температурами

зимой, устойчивым ледяным покровом и низкой зимней меженью. С 1970–1980-х гг. маловодные периоды в большинстве случаев формируются в теплый период года (с мая по сентябрь).

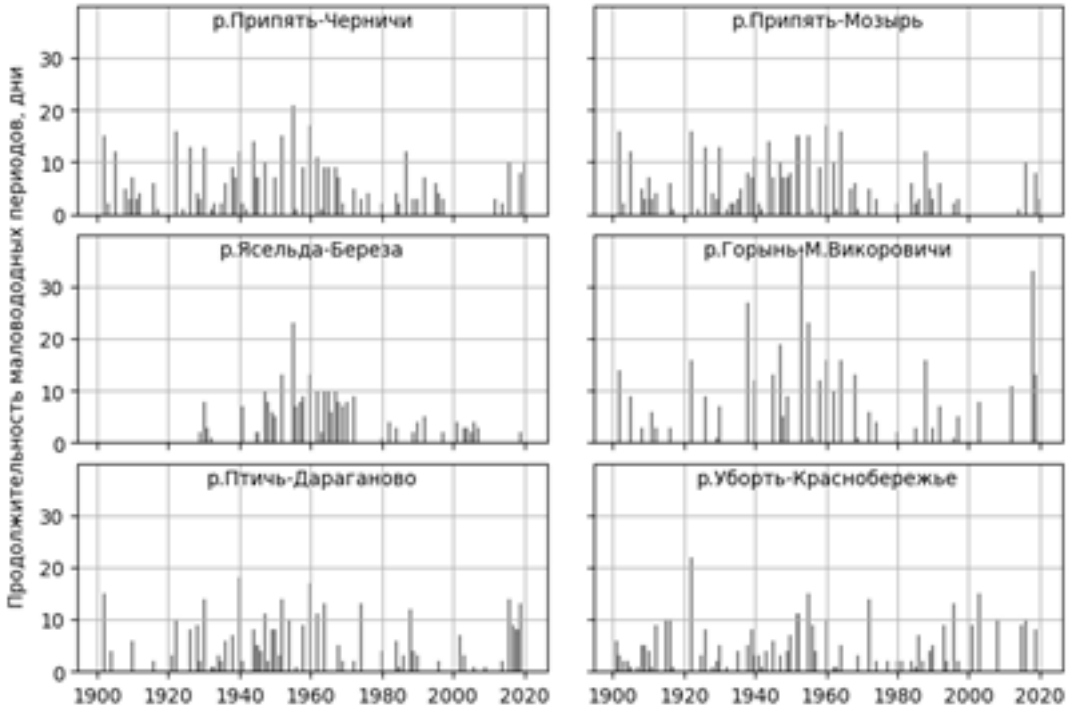


***Рисунок 2** – Динамика гидрологических засух (SSFI <-1) и их продолжительность в бассейне реки Припять*

При анализе индексов SSFI-3, т.е. обобщенного показателя гидрологических засух за три месяца июнь–август, увеличение их повторяемости установлено в западной и центральной частях страны – в бассейнах р. Западный Буг, левых притоках Припяти – повторяемость гидрологических засух увеличилась на 5–10 % [6]. В бассейне реки Припять меньшие показатели изменения повторяемости маловодий связаны с более высоким количеством выпадающих осадков, а для главной реки – с более медленными колебаниями водности реки, что связано с морфометрией бассейна, пологим рельефом и заболоченностью прилегающих территорий.

Кроме того, следует отметить снижение числа случаев слабых и умеренных засух. Однако прослеживается тенденция роста числа случаев сильных и экстремальных гидрологических засух (с очень низкими значениями индексов SSFI <-1,5 и -2,0). Например, на р. Припять у г. Мозырь отмечен прирост числа сильных засух с 3 до 6 случаев.

Заключение. Таким образом, изменение климата отразилось на гидрологическом режиме рек Беларуси и последствия имеют региональные различия для речных бассейнов.

Колебания водных ресурсов в бассейне реки Припять характеризуются цикличностью. Выделяются периоды продолжительностью 20–30 лет повышенной водности и периоды продолжительностью 10–20 лет с преобладанием низкой водности. Также можно выделить более короткие периоды от 1–2 лет до 4–7 лет подряд с низкими водными ресурсами. В последние 35 лет периоды пониженной водности составляют 3–4 года.

Для бассейна реки Припять характерны наименьшие изменения в режиме рек, особенно для главной реки. Устойчивые тенденции увеличения доли зимнего меженного стока составляют 5 %, снижение максимальных расходов воды весеннего половодья в два раза меньше, чем в других речных бассейнах. Доля стока в летне-осенний период практически не изменилась, на некоторых реках отмечается небольшой рост минимальных расходов. Но в то же время отмечается увеличение частоты гидрологических засух в период открытого русла.

Список использованных источников

1. Данилович, И. С. Современные изменения режима увлажнения в теплый период и условий формирования стока летне-осенней межени на реках Беларуси / И. С. Данилович, Е. Г. Квач, Л. Н. Журавович, Н. Г. Пискунович // Природные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 22–33.

2. GWP W. A. Handbook of Drought Indicators and Indices, Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series. – 2016. – № WMO 1173. – Geneva. – 124 p.

3. Данилович, И. С. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси / И. С. Данилович, В. Ф. Логинов // Центральноазиатский журнал географических исследований. – 2021. – № 1–2. – С. 35–48.

4. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск : Энциклопедикс, 2020. – 264 с.

5. Данилович, И. С. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата / И. С. Данилович, Н. Г. Пискунович // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2021. – № 2. – С. 32–44.

6. Данилович, И. С. Повторяемость засух на территории Беларуси в связи с атмосферной циркуляцией в Атлантико-Европейском секторе / И. С. Данилович, Ю. А. Гледко, И. В. Тарасевич // Метеорология и гидрология. – 2023. – № 9. – С. 61–71.

DYNAMICS OF WATER RESOURCES AND RUNOFF CHARACTERISTICS IN THE PRIPYAT RIVER BASIN UNDER CLIMATE CHANGE

I. S. Danilovich, I. V. Tarasevich, E. G. Kvach

The paper presents an assessment water resources and water discharges fluctuations across the Pripyat River basin. Periods of 10–20 years and shorter periods of 3–4 years with a predominance of low water resources observed during climate change period. The Pripyat River basin is characterized by half of the changes in water discharges compared to other river basins.

УДК 504.054:504.064.2

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АККУМУЛЯТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Л. Н. Иовик, А. Н. Ажгиревич
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

В статье представлены сведения о содержании тяжелых металлов в почвах, располагающихся в зоне влияния предприятия по производству стартерных аккумуляторных батарей. Выполнена оценка уровней накопления элементов-загрязнителей в соответствии с гигиеническими и экологическими нормативами.

Ключевые слова: импактный мониторинг, аккумуляторное производство, тяжелые металлы, почвы, оценка геохимического состояния почв.

Введение. К особо опасной для окружающей среды антропогенной деятельности относится аккумуляторное производство. Аккумуляторные предприятия оказывают воздействие на состояние воздушного бассейна за счет выбросов загрязняющих веществ. Загрязнение происходит в результате эмиссий в атмосферный воздух продуктов сгорания топлива, выбросов газообразных и взвешенных веществ от этапов производства, выхлопных газов автомобильного транспорта, испарений из емкостей для хранения химических веществ и топлива, пыли узлов погрузки, разгрузки и сортировки сыпучих материалов, топлива и т.п. Производство свинцовых аккумуляторов характеризуется выделением аэрозолей высокоопасных веществ – свинца и кадмия, а также никеля и сурьмы [1]. Мировое производство свинцовых стартерных батарей превышает 100 млн. шт. в год. В каждой батарее содержится до 11 кг свинца. Регулярный многолетний импактный мониторинг в зоне воздействия предприятий по производству аккумуляторных батарей дает возможность отслеживать динамику количественных и качественных изменений содержания поллютантов в объектах природной среды.

Полесским аграрно-экологическим институтом НАН Беларуси с 2018 г. в рамках созданной локальной системы импактного мониторинга [2] проводятся ежегодные наблюдения за содержанием тяжелых металлов (ТМ) в почвах, лесных подстилках, растениях и др. Предприятие, в зоне которого осуществляются исследования, специализируется на выпуске полного спектра стартерных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей для легковых и грузовых автомобилей, автобусов, автотракторной техники. Производственная деятельность фактически начата с 2021 г., через три года предприятие вышло на полную загрузку мощностей (проектный объем производства составляет 2 000 000 шт. условных аккумуляторных батарей емкостью 60А в год). Вредное воздействие на окружающую среду оказывает 31 источник выбросов загрязняющих веществ. Согласно проектной документации, выброс свинца составляет 0,003089 т (или 3 кг), ртути – 3,55 г, сурьмы – 0,14 г, олова – 0,021 г в год. По данным производственных экологических наблюдений и производственного санитарного контроля в 2024 г. не зафиксировано превышений допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Согласно сведениям локального мониторинга, в почвах территории предприятия концентрации нефтепродуктов, кадмия, меди, мышьяка, никеля, свинца, хрома, цинка, ртути, азота аммонийного, нитратов, сульфатов находились в пределах нормы.

Цель настоящих исследований предполагает выявить влияние атмосферных выбросов предприятия по производству стартерных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей на накопление ТМ в почвах прилегающих территорий.

Объекты и методы исследований. Исследования 2024 г. осуществлялись в рамках сети пунктов наблюдений, состоящей из 13 пробных площадок (ПП) в санитарно-защитной зоне предприятия и за ее пределами (рисунок 1). Так как для территории исследований характерно преобладание западных ветров, рассеивание и оседание пылеватых и аэрозольных частиц от источника эмиссий ТМ происходит преимущественно в восточном направлении. В этой связи бóльшая часть ПП сконцентрирована в направлении на восток от предприятия. При этом наблюдения также включают мониторинг геохимического состояния почв на границе санитарно-защитной зоны и за ее пределами. В соответствии со «Специфическими санитарно-эпидемиологическими требованиями к установлению санитарно-защитных зон объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду» [3], базовый размер СЗЗ должен обеспечивать достаточный уровень безопасности для здоровья населения от вредного химического воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Данное требование особенно важно для сельскохозяйствен-

ных земель, в систему севооборотов которых включены культуры кормового и продовольственного назначения. Накопление ТМ в получаемой растениеводческой продукции может негативно влиять на ее качество и при сильном загрязнении делать ее непригодной для скармливания животным. В этой связи контроль за состоянием почвы имеет особое экологическое значение.

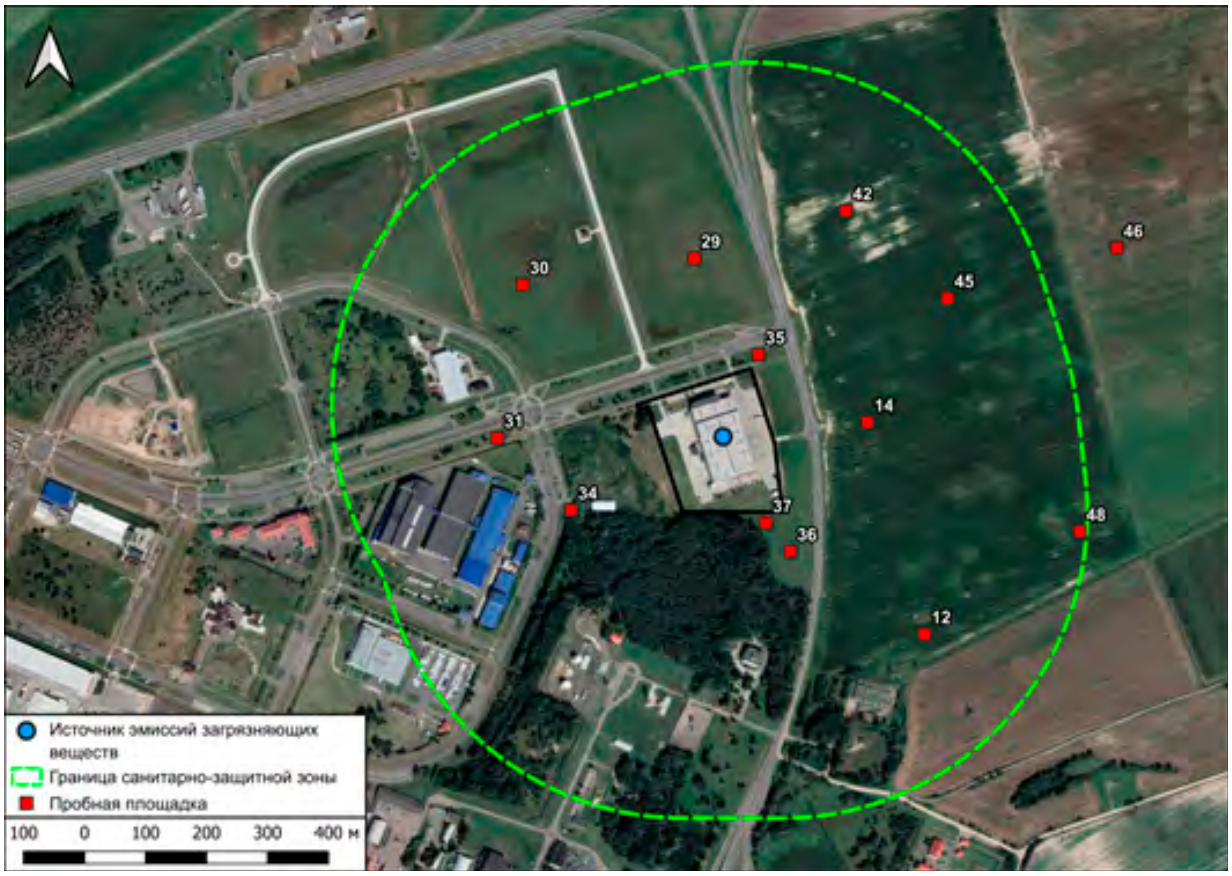


***Рисунок 1** – Сеть пунктов наблюдений за почвами в зоне влияния аккумуляторного производства*

Отбор проб почв производился по методике ГОСТ 28168-89 в конце вегетационного сезона. Глубина контролируемого слоя почвы на установленных ПП составила 10 см. Выбор метода отбора обусловлен свойством ТМ закрепляться в гумусово-аккумулятивном слое почв. Каждая ПП размечалась по принципу «конверта» для последующего отбора 5 точечных проб. При смешивании точечных проб формировались объединенные пробы весом около 1 кг, после чего они помещались в полиэтиленовую тару, маркировались и транспортировались в Лабораторию биогеохимии Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси, аккредитованную в Национальной системе аккредитации Республики Беларусь, для аналитических исследований на содержание ТМ. Подготовка проб к анализу производилась согласно СТ РК ИСО 11466-2010 «Охрана природы. Качество почвы. Экстрагирование микроэлементов, растворимых в царской водке». Лабораторные испытания на валовое содержание ТМ проводились на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой iCAP 7200 Thermo Scientific по ГОСТ ISO 22036-2014 «Качество почвы. Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием атомно-эмиссионной спектрометрии индуктивно связанной плазмы (ИСП-АЭС)».

Оценка геохимического состояния почв на основании полученных данных выполнялась согласно действующим нормативным документам. Результаты лабораторного анализа использовались для сравнительной оценки содержания с предыдущими годами исследований. Также изучалась динамика концентраций ТМ в почвах в соответствии с показателями фонового содержания элементов, полученными по 60 ПП в условиях отсутствия эмиссий загрязняющих веществ в атмосферный воздух в 2018–2019 гг.

Результаты и их обсуждение. Результаты лабораторных испытаний исследуемых проб почвы приведены в таблице.

***Таблица** – Валовое содержание ТМ в почвах импактной территории, мг/кг*

№ ПП	Содержание ТМ в испытуемой пробе, мг/кг						
	Pb	Cd	Cu	Zn	Hg	Sb	Sn
12[3]	6,39	0,09	2,46	10,7	< 0,04[1]	0,35	0,28
14[3]	4,48	0,05	2,23	12,8	< 0,04	0,26	0,24
29[3]	5,24	0,05	1,63	13,8	< 0,04	0,29	0,24
30[3]	6,85	0,08	1,99	12,0	< 0,04	0,34	0,27
31	5,18	0,05	2,18	10,9	< 0,04	0,30	0,24
34	5,10	0,05	2,57	11,3	< 0,04	0,31	0,26
35	5,20	0,05	2,15	11,7	< 0,04	0,30	0,25
36	4,04	0,03	1,39	8,29	< 0,04	0,25	0,17
37	4,77	0,04	1,35	9,60	< 0,04	0,25	0,21
42[3]	5,49	0,06	2,33	14,7	< 0,04	0,32	0,28
45[3]	6,51	0,07	2,71	14,5	< 0,04	0,34	0,34
46[3]	4,48	0,07	2,77	12,8	< 0,04	0,32	0,32
48[3]	4,40	0,03	1,13	9,19	< 0,04	0,23	0,18
Среднее значение	5,24	0,05	2,07	11,7	< 0,04	0,30	0,25
ПДК/ОДК[2]	32	0,5	33	55	2,1	4,5	–
Пороговое значение[4]	55,1	1,46	43,7	112	2,41	10,8	–
Фоновые значения	3,8–7,0	<0,1	1,0–4,0	5,0–15,0	–	–	–

Примечание:[1] «< …» – значение ниже предела обнаружения лабораторного метода; [2]гигиенические нормативы «Показатели безопасности и безвредности почвы», утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь 25.01.2021 г. № 37; [3] пробные площадки на землях сельскохозяйственного назначения; [4]пороговое значение по ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 для супесчаных почв земель сельскохозяйственного назначения.

Установлено, что валовое содержание ТМ в почвах варьировало в следующих пределах: 4,04–6,85 мг/кг Pb, 0,03–0,09 мг/кг Cd, 1,13–2,77 мг/кг Cu, 8,29–14,7 мг/кг Zn, 0,23–0,35 мг/кг Sb, 0,17–0,34 мг/кг Sn. Аккумулирование ртути не выявлено. При этом ранжированный ряд средних значений накопления элементов выглядел следующим образом: Zn > Pb > Cu > Sb > Sn > Cd. В приоритетном порядке в почвах накапливался цинк, тогда как свинец (ключевой загрязнитель окружающей среды) занимал лишь второе место. Содержание цинка находилось в пределах значений местного фона и не было обусловлено техногенным поступлением элемента в атмосферный воздух. Анализ содержания ТМ в почвах не зафиксировал резких отклонений от средних значений в величинах накопления по сети ПП, зависимость уровня аккумуляции элементов от местоположения площадок относительно предприятия также не выявлена.

Валовое содержание свинца, кадмия, меди, цинка, ртути и сурьмы на всех ПП не достигало значений предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК), установленных гигиеническими нормативами «Показатели безопасности и безвредности почвы» (утверждены постановлением Совета Министров Республики Беларусь 25.01.2021 г. № 37). При этом среднее значение свинца было ниже предельного в 6,1 раза, кадмия – в 10 раз, меди – в 15,9 раз, цинка – в 4,7 раза и сурьмы – в 15,0 раз.

Концентрации ТМ в почвах сельскохозяйственного назначения (ПП 12, ПП 14, ПП 29, ПП 30, ПП 42, ПП 45, ПП 46, ПП 48) были также заметно ниже пороговых значений, установленных ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 «Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах». Разница фактического содержания с минимальными пороговыми значениями, при которых следует констатировать низкую степень загрязнения почвы ТМ, составила: 10,1 раза для свинца, 23,4 раза для кадмия, 20,3 раза для меди, 8,9 раза для цинка, 35,3 раза для сурьмы.

Сравнительная оценка полученных в 2024 г. данных показала, что аккумуляция валовых форм ТМ в почвах исследуемой территории соответствовала уровням фоновых концентраций не только цинка, но и свинца, кадмия и меди. Близкими к фоновым были значения цинка на ПП 42 и ПП 45.

На основании полученных многолетних данных представляется возможным проследить динамику накопления приоритетного загрязнителя территории исследований – свинца – в течение 7 лет наблюдений (рисунок 2). Исходя из приведенного графика видно, что содержание свинца в 2024 г. находилось ближе к уровню 2021 г.

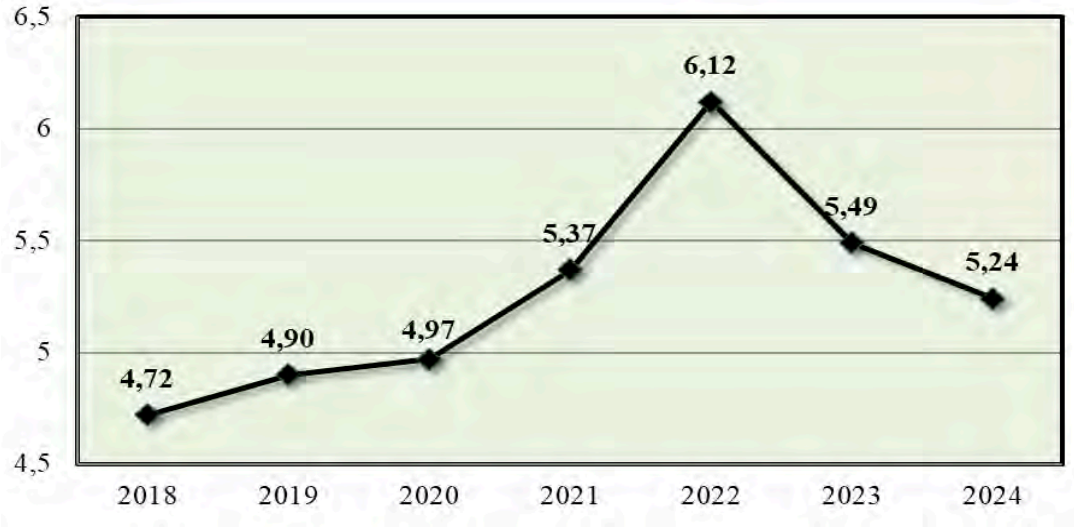


***Рисунок 2** – Динамика среднего содержания свинца в почвах (2018–2024 гг.)*

Таким образом, оценка геохимического состояния почв в зоне влияния аккумуляторного производства показала, что концентрации ТМ не превышали ПДК (ОДК), пороговых значений и фоновых концентраций. Ввиду того, что уровни накопления исследуемых ТМ в почвах импактной зоны соответствуют гигиеническим и экологическим нормативам, загрязнение территории исследований свинцом, кадмием, медью, цинком, ртутью и сурьмой отсутствует.

Благодарности. Авторы статьи признательны Дашкевичу М. М., Хващевскому М. И., Качанович П. В. за участие в проведении исследований.

Список использованных источников

1. Янин, Е. П. Эколого-геохимические аспекты воздействия аккумуляторной промышленности на окружающую среду / Е. П. Янин // Ресурсосберегающие технологии. – 2002. – № 18. – С. 3–33.

2. Ажгиревич, А. Н. Система геохимического мониторинга в импактной зоне СЭЗ «Брест» площадка «Аэропорт» / А. Н. Ажгиревич, Н. В. Михальчук, Е. А. Брыль // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: зб. навук. прац. X Міжнар. навук. канф. «Прырод. асярод. Палесся і навук.-практ. аспекты рацыянальн. рэсурсакарыстання», Брэст, 14–16 верас. 2022 г. / Палескі аграрна-экал. інст. НАН Беларусі ; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Вып. 14. – Брест : Альтернатива, 2022. – С. 167–169.

3. Об утверждении специфических санитарно-эпидемиологических требований [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 11.12.2019 г., № 847 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа : https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21900847. – Дата доступа : 08.07.2025.

GEOCHEMICAL SOIL STATE IN THE BATTERY PRODUCTION ZONE

L. N. Iovik, A. N. Ashgirevich

The article contains information about heavy metals content in the soils located in the starter battery production zone. The assessment of accumulation levels according hygienic and environmental standards is presented.

УДК 631.453:504.064

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ПОЧВ ИГРОВЫХ ПЛОЩАДОК УЧРЕЖДЕНИЙ ДОШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ Г. БРЕСТА

П. В. Качанович, М. М. Дашкевич, М. И. Хващевский
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Наибольшее содержание свинца и цинка зафиксировано в пробах почв игровых площадок, непосредственно прилегающих к проезжей части и автостоянкам в центральных и восточных районах города. Анализ верхнего 0–2 см слоя почвы позволяет оценить содержание тяжёлых металлов и выявить превышения санитарно-гигиенических нормативов в пробах почв, с которыми непосредственно контактируют дети.

Ключевые слова: учреждения дошкольного образования, геохимическая оценка, тяжелые металлы, почвы городов, экологическая ситуация, почвы детских игровых площадок.

Введение. В промышленно развитых и густонаселённых городах сосредоточены разнообразные источники загрязнения окружающей среды. Зоны города, испытывающие наиболее сильную антропогенную нагрузку, как правило, расположены в историческом центре, на территории промышленных зон и вблизи транспортных артерий [1–3].

Аэротехногенный характер выпадения ТМ и способность почв депонировать потенциально токсичные элементы приводит к повышенному содержанию поллютантов в верхнем слое. Выбросы аэрозолей и пылевых частиц содержат повышенные уровни ТМ, представляющих опасность для здоровья населения, особенно детей [4–6]. В густонаселенных районах городов детская рекреация связана с игровыми площадками во дворах и учреждениях дошкольного образования (УДО). Воздействие ТМ на детский организм может происходить при попадании в пищеварительную систему, вдыхании и кожном контакте с загрязненной почвой. Наибольший риск для здоровья детей связан с пероральным путем поступления потенциально токсичных элементов [7, 8]: при проглатывании в организм ребёнка может поступать от 10 до 1000 мг почвы в сутки [9]. Результаты исследований показали увеличение заболеваемости детей до 14 лет в 1,5–3,9 раза, а взрослых и подростков в 1,4–1,5 раза в районах с повышенным содержанием в почвах ТМ (Pb, Cu, Zn, Ca) [10].

В последнее время пристальный интерес ученых по всему миру вызывает содержание ТМ в почвах зеленых зон городов, детских игровых площадок и дошкольных учреждений в сравнении с нормативными и фоновыми показателями и связанных с ними канцерогенными и не канцерогенными рисками для здоровья детей [9, 11–15]. Результаты исследований свидетельствуют как о единичных фактах превышения нормативных показателей содержания ТМ в почвах игровых площадок, так и о большой дифференциации загрязнения почв города, требующих применения локальных или системных мер по их ликвидации.

Материалы и методы. Отбор проб почв с игровых площадок УДО, расположенных в непосредственной близости от автомобильной дороги, автостоянки либо другого потенциального источника аэротехногенного загрязнения, осуществлялся методом конверта с глубины 0–2 см. В пределах пробной площадки почву отбирали преимущественно с участков, не покрытых травяным покровом, поскольку отсутствие растительного покрова вблизи игровых элементов (горок, качелей, песочниц) способствует пылению почвы, вдыханию ее частиц, оседанию их на руках и одежде детей.

Оценку степени загрязнения почв проводили путём сравнения с ПДК/ОДК, а также с данными Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) по г. Бресту за 2022 г.

Экспериментальные исследования почв на содержание ТМ проводили в аккредитованной лаборатории Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси. Определения проводились на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связной плазмой iCAP 7200 в соответствии с ГОСТ ISO 22036–2014.

Результаты и обсуждение. Изучение элементного состава почв детских площадок УДО г. Бреста на содержание ТМ ранее не проводилось. По данным [16] 16 % почвенного покрова г. Бреста характеризуется повышенным и высоким содержанием ТМ и на этих территориях расположено более 45 % УДО города (рисунок 1).

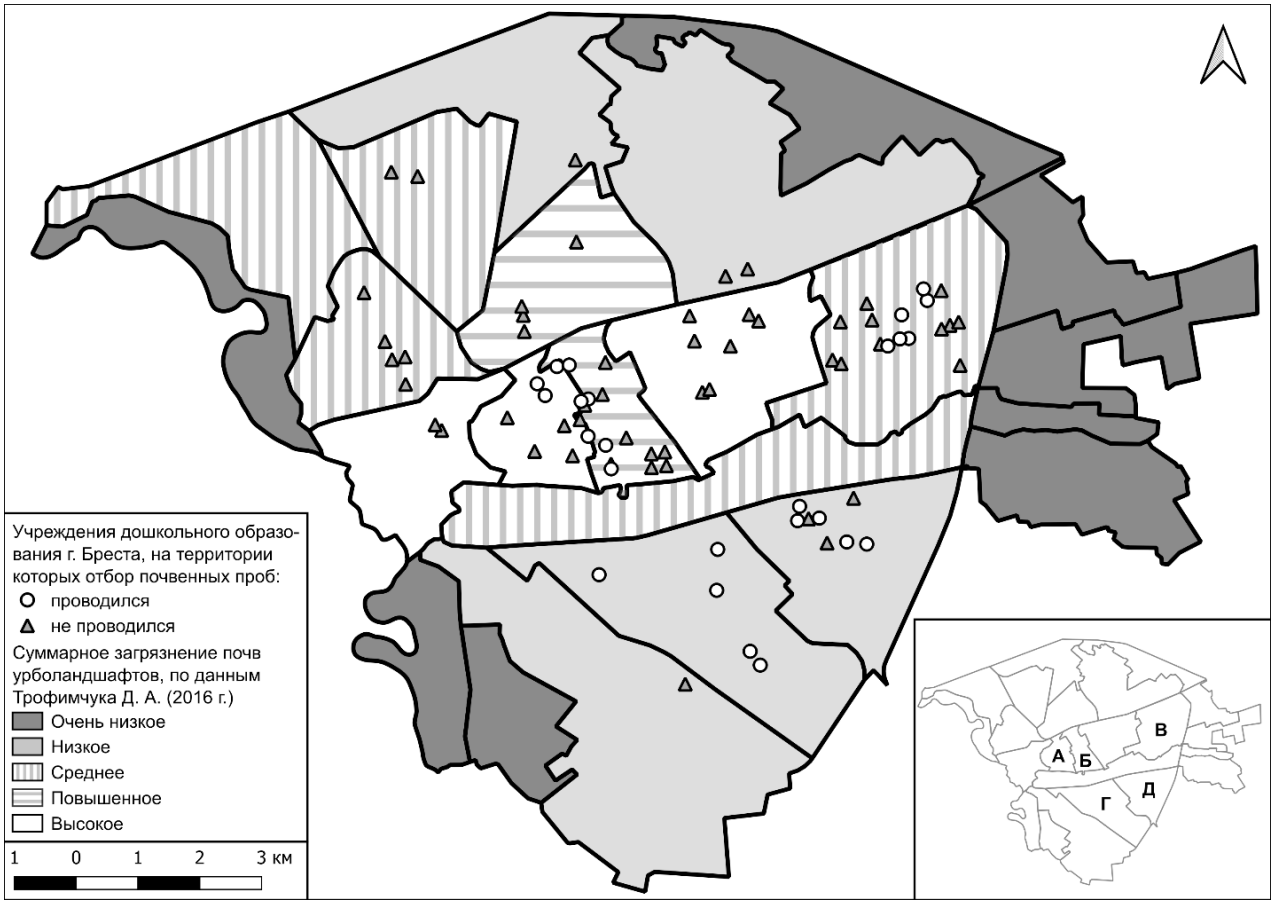


***Рисунок 1** – Расположение учреждений дошкольного образования г. Бреста относительно суммарного загрязнения [16] почв урболандшафтов [17]*

Одним из наиболее распространённых методов оценки степени загрязнения почв ТМ является сравнения содержания загрязняющих веществ с величинами ПДК/ОДК. В зависимости от почвенно-климатических условий, химических особенностей загрязнителя и источника поступления поллютанта ТМ могут неравномерно распределяться по почвенным горизонтам. Поэтому глубина отбора почвенных проб сильно влияет на зафиксированное в ходе анализа содержание ТМ и оценку степени загрязнения территории.

Наблюдения за химическим загрязнением земель в населенных пунктах Беларуси проводятся в рамках НСМОС с периодичностью 1 раз в 5 лет. При этом определяется валовое содержание кадмия, цинка, свинца, меди, никеля, хрома, мышьяка и ртути.

Отбор проб почв для исследований НСМОС проводится в соответствии с ТКП 17.03–02–2020 (33140) с глубины 0–19,9 см. В нормативных документах, регламентирующих отбор почвенных проб, упоминаются отборы на меньшую глубину. На пахотных почвах (ГОСТ 28168–89) точечные пробы отбирают на глубину пахотного слоя, на сенокосах и пастбищах – на глубину гумусоаккумулятивного горизонта, но не глубже 10 см. Наиболее детальный отбор предложен в ГОСТ 17.4.4.02–84: для контроля загрязнения почв поверхностно распределяющимися веществами, в том числе тяжёлыми металлами, точечные пробы отбирают послойно с глубин 0–5 и 5–20 см. Для контроля загрязнения легко мигрирующими веществами точечные пробы отбирают по генетическим горизонтам на всю глубину почвенного профиля. Однако на территориях, требующих повышенного санитарно-гигиенического контроля, к которым должны относиться почвы игровых площадок УДО, мы предлагаем использовать глубину отбора проб почв 0–2 см. Это позволяет оценить содержание ТМ в слое, с которым дети непосредственно контактируют во время игр.

По данным НСМОС содержание свинца в почвах г. Бреста в 2022 году составило от 2,1 до 17,3 мг/кг, превышений ПДК (32 мг/кг) не зафиксировано. В пробах поверхностных слоев почвы (0–2 см) на игровых площадках УДО города Бреста (рисунок 2) содержание свинца варьировало от 5,10 до 37,02 мг/кг, при этом в 7,4 % проб этот показатель превысил ПДК. Среднее содержание свинца в почвах УДО (14,91 мг/кг) в 1,7 раза превышает аналогичный показатель по почвам г. Бреста (8,9 мг/кг).

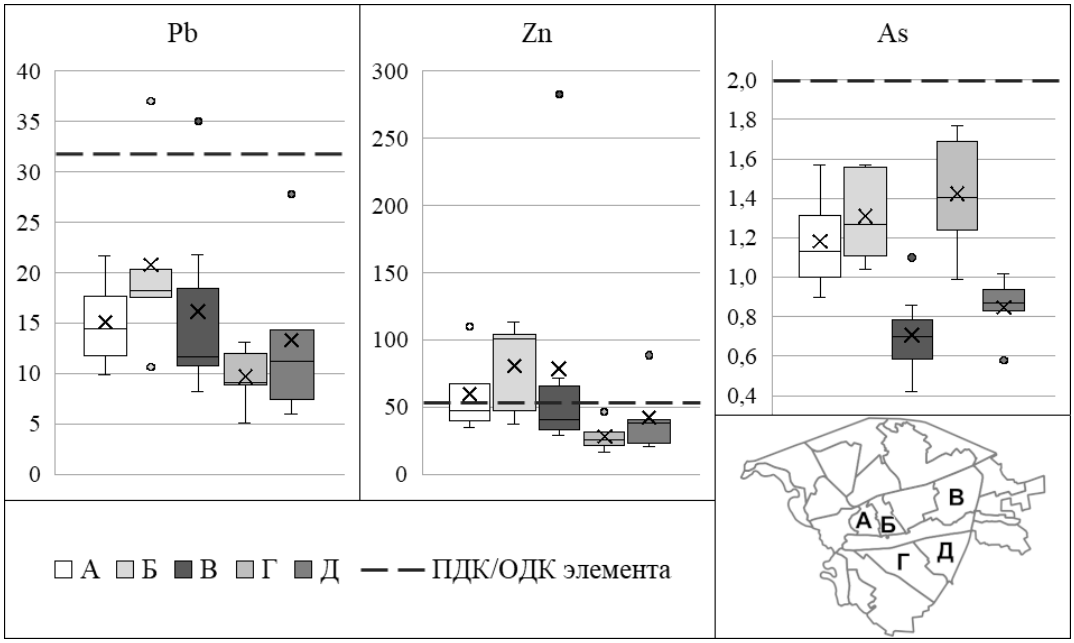


***Рисунок 2** – Содержание ТМ в почвах игровых площадок УДО различных урбаланшафтов г. Бреста*

Содержание цинка в почвах города Бреста составляет от 16,3 до 117,4 мг/кг, при этом превышение ОДК (55 мг/кг) обнаружено в 16,0 % проб. В пробах поверхностных слоев почвы (0–2 см) на игровых площадках УДО концентрация элемента колебалась от 16,64 до 282,62 мг/кг и в 33,3 % проб превышало ОДК. Среднее содержание цинка в почвах игровых площадок (58,33 мг/кг) в 1,3 раза было выше среднего показателя по почвам города (44,2 мг/кг).

По данным НСМОС в почвах пределы колебания мышьяка составляют от 0,1 до 6,0 мг/кг – превышение ПДК (2 мг/кг) выявлено в 54,0 % проб. В пробах поверхностных слоев почв (0–2 см) игровых площадок УДО концентрация элемента составляла от 0,42 до 1,77 мг/кг, превышений ПДК не зафиксировано, однако 22,2 % проб содержали более 0,75 ПДК мышьяка. Среднее содержание мышьяка (1,07 мг/кг) в поверхностных слоях почв на игровых площадках УДО было в 2,1 раза ниже среднего показателя по почвам г. Бреста (2,3 мг/кг). Наибольшее содержание As (1,75–1,77 мг/кг) отмечено в почвах относительно недавно открывшегося УДО (2012 г., участок Г на рисунке 2). Концентрации 1,56–1,57 мг/кг, напротив, зафиксированы в старой части города (участки А, Б, застроенные во время восстановления города после Великой Отечественной войны).

Для остальных рассмотренных нами элементов (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Co, Cr, Mo, Sn, Ti, V, As, Sb) по результатам обследования поверхностных слоев почв игровых площадок УДО, а также по данным НСМОС, превышений ПДК/ОДК не зафиксировано.

Отношение среднего содержания ТМ в поверхностных слоях почв на игровых площадках УДО г. Бреста к содержанию ТМ по данным НСМОС можно расположить в следующем ранжированном ряду: Pb1,68> Zn1,32>Cr1,17>Cd1,01>Cu0,81>Ni0,52>As0,47. Наибольшая аккумуляция характерна для свинца и цинка (в 1,68 и 1,32 раза выше городских средних соответственно). Хром и кадмий имеют показатели близкие к среднегородским (1,17 и 1,01 раза), что отражает их умеренное накопление. В то же время содержание меди, никеля и мышьяка оказалось ниже значений НСМОС (0,81, 0,52 и 0,47 раза), что свидетельствует о более равномерном распределении этих элементов в профиле и меньшей связи с поверхностным техногенным загрязнением. Следует учитывать, что территории УДО сосредоточены преимущественно в центральных частях города, в то время как обследования НСМОС охватывают в том числе периферийные территории с более низкой антропогенной нагрузкой. Таким образом, поверхностные слои почв на площадках УДО наиболее уязвимы к накоплению техногенных загрязнителей, прежде всего свинца и цинка, что увеличивает санитарно-гигиенические риски для детей.

Заключение. Результаты исследования показали, что средние концентрации свинца и цинка в поверхностных слоях почв (0–2 см) на территориях детских игровых площадок учреждений дошкольного образования г. Бреста превышают средние значения по городу (по данным НСМОС, 2022) в 1,7 и 1,3 раза соответственно. Превышение ПДК/ОДК свинца отмечено в 7,4 % проб, цинка – в 33,3 %. Наибольшие уровни

загрязнения характерны для старых центральных и восточных районов города вблизи проезжих частей и автостоянок, что может быть связано с длительным воздействием автомобильного транспорта, включая аэротехногенную эмиссию свинца от применения этилированного бензина в прошлом. В юго-западных районах новой застройки выявлено пониженное содержание свинца и цинка, но локальные повышения мышьяка, вероятно, связаны с применением привозного грунта. В целом, содержание мышьяка не превышает утверждённых норм, однако в отдельных пробах составляет более 0,75 ПДК. Учитывая, что именно поверхностный слой почвы является зоной прямого контакта с детьми, необходим регулярный локальный мониторинг, а также превентивные меры: покрытие площадок травяным или искусственным покровом, санитарная оценка завозного грунта и рекультивация участков с повышенным загрязнением.

Список использованных источников

1. Городская среда: геоэкологические аспекты : монография / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 426 с.

2. Ересько, М. А. О подвижности тяжелых металлов в почвах города Минска / М. А. Ересько, Е. В. Баутрель, Н. В. Клебанович // Земля Беларуси. – 2021. – № 4. – С. 40–50.

3. Какарека, С. В. Моделирование критических нагрузок свинца на природные экосистемы Беларуси / С. В. Какарека, С. В. Саливончик // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 136–144.

4. Taraskevicius, R. Lithuanian cities geochemical anomalies and their dissemination / R. Taraskevicius, R. Zinkute // Baltica. – 2011. – № 24. – P. 163–168.

5. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong : a study based on GIS and multivariate statistics / C. S. Lee, X. Li, W. Shi [et al.] // Science of The Total Environment. – 2006. – Vol. 356, № 1–3. – P. 45–61.

6. Jarup, L. Hazards of heavy metal contamination / L. Jarup // British Medical Bulletin. – 2003. – Vol. 68, № 1. – P. 167–182.

7. T. Laha [et al.] Oral bioaccessibility of potentially toxic elements (PTEs) and related health risk in urban playground soil from a medieval bell metal industrial town Khagra, India // Environmental Geochemistry and Health. – 2020. – Т. 191. – С. 1–16.

8. E. De Miguel [et al.] Risk-based evaluation of the exposure of children to trace elements in playgrounds in Madrid (Spain) // Chemosphere. – 2007. – Т. 66. – С. 505–513.

9. J. Moya, L. Phillips. A review of soil and dust ingestion studies for children // Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. – 2014. – Т. 24. – С. 545–554.

10. A. Juozulynas [et al.]. Implications of soil pollution with heavy metals for public health // Geologija. – 2008. – Т. 50. – С. 75–79.

11. S. A. Javed [et al.] Risk-based exposure assessment for multiple toxic elements encountered by children in school playgrounds and parks in the southwest region of Saudi Arabia // Environmental Monitoring and Assessment. – 2019. – Т. 191. – С. 1–16.

12. A. Sapcanin [et al.] Soil pollution fingerprints of children playgrounds in Sarajevo city, Bosnia and Herzegovina // Environmental Science and Pollution Research. – 2017. – Т. 24. – С. 10949–10954.

13. D. Rodríguez-Oroz [et al.] Metal concentrations and source identification in Chilean public children's playgrounds // Environmental Monitoring and Assessment. – 2018. – Т. 190. – С. 1–14.

14. E. P. Donado [et al.] Soil contamination in Colombian playgrounds: Effects of vehicles, construction, and traffic // Environmental Science and Pollution Research International. – 2021. – Т. 28. – С. 166–176.

15. G. Tepanosyan [et al.] Heavy metals pollution levels and children health risk assessment of Yerevan kindergartens soils // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2017. – Т. 142. – С. 257–265.

16. Трофимчук, Д. А. Геоэкологическая оценка урбанизированных ландшафтов города Бреста / Д. А. Трофимчук // Земля Беларуси. – 2016. – № 4. – С. 34–36.

17. Марцинкевич, Г. И. История формирования г. Бреста и проблемы изучения городских ландшафтов / Г. И. Марцинкевич, Д. А. Трофимчук // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2016. – № 2. – С. 76–82.

HEAVY METALS IN THE SURFACE SOIL LAYERS OF PLAYGROUNDS AT PRESCHOOL EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN BREST

P. V. Kachanovich, M. M. Dashkevich, M. I. Khvashchevski

The highest concentrations of lead and zinc were found in soil samples from playgrounds located directly adjacent to roads and parking lots in the central and eastern parts of the city. Analysis of the upper 0–2 cm soil layer allows assessment of heavy metal content and detection of exceedances of sanitary and hygienic standards in soils that come into direct contact with children.

УДК 504; 632; 577; 550.4; 534.1; 631.147

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ САДОВЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ БРЕСТСКОГО РЕГИОНА

А. П. Колбас[1,2], Н. Ю. Колбас[1,3], П. В. Качанович[1], М. О. Кайдалова[1], М. И. Хващевский[1,2], Т. И. Новикова[1], М. М. Дашкевич[1]

[1]Полесский аграрно-экологического института НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2]Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[3]Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

В работе приводятся результаты изучения содержания подвижных форм тяжелых металлов (ТМ) в почвах четырех садов Брестского региона, где применялись элементы органического земледелия. Исследование подтвердило эффективность биопрепаратов в регулировании подвижности ТМ в почвах. Результаты подчеркивают важность учета видоспецифичности плодово-ягодных растений при разработке стратегий органического земледелия.

Ключевые слова: биопрепараты, органическое земледелие, подвижные формы, почвы, садовые агроэкосистемы, тяжелые металлы, экологические риски.

В Брестской области плодово-ягодную продукцию производит ряд организаций различных форм собственности. В большинстве из них применяются интенсивные технологии выращивания, при которых количество ежегодных химических обработок может достигать 10–20 циклов. Данные методы ведения сельского хозяйства, а также близость к источникам загрязнения могут способствовать накоплению тяжелых металлов (ТМ) в почвах и растениеводческой продукции [1].

Для уменьшения экологических рисков, вызванных указанными выше проблемами, в мире активно внедряются принципы органического земледелия, основанные на использовании эколого-совместимых технологий [2]. В Республике Беларусь разработаны и производятся препараты как для биологической борьбы с вредителями и болезнями (Бактоцид, Фунгилекс, Энтолек), так и для повышения плодородия почв (Ресойлер, Профит) [3]. Преимуществами биологических препаратов в сравнении с химическими пестицидами является отсутствие фитотоксичности, безвредность для теплокровных животных, полезных насекомых и микроорганизмов, низкий риск экологически опасного накопления в окружающей среде.

В настоящее время недостаточно сведений о биогеохимической ситуации в садовых агроэкосистемах крупных производителей садоводческой продукции в регионе, в частности, содержания подвижных форм ТМ в почвах, а также о влиянии на этот параметр технологий органического земледелия.

Целью данной работы было оценить первоначальный уровень содержания подвижных форм ТМ в почвах некоторых садовых агроэкосистем Брестского региона и их изменение после применения биологических препаратов под различными плодово-ягодными культурами.

Материалы и методы. Эксперименты осуществлялись в течении 2024 г. на четырех стационарах (таблица 1).

***Таблица 1** – Расположение и кодировка стационаров исследования*

№	Стационар	Код	Координаты
1	ОАО «Агро-сад Рассвет»	s1	52°20′17″N, 23°68′83″E
2	ОАО «Остромечево»	s2	52°23′38″N, 23°60′47″E
3	ФХ «Влас»	s3	52°16′52″N, 23°91′62″E
4	Отдел Агробиология «БрГУ имени А. С. Пушкина»	s4	52°11′07″N, 23°71′05″E

Обработки биопрепаратами (таблица 2) осуществляли в течение вегетационного периода.

***Таблица 2** – Состав и кодировка обработок биопрепаратами*

№	Биопрепарат	Состав
1	Энтолек	*Lecanicillium lecanii*
2	Профит (Метаризиум+Боверия)	*Metarhizium Beauveria*
3	Битоксибациллин	*Bacillus thuringiensis var. thuringiensis*

Отборы почв произведены в апреле (до обработок) и в октябре (после обработок) согласно требованиям ГОСТ 17.4.4.02–84 с глубины до 20 см. Все образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, далее измельчали до частиц менее 1 мм. Подвижные формы ТМ извлекали ацетат-аммонийным буфером. Содержание ТМ определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) согласно ГОСТ ISO 22036–2014 с использованием спектрометра iCAP 7200 DUO (ThermoScientific). Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Microsoft Excel, R версии 4.3.1 и Jamovi.

Результаты и обсуждение. Анализ содержания подвижных форм ТМ до внесения биопрепаратов выявил, что у всех исследованных почв их уровень не превышает действующих санитарно-гигиенических норм (ПДК) (таблица 3).

Таблица 3 *– Содержание подвижных форм ТМ в садовых почвах (до обработки, в мг/кг)*

Стационар	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Ni	Co	Cr	V	Ti
s1	0,269	0,041	0,13	6,09	9,03	10,46	0,046	0,019	0,035	0,043	0,226
s2	0,377	0,031	1,77	2,60	14,66	5,96	0,097	0,028	0,034	0,022	0,413
s3	0,243	0,056	0,30	2,54	18,14	19,55	0,058	0,028	0,151	0,077	0,381
s4	0,476	0,038	0,06	4,30	7,62	4,71	0,064	0,024	0,032	0,027	0,136
Фон 1 [4]	3,31	0,07	0,59	2,35	39	–	0,22	0,19	0,56	–	–
Фон 2 [5]	1,66	0,06	0,15	4,1	30,7	52,9	0,13	0,06	0,07	–	–
ПДК [6]	6,0	0,5	3,0	23	60	–	4,0	5,0	6,0	–	–

Содержание подвижных форм молибдена и ртути в образцах почв было ниже порогов обнаружения. В то же время выявлены превышения фоновых значений для следующих элементов: Cu (s1 – 3 раза), Zn (s1 – 2,6; s2 и s3 – 1,1 и s4 – 1,8 раза). По элементам, для которых не приводятся фоновые значения и ПДК (V, Ti, As, Sb, Sn), отмечается повышенное содержание Ti, Sb, Sn для почв стационара s2, V – для s3, As – для s4.

Следует отметить, что фоновые и санитарно-гигиенические нормы содержания подвижных форм [4, 6] приводятся для метода кислотного извлечения и их значения несколько выше, чем при использовании ацетатно-аммонийного метода [5]. Полученные нами данные по садовым почвам являются сопоставимыми с результатами других авторов [7].

Обработка почв и растений в течение вегетационного сезона 2024 г. привела к изменению в содержании подвижных форм ТМ в почвах различных стационаров (рисунок 1, таблица 4). График анализа главных компонентов (PCA) для всех анализируемых ТМ на четырех стационарах до обработок описывает 52 % общего варьирования (ось № 1 – 27,9 %, ось № 2 – 24,1 %) (рисунок 1А), а после обработок – 54 % (ось № 1 – 27,9 %, ось № 2 – 24,1 %) (рисунок 1Б). Если первоначально выделялось 2 ассоциации: Cd-Fe-As-Cr и Co-Pb-Cu-Ni-Sn-Ti, то к концу сезона распределение было более равномерным. Также отмечается ослабление роли свинца, мышьяка и меди.

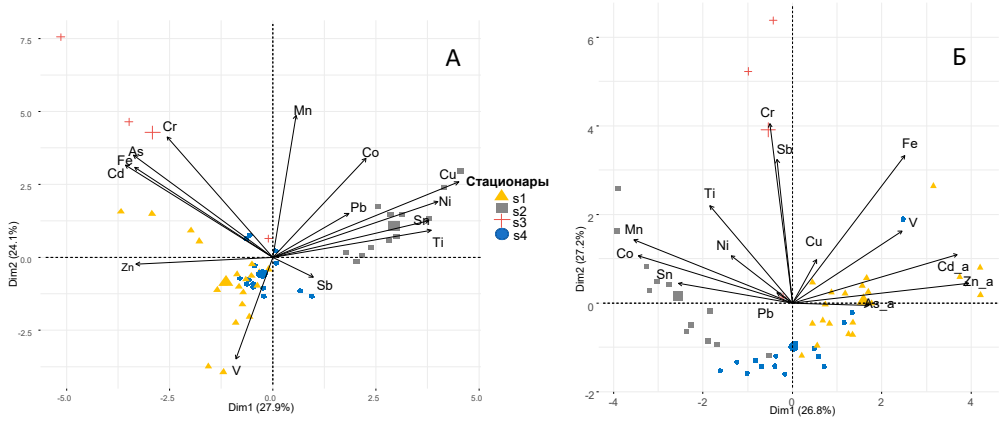


Рисунок 1 *– График зависимости содержания подвижных форм ТМ в почвах от стационара исследования в пространстве двух факторов (PCA): А – до обработки; Б – после обработки. Стационары s1–s4 – согласно таблице 1*

Анализ поведения подвижных форм в зависимости от биопрепарата и культуры выявил большее влияние последнего фактора (рисунок 2Б). Отмечается повышенное содержание в конце вегетационного сезона подвижных форм ванадия под смородиной; железа, цинка и кадмия – под малиной, а пул Cr-Ni-Cu-Co тяготеет к яблоне и вишне. С этой ассоциацией связано и действие большинства биопрепаратов.

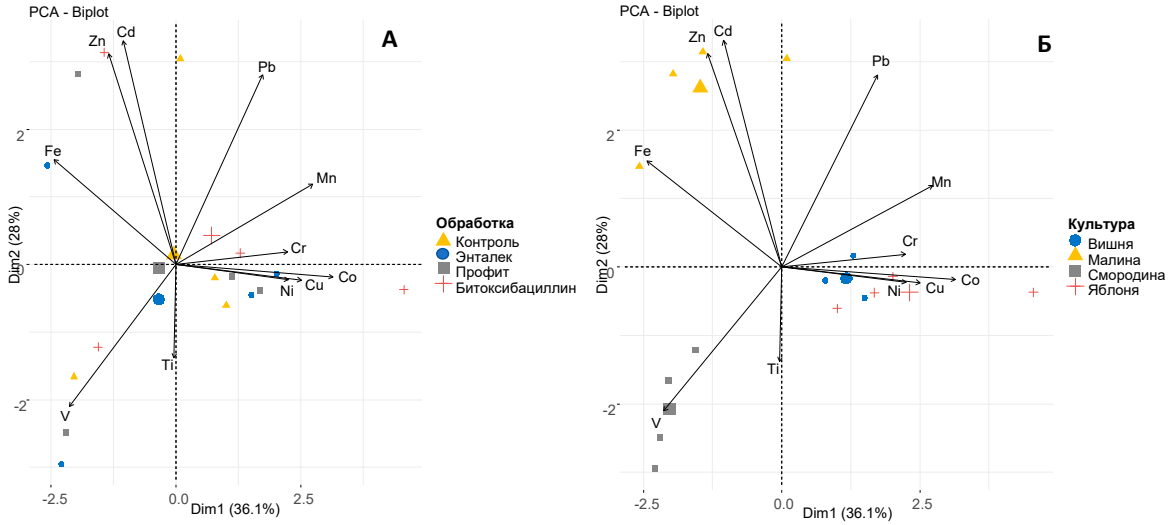


***Рисунок 2** – Содержание подвижных форм в почве после обработки: в зависимости от биопрепарата (А) и культуры (Б) в пространстве двух факторов (PCA)*

***Таблица 4** – Изменение содержание подвижных форм ТМ в почвах после обработок биопрепаратами (в % относительно контроля)*

Биопрепарат	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Ni	Co	Cr	V	Ti	Sn
ЭЛ	4,78	6,61	29,2	6,74	1,54	1,41	59,8	12,4	19,2	-9,2	-17,6	-34,2
ПМ	-7,54	-4,55	-70,9	-11,78	14,75	-4,19	-84,5	-9,5	-16,1	5,1	16,9	54,3
ББ	1,97	-3,68	-23,37	-3,33	-1,16	4,91	-6,6	15,9	1,8	8,9	11,4	-0,5

Анализ изменения содержания подвижных форм ТМ после обработок (таблица 4) различными биопрепаратами выявил тенденции к их понижению для большинства ТМ после внесения биопрепарата Профит: для свинца -7,5%, кадмия -4,6%, меди -71%, железа -4,2 %, никеля -84,5%. В то же время применение Энтолека может способствовать увеличению содержания подвижных форм меди (29,2%) и никеля (59,8%), что следует учитывать при использовании препаратов и удобрений, содержащих данные элементы.

Таким образом, исходное содержание подвижных форм ТМ в исследованных садовых почвах находилось в рамках санитарно-гигиенических норм, но были превышены фоновые значения для Cu, Zn, V, Ti, As, Sb и Sn. Выявлена видоспецифичность распределения ТМ под разными культурами: ассоциации Cr-Ni-Cu-Co характерны для почв под яблонями и вишнями, а повышенное содержание V, Fe, Zn и Cd наблюдалось под смородиной и малиной. Анализ изменения содержания подвижных форм ТМ в садовых почвах выявил эффективность биопрепаратов, при этом максимальный регулирующий эффект отмечен для микробиологического препарата Профит, снижающего подвижность Pb, Cd, Cu, Ni. Полученные данные создают основу для оптимизации схем биологической защиты плодово-ягодных культур с учетом видоспецифичности и микрохимического состава почв.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ-Брест 2024 № Х24Б-005.

Список использованных источников

1. Содержание тяжелых металлов в огородных почвах жилой усадебной застройки г. Брест / Н. В. Михальчук, М. М. Дашкевич, Е. А. Брыль [и др.] // Веснік Брэсц. унів. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2020. – № 2. – С. 115–120.

2. Тарасенко, С. А. Практические рекомендации по ведению органического сельского хозяйства в Республике Беларусь / С. А. Тарасенко, В. В. Ушкевич, Е. М. Хващевская. – Брест : Полиграфика, 2018. – 84 с.

3. Сорока, С. Разработка современных микробных препаратов в институте защиты растений в Беларуси / С. Сорока, Д. Войтка, Е. Янковская [и др.] // Simpozionul Protecţia plantelor–realizări şi perspective, Кишинев. – 2015. – № 47. – С. 16–19.

4. Михальчук, Н. В. Фоновое содержание тяжелых металлов и микроэлементов в почвах и растительности юго-запада Беларуси как основа для сравнительных оценок при производстве органической продукции на основе принципов зеленой экономики / Н. В. Михальчук, А. Н. Мялик // Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике; редкол.: В. С. Хомич (гл. ред.). – Минск : СтройМедиаПроект, 2019. – С. 266–281.

5. Колбас, Н. Ю. Оценка содержания тяжелых металлов в компонентах лесных ягодников некоторых районов Брестской области / Н. Ю. Колбас, А. П. Колбас // Веснік МДПУ імя І. П. Шамякіна, біялагічныя навукі. – 2024. – № 1 (63). – С. 22–29.

6. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25 января 2021 г. № 37 «Об утверждении гигиенических нормативов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037. – Дата доступа : 01.06.2025.

7. Наумова, Н. Л. Оценка содержания тяжелых металлов в почвах яблоневых садов различными современными методами / Н. Л. Наумова, А. А. Лукин, Е. А. Велисевич // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 11 (200). – С. 49–54.

ASSESSMENT OF HEAVY METAL MOBILE FORMS CONTENT IN SOILS OF GARDEN AGROECOSYSTEMS IN THE BREST REGION

A. P. Kolbas, N. Y. Kolbas, P. V. Kachanovich, M. O. Kaydalova, M. I. Khvashcheuski, T. I. Novikava, M. M. Dahkevich

The paper presents the results of studying the content of mobile forms of heavy metals (HM) in the soils of four gardens in the Brest region, where elements of organic farming were used. The study confirmed the effectiveness of biopreparations in regulating the mobility of HM in soils. The results emphasize the importance of taking into account the species specificity of fruit and berry plants when developing organic farming strategies.

УДК 91:004(043.3)

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНЫХ ФУНКЦИЙ ГОРОДСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. ПИНСКА)

Л. А. Кравчук, А. А. Яновский, Н. М. Баженова, С. Г. Живнач, Н. К. Быкова
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Для территории г. Пинска определена связь вегетационных индексов с продуктивностью городских экосистем и рассчитано депонирование углекислого газа городскими насаждениями в составе различных геотехнических систем. Для выделов геотехнических систем установлено наличие значимой отрицательной связи между средними для выделов значениями температуры подстилающей поверхности и значениями индекса листовой поверхности и степени озелененности.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, геоинформационные системы, городская растительность, экосистемные функции, Пинск.

Введение. В связи с климатическими условиями Белорусского Полесья [1] и необходимостью оптимизации городских озелененных территорий для создания благоприятных условий жизнедеятельности населения в полесских городах актуальны вопросы оценки эффективности функционирования растительного покрова. Данные оценки востребованы при градостроительном планировании, озеленении городских территорий и разработке мероприятий по оптимизации насаждений.

Концепция города как интегральной социо-геотехнической системы, состоящей из различных взаимосвязанных типов геотехнических систем (ГТС), предполагает дифференцированную оценку выполнения экосистемных функций насаждениями в них.

Цели. На основе сопряженного анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), ГИС-проекта, дифференцированного в разрезе выделов ГТС различных типов и подспутниковых исследований структуры и состояния растительного покрова, определить особенности выполнения растительностью основных экосистемных функций в различных типах ГТС на территории г. Пинска.

Методы. Для оценки экосистемных функций растительного покрова в различных ГТС г. Пинска использовалась концепция города как интегральной геотехнической системы, а также сопряженная обработка данных ДЗЗ, дифференцированного в разрезе ГТС ГИС-проекта и данных подспутниковых исследований состояния и продуктивности городских экосистем на тестовых полигонах. Методология исследования экосистемных функций городской растительности в составе городских ГТС включала следующие этапы:

– подбор имеющихся картографических материалов, подготовку ГИС-проекта городской территории в разрезе типов ГТС;

– проведение подспутниковых исследований на тестовых полигонах для оценки структуры и продуктивности растительного покрова в городских условиях;

– выбор снимков ДЗЗ, наиболее близких по времени съемки с проведением натурных подспутниковых исследований;

– обработку ДЗЗ с расчетом показателей, характеризующих температуру подстилающей поверхности (англ. Land Surface Temperature – LST) и растительный покров (нормализованный разностный индекс растительности (NDVI), индекс листовой поверхности (LAI), содержание хлорофилла в растительном пологе (CCC));

– корегистрацию расчетных значений анализируемых показателей ДЗЗ с дифференцированным в разрезе ГТС ГИС-проектом городской территории;

– обработку и анализ данных ДЗЗ в разрезе выделов городских ГТС различных типов с расчетом степени их озелененности;

– оценку связи продуктивности растительного покрова, в том числе депонирования углерода, с вегетационными индексами для тестовых полигонов, заложенных на территории Пинска;

– построение дифференцированных картосхем распределения средних для выделов ГТС значений NDVI, LAI, CCC, LST, степени озелененности, депонирования растительным покровом углерода;

– оценку связи между значениями NDVI, LAI, CCC, степени озелененности выделов ГТС и значениями LST.

ГИС-проект территории Пинска подготовили с использованием данных OpenStreetMap *(https://www.openstreetmap.org)*, публичной кадастровой карты *(https://map.nca.by)*, Геопортала ЗИС УП Белгипрозем

(gismap.by), ГисЛес (https://belgosles.by) и картографических материалов на бумажных носителях. При создании ГИС-проекта идентифицировали и оконтуривали ГТС промышленной (П) и коммунальной (К), жилой многоквартирной (ЖМ), жилой усадебной (ЖУ), общественной (О) и специальной (СП) застройки, водохозяйственные (ВОДХ), санирующие (САН), транспортные (ТР), а также сельскохозяйственные (СХ), ландшафтно-рекреационные (ЛР) ГТС и нарушенные (НАР) территории. В целом в ГИС-проекте Пинска было идентифицировано около тысячи выделов ГТС 12 типов.

Расчет значений NDVI [2], LAI и CCC выполнили по снимку спутника серии Sentinel-2 уровня обработки 1С с датой съемки Пинска 16 июля 2024 года. Атмосферную коррекцию выполнили с помощью программы обработки Sen2Cor [3]. При расчете NDVI, LAI, CCC использовали каналы с пространственным разрешением 10 и 20 метров, последние привели к разрешению 10 м, согласно [4]. Из расчетов исключали пиксели с искаженными или вышедшими на насыщение значениями, а также облака и их тени. Значения индексов LAI и CCC рассчитали с помощью модуля биофизический процессор L2B программы Sentinel-2 Toolbox [5].

Температуру подстилающей поверхности определяли по снимкам спутников серии Landsat, которые в настоящее время представлены спектрорадиометрами среднего пространственного разрешения на спутниках Landsat 7 (прибор ETM+, 1 канал в тепловом диапазоне с пространственным разрешением 60 м) и Landsat 8 и 9 (прибор TIRS, 2 канала в тепловом диапазоне с пространственным разрешением 100 м). Для анализа LST территории Пинска отбирали снимки Landsat, наиболее близкие по времени съемки к ранее отобранному снимку Sentinel-2. Выбранный снимок LST для Пинска получен спутником Landsat 8 (дата и время съемки 16.07.2024 г. 12 часов 07 минут местного времени).

Результаты и обсуждение. Совмещенный анализ данных ДЗЗ и ГИС-проекта городской территории Пинска, дифференцированного в разрезе выделов ГТС различных типов, позволил выделить участки городской территории с невысокими средними значениями NDVI, LAI и CCC. В качестве примера на рисунке 1 приведено распределение LAI в разрезе выделов ГТС. Картосхема позволяет определить выделы с низкими показателями LAI, которые идентифицируются в ряде промышленных ГТС, в новой жилой многоквартирной застройке на севере города, в жилой усадебной застройке на северной и западной окраинах, в составе спецтерриторий, транспортных ГТС, а также ряда выделов общественной и жилой застройки в исторической части Пинска. Наиболее высокими показателями NDVI, LAI и CCC в Пинске характеризуются участки пойменных заболоченных территорий, расположенных в междуречье Пины и Припяти на южной окраине Пинска, а также леса и резервные территории, покрытые древесно-кустарниковой растительностью.

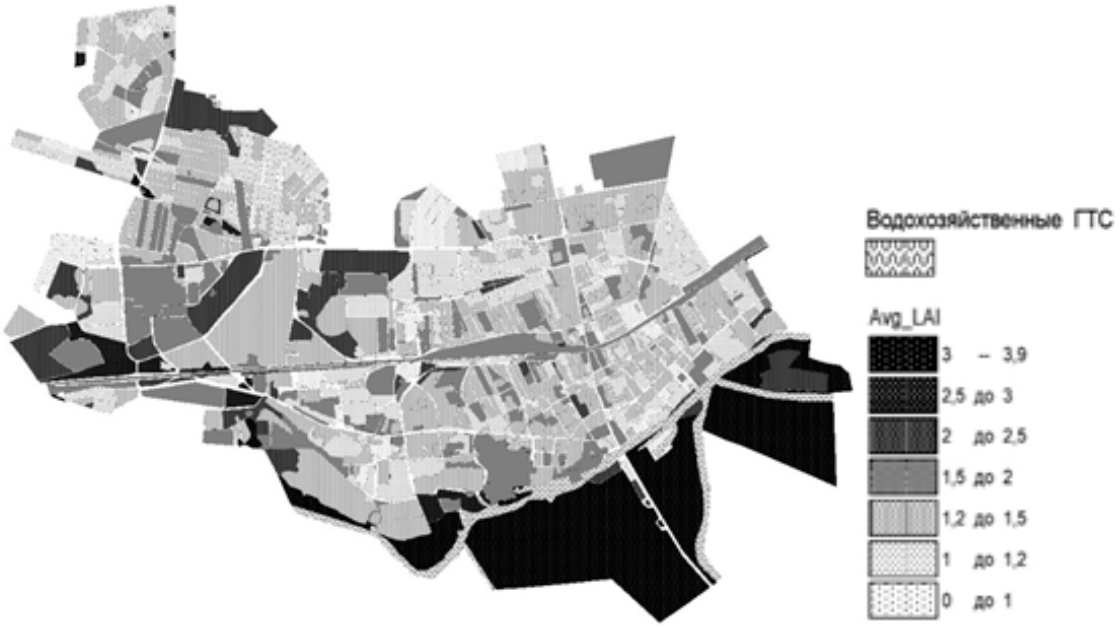


***Рисунок 1** – Картосхема распределения средних значений индекса листовой поверхности (Avg_LAI) для выделов ГТС в г. Пинске*

Депонирование углерода насаждениями (в т.ч. в пересчете на углекислый газ) оценивалось с использованием зависимостей, выявленных на 28 тестовых полигонах при подспутниковых исследованиях в Пинске в июле 2024 года. Полученные для полигонов регрессионные уравнения связи депонирования углерода с LAI для Пинска отражены на рисунке 2. Это позволило по данным распределения средних значений LAI в выделах ГТС Пинска рассчитать удельные показатели депонирования углекислого газа на городской территории.

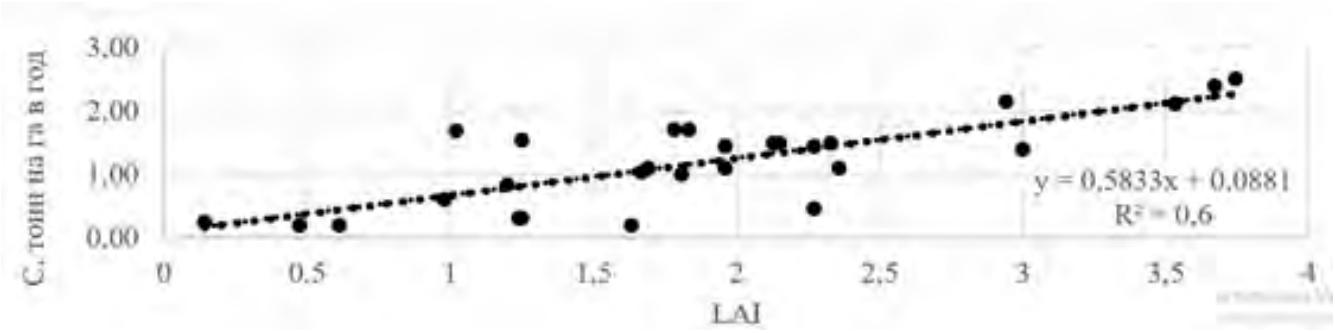


***Рисунок 2** – Связь расчетных показателей депонирования углерода (тонн С на га в год) с показателями среднего значения LAI на тестовых полигонах г. Пинска*

Оценки показали, что растительностью в составе ГТС г. Пинска ежегодно депонируется около 13,7 тыс. тонн углекислого газа. Наибольшее количество (7,9 тыс. тонн) депонируется насаждениями незастроенных ландшафтно-рекреационных территорий (ЛР ГТС), к которым относятся территории природного комплекса (заболоченные участки в долине рек Пина и Припять, леса и лесопарки, парки, скверы, защитные насаждения вблизи промышленных объектов и в санитарных разрывах коммуникаций, незастроенные резервные озелененные территории и др.). Насаждения в составе ГТС жилой усадебной застройки ассимилируют около 2,8 тыс. тонн, в ГТС жилой многоквартирной и общественной застройки – соответственно 0,7 и 0,6 тыс. тонн, промышленной – близко к 0,6 тыс. тонн CO_2.

Создание благоприятных микроклиматических условий для жизнедеятельности населения является одной из значимых экосистемных функций насаждений в городах. Важным при формировании городских островов тепла является показатель LST, который во многом определяет особенности температуры воздуха на городской территории. Дифференцированная оценка распределения средних значений LST в различных типах ГТС Пинска в дневное время летнего периода представлена на рисунке 3.



***Рисунок 3** – Картосхема распределения средних значений температуры подстилающей поверхности (Avg LST) в выделах ГТС на территории г. Пинска*

Наиболее низкими средними значениями LST для территории Пинска характеризуются заболоченные участки поймы рек Пина и Припять на юге, участки леса на севере города, а также незастроенные участки резервных озелененных территорий на западной окраине города.

Заметно снижение LST в жилой усадебной застройке на северо-западной окраине города. Наиболее высокие средние показатели LST регистрируются в выделах промышленных ГТС на севере города, в том числе в районе ТЭЦ и на прилегающих участках промзон. Отмечаются сравнительно более высокие значения LST также в кварталах новой жилой многоквартирной и усадебной застройки.

Оценка связей между средней температурой подстилающей поверхности (LST_{avg}) и характеристиками растительности позволила установить наиболее значимые отрицательные связи LST в выделах ГТС со степенью их озелененности (%) и средними значениями LAI (рисунок 4).

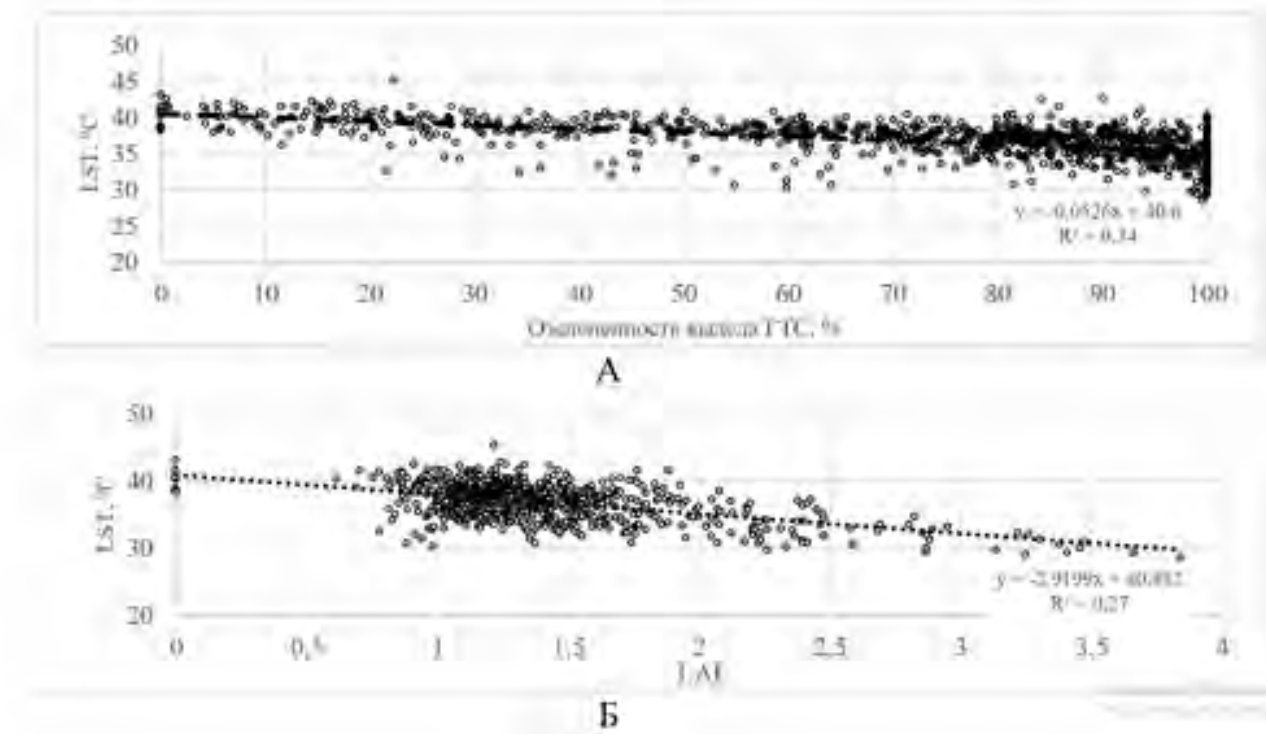


***Рисунок 4** – Связь средней температуры подстилающей поверхности (LST_{avg}) в выделах ГТС г. Пинска: А – со степенью озелененности (%) выделов; Б – со средними значениями индекса листовой поверхности (LAI_{avg})*

Заключение. Дифференцированная оценка основных экосистемных функций озелененных территорий в различных ГТС г. Пинска предусматривает процедуру сопряженного анализа данных ДЗЗ и ГИС-проекта города, дифференцированного в разрезе выделов различных типов ГТС. Это позволило выявить участки с невысокими значениями NDVI, LAI и CCC и степени озелененности выделов различного функционального использования.

Подспутниковые наземные исследования структуры и состояния растительного покрова на тестовых полигонах позволили определить связь вегетационных индексов с продуктивностью городских экосистем и произвести модельные расчеты депонирования углекислого газа городскими насаждениями в составе различных ГТС.

Оценка температуры подстилающей поверхности в Пинске в полдень летнего периода (июль 2024 г.) выявила на территории города участки с высокими показателями LST (территории ряда промышленных предприятий, гаражных кооперативов, новой жилой многоквартирной и усадебной застройки, нарушенные участки незавершенного строительства и др.). Значимые отрицательные связи LST выявлены со средними значениями LAI и степенью озелененности выделов ГТС.

Благодарности. Исследования проведены при поддержке БРФФИ в рамках выполнения проекта № Х23КУБ-001.

Список использованных источников

1. Лысенко, С. А. Современное состояние климата Белорусского Полесья и прогнозы его изменений на период до 2050 года / С. А. Лысенко [и др.] // Вестник Фонда фундаментальных исследований, 2025. – № 1. – С. 91–106.

2. Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens. Environ., 1979, Vol. 8, iss. 2, pp. 127–150. – Mode of access : https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0.

3. Sen2Cor 2.12. 2024. – Mode of access : http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/. – Date of access : 09 October 2024.

4. Brodu, N. Super-Resolving Multiresolution Images With Band-Independent Geometry of Multispectral Pixels. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2017, Vol. 55, iss. 8, pp. 4610-4617. – Mode of access : https://doi.org/10.1109/TGRS.2017.2694881.

5. Sentinel-2 Toolbox. 2024. – Mode of access: http://step.esa.int/main/toolboxes/sentinel-2-toolbox. – Date of access : 09 September 2024.

REMOTE ASSESSMENT OF ECOSYSTEM FUNCTIONS OF URBAN VEGETATION (ON THE EXAMPLE OF PINSK)

L. A. Kravchuk, A. A. Yanovskiy, N. M. Bazhenova, S. G. Zhivnach, N. K. Bykova

For the territory of Pinsk, the relationship between vegetation indices and the productivity of urban ecosystems was determined, and carbon dioxide sequestration by urban vegetation in various geotechnical systems was calculated. For geotechnical system units, a significant negative relationship was found between the average values of the land surface temperature of the units and the values of the leaf area index and the degree of greenery. A combined analysis of satellite remote sensing data, differentiated GIS-project of various types of urban geotechnical systems and ground-based studies of the structure and condition of vegetation at test sites was used to assess the efficiency of urban green areas in Pinsk.

УДК 553.97:553.973

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСАДКОВ ОЗЕР ВЫГОНОЩАНСКОЕ И БОБРОВИЧСКОЕ

Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, В. П. Зерницкая, А. Ю. Татков
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Приведены результаты геологоразведочных и научных работ по стратиграфии и оценке ресурсов сапропеля в озерах Выгонощанское и Бобровичское. По картографическим материалам выявлена пространственная трансформация береговой линии и осадков сапропеля в оз. Выгонощанское. Для минимизации процессов заиления и эвтрофирования, оздоровления экологической ситуации предлагается удаление сапропеля и его использование в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: сапропель, торф, запасы, трансформация озер, добыча сапропеля.

Введение. Одной из главных функций озер в природе является аккумулятивная: вместе с накоплением воды происходит отмирание гидробионтов и заиление водоемов сапропелем. Большинство озер Беларуси и, в частности, на территории республиканского ландшафтного заказника «Выгонощанское», находится в состоянии, когда процессы эвтрофирования из-за повышенного накопления биогенных элементов в поверхностных осадках и усиленного заиления обрели необратимый характер. Любые меры, в том числе снижение стоков, повышение уровня воды и аэрация водной массы не могут прекратить процессы заиления либо дают кратковременный эффект, а заметное улучшение экологического состояния наблюдается только после извлечения сапропеля [1].

Озеро Выгонощанское – самый крупный естественный водоем Брестской области. В настоящее время его площадь составляет 2 522 га. Это плоский дистрофирующий водоем полесского типа, для поддержания которого в естественном состоянии требуется проведение восстановительных мероприятий. В 2019–2024 гг. Полесским аграрно-экологическим Институтом НАН Беларуси разработана концепция восстановления гидрологического режима и эколого-экономического потенциала данного озера. Система практических мероприятий по восстановлению экосистемы озера предусматривает частичное удаление сапропелевых отложений с последующим использованием их в различных отраслях хозяйства.

Вторым перспективным по объему запасов сапропеля является озеро Бобровичское (947 га), расположенное в 7,5 км на юго-восток от озера Выгонощанское. Озеро сильно заилено сапропелем. На площади 159 га детальной разведки 1991 г. выявлена рекордная для озер Беларуси максимальная мощность сапропеля 23,7 м. Средняя мощность по разведанному участку месторождения также является самой большой – 14,7 м. Оба водоема значатся крупными накопителями органических осадков, считаются перспективными для освоения ввиду интенсивного заиления, однако расположены в пределах охраняемой территории.

Цель. По картографическим и геологическим материалам выявить направления пространственной трансформации озер Выгонощанское и Бобровичское, оценить особенности их заиления сапропелем, предложить способы его извлечения и направления использования.

Методы. Особенности накопления и вещественный состав озерного сапропеля установлены по материалам геологоразведочных работ прошлых лет. Данные о ресурсах сапропеля озера Выгонощанское получены в результате поисково-оценочных работ, проведенных Институтом природопользования НАН Беларуси в 1990 г. В 72 точках зондирования были определены глубина воды и мощность сапропелевой залежи, на основании которых выявлены прогнозные объемы сапропеля в этом крупном месторождении, которое входит в республиканскую десятку по объему запасов – 25,4 млн м^3.

Прогнозная оценка ресурсов сапропеля озера Бобровичское была выполнена сотрудниками Института природопользования НАН Беларуси в 1978 г., а детальная разведка на центральном участке – в 1991 г. Радиоуглеродный возраст (9 ^{14}C дат) отложений в точке с мощностью осадков 15 м получен сцинтилляционным методом подсчета актов радиоактивного распада в радиоуглеродной лаборатории ГП «НПЦ по геологии» (IGS, г. Минск). Относительный возраст отложений определен споро-пыльцевым методом по общепринятой методике.

Динамика береговой линии озер изучалась на основе сопоставления топографической карты Минской губернии А. К. Фитингофа, которая имеется в открытом доступе на портале [2], с современными электронными картами Google Планета Земля (Google Earth). Карта А. К. Фитингофа составлена в 1846 г., однако показывает высокий уровень исполнения: многие контрольные точки при наложении данных этой

карты с современной совпали, что позволяет изучать ландшафтные изменения на приозерьях и влияние хозяйственной деятельности во времени.

Результаты. Расположенное в центре Полесской низменности озеро Выгонощанское является крупным аккумулятором воды данной территории. Это озеро-разлив с достаточно плоской котловиной. Озеро неглубокое – по данным поисково-оценочных работ 1990 г., средняя глубина воды в озере составляла 1,0 м, максимальная 2,5 м, мощность сапропеля в среднем около 1,1 м, максимально достигает 2,2 м (рисунок 1а).

В результате проведенных в XVIII–XX вв. работ по гидротехническому регулированию озеро Выгонощанское фактически превратилось в искусственный водоем, которому свойственно переформатирование ложа с размывом берегов и переотложением слагающих их торфяных грунтов. Вследствие преобладающих северо-западных и западных ветров происходит абразия восточного торфяного берега вплоть до песчаного основания и переотложение взмученных осадков преимущественно в западной части акватории.

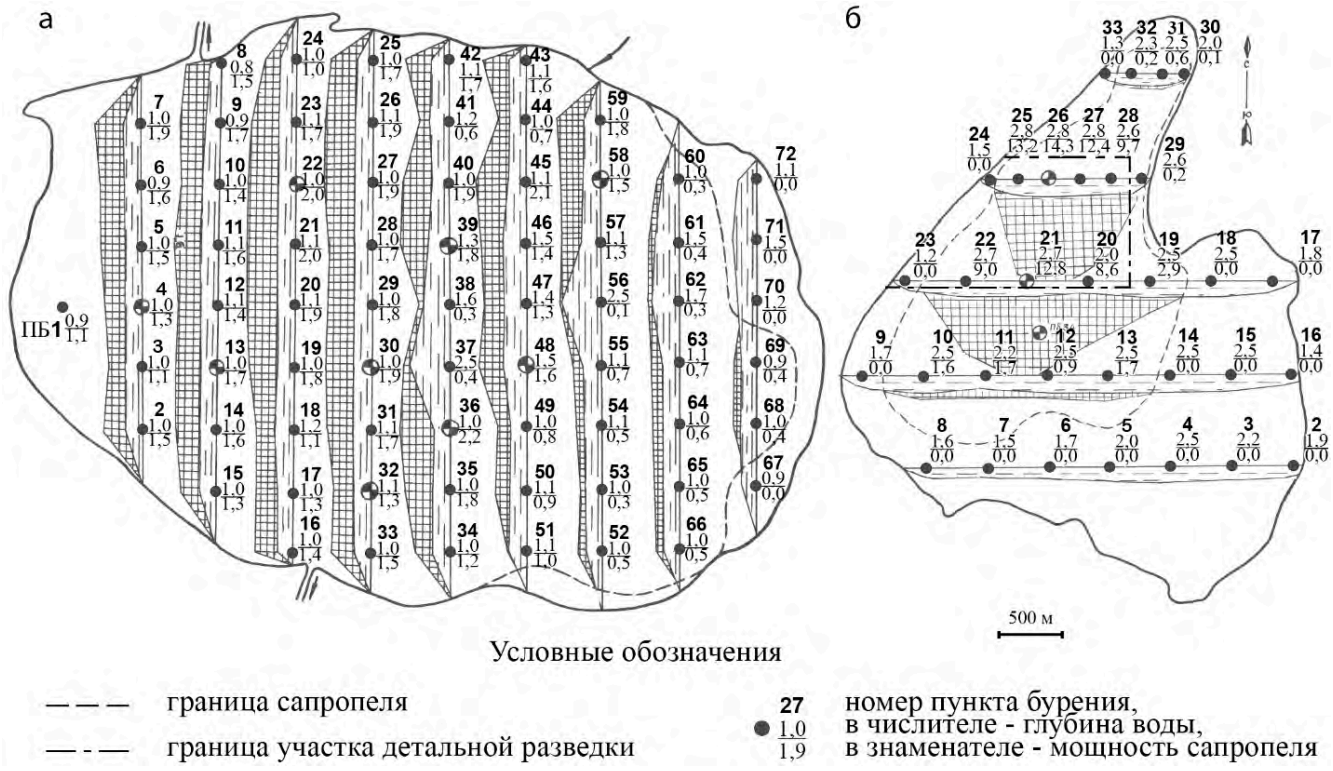


***Рисунок 1** – Глубины воды и мощности сапропеля в озерах Выгонощанское (а) и Бобровичское (б) по итогам поисково-оценочных работ*

Расчеты показывают, что средняя глубина воды в западной части озера, где расположен наветренный берег, на поперечниках зондирования 1–4 составляет 1,02 м, средняя мощность сапропеля здесь – 1,58 м. С другой стороны, на подветренном берегу в восточной половине озера Выгонощанское средняя глубина воды на поперечниках 5–9 увеличена до 1,21 м, а мощность сапропеля, вследствие размыва и переноса частиц в западном направлении, снижена до 0,9 м.

Анализ картографических материалов показывает, что в середине XIX века площадь озерной акватории составляла 2 757 га. По данным Google Earth Pro, в 2025 г. эта площадь – 2 522 га. В восточной части озера за период 1856–2025 гг. отмечается размыв торфяных берегов на 140 га или 5 % площади современного озера. В этот же период за счет естественного заболачивания преимущественно в южной части площадь водоема уменьшилась на 310 га или на 11,5 % (рисунок 2). Сопоставление прежней и современной береговой линии озера Бобровичское по тем же картографическим материалам не выявило принципиальных отличий.

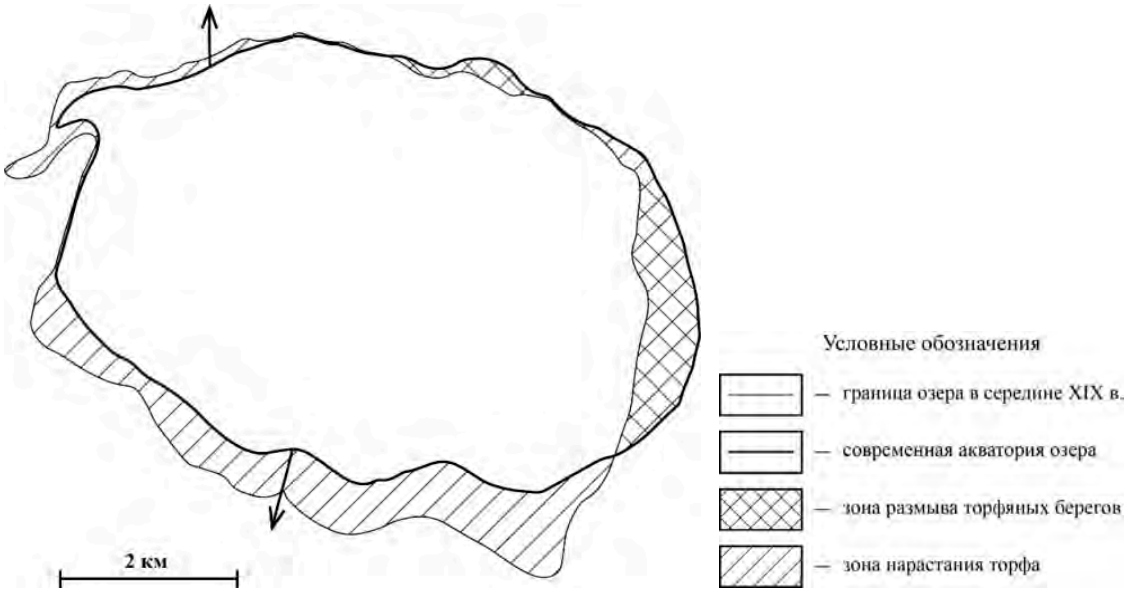


***Рисунок 2** – Изменения береговой линии озера Выгонощанское за 180 лет*

Регулирование стока в озере Выгонощанское в течение длительного периода привело к тому, что объект в настоящее время выявляет признаки искусственного сточного водоема, созданного на торфянике [3]. Небольшая глубина водоема способствует повышению температуры воды, что активизирует микробиологические процессы, увеличивает цветность воды, создает благоприятные условия для всплывания прибрежного торфа и служит причиной низкой рыбопродуктивности.

Экологические проблемы озера Бобровичское, по причине несколько повышенных глубин воды, не столь остры, как в мелководном озере Выгонощанское. Бобровичский водоем интересен тем, что ранее на нем проводились поисковые и детальные геологоразведочные работы на сапропель, подробно изучена стратиграфия донных отложений (рисунок 1б).

Радиоуглеродный и относительный возраст отложений озера Бобровичское изучен на примере разреза в южной его части с мощностью озерных осадков 15 м. Всего с интервалом через 1–3 м по глубине отобрано 9 образцов на абсолютный возраст [4].

Возраст придонного карбонатного сапропеля на глубине 14,90–15,00 м датирован 13 610–12 850 календарных лет назад (кал. л. н.). Среднее значение 13 210 кал. л. н. свидетельствует об аллерёдском возрасте этих отложений. Учитывая карстовый генезис озерной котловины, повышенное содержания CaO связано с поступлением из меловых и палеогеновых пород, подстилающих четвертичные отложения. Повышенная карбонатность сапропеля отмечается вплоть до конца атлантического периода (около 5 800 кал. л. н.).

Отложения на глубине 3,50–7,60 м, сформированные в интервале ~5800–3000 кал. л. н., соответствуют суббореальному периоду. В течение этого времени происходило сокращение роли широколиственных лесов и возросло содержание сосны, дуба, ели и граба. В озере начинают аккумулироваться кремнеземистый и органический сапропель.

В начале субатлантического этапа (последние ~3000 кал. л.) в лесном покрове происходили значительные изменения: в лесах сокращается участие липы, ольхи, ясеня и орешника, исчезает вяз, но повышается роль березы, ели, граба и бука. Эти изменения были обусловлены не только похолоданием климата, но и нарастающей хозяйственной деятельностью человека.

Интенсивная трансформация лесного покрова, согласно радиоуглеродным датам, началась с XI–XII вв. В растительности увеличились площади открытых травянистых пространств, среди которых были широко представлены рудеральные и злаковые сообщества, а также растения пастбищных угодий. Возраст отложений на глубине 2,05 м (800–520 кал. л. н.) датирует начало пашенного земледелия ~XII–XV вв., что подтверждается подъемом показателя SiO_2/Al_2O_3, уменьшением содержания ОВ, Fe_2O_3, P_2O_3, $S_{общ.}$.

На озере Бобровичское балансовые запасы детально разведанного сапропеля составляют 5260 тыс. т в пересчете на условную 60 % влажность или 21720 тыс. м^3 отложений естественной влажности. Преоб-

ладает ценный в агрохимическом отношении органический сапропель – 59 % общего объема. Под слоями органического сапропеля залегает карбонатный (36 % объема) и кремнеземистый (5 %).

В озере Выгонощанское по данным поисково-оценочных работ залежь целиком сложена органическим сапропелем. Верхний слой до глубины 0,5–1,0 м представлен грубодетритовым и торфянистым сапропелем, нижний – водорослевым тонкодетритовым. Показатели состава сапропеля исследованных озер представлены в таблице.

***Таблица** – Состав сапропеля озер Выгонощанское и Бобровичское, % СВ*

Озеро	Влажность	Зольность	CaO	Fe_2O_3	P_2O_5	K_2O	$N_{общ.}$	pH (*KCl*), ед.
Выгонощанское	93,1–96,4 94,3	19,3–29,5 25,3	2,5–3,3 2,9	1,9–5,7 3,3	0,2–0,4 0,31	н.о.	3,1–3,4 3,2	5,4–6,2 5,7
Бобровичское	86,5–96,4 91,3	13,7–36,8 27,6	0,9–17,9 7,2	0,9–4,6 1,8	0,3–1,1 0,5	0,3–0,9 0,4	2,1–4,0 3,4	5,9–7,3 6,6

Сапропель оз. Выгонощанское имеет высокое влагонасыщение в естественном состоянии, поэтому добыча его может производиться гидромеханизированным способом, который рекомендуется для крупных по площади озер с сапропелем повышенной влажности. Технология предполагает использование наиболее экологобезопасных специальных средств гидромеханизации – плавучих земснарядов, которые разрыхлителем разбавляют сапропель естественной влажности до состояния пульпы с возможностью ее трубопроводного транспорта на большие расстояния с минимальным воздействием на окружающие ландшафты, что особенно важно для конкретных условий озера Выгонощанское. Аналогичная технология может применяться до глубины 10–12 м при разработке органического сапропеля озера Бобровичское.

Основное направление возможного использования сапропеля обоих озер – сельскохозяйственное (сапропелевые удобрения, кормовые добавки), так как он отличаются повышенным содержанием общего азота и нейтральным уровнем кислотности. В залежи озера Бобровичское в отдельных слоях увеличено содержание P_2O_5 до 1,1 %, при среднем значении в сапропелях Беларуси 0,3 %. Нижние слои залежи данного озера могут найти применение в качестве раскислителя почв.

С учетом имеющихся ограничений на осуществление хозяйственной деятельности на охраняемой территории республиканского ландшафтного заказника «Выгонощанское», куда входят оба крупных месторождения, в настоящее время рационально утилизировать огромные запасы сапропеля данных объектов для углубления акватории, улучшения гидрологического режима и предотвращения усугубления экологического состояния озерных экосистем не представляется возможным.

Трубопроводный гидротранспорт сапропеля по гидромеханизированной технологии позволяет относительно эффективно с минимальным воздействием на окружающую среду транспортировать сапропель в места сушки и производства продукции на дальние расстояния за пределы заказника. В качестве альтернативных площадок для обезвоживания сапропеля могут рассматриваться осушенные и выбывшие из эксплуатации торфоучастки месторождения Выгонощанское.

Заключение. Озера Выгонощанское и Бобровичское сильно заилены органическими осадками, имеют незначительные глубины воды, что приводит к заморным явлениям зимой, а летом – к низкой прозрачности воды из-за постоянного ветрового перемешивания водной массы.

Озера возникли около 13 тыс. кал. л. н., накопили огромные объемы ограничесского сапропеля, что создало ряд серьезных экологических проблем, особенно в озере Выгонощанское, где за последние 180 лет наблюдается нарастание торфяной сплавины, особенно с южного берега.

Наиболее действенным способом оздоровления экологической ситуации в мелководных озерах является удаление с помощью экологобезопасных средств гидромеханизации и утилизация высокоорганических сапропелей. Ограничения на осуществление хозяйственной деятельности на охраняемой территории республиканского ландшафтного заказника «Выгонощанское» в настоящее время не позволяют замедлить или устранить негативные процессы в функционировании рассмотренных озерных экосистем.

Список использованных источников

1. Курзо, Б. В. Заиление озер и их экологическое состояние после извлечения сапропеля / Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, А. Ю. Татков // Материалы Всеросс. научно-практич. конф. «Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг», г. Ростов-на Дону, 20–23 сентября 2023 года. Т. 1. – Новочеркасск, 2023. – С. 123–127.

2. ЭтоМесто – старые карты России и мира онлайн: топографическая карта Минской губернии Фитингофа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.etomesto.ru/map-belarus_fitingof-minskaya-guberniya. – Дата доступа : 27.06.2025.

3. Кот, Н. А. Всплывание торфа в искусственных водоемах / Н. А. Кот. – Минск : Наука и техника, 1980. – 158 с.

4. Зерницкая, В. П. Позднеледниковье и голоцен Беларуси: геохронология, осадконакопление, растительность и климат / В. П. Зерницкая. – Минск : Беларуская наука, 2022. – 303 с.

PECULIARITIES OF ACCUMULATION AND PROSPECTS OF UTILIZATION OF ORGANIC SEDIMENTS OF VYGONOSCHANSKOYE AND BOBROVICHESKOYE LAKES

B. V. Kurzo, O. M. Gaidukevich, V. P. Zernitskaya, A. Yu. Tatkov

The results of geological exploration and scientific work on stratigraphy and assessment of sapropel resources in the Vygonoshchanskoye and Bobrovicheskoye lakes are presented. Based on cartographic materials, a spatial transformation of the coastline and sapropel sediments in Lake Vygonoshchanskoye has been revealed. In order to minimize siltation and eutrophication processes for improve the ecological condition, it is proposed to remove sapropel and use it in agriculture.

УДК 531.583

ВЫСОКОШИРОТНОЕ УСИЛЕНИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА КАК «ГЕНЕРАТОР» СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ И РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА

В. Ф. Логинов
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Современное высокоширотное усиление потепления климата является одной из причин современных изменений характеристик общей циркуляции атмосферы (повторяемости меридиональных и зональных процессов, продолжительности арктических вторжений и блокирующих процессов и др.). Выявлены существенные различия пространственно-временных изменений температуры широтных зон Земного шара в годовом ходе. Наибольшая скорость роста температуры и наибольшие различия температуры «экватор–полюс» выявлены в осенний период.

Ключевые слова: арктическое усиление, циркуляция атмосферы, температура широтных зон.

История вопроса и постановка задачи. О влиянии атмосферных процессов высоких широт Земли на погоду и климат других районов Земного шара было известно еще на заре активно проводившихся начиная с XVIII столетия метеорологических и океанографических исследований. Это столетие стало эпохой выдающихся походов и научных экспедиций – эпохой великих географических открытий ученых, мореплавателей и путешественников из полярных стран (Россия, Норвегия, Канада), а также Великобритании, США, Германии и др. Имена многих из них увековечены на географических картах. Особую активность полярные исследования получили в XX столетии. В это время в научной литературе стало широко использоваться выражение, ставшее почти слоганом: «Арктика – кухня погоды», а следовательно, и климата, поскольку климат – это многолетний режим погоды. Потепление климата в 20–30-е гг. стимулировало проведение полярных исследований. Символом развития полярных исследований в Советском Союзе стал легендарный ледовый дрейф экспедиции «Северный полюс-1» под руководством И. Д. Папанина в 1937–1938 гг. В последующие годы, вплоть до начала активной фазы современного потепления климата, в Советском Союзе и России такие экспедиции носили систематический характер и только в последние два десятилетия, когда площадь и мощность ледовых полей Северного Ледовитого океана (СЛО) существенно уменьшилась, проведение таких экспедиций стало опасным. Началось строительство и освоение судовых платформ, которые вмораживались в лед на востоке СЛО и дрейфовали в западном направлении. На борту таких платформ во время их дрейфа проводились комплексные метеорологические, океанологические и геофизические исследования.

Одной из причин перехода на новую технологию проведения научных исследований в высоких широтах собственно и стало, так называемое, арктическое усиление потепления климата в последние десятилетия (1990–2025 гг.).

20–30-е гг. прошлого столетия вошли в историю как годы активного усиления потепления Арктики, когда ледовитость СЛО уменьшилась и суда в отдельные годы за одну навигацию могли проходить Северным Морским Путем, поскольку в период с середины 20-х гг. до середины 50-х гг. ледовитость СЛО была низкой [1]. В то же время температура зимы в Республике Беларусь в отдельные годы, приходящаяся на период потепления Арктики, была самой низкой. Так, в 1939–1940, 1928–1929 гг. температура зим в Беларуси была самой низкой (около -11 °С) за историю инструментальных наблюдений. Температура зимой в 1940–1941 и 1941–1942 гг. была также низкой (-8,3 °С и -10,5 ^{0}С соответственно) [2]. Второй особенностью изменения климата Беларуси в период потепления Арктики было максимальное потепление климата в июле–ноябре; подобная ситуация в изменении температуры в годовом ходе сложилась и в последние годы (1990–2025 гг.), когда температура в Беларуси была выше во вторую половину года (июль–декабрь) по сравнению с первой [2]. В указанные годы активно происходило арктическое усиление потепления климата; рост температуры в высоких широтах оказался в 5–7 раз выше, чем в других районах Северного полушария.

Одной из причин арктического усиления потепления климата является уменьшение альбедо подстилающей поверхности СЛО в связи с сокращением площади ледового покрова [3]. В ряде других работ обращалось внимание на роль таких других факторов в арктическом усилении потепления климата, как притоки тепла и влаги из низких широт, явного и скрытого тепла при льдообразовании, притоки длинновол-

новой радиации к подстилающей поверхности, содержания антропогенных парниковых газов и аэрозолей естественного и антропогенного происхождения в атмосфере и, как следствие, загрязнения снега и др. [4–7]. Подробно этот вопрос освящен в обзорных работах [3, 6, 8].

В ряде работ обсуждалась роль арктического усиления потепления климата в изменении климата других широтных зон и Северного полушария в целом [9, 10]. Имеются работы, где указывается о полном или незначительном его влияния на климат других широтных зон [11].

В настоящей работе вопросы арктического усиления потепления климата рассмотрены с использованием других подходов и более полных данных наблюдений. Они включали в первую очередь исследование изменений разности величины климатических норм и величин трендов температуры высоких широт в разные различные месяцы года, а также изменений характеристик атмосферной циркуляции в Северном полушарии по Б. Л. Дзердзеевскому [12] и фрагментарно аномалий температуры и осадков в Беларуси в отдельные временные периоды.

Анализ разностей температуры «экватор–полюс» в Северном полушарии был выполнен с использованием данных Национальных центров экологической информации (NCEI https: // www.ncei.nova.dou) о температуре по 5^0 квадратам за период с 1956 г. по 2023 г. Проанализированы два периода, продолжительность которых близка к рекомендованному Всемирной метеорологической организацией (ВМО) тридцатилетнему периоду для вычисления норм и других статистических параметров: а) 1956–1989 гг. и б) 1990–2023 гг.

Второй период характеризуется самым значительным ростом температуры. Его температура сравнивалась с температурой предшествующего периода такой же продолжительности (фоновым периодом).

Результаты анализа разностей температуры «экватор–полюс» в Северном полушарии. Анализ результатов изменений разностей температуры «экватор–полюс» ($0…10^0$ с.ш. – $65…90^0$ с.ш.) для разных месяцев года показывает, что в период наиболее выраженного потепления климата (1990–2023 гг.) разность разностей температуры во все месяцы года, кроме июня и июля, уменьшается по отношению к предшествующему периоду 1956–1989 гг. такой же длительности (таблица 1).

В целом за год при переходе от первого ко второму периоду отмечается уменьшение среднегодовых разностей температуры на 1,3 ^{0}С. Наибольшие межпериодные разности температуры характерны для весны и осени: в апреле – до -2 ^{0}С, в октябре и ноябре – -2,4...-2,6 ^{0}С. Как показано в наших предыдущих работах [13, 14], на указанные месяцы года приходится наиболее сильное ускорение потепления климата. На октябрь и ноябрь, как показывают модельные оценки [15], отмечается рост потока явного и скрытого тепла для наиболее жёсткого сценария RCD8.5. Максимум радиационного форсинга может наступить в конце XXI столетия. В последние десятилетия максимум потепления в высоких широтах смещается на осень.

Таблица 1 *– Разности температуры «экватор–полюс» ($0–10^0$ – $65–90^0$ с.ш.) и их разности для двух периодов времени (1956–1989 и 1990–2023 гг.)*

Период	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1990…2023	50,7	50,7	48,0	40,8	31,6	24,8	21,9	22,9	28,2	36,6	44,7	48,9	37,5
1956...1989	52,1	52,4	49,8	42,7	32,5	24,5	21,7	23,2	29,8	39,3	47,1	50,5	38,8
1990…2023 минус 1956…1989	-1,4	-1,7	-1,8	-2,0	-0,9	0,3	0,1	-0,3	-1,6	-2,6	-2,4	-1,6	1,3

Уменьшение разностей температуры «экватор–полюс» в последние десятилетия наблюдается почти во все месяцы года, кроме июня и июля, где изменения разностей близки к нулю, приводит к ослаблению зонального переноса атмосферного воздуха.

Проведенный нами дополнительный анализ изменений температуры в различных широтных зонах показал, что среднемесячные значения межпериодных разностей температуры в приэкваториальных широтах варьируют в интервале 0,36–0,54 ^{0}С, тогда как в полярной шапке – в интервале 0,24–3,15 ^{0}С. Это означает, что изменения разностей температуры «экватор–полюс» в основном регулируются изменениями температуры в полярной шапке в результате арктического усиления потепления климата.

Наибольшее снижение разностей температуры «экватор–полюс» происходило вблизи дат весеннего (март-апрель) и, особенно, осеннего равноденствия (октябрь-ноябрь). Среднегодовое снижение градиента температуры «экватор–полюс» в период современного потепления составило -1,3 ^{0}C.

Анализ разностей температуры «экватор–полюс» в Южном полушарии. Разности температуры «экватор–полюс» (0–10^0 – 65–90^0 ю.ш.) вместе с их разностями для двух периодов времени (1956–1989 и 1990–2023 гг.) представлены в таблице 2.

Таблица 2 *– Разности температуры «экватор–полюс» (0–10^0 – 65–90^0 ю.ш.) и их разности для двух периодов времени (1956–1989 и 1990–2023 гг.)*

Период	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1990...2023	35,2	41,6	50,0	56,2	58,8	59,6	60,8	61,1	58,5	51,3	40,9	34,6	50,7
1956...1989	33,9	41,4	50,4	57,4	60,5	61,8	63,5	64,4	61,6	53,0	41,1	33,5	51,9
1990...2023 минус 1956...1989	1,4	0,2	-0,4	-1,2	-1,7	-2,2	-2,7	-3,3	-3,1	-1,7	-0,2	1,1	1,2

Из таблицы 2 следует, что в Южном полушарии разности температуры «экватор–полюс» более, чем на 13 ^{0}C превосходят разности Северного полушария. Температурные разности в Южном полушарии во втором периоде (1990–2023 гг.) также уменьшились, за исключением разностей температуры для трёх летних месяцев. В изменении межпериодных разностей градиентов температуры отсутствует «двугорбость» – их значения плавно уменьшаются от середины лета в Южном полушарии (начало года) до конца зимы и затем возрастают вплоть до января. В Южном полушарии наибольшие межпериодные разности температуры характерны для зимних месяцев (июль-август) и начала осени (сентябрь) при среднегодовом уменьшении разности температуры, сравнимой с таковой в Северном полушарии (1,2 и 1,3 ^{0}C соответственно).

В Южном полушарии вблизи зимнего солнцестояния (декабрь-январь, тёплое время года) межпериодная разница температуры составляет 1,2 ^{0}C, тогда как в Северном полушарии их разность летом (июнь–август) близка к нулю. Это означает, что в тёплые месяцы года (декабрь-январь) разность температуры «экватор–полюс» в период современного потепления климата в Южном полушарии стала выше более чем на 1 ^{0}C по сравнению с предыдущим периодом (1956–1989 гг.), тогда как в Северном полушарии летом (июнь–июль) он практически не изменился (межпериодная разность температуры была близка к нулю).

Сравнительный анализ межпериодных разностей температуры как для Северного, так и для Южного полушарий показал, что для периода наиболее выраженного современного потепления климата (1990–2023 гг.) характерно уменьшение разностей температуры «экватор–полюс» по сравнению с предыдущим 34-летним периодом в подавляющем числе месяцев года. В то же время отмечается заметное различие характера годового хода изменений межпериодных разностей температуры для Северного и Южного полушарий. Изменение термического режима высоких широт в последние десятилетия можно рассматривать в качестве «генератора» современных изменений общей циркуляции атмосферы и климата, поскольку:

– с уменьшением межширотных контрастов температуры высоких и низких широт увеличиваются вероятности блокирования и создания значительных междолготных контрастов увлажнения в отдельных районах. Это приводит к формированию либо засух, либо периодов сильной увлажненности отдельных территорий, приводящих к летним паводкам на реках или наводнениям;

– блокирующий антициклон может стать барьером для зональных потоков теплого и влажного воздуха на территорию Восточной Европы и Западной Сибири;

– при потеплениях в полярных широтах происходит усиление муссонной циркуляции зимой и ослабление ее летом: в оба сезона могут создаваться условия для усиления цикличности над океаном и антициклоничности над материком. В силу усиления антициклонической циркуляции над сушей увеличивается повторяемость засух;

– усиление циклоничности и рост влагосодержания воздушных масс при росте температуры при потеплении климата в высоких и средних широтах является одной из причин увеличения конвективных осадков в летнее время года.

Изменение климатических норм температуры в высоких широтах Северного и Южного полушарий. Чаще всего величина изменений климата оценивается значениями коэффициентов линейного тренда температуры (α). Тренд вычисляется по известной формуле: $y = \alpha x + \beta$. Величина α испытывает значительные изменения в зависимости от выбранного периода наблюдений. Выбор начала и конца периода субъективен; начальные и конечные значения ряда оказывают наибольшее влияние на величину трен-

да. В настоящей работе использован другой подход к определению величины высокоширотного усиления потепления климата, а именно, проводился анализ разностей температуры более устойчивого показателя изменений температуры – климатических норм для двух периодов наблюдений, каждый из которых включал 34 года.

Межпериодные изменения норм среднемесячных температур для различных широтных поясов приведены на рисунке 1. Из рисунка 1 следует, что во второй половине года, как правило, межпериодные разности норм температуры несколько выше. Самые большие межпериодные разности норм температуры особенно характерны для октября-ноября в полярной шапке (75^0–90^0 с.ш.). Особенно интенсивное увеличение межпериодных разностей температуры (климатических норм) наблюдаются в арктических широтах, полностью покрытых льдом. Это и есть широтная зона, где арктическое усиление потепления климата наиболее выражено [13]. Здесь величины изменений климатических норм температуры в период современного потепления климата (1990–2023 гг.) в холодное время года оказалось на 2,5–3,0 ^{0}C выше по сравнению с субарктическими широтами (60–65^0 с.ш.), то есть отмечается явный скачок в увеличении межпериодных разностей температуры при переходе в полярную шапку (75–90^0 с.ш.).

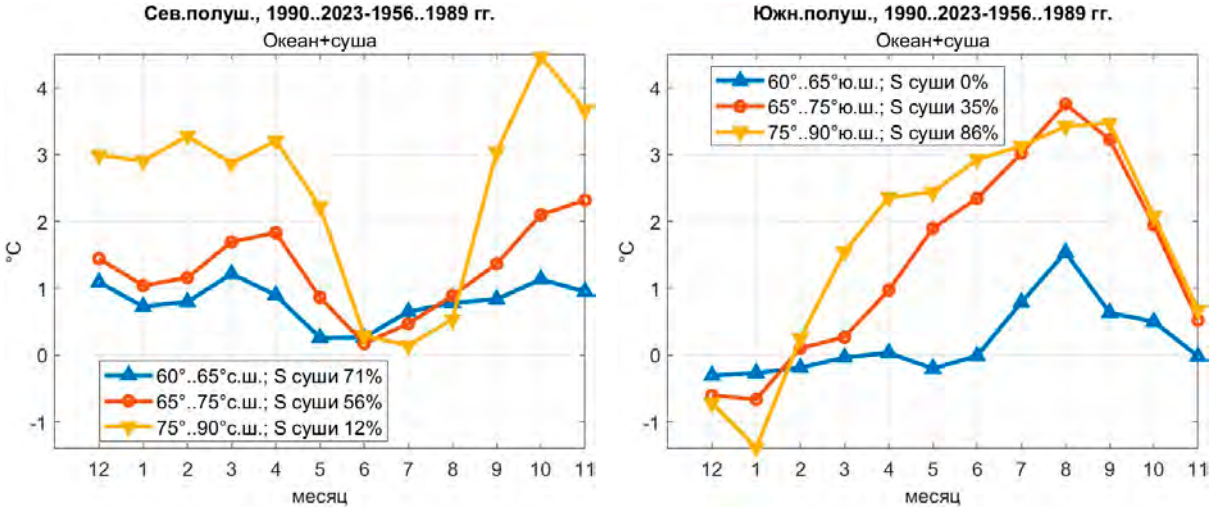


***Рисунок 1** – Межпериодные разности норм среднемесячной температуры для различных широтных поясов Северного и Южного полушарий*

Меньшее разнообразие обнаружено в характере и величинах изменений межпериодных разностей температуры в Южном полушарии с его однородной подстилающей поверхностью, где океан занимает 81 % территории, а антарктическая, почти полностью покрытая льдом высококоширотная континентальная зона, является громадным холодильником. Его влияние на общую циркуляцию и термический режим полярной шапки делают изменения межпериодных разностей температуры в подавляющем числе месяцев года практически идентичными (рисунок 1). Величины изменений межпериодных разностей температуры в подавляющем числе месяцев года возрастают с увеличением широты (рис. 1). Наибольшие изменения межпериодных разностей температуры особенно существенны в широтной зоне 65–90^0 ю.ш. Они начинают возрастать с конца антарктической осени (IV–V мес.) до антарктической весны (IX мес.), достигая максимальных значений в конце антарктической зимы (VIII) – начале весны (IX мес.).

В субантарктических широтах (60–65^0 ю.ш.), где начинает сказываться сильное влияние Южного океана, разность климатических норм в подавляющем числе месяцев года близки к нулю и только во второй половине зимы – начале весны разность климатических норм находится в интервале 0,7–1,5 ^{0}C.

Анализ показал, что среднегодовое усиление потепления климата в высоких широтах Южного полушария слабее, чем в высоких широтах Северного полушария приблизительно в 1,5 раза. В теплые месяцы года (XII–I мес.) наблюдается даже уменьшение климатических норм температуры на 0,5–1,0 ^{0}C в период глобального потепления климата (1990–2023 гг.) по сравнению с предыдущим периодом такой же длительности (рисунок 1). Усиление потепления в высоких широтах Южного полушария особенно выражено осенью, зимой и в начале весны (IV–IX мес.). Этот вывод перекликается с результатами, полученными нами в работе [13], где показано, что изменения скорости потепления в полярной шапке океанического Западного полушария наиболее заметно, а характер изменений температуры в годовом ходе почти полностью по-

вторяет изменения годового хода температуры во всей полярной шапке Антарктиды. Это свидетельствует о том, что термодинамические условия океанического Западного полушария, где моря Росса, Амудсена, Беллинсгаузена и Уэддэлла внедряются в высокие широты Южного полушария, определяют генеральные особенности скорости потепления полярной шапки Южного полушария в годовом ходе. В Восточной части Антарктиды в последние годы не наблюдается выраженного потепления климата.

Проведенное сопоставление представленных выше результатов с результатами предыдущих наших работ [13, 14], где изучался характер изменений величины линейных трендов температуры высокоширотных зон Северного и Южного полушарий, показало хорошее согласие изменений климатических норм и величин трендов среднемесячных норм температуры в северной и южной полярных областях в различные месяцы года; рост климатических норм и рост линейных трендов температуры находится в согласии в последние три десятилетия (рисунок 2). Установлены некоторые различия в изменении величин линейных трендов температуры в разных долготных поясах высоких широт Северного полушария. Изменения величин линейных трендов высоких северных широт в годовом ходе в предшествующий современному потеплению климата существенно отличен; максимальный рост температуры отмечается зимой, хотя он был приблизительно в два раза меньше, чем в период современного потепления климата. В другие месяцы года наблюдалось даже падение температуры.

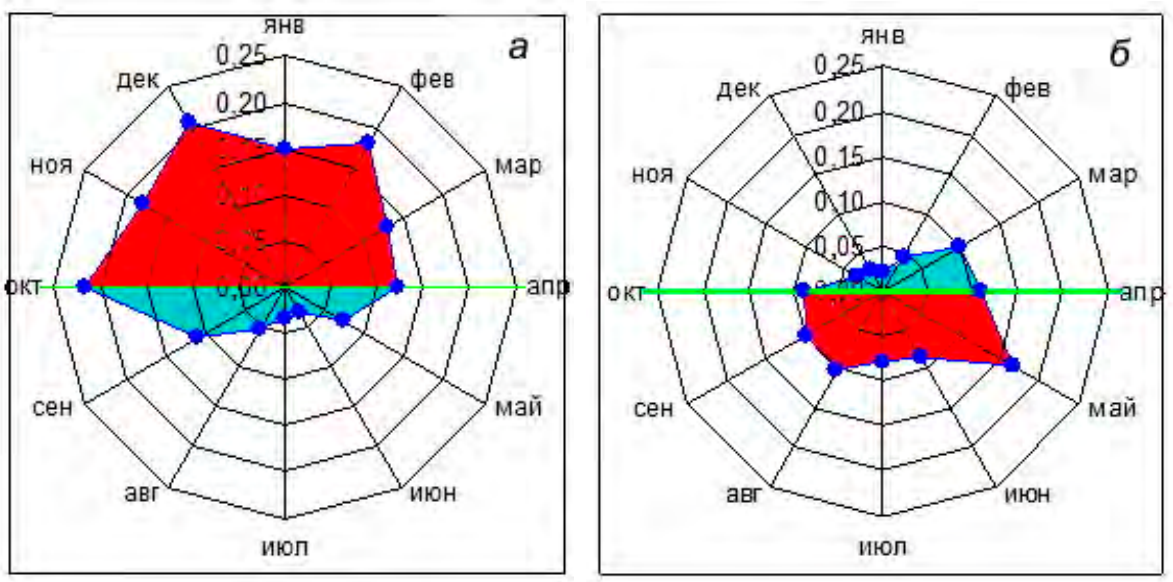


***Рисунок 2** – Тренды среднемесячных температур на изобарической поверхности 1000 гПа в северной (а) и южной (б) полярных областях. Период наблюдений – 1990–2022 гг.*

Зависимость величины межпериодных разностей температуры от широты. Отдельного рассмотрения заслуживают результаты анализа величины межпериодных разностей температуры для отдельных широтных поясов Северного полушария и отдельных сезонов года (рис. 3).

Из рисунка 3 следует, что наибольший рост межпериодных разностей температуры с широтой обнаружен для осени. Это свидетельствует о том, что максимальный рост скорости современного потепления климата (1990–2023 гг.) по сравнению с предшествующим периодом (1956–1989 гг.) с широтой характерен для осени. Наибольшие потоки явного и скрытого тепла в октябре-ноябре зарегистрированы в СЛО [13, 15]. Следует также отметить, что модельные оценки притоков тепла из СЛО в атмосферу для самого крайнего сценария RCP 8,5 (конец XXI столетия) в сентябре-октябре оказались более значительными по сравнению с притоками тепла зимой и весной в настоящее время [15].

Известно, что большая часть потока от земной поверхности имеет форму скрытого тепла, а меньшая – явного. Скрытое тепло не обязательно переходит в другие формы энергии в широтах его образования. Скрытое тепло также освобождается при конденсации в восходящих вертикальных ячейках циркуляции, то есть общий баланс энергии по вертикали определяется как радиационными процессами, так и движениями воздуха.

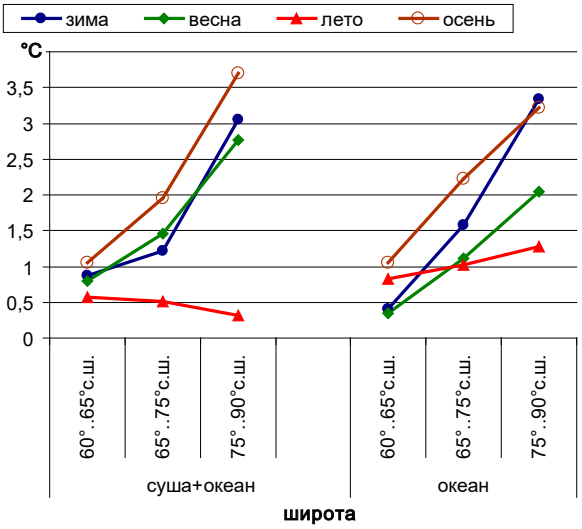


***Рисунок 3** – Зависимость величины межпериодных разностей норм температуры от широты для различных сезонов года (Северное полушарие)*

Ранее было показано, что увеличивающиеся притоки тепла из океана в атмосферу в последние десятилетия являются одним из факторов арктического усиления потепления климата [15]. Приведенный в настоящей работе анализ межпериодных разностей температуры в различные месяцы года подтверждает этот вывод.

Наиболее выраженный рост межпериодных разностей температуры (климатических норм) характерен для осени и зимы; он слабее весной, особенно над океаническими акваториями. Летом рост межпериодных разностей температуры с увеличением широты заметен лишь над океаническими акваториями и совершенно отсутствует над территориями, включающими сушу и океан.

Арктические вторжения и блокирующие процессы в Северном полушарии в 1899–2014 гг. Арктические вторжения (АВ) приводят к образованию малоподвижных барических гребней, соединяющих арктический антициклон с субтропическим. Они блокируют западный перенос воздушных масс и оказывают влияние на перенос тепла и влаги в атмосфере.

Как показано в нашей предыдущей работе [16], в океанических секторах Северного полушария средние значения и среднеквадратические отклонения продолжительности арктических вторжений (ПАВ) в процентном отношении существенно увеличились в период с 1948 по 2017 г., тогда как в континентальных секторах (Американском, Дальневосточном и Сибирском) средние значения ПАВ уменьшились, а среднеквадратические отклонения не претерпели каких-либо существенных изменений (рисунок 4).

Многолетние тенденции в изменении повторяемости и продолжительности АВ в Европейском секторе за период с 1899 по 2014 г. состоят в следующем:

– наличие отчетливого отрицательного тренда повторяемости АВ;

– коэффициент детерминации (R^2) линейного тренда ПАВ в Европейском секторе оказался весьма высоким и составил 0,41–0,48, что свидетельствует о том, что вклад линейного тренда в изменения ПАВ составляет более 40 % от общей изменчивости исходных значений ПАВ;

– на фоне отрицательного линейного тренда АВ проявляются три максимума в изменении повторяемости АВ, приходящиеся на 1902–1910, 1940–1950 и 1979–1984 гг. [16].

Проведенный нами компонентно-гармоний анализ изменений продолжительности АВ (ПАВ) в Европейском секторе позволил установить наличие двух долгопериодных компонент в их изменении продолжительностью 45 и 27 лет и предсказать рост ПАВ во второй половине 20-х гг. текущего столетия [16].

Многолетние изменения продолжительности арктических вторжений определяются характером общей циркуляции атмосферы. Для оценки наличия связей ПАВ и общей циркуляции атмосферы наиболее показательной классификацией атмосферной циркуляции оказалась классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому [12], Н. К. Кононова опубликовала указанную классификацию за период с 1899 по 2014 г. [17]. В процессах, представляющих собой крупномасштабный анализ турбулентности атмосферы, выделены элементарные циркуляционные механизмы (ЭЦМ) и закономерности в их повторяемости. Отличие этой классификации от других классификаций и типизаций общей циркуляции атмосферы состоит в том, что она характеризует межширотный воздухообмен, что принципиально важно для решения поставленной задачи.

Рассмотренный выше многолетий ход изменчивости ПАВ в Европейском секторе в основных чертах повторяет многолетний ход повторяемости годовой продолжительности меридиональных северных ЭЦМ с двумя противоположными по направлениям блокирующими процессами (типы 9–11).

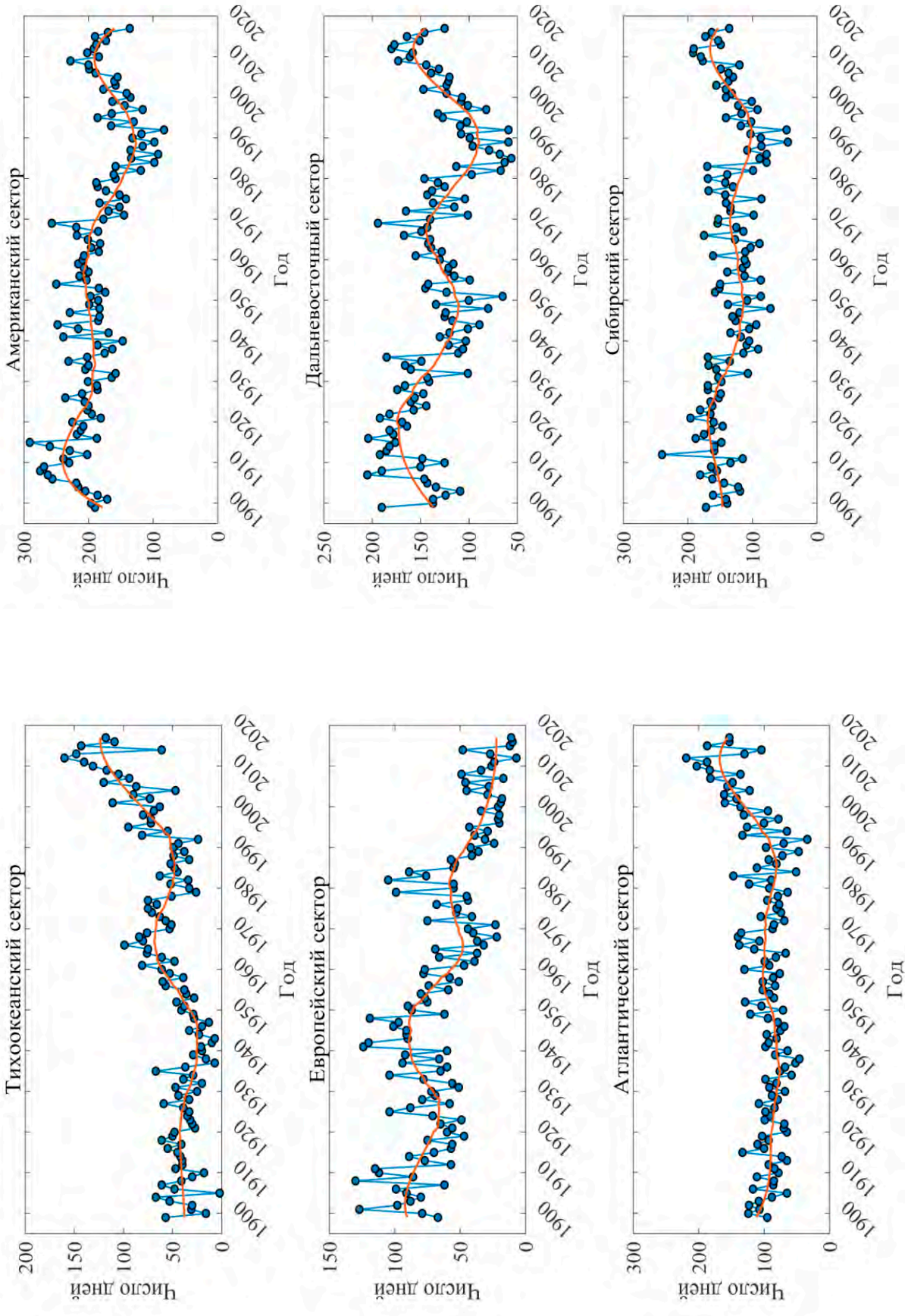


***Рисунок 4** – Временные ряды частоты арктических вторжений в секторах Северного полушария с 1899 по 2017 г. и их аппроксимация методом Савицкого–Голея (полином 3-го порядка)*

Для ЭЦМ 10а и 10б характерно наличие двух блокирующих процессов и двух выходов южного циклона. Блокирование происходит одновременно над Восточной Европой и Центральной Америкой (рис. 5) [17]. Арктическое вторжение холодного воздуха на Восточную Европу чаще всего имеет большую вертикальную мощность. Атмосферные процессы этого типа развиваются в период сезонного изменения подстилающей поверхности на континентах (апрель–июнь). Подобные процессы часто приводили к формированию холодной второй половины весны и начала лета. Так было в июне 2025 г. в Беларуси. Холодные июни были также в первой половине 80-х гг. прошлого столетия, а также в первые два десятилетия начала XX века.

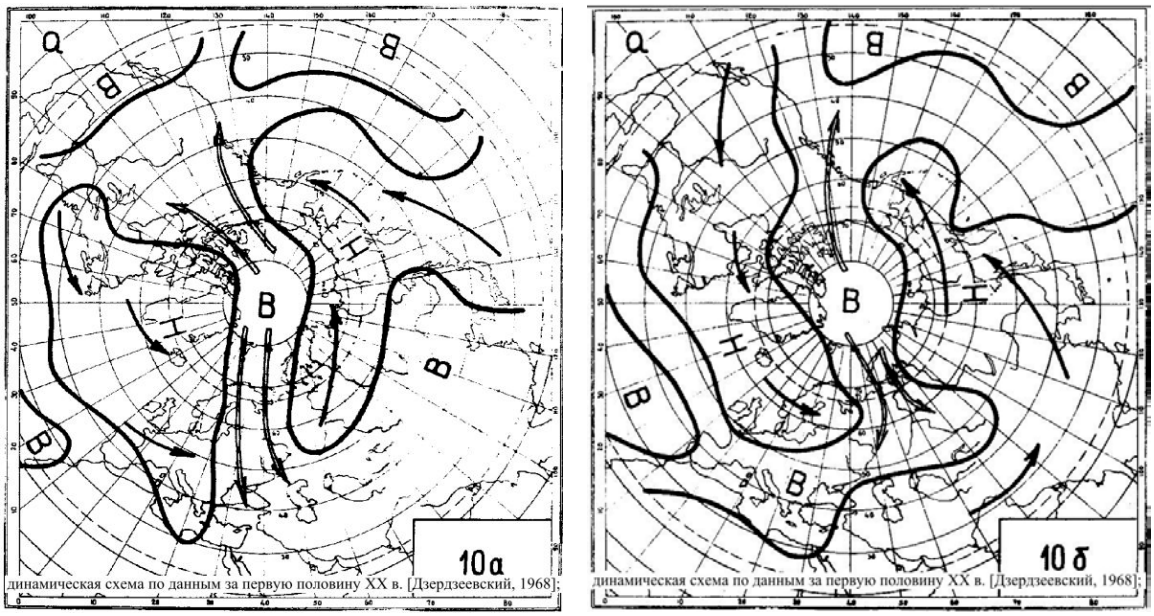


***Рисунок 5** – Динамические схемы элементарных циркуляционных механизмов 10 типа по Б. Л. Дзердзеевскому [12]*

Следует отметить, что при развитии ЭЦМ 8–12 типа в большинстве случаев в Дальневосточном секторе наблюдается вынос тепла циклонами с юга. Подобные циркуляционные процессы на Дальнем Востоке России сформировали необычное тепло в июне 2025 г. в этом регионе. Теплые условия в это время года складывались и в Западной Европе, где Азорский максимум получил значительное развитие.

Проведенный анализ многолетних изменений повторяемости ЭЦМ по Б. Л. Дзердзеевскому за период с 1899 по 2014 г. показал, что в указанный период в начале XX столетия, в 60–80-е гг. и конце XX – начале XXI столетия произошла активизация меридионального обмена в атмосфере – наблюдался значительный рост числа блокирующих ситуаций и, как следствие, рост повторяемости засушливых явлений. При этом циркуляционные условия в разных секторах Северного полушария существенно различались.

В Европейском секторе число арктических вторжений в период с начала прошлого столетия уменьшилось; на фоне многолетнего уменьшения числа арктических вторжений отмечались серии продолжительных положительных флюктуаций числа арктических вторжений. В эти же годы на фоне отрицательного тренда повторяемости меридиональных северных элементарных циркуляционных механизмов наблюдались их продолжительные положительные флюктуации. Особенно ярко выраженной была продолжительная положительная флюктуация (рост) типов 8–12 по Б. Л. Дзердзеевскому в периоды 1906–1917, 1962–1985 гг. и последние два десятилетия (особенно ЭЦМ 12).

В первые два периода в большинстве лет на территории Беларуси отмечались низкие среднегодовые температуры (исключение составляет последний период, когда сильно увеличился радиационный форсинг парниковых газов). В первый указанный период среднегодовое количество осадков и количество осадков в теплое время года в большинстве месяцев года было выше нормы. Большое количество осадков выпало в июне в период с 1977 по 1990 г.

Периоды наибольшей повторяемости меридиональных северных ЭЦМ по Б. Л. Дзердзеевскому приходятся на годы минимальных значений Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО) в 1906–1921 и 1962–1985 г. В изменении АМО обнаружено 60–70-летнее колебание. Очередной минимум АМО наступит в конце 20-х – середине 30-х гг. текущего столетия. Прогнозируемый минимум не будет столь глубоким как

это было в начале прошлого столетия, а следовательно, рост повторяемости меридиональных северных ЭЦМ не станет столь интенсивным.

Как известно, минимум АМО приходится на период низкой температуры Северной Атлантики. Трендовая составляющая в изменении температуры воды в период современного потепления климата составляет большую часть суммарной изменчивости температуры, что позволяет предсказать незначительный рост повторяемости меридиональных северных ЭЦМ и небольшое снижение или замедление скорости роста температуры в Атлантическом и Европейском секторах Северного полушария во второй половине 20–30-х гг.

Основные выводы. 1. Высокоширотное усиление потепления климата в последние 30–35 лет, приведшее к уменьшению разностей температуры «экватор–полюс», стало причиной таких изменений общей циркуляции атмосферы в Северном полушарии, как уменьшение повторяемости зональных типов циркуляции по Б. Л. Дзердзеевскому, увеличению повторяемости процессов блокирования в атмосфере, изменению повторяемости и продолжительности арктических вторжений, которое существенно различается в разных секторах Северного полушария. Кроме отрицательного линейного тренда в изменении зональных типов циркуляции содержатся долгопериодные циклические изменения. Такие изменения циркуляции приводят к увеличению таких климатических явлений, как засухи, наводнения, продолжительности и интенсивности эпизодов сильной жары, лесные пожары и др.

Увеличение повторяемости числа дней меридиальной северной группы циркуляции атмосферы по Б. Л. Дзердзеевскому в отдельные периоды приводило к формированию отрицательных аномалий температуры и положительных аномалий осадков на территории Беларуси. Очередной период увеличения повторяемости арктических вторжений и числа дней указанной выше группы циркуляции нами прогнозировался на вторую половину 20-х гг. и последующее десятилетие текущего столетия [16]. Предвестником подобных циркуляционных условий является июнь 2025 г., когда температура была существенно ниже нормы, а количество осадков превышало норму.

2. Установлены существенные различия в изменении климатических норм температуры и величин линейных трендов температуры в годовом ходе для периода современного повышения климата (1990–2023 гг.) в различных широтных и долготных зонах Земного шара. Это может свидетельствовать о влиянии начальных условий в климатической системе (термодинамических условий в океане, ледовитости СЛО и др.) на характер и величину проявления форсинга антропогенных парниковых газов, естественных и антропогенных аэрозолей и других внешних факторов в изменении региональных особенностей изменения климата. Выявленные различия в характере пространственно-временных изменений температуры широтных зон Земного шара могут существенно отличаться от известных модельных оценок средних величин температуры и осадков. Это обстоятельство должно приниматься во внимание при разработке развертываемых мировым сообществом методов борьбы с потеплением климата. Так, исключение из энергетического баланса наиболее «грязного» углеводородного источника – угля – приведет не только к уменьшению содержания антропогенных парниковых газов и снижению температуры на Земном шаре, но и уменьшению аэрозольного загрязнения атмосферы. Последнее, как известно, приведет к увеличению притока солнечной радиации и росту температуры, особенно в теплое время года. Снижение аэрозольного загрязнения атмосферы в Европе и Восточной Азии в результате проведения природоохранных мероприятий привело к увеличению дней с экстремальной жарой и скорости потепления климата. Этому также способствовало и уменьшение выбросов в атмосферу аэрозолей вулканического происхождения. Со времени извержения вулкана Пинатубо в 1991 г. не наблюдалось крупных вулканических извержений, поставивших большое количество аэрозолей стратосферу, где продукты вулканических извержений могут находиться от одного до трех лет.

Благодарности. Работа выполнена в рамках договора БРФФИ-РНФ №Х23РНФ-122.

Список использованных источников

1. Семенов, В. А. Роль колебаний площади арктического ледового покрова в формировании температурных аномалий в Арктике / В. А. Семенов, М. Латиф // Климат Арктики: процессы и изменения; под ред. И. И. Мохова, В. А. Семенова. – М. : Физматкнига, 2022. – С. 115–121.

2. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. – Минск : УП «Энциклопедикс», 2020. – 264 с.

3. Serreze, M. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. Global and Planetary Change / M. Serreze, R. Barry // Global planet change. – 2011. – Vol. 77. – P. 85–96. – DOI:10.1016/j.gloplacha.2011.03.004.

4. Impact of atmospheric heat and moisture transport on the Arctic warming / G. V. Alekseev [at al.] // International Journal of Climatology. – 2019. – Vol. 39, N 8. – P. 3582–3592. – https://doi.org/10.1002/joc.6040

5. Алексеев, Г. В. Влияние низких широт на климатические условия на водосборах главных сибирских рек / Г. В. Алексеев, А. Е. Вязилова, Н. Е. Харланенкова // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2020. – Т. 4. – С. 54–67.

6. Алексеев, Г. В. Арктическое усиление: роль междуширотного обмена в атмосфере / Г. В. Алексеев, Н. Е. Харланенкова, А. Е. Вязилова // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 13–32. – DOI: 10.21513/2410-8758-2023-1-13-32.

7. Enhanced wintertime greenhouse effect reinforcing Arctic amplification and initial sea-ice melting / Y. Cao [at al.] // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7. – Art. 8462. – https://doi.org/10.1038/s41598-017-08545-2.

8. Serreze, M. C. The Arctic Amplification Debate / M. C. Serreze, J. A. Francis // Climatic Change. – 2006. – Vol. 76. – P. 241–264. – https://doi.org/10.1007/s10584-005- 9017-y.

9. Семенов, В. А. Роль границ морского льда и температуры поверхности океана в изменениях регионального климата в Евразии за последние десятилетия / В. А. Семенов, И. И. Мохов, М. Латиф // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 48, № 4. – С. 403–421.

10. Petoukhov, V. A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents / V. Petoukhov, V. A. Semenov // J. of Geophysical Research. Atmospheres. – 2010. – Vol. 115, N 21. – DOI:10.1029/2009JD013568.

11. Arctic amplification: does it impact the polar jet stream? / V. P. Meleshko [at al.] // Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography. – 2016. – Vol. 68(1). – Art. 32330. – DOI:10.3402/tellusa.v68.32330.

12. Дзердзеевский, Б. Л. Типизация циркуляционеных механизмов в Северном полушарии и характеристики синоптических сезонов / Б. Л. Дзердзеевский, В. М. Курганская, З. М. Витвицкая // Тр. Научно-исслед. Уч. Гл. управления Гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология. – М., Л. : Гидрометеоиздат, 1946. – Вып. 21. – 80 с.

13. Логинов, В. Ф. Современные изменения климата / В. Ф. Логинов; Национальная академия наук Беларуси, Институт природопользования, Научно-производственное объединение «Гидропроект». – Санкт-Петербург : Лема, 2024. – 267 с.

14. Логинов, В. Ф. Диагноз глобального климата / В. Ф. Логинов. – Санкт-Петербург : Лема, 2021. – 304 с.

15. On the Increasing Importance of Air-Sea Exchanges in a Thawing Arctic: A Review / P. C. Taylor [at al.] // Atmosphere. – 2018. – Vol. 9, N 2. – Art. 41. – https://doi.org/10.3390/atmos9020041.

16. Логинов, В. Ф. Современные изменения глобального и регионального климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко. – Мн.: Беларуская навука, 2019. – 315 с.

17. Кононова, Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому / Н. К. Кононова. – М. : РАН, Институт географии, 2009. – 390 с.

HIGH-LATITUDE WARMING AS A «GENERATOR» OF MODERN CHANGES IN THE GENERAL CIRCULATION OF THE ATMOSPHERE AND REGIONAL CLIMATE

V. F. Loginov

The current increase in climate warming at high latitudes is one of the reasons for the changes in the general atmospheric circulation. This includes the recurrence of meridional and zonal processes, as well as the duration of Arctic invasions and blocking events. Significant differences in the spatial and temporal patterns of temperature changes across latitudinal zones have been observed. The highest rates of temperature increase and largest temperature differences between the equator and poles were found in the autumn.

УДК 631.95+631.6

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКАХ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИХ ВОЗГОРАНИЯ

Ю. А. Мажайский[1], М. И. Голубенко[2]

[1]Мещерский филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ имени А. И. Костякова, г. Рязань, Россия
[2]ООО «Мещерский научно-технический центр», г. Рязань, Россия

Приведены результаты работы, заключающиеся в управлении запасами воды на выработанных торфяниках «Большое Урсово», имеющего западный и восточный болотные массивы, Камешковского района Владимирской области (РФ), общей площадью 3 420 га. Учитывается поддержание необходимого качества природной среды и социально-экономического развития территории и снижения пожароопасности на выработанных торфяниках.

Ключевые слова: проект, торфяники, система регулирования, строительство.

Введение. Каждый год, особенно в период летней засухи, поступает информация о пожарах в лесах и торфяниках. Торфяные и лесные пожары в РФ наносят огромный, часто невосполнимый ущерб природно-экологическим и материальным ресурсам. Особую опасность представляет состояние осушенных торфяников, в частности, выработанных, заброшенных торфяных месторождений.

Проблема пожарной безопасности торфяных массивов для России является комплексной и заключается в эффективной профилактике пожаров, то есть их предупреждение, недопущение возникновения. Эффективно решить эту проблему возможно только путем предварительного обводнения выработанных торфяников до влажности 50 % полной влагоемкости (ПВ) [1], при которой торф не горит. Управление уровнем их увлажнения на участках осушенных (выработанных) торфяных болот, подвергнутых вторичному заболачиванию, должно способствовать сокращению поступления парниковых газов и при этом соответствовать требованиям устойчивого рационального ведения хозяйства [2].

В качестве примера успешного использования вторичного заболачивания для предотвращения пожаров можно привести проект по обводнению выработанного торфяного месторождения «Большое Урсово» Камешковского района Владимирской области.

Цель исследования – изучить состояние объекта и перспективы восстановления водного режима и снижение пожароопасности участка торфяного месторождения за счет обводнения и возвращение его к исходному состоянию, характерному для нетронутых болот.

Материалы и методы. Принципиальное решение по обводнению выработанных торфяных месторождений принималось, исходя из детального обоснования целесообразности проекта для сохранения воды на участке обводнения системой перемычек, сокращающих сток с болота, формирование УГВ на большой площади участка ниже поверхности для снижения испарения и планирование поверхности для уменьшения участков с сухим торфом. Для обводнения выработанных торфяников выбраны сооружения, позволяющие обеспечить сохранение воды на участке наиболее оптимальным способом – строительство системы перемычек и дамб из местных строительных материалов [3]. С использованием экскаватора было возведено девять земляных перемычек. Кроме того, вручную были возведены две шпунтовые перемычки из кольев деревьев и кустарниковой растительности. При организации разрабатываемого объекта возникали проблемы выбора и обоснования источников для обводнения участков выработанных торфяников. Следует отметить также, что для обводнения выработанных торфяников необходимо обеспечить полезный запас воды, подаваемой в верхние слои, и корректно рассчитывать ее объемы в зависимости от обслуживаемой при пожарах площади с торфяными почвами. Известно, что одной их главных проблем при восстановлении торфяников является создание эффективной системы аккумуляции воды для восстановления водного баланса выработанного торфяника.

Результаты патентного поиска и тщательный анализ научной литературы позволили сделать вывод о том, что существуют возможности создания новых перспективных запатентованных технических решений [4–8].

Обводняемые торфяники могут служить целям устойчивого развития региона и предоставлять новые экологические возможности населению: использование обводненных участков под болотное растениеводство (выращивание биомассы болотных растений); организации на этой территории показательного участка, особо охраняемой природной территории с целью создания экологической площадки для прове-

дения различных мероприятий; регулирование водного режима обводняемых торфяников, что позволит обеспечить их пожарную безопасность.

Список использованных источников

1. Зайдельман, Ф. Р. Причины, последствия и защита от пожаров осушаемых торфяных почв / Ф. Р. Зайдельман // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2010. – № 5. – С. 44–57.

2. Методические рекомендации по экологической реабилитации нарушенных болот и по предотвращению нарушений гидрологического режима болотных экосистем при осушительных работах / А. В. Козулин, Н. И.Тановицкая // Научно-практический центр по биоресурсам НАН Беларуси, Институт природопользования НАН Беларуси. – Минск : Альтиора – Живые краски, 2010. – 37 с.

3. Обводнение «Большое Урсово» болота [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://russia.wetlands.org.

4. Пат. 2679682 Российская Федерация. МПК E02B 13/00, A62C 3/02. Способ затопления выработанных торфяников путем подачи местных вод / М. И. Голубенко. – Опубл. 12.02.2019.

5. Пат. 2640278 Российская Федерация. МПК E02B 13/00, A62C 3/02, E021C 41/32. Способ обводнения торфяных болот, преимущественно выработанных торфяников / М. И. Голубенко. – Опубл. 27.12.2017.

6. Пат. 2557498 Российская Федерация. МПК A62C 3/02. Способ предотвращения пожара для мелкоконтурных торфяников / М. И. Голубенко. – Опубл. 20.07.2015.

7. Пат. 2644791 Российская Федерация. МПК E21C 41/02, E02B 3/12, A62C 3/02. Способ обводнения торфяных болот преимущественно выработанных торфяников / М. И. Голубенко. – Опубл. 14.02.2018.

8. Пат. 2662473 Российская Федерация. МПК E02C 41/32,E02B 13/00, E02B 3/00, A62C 3/02. Способ подачи местных вод для обводнения выработанных торфяников и устройство его осуществления / А. В. Ильинский, Ю. А. Мажайский, М. И. Голубенко. – Опубл. 26.07.2018.

ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY ON DEPLETED PEAT PREVENT THEIR IGNITION

Y. A. Mazhajskij, M. I. Golubenko

The results of a survey on managing water reserves in the Bolshoe Ursovo peat bog, which has western and eastern marshlands in the Kameshkovsky district of the Vladimir region in the Russian Federation, are presented. The survey takes into account maintaining the necessary quality of the natural environment, the socio-economic development of the territory, and reducing fire risk on the exhausted peat bog. The total area of the bog is 3,420 hectars.

УДК 551.581. 551.582

АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В. И. Мельник, М. А. Хитриков, Ю. А. Бровка, И. В. Буяков
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Представлены основные результаты научно-исследовательской работы «Новое агроклиматическое районирование и оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси в условиях изменения климата», выполненного в рамках одноименного задания 1.10 Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

Ключевые слова: агроклиматическое районирование, агроклиматические ресурсы, агроклиматические области, изменение климата.

Введение. Сельское хозяйство является одним из базовых секторов экономики и вносит значительный вклад в создание валового внутреннего продукта Республики Беларусь. Оно принадлежит к отраслям материального производства, наиболее чувствительным к влиянию погодно-климатических факторов, что в значительной мере определяет уровень суммарных ущербов экономике страны от опасных гидрометеорологических явлений. Получение высоких и устойчивых урожаев, сведение к минимуму зависимости продуктивности сельскохозяйственного производства от погодных и климатических факторов возможно только на основе высокой культуры земледелия, всесторонне учитывающей и полностью использующей агроклиматические ресурсы территории республики в условиях современного изменения климата. Все эти обстоятельства предопределяют особую актуальность для Беларуси вопросов использования агроклиматической информации.

Учитывая необходимость получения объективной оценки агроклиматических ресурсов в условиях изменения климата для планирования развития ряда климатозависимых секторов экономики, в первую очередь сельского хозяйства, в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. выполняется задание 1.10 «Новое агроклиматическое районирование и оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси в условиях изменения климата».

Цель и решаемые задачи. Заданием предусмотрено научное обоснование и проведение агроклиматического районирования территории Беларуси в условиях современного изменения климата за последние наиболее теплые десятилетия (2000–2022 гг.), выделение новых границ агроклиматических областей и агроклиматических районов; оценка агроклиматических условий произрастания и условий перезимовки основных сельскохозяйственных культур в выделенных регионах; прогноз изменения границ агроклиматических областей и оценка агроклиматических ресурсов и условий произрастания основных сельскохозяйственных культур в пределах выделенных областей на период до 2035 г. при различных сценариях изменения климата.

Результаты. Исследования современных изменений климатических и агроклиматических показателей базировались на материалах Государственного климатического кадастра с использованием месячных, сезонных и годовых значений температуры воздуха, осадков, влажности воздуха и почвы данных наблюдений по 47 гидрометеорологическим станциям Государственной сети гидрометеорологических наблюдений за наиболее теплые последние десятилетия (2000–2022 гг.).

Результаты предыдущих исследований показали, что повышение среднегодовой температуры воздуха на 1 ^{0}C приводит к удлинению вегетационного периода и увеличению сумм температур воздуха выше 10 ^{0}C примерно на 150–200 ^{0}C. Это равносильно сдвигу по территории границ агроклиматических областей в широтном направлении примерно на 150–200 км и влечет за собой определенные изменения посевных площадей и размещения посевов, возможности внедрения новых видов более теплолюбивых культур [1–3]. Динамика изменения границ агроклиматических областей на протяжении последних почти 50 лет и карта нового районирования территории Беларуси с выделением границ агроклиматических областей и подобластей, а также с оценкой условий произрастания основных с.-х. культур в вегетационный период и оценкой зимнего периода приведены в [3].

В настоящее время в пределах новых выделенных границ агроклиматических областей за 2000–2022 гг. для оценки изменившихся условий произрастания сельскохозяйственных культур рассчитаны основные

агроклиматические и климатические показатели (всего 27), характеризующие температурный режим территории, условия увлажнения и перезимовки [3]. Выполнены исследования по оценке повторяемости почвенных засух и запасам почвенной влаги в слое 0–20 см по пунктам гидрометеорологических наблюдений.

Анализ полученных исследований по повторяемости почвенных засух показывает, что наибольшая повторяемость обычных и сильных почвенных засух наблюдается в Белорусском Полесье на участках с песчаными и рыхлыми супесчаными почвами, подстилаемых песками в пунктах наблюдений Брест, Ганцевичи, Дрогичин, Полесская, Пружаны, Гомель, Октябрь, Мозырь, Василевичи, Жлобин. Повторяемость сильных засух (засухи продолжительностью три декады и более) примерно в 2 раза ниже повторяемости обычных. На рисунке 1 приведена повторяемость лет с почвенными засухами, в наиболее критический период в жизни растений (май-июнь) и распределение запасов продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см по пунктам гидрометеорологических наблюдений.

В выполненных ранее исследованиях по агроклиматическому районированию основное внимание уделялось построению новых границ агроклиматических областей и оценке условий произрастания традиционных и новых более теплолюбивых культур. Между тем выделение агроклиматических районов остается актуальной задачей, ввиду имеющихся различий отдельных территорий по условиям рельефа, почвенному покрову, растительности в пределах выделенных областей и подобластей, что создает особенности мезо- и агроклиматических условий рассматриваемых территорий.

а) б)

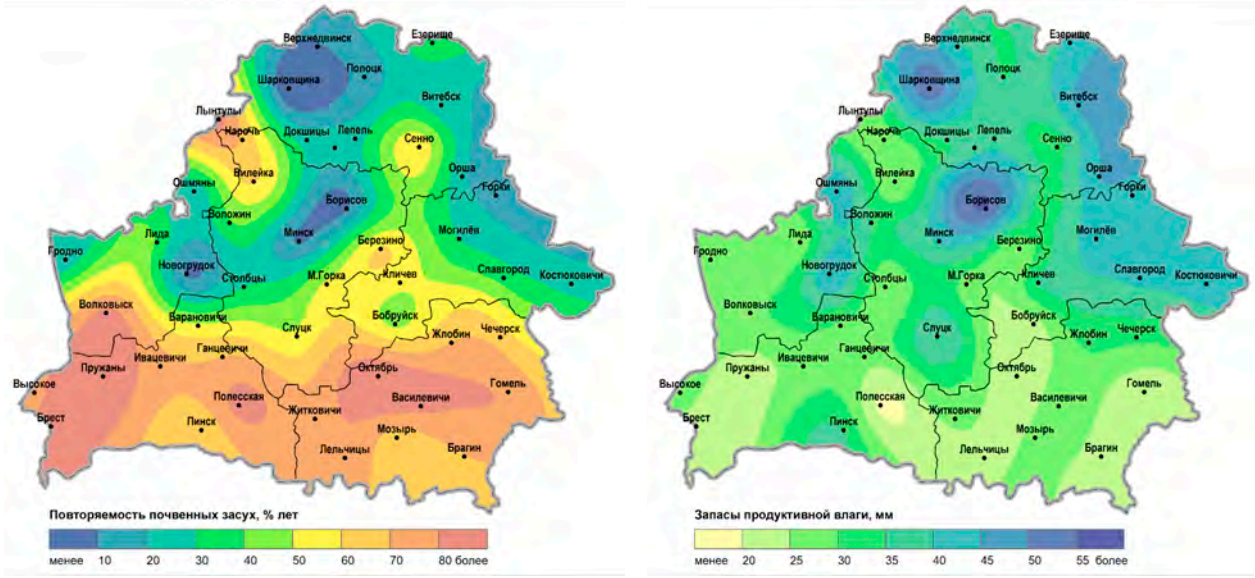


Рисунок 1 *– Повторяемость почвенных засух (а) и запасы продуктивной влаги (б) по данным постоянных полевых участков в слое 0–20 см за период май-июнь 2000–2022 гг.*

Выделенные 22 агроклиматических района представлены на рисунке 2. Основой их послужили группы физико-географических районов (мезоклиматические округа), выделенные с учетом близких агроклиматических условий, а также особенностей рельефа, почвенного и растительного покрова.

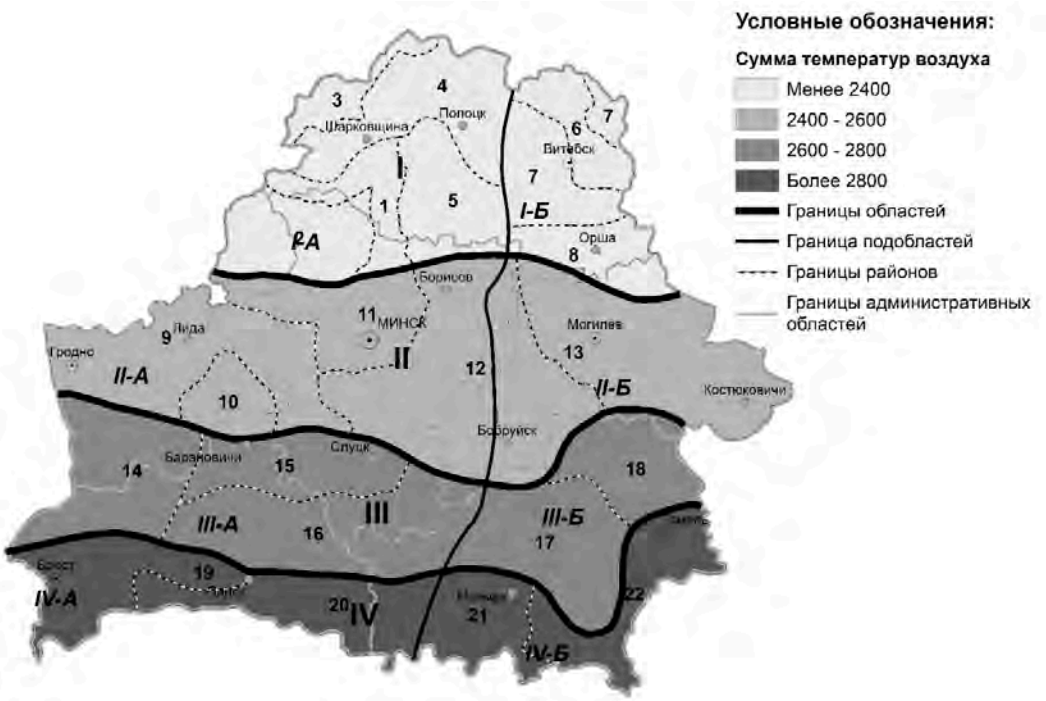


***Рисунок 2** – Схема агроклиматического районирования Беларуси за 2000–2022 гг. Здесь: I – Северная, II – Центральная, III – Южная, IV – Новая агроклиматическая области; I-А, II-А, III-А, IV-А – Западные подобласти агроклиматических областей, I-Б, II-Б III-Б, IV-Б – Восточные подобласти агроклиматических областей; 1 – Свенцянско-Плещеницкий, 2 – Нарочанско-Вилейский, 3 – Браславско-Освейский, 4 – Полоцкий, 5 – Ушачско-Лепельский, 6 – Витебско-Городокский, 7 – Суражско-Лучосско-Шумилинский, 8 – Оршанско-Горецкий, 9 – Неманский, 10 – Новогрудский, 11 – Минско-Ошмянский, 12 – Березинский, 13 – Могилёвско-Костюковичский, 14 – Пружанско-Волковысский, 15 – Барановичско-Слуцкий, 16 – Ивацевичско-Житковичский, 17 – Василевичско-Брагинский, 18 – Жлобинско-Чечерский, 19 – Брестско-Малоритский, 20 – Пинско-Столинский, 21 – Мозырско-Ельский, 22 – Гомельско-Комаринский агроклиматические районы*

В настоящее время выполнено описание выделенных агроклиматических районов, оценены агроклиматические ресурсы и условия произрастания сельскохозяйственных культур за период потепления в пределах выделенных агроклиматических районов.

Выполнен прогноз изменения границ агроклиматических областей к 2035 г. Составлена карта агроклиматического районирования с выделением новых (прогнозных) границ агроклиматических областей и подобластей.

Заключение. По результатам исследований можно сделать предварительные выводы: из-за смещения границ агроклиматических областей значительно изменяются условия произрастания сельскохозяйственных культур. В целом в ряде районов на территории Беларуси, особенно в северных ее регионах, в результате дальнейшего потепления могут сложиться более благоприятные условия для сельского хозяйства (в частности, растениеводства) по показателям обеспеченности теплом и влагой. Продолжится улучшение условий перезимовки озимых культур, более раннее наступление весенних процессов и сроков сева яровых культур; ускорение созревания зерновых культур и сроков их уборки. Рост продуктивности сельскохозяйственного производства может быть обеспечен за счет внедрения и расширения посевов более теплолюбивых и засухоустойчивых культур. Посевы пожнивных культур укрепят кормовую базу животноводства. В то же время, в летний период, вследствие высоких температур и недостатка влаги в отдельные периоды, особенно в южных регионах, засушливость территории будет возрастать, что потребует внесения изменений в технологии возделывания ряда культур.

Проведение мер адаптации в сельском хозяйстве, равно как и планирование сельскохозяйственного производства, должны базироваться на использовании современных и прогнозных данных агроклиматических ресурсов территории.

Список использованных источников

1. Мельник, В. И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси : автореф. дис. … канд. геогр. наук : 25.00.23 / В. И. Мельник ; Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2004. – 22 с.

2. Мельник, В. И. Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период 1989–2015 гг. / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – 2018. – № 2. – С. 88–101.

3. Мельник, В. И. Новое агроклиматическое районирование и оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за 2000–2022 гг. / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – 2025. – № 1. – С. 5–21.

AGROCLIMATIC ZONING OF THE TERRITORY OF BELARUS AS A COMPONENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

V. I. Melnik, M. A. Khitrykau, Yu. A. Brovka, I. V. Buyakov

The paper presents the main results of the research work “New agroclimatic zoning and assessment of agroclimatic resources of the territory of Belarus under climate change”, carried out within the framework of the task 1.10 of the same name of the State programme of scientific research “Natural resources and environment” for 2021–2025.

УДК 551.578

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ КАК ФАКТОР ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК БЕЛАРУСИ

О. П. Мешик, А. А. Волчек, С. И. Парфомук, Д. О. Петров, М. В. Борушко, В. А. Морозова, А. С. Протасевич
Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

В работе выполнены исследования, связанные с оценками характеристик снежного покрова, в том числе запасов воды в снеге, плотности снега и высоты его залегания, а также максимального весеннего стока рек Беларуси. Оценена пространственно-временная изменчивость, трансформация снегонакопления и максимального стока в связи с потеплением климата, выполнено картографирование исследуемых характеристик, оценены связи снегонакопления, снеготаяния и стока рек весеннего половодья, даны прогнозные оценки, предложены способы по управлению снегонакоплением.

Ключевые слова: снежный покров, сток рек, весеннее половодье.

Введение. Влияние снежного покрова на сток рек осуществляется посредством ряда механизмов. Во-первых, снег аккумулирует атмосферные осадки, которые постепенно освобождаются в виде стока во время весеннего таяния. Во-вторых, плавное снеготаяние способствует более равномерному распределению стока, что позволяет избежать резких повышений уровня воды, характерных для дождевых паводков. В-третьих, снежный покров служит термоизолятором, замедляя процесс нагрева почвы и воды, что также влияет на режим стока. Таким образом, режим снежного покрова является важным фактором, определяющим гидрологический режим рек Беларуси. В весенний период, когда происходит снеготаяние, наблюдается резкий рост уровня воды в реках, что часто приводит к весенним половодьям. Эти половодья могут иметь как положительное, так и отрицательное воздействие на экосистемы и хозяйственную деятельность. С одной стороны, весенние половодья способствуют пополнению искусственных водоёмов и восполнению запасов подземных вод. Таяние снега обеспечивает поступление свежей воды в реки, что критически важно для поддержания водного баланса в экосистемах, особенно в условиях летней засухи. Половодья поддерживают устойчивость экосистем, создают благоприятные условия для размножения и миграции ихтиофауны, а также для развития водной растительности, что, в свою очередь, поддерживает биологическое разнообразие и здоровье экосистем. С другой стороны, весенние половодья могут вызывать наводнения, нанося ущерб инфраструктуре и сельскому хозяйству [1, 2]. Резкое таяние снежного покрова в сочетании с дождевыми осадками может приводить к критическим уровням воды в реках, что увеличивает риск наводнений. Эти события способны вызывать разрушение инфраструктуры, наносить ущерб сельскому хозяйству и представлять угрозу для жизни населения. Также возможна эрозия берегов и дна рек. Таким образом, понимание механизмов взаимодействия снежного покрова и стока рек становится критически важным для эффективного управления водными ресурсами. С учетом изменений климата и увеличения частоты экстремальных погодных явлений [3], актуальность исследования режима снежного покрова и его влияния на сток рек возрастает. В последние десятилетия наблюдается тенденция к изменению как количества, так и пространственного распределения осадков, что может привести к изменению режима снежного покрова и, соответственно, стока рек. Это подчеркивает необходимость разработки адаптивных стратегий управления водными ресурсами, направленных на минимизацию экологических рисков.

Цели и задачи. Основной целью работы является установление общих и специфических закономерностей формирования режима снежного покрова территории Беларуси с разработкой и усовершенствованием методик аналитических расчетов и прогнозирования исследуемых характеристик с оценкой их влияния на сток рек в условиях изменяющегося климата. Задачами работы являются: изучение снежного покрова и его характеристик на территории Беларуси (высота залегания снега, плотность снега, запасы воды в снеге); выявление общих и специфических закономерностей формирования режима снежного покрова территории Беларуси; статистический анализ характеристик снежного покрова; разработка и усовершенствование методик аналитических расчетов и прогнозирования характеристик снежного покрова, речного стока с использованием балансовых подходов; разработка комплекса карт территориального распределения базовых характеристик снежного покрова и стока рек Беларуси; получение прогнозных оценок характеристик снежного покрова и его режима, стока рек Беларуси при различных сценариях климата и с учетом индивидуальных особенностей водосборов.

Методы. В работе использованы методы статистической обработки информации, в том числе анализ временных рядов и их пространственно-временной изменчивости.

Результаты. Систематические наблюдения за снежным покровом проводятся в Беларуси с 1891 г. В 1930-х гг. к наблюдениям с использованием постоянных реек добавились снегомерные маршруты. Ежедневные наблюдения с использованием постоянных реек позволяют понять изменения в высоте снежного покрова на протяжении всей зимы, но не показывают напрямую, как снежный покров распределен по территории. Основными характеристиками снежного покрова являются высота снежного покрова, плотность снега, водное содержание в снеге (эквивалент водного слоя снега) и степень покрытия определенной территории снегом. Высота и плотность позволяют определить эквивалент водного слоя снега, который является основой для прогнозирования весеннего паводка в наблюдаемой области.

Анализ текущей ситуации позволил определить районы в Беларуси, которые наиболее удалены от действующих метеостанций. В шести районах, находящихся за пределами действующих метеостанций, имеются проблемы с репрезентативностью данных. В этих районах расстояние до ближайшей станции составляет 50–70 км и более. Оптимальное количество метеостанций в Беларуси – 73. Разные методы наблюдения за характеристиками снежного покрова дают различные результаты по эквиваленту водного слоя снега, который варьируется от 30 % до 50 % (например, Брест–Тересполь), что неприемлемо для практических расчетов.

Установлены корреляционные отношения между характеристиками снежного покрова по метеостанциям областных центров Беларуси. Существует однозначная связь между запасами воды в снеге и высотой снега. Имеются определенные взаимосвязи между запасами воды в снеге и плотностью, а также высотой снега и плотностью. Статистически достоверными являются связи высоты снега, запасов воды в снеге и высоты местности, где находится метеостанция; на возвышенностях выпадает намного больше снега.

Был выполнен статистический анализ величин максимальных запасов воды в снеге на территории Беларуси, т.к. запасы воды в снеге выступают основным фактором, способствующим весеннему половодью на реках Беларуси, и формируют снеговые нагрузки на конструкции зданий и сооружений. Установлено, что средняя величина максимальных запасов воды в снеге на территории Беларуси составляет 151 мм. Была определена зависимость максимальных запасов воды в снеге между метеостанциями. Коэффициент корреляции в этой зависимости равен R=0,83±0,04. С увеличением расстояний между метеостанциями коэффициент корреляции уменьшается.

Максимальный запас воды в снеге варьируется по Беларуси: от 107 мм в Бресте до 207 мм в Новогрудке. Он значительно отличается по годам, что подтверждается высокими значениями коэффициента вариации (Cv). Максимумы наблюдаются на юге и юго-западе Беларуси (0,62–0,69). Минимальные значения характерны для центральной и северо-восточной частей Беларуси с устойчивым снежным покровом (0,42–0,46).

Анализ временных рядов (1945–2020 гг.) характеристик снежного покрова (высота снега, плотность снега, запасы воды в снеге) указывает на их ярко выраженную цикличность. Цикличность нами устанавливается методами интегрально-разностных кривых и кривых скользящих средних. Анализ межгодовой изменчивости характеристик снежного покрова указывает на проявление строгой периодичности в рядах запасов воды в снеге, высоты снежного покрова и его плотности. Анализ цикличности максимальных и минимальных значений характеристик снежного покрова по всем пунктам Беларуси позволяет заключить, что на фоне долгопериодических колебаний доминирует, прежде всего, одиннадцатилетний цикл, что указывает на необходимость поиска связей крупных аномалий снегонакопления с солнечной активностью. В качестве критерия оценки могут использоваться относительные числа Вольфа.

Запасы воды в снеге, высота снежного покрова и его плотность достигают максимальных значений в конце февраля – начале марта. На большей части Беларуси наблюдается тенденция к снижению запасов воды в снеге на 4–8 мм за последние 10 лет. Увеличение запасов воды в снеге характерно для водосборов рек Западный Буг, Припять, Березина и Днепр.

Разработан комплекс карт территориального распределения основных характеристик снежного покрова на территории Беларуси, основанный на использовании репрезентативных, соответствующим образом подготовленных, данных метеорологических наблюдений (проанализированных, исследованных в контексте выявленных независимых структур пространственно-временных полей) [4]. Выявленные закономерности территориального распределения максимальной, средней максимальной и средней плотности и высоты снежного покрова, характер изолиний и особенности их территориальной приуроченности использованы при картировании максимальных, средних максимальных и средних запасов воды в снеге. Здесь существенен вклад в запасы воды в снеге высоты местности как регионального фактора (Минская, Новогрудская, Ошмянская возвышенности). Максимальные высоты снежного покрова приурочены также к

возвышенностям, их подветренным склонам; они определяются глобальным влагопереносом. В то же время, осредненные максимальные значения высот снежного покрова на территории Беларуси имеют четко выраженную широтную направленность, хорошо увязываются с термическим и ветровым режимами исследуемой территории, зависящими от радиационных характеристик климата Беларуси и турбулентного теплообмена приземной атмосферы и влияющими на процессы таяния и испарения снега, особенно в южных районах Беларуси. В зимний период на территории Беларуси доминируют ветры южных направлений. Максимальная плотность снега по территории Беларуси распределяется достаточно равномерно.

Наблюдается четкая тенденция сокращения продолжительности залегания устойчивого снежного покрова в последнее тридцатилетие. Однако первое появление снежного покрова случается на 5–15 дней раньше – 22.10–06.11. Сход снежного покрова происходит позднее до 12 дней, средняя дата последнего схода – 09.04–19.04. С одной стороны, это свидетельствует о явном потеплении климата в зимний период и интенсивном снеготаянии, с другой стороны, первый снег мы сейчас можем наблюдать уже в сентябре, а последний еще в мае, что говорит о росте экстремальности режима снежного покрова исследуемой территории [5].

Возможное суточное таяние снега составляет 26 мм в максимуме и 5–6 мм в среднем. Объем речного стока, формирующегося на территории Беларуси, составляет 57,9 км³. Объем воды от таяния снега в этом стоке составляет 11,1 км³ (19%). В особенно экстремальные годы объем воды от таяния снега достигает 29,2 км³, что составляет более половины всего годового речного стока. На севере и северо-западе Беларуси слой стока воды весеннего половодья обеспечивает на 72–81 % запасы воды в снеге. На остальной территории Беларуси эта доля составляет 89–93 %, что свидетельствует о ведущем вкладе снегонакопления в режим максимального стока при крупных половодьях и наводнениях.

Анализ изменчивости максимальных расходов воды весеннего половодья рек Беларуси выявил их неоднородность, обусловленную как природно-климатическими, так и антропогенными факторами. Временные ряды показывают статистически значимые различия в средних значениях и дисперсиях, начиная со второй половины XX века.

Выполнено гидрологическое районирование территории Беларуси по трем критериям: синхронности многолетних колебаний максимального стока, условиям колебаний максимального стока на основе анализа спектральной плотности, а также характеру колебаний на основе пространственно-корреляционных функций. Анализ пространственных корреляционных функций позволил выделить три района, для которых были получены зависимости коэффициента корреляции от расстояния между центрами водосборов. Физико-географическое районирование по изменению градиента максимальных расходов воды весеннего половодья за период 1985–2000 гг. позволило выделить три зоны. Изменения градиентов средних месячных расходов воды в период с февраля по май, в основном, наблюдаются в феврале и марте, с незначительным увеличением в апреле и мае (в центре страны). Уменьшение стока в феврале отмечается в бассейне реки Западный Буг, в то время как значительное увеличение стока в феврале и марте наблюдается на севере и северо-востоке Беларуси, с максимальными изменениями на северо-востоке. Наибольшее снижение стока фиксируется в апреле.

Анализ временных рядов максимальных расходов весеннего половодья показывает, что на значительной части территории Беларуси произошло заметное снижение стока в весенний период, что в первую очередь связано с климатическими процессами, проявляющимися в увеличении числа и продолжительности оттепелей зимой. Исключение составляют реки бассейна Припяти в Брестской области, где изменения максимальных расходов воды весеннего половодья незначительны (от 0 до -10%). Это объясняется высокой степенью мелиорированности водосбора, что компенсирует влияние природных факторов. Наибольшее снижение стока весеннего половодья отмечается на реке Вилия (от -50 до -80 %), что связано с переброской части стока через Вилейско-Минскую водную систему в реку Свислочь.

Средний многолетний модуль максимального стока весеннего половодья для Беларуси составляет 54,4 л/с·км², с коэффициентом вариации Cv=0,70. Экстремально маловодные годы характерны для юга страны (территория Полесья), а многоводные годы наблюдаются локально. Для Беларуси выделены три градации пространственной вероятности маловодья: высокая (q≤40 л/с·км²), умеренная (40≤q≤80 л/с·км²) и низкая (80≤q≤120 л/с·км²); а также три градации вероятности многоводья: низкая (q≤120 л/с·км²), умеренная (120≤q≤160 л/с·км²) и высокая (q≥160 л/с·км²). Определены пять вероятностей повторяемости аномальных лет: низкая (Cv≤0,45), умеренная (0,45≤Cv≤0,65), повышенная (0,65≤Cv≤0,85), высокая (0,85≤Cv≤1,05) и очень высокая (Cv>1,05). На всей территории наблюдаются значительные аномалии максимальных расходов воды весеннего половодья, однако в некоторых районах центральной части их величина снижается. Максимальные половодья обычно имеют локальный характер, а асинхронность в формировании половодья больше выражена в широтном направлении, чем в меридиональном. Средний коэффициент асинхронности формирования максимального стока колеблется от 0,75 до 1,3 для крупных рек Беларуси [6].

Наибольшие значения максимального стока весеннего половодья фиксируются при меридиональной циркуляции атмосферы, за исключением реки Березина в Бобруйске, где максимальные расходы воды достигаются при восточной циркуляции. Временные ряды максимальных расходов воды весной демонстрируют преобладание циклов с периодами 2–3, 5–6, 8–9 и 13–14 лет. Для реки Припять также выявлены более длинные циклы – 20 и 33 года [7].

Прогнозирование максимальных расходов воды весеннего половодья рек Беларуси возможно с использованием комбинации простой цепи Маркова и стохастических дифференциальных уравнений. Эти методы позволяют моделировать гидрологические ряды практически любой длины и учитывать более дальние корреляционные связи, чем при использовании только цепи Маркова. Результаты этих исследований могут быть полезны для расчета и прогнозирования многолетних колебаний максимальных расходов воды весной.

Определены величины смещения средних дат наступления максимальных расходов воды весеннего половодья в последние годы, когда наблюдается повышение температуры воздуха в Беларуси. Смещение, наиболее выраженное с юго-запада на северо-восток страны, произошло на более ранние сроки: в 71,5 % случаев пик половодий приходится на третью декаду марта. Наибольшее смещение зафиксировано в центральной части, особенно в низинах и равнинах Предполесья, а также в западнобелорусской области, включая Минскую возвышенность и Горецкую моренную равнину. На юго-западе изменений не наблюдается, особенно в районе Малоритской водно-ледниковой равнины. Основной причиной смещения пиков половодий являются климатические факторы. Существенных изменений в форме гидрографов не зафиксировано, однако можно отметить некоторые трансформации, вызванные антропогенными факторами.

Заключение. Выявлены общие и специфические закономерности формирования режима снежного покрова и максимального весеннего стока рек Беларуси, даны количественные оценки пространственно-временного распределения характеристик на территории Беларуси, получены результаты оценки влияния снежного покрова на сток рек, усовершенствованы методики аналитических оценок и прогнозирования исследуемых характеристик для различных сценариев развития климата в будущем.

Благодарности. Работа выполнена в рамка проекта БРФФИ № Х23-127.

Список использованных источников

1. Meshyk, A. Snow as a Contributor to Spring Flooding in Belarus / A. Meshyk, M. Barushka, V. Marozava // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – № 28. – P. 18826–18836. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09638-8.

2. Мешик, О. П. Роль снежного покрова в формировании весеннего половодья на реках Беларуси / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Мелиорация. – 2020. – № 4 (94). – С. 35–40.

3. Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, О. П. Мешик [и др.]. – Москва : Мещер. ф-л ВНИ-ИГиМ им. А. Н. Костякова, 2016. – 58 с.

4. Meshyk, A. Mapping the Characteristics of Snow Cover in Belarus / A. Meshyk, V. Marozava and M. Barushka // E3S Web Conf., 212 (2020) 01013. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201013.

5. Мешик, О. П. Особенности залегания снежного покрова на территории Республики Беларусь / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Вестник БрГТУ. – 2021. – № 2(125) : Геоэкология. – С. 93–99. doi.org/10.36773/1818-1212-2021-125-2-93-99.

6. Волчек, А. А. Пространственно-временные колебания стока рек Беларуси в современных условиях / А. А. Волчек // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 2 (134) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 121–130. doi.org/10.36773/1818-1112-2024-134-2-121-130.

7. Полесья Восточно-Европейской равнины : монография под ред. Ю. А. Мажайского, А. А. Волчека, Д. А. Иванова, О. П. Мешика. – Брест : Издательство БрГТУ, 2024. – 216 с.

SNOW COVER AS A FACTOR IN SPRING FLOODING OF BELARUSIAN RIVERS

A. Meshyk, A. Volchak, S. Parfamuk, D. Petrov, M. Barushka, V. Marozava, A. Pratasevich

This study investigates the characteristics of snow cover, including snow water equivalent, snow density, and snow depth, and their influence on the peak spring runoff of rivers in Belarus. We analyze the spatial and temporal variability of snow accumulation and maximum runoff, as well as their changes in response to climate warming. The research includes mapping of key snow cover parameters, evaluation of the relationships between snow accumulation, snowmelt, and spring flood runoff, and provides predictive assessments. Additionally, strategies for managing snow accumulation are proposed to mitigate flood risks.

УДК 550.47

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ В ОКРЕСТНОСТЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СВИНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Н. В. Михальчук, Е. А. Брыль

Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

С использованием биогеохимических параметров (коэффициент концентрации элементов – Кс и соотношение Pb/Mn) изучено содержание тяжелых металлов в листьях и хвое древесных растений в ареале ООО «Белинвестторг-Сплав» (г. Белоозерск). Выявлена обратная зависимость степени контрастности биогеохимических аномалий Pb и Cd от расстояния от источника эмиссий.

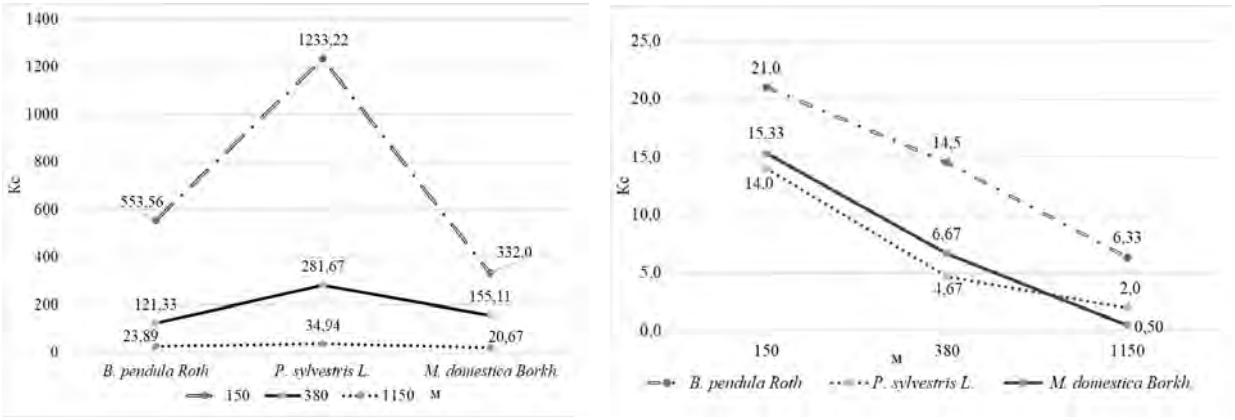
Ключевые слова: биоиндикация, тяжелые металлы, древесные растения.

Введение. Одной из основных задач экологии является выяснение последствий естественного и антропогенного загрязнения окружающей среды, а также установление факторов риска нарушения состояния геосистем. Тяжелые металлы (ТМ) при избыточном поступлении в объекты природной среды ведут себя как токсиканты и экотоксиканты. При этом к токсикантам относятся элементы и соединения, оказывающие вредное воздействие на отдельный организм или группу организмов, а экотоксикантами являются элементы или соединения, негативным образом воздействующие не только на отдельные организмы, но и на экосистему в целом. Из них ртуть, свинец и кадмий наиболее токсичны [1]. Для территорий с крупной многопрофильной промышленностью характерно присутствие в окружающей среде не отдельного загрязнителя, а ассоциации ТМ, способных оказывать комбинированное воздействие на геосистему, при котором может наблюдаться как суммирование эффектов, так и их потенцирование [2]. В связи с этим особенно важно проводить исследования в зонах влияния предприятий, в выбросах которых в воздушную среду присутствуют опасные поллютанты, включая и ТМ. Одним из таких предприятий, расположенных на территории Брестской области, является ООО «Белинвестторг-Сплав» (г. Белоозерск). Завод осуществляет рециклинг отработанных аккумуляторных батарей и производство марочного свинца и сплавов.

Цель работы – изучение уровней накопления ТМ древесной растительностью по доминирующему юго-восточному направлению переноса воздушных масс в окрестностях вышеназванного предприятия.

Объекты и методы проведения исследований. Растительные образцы (листья и хвоя) отбирались на расстоянии 150 м, 380 м и 1150 м от предприятия, поскольку, как правило, максимальные значения содержания металлов в древесной флоре выявляются на расстоянии 1–3 км от источников выбросов (металлургических и иных предприятий) [3, 4]. Отбор образцов и их пробоподготовка осуществлялась по [5, 6] и в соответствии с ГОСТ 27548, ГОСТ 26929. Содержание ТМ исследовалось методом атомной спектрометрии по ГОСТ 30178-96. Статистическая обработка экспериментальных данных была выполнена с использованием программ Microsoft Excel 2013 и Statistica 10.0.

Результаты и их обсуждение. С использованием биогеохимических параметров (коэффициент концентрации элементов – Кс, и соотношение Pb/Mn) в листьях и хвое древесной растительности импактной зоны выявлена обратная зависимость степени контрастности биогеохимических аномалий Pb и Cd (1 класс опасности) от расстояния от источника эмиссий. Так, в конце вегетационного сезона содержание Pb, выраженное через Кс, на расстоянии в 150 м от предприятия в листьях *Betula pendula* Roth составило 553,56; в листьях *Malus domestica* Borkh. – 332,0; в хвое *Pinus sylvestris* L. – 1109,9 (рисунок 1).



Pb Cd

Рисунок 1 *– Коэффициенты концентрации (Кс) Pb и Cd в листьях и хвое древесных растений юго-восточного сектора ареала ООО «Белинвестторг-Сплав», г. Белоозерск*

При двукратном увеличении расстояния от источника выбросов (380 м) в листьях березы содержание Pb снизилось в 4,6 раза (Кс 121,33), в листьях яблони – в 2,1 раза (Кс 155,11); в хвое сосны Кс по Pb составил 281,67, со снижением концентрации элемента в 4,4 раза. На расстоянии в 1150 м от предприятия содержание свинца снижается на порядок, однако все еще превышает фоновые значения в десятки раз: в листьях *B. pendula* Roth Кс=23,89, *M. domestica* Borkh. – 20,67 и в хвое *P. sylvestris* L. Кс=34,94.

Анализируя содержание Cd в древесной растительности юго-восточного сектора зоны влияния ООО «Белинвестторг-Сплав» (рисунок 1), установлено, что на расстоянии в 150 м от источника загрязнения в листьях *B. pendula* Roth Кс был на уровне – 21,0; в листьях *M. domestica* Borkh. – 15,33; в хвое *P. sylvestris* L. – 14,0.

С увеличением расстояния вдвое от источника выбросов (380 м) в листьях березы содержание Cd снизилось в 1,5 раза (Кс 14,5); в листьях яблони произошло двукратное снижение концентрации данного элемента – 6,67; в хвое сосны Кс по Cd составил 4,67 (трехкратное снижение). На расстоянии в 1150 м от предприятия содержание кадмия в листьях березы и хвое сосны существенно (трехкратно) снижается, все еще оставаясь аномальным: 6,33 – листья, 2,0 – хвоя. Только в листьях яблони содержание данного элемента приходит к физиологической норме и составляет около 0,5 фоновой величины.

Анализ накопления элементов в ассимиляционных органах древесной растительности исследуемого ареала показал также, что независимо от расстояния содержание Cu, Fe и Co находилось на уровне фоновых значений (таблица), а концентрации Ni и Cr были крайне низкими – в среднем 0,3 (Ni) и 0,1 (Cr) фоновых значений.

Таблица *– Содержание элементов в листьях и хвое древесных растений импактной зоны*

Расстояние от источника эмиссий, м	Вид растения	Содержание элемента, мг/кг воздушно сухого вещества				
		Cu	Fe	Ni	Co	Cr
150	*B. pendula* Roth	3,86±0,20	62,30±0,99	0,46±0,04	0,08±0,002	0,21±0,05
	P. sylvestris L.	3,88±0,06	159,83±28,08	0,64±0,01	0,08±0,003	0,65±0,02
	M. domestica Borkh	1,98±0,06	42,10±0,26	0,32±0,02	0,03±0,01	0,09±0,01
380	*B. pendula* Roth	4,16±0,01	71,10±0,09	1,87±0,49	0,69±0,16	0,37±0,11
	P. sylvestris L.	2,78±0,07	61,27±2,77	0,77±0,19	0,07±0,004	0,46±0,04
	M. domestica Borkh	3,06±0,06	66,22±1,57	1,06±0,01	0,06±0,01	0,12±0,005
1150	*B. pendula* Roth	4,40±0,04	74,73±5,70	0,71±0,01	0,42±0,01	0,37±0,003
	P. sylvestris L.	2,55±0,05	61,37±4,23	0,66±0,01	0,04±0,001	0,58±0,09
	M. domestica Borkh	3,39±0,16	83,21±12,65	0,42±0,02	0,02±0,003	0,14±0,01
Субрегиональный фон [7]		3,34±0,44	73,78±6,73	2,68±1,28	0,07±0,01	3,06±0,57
Референтное растение [8]		10,00	150,00	1,50	0,20	1,50

Установлено видоспецифичное накопление Zn исследуемыми растительными объектами с тенденцией к увеличению содержания элемента с увеличением расстояния от предприятия (рисунок 2).

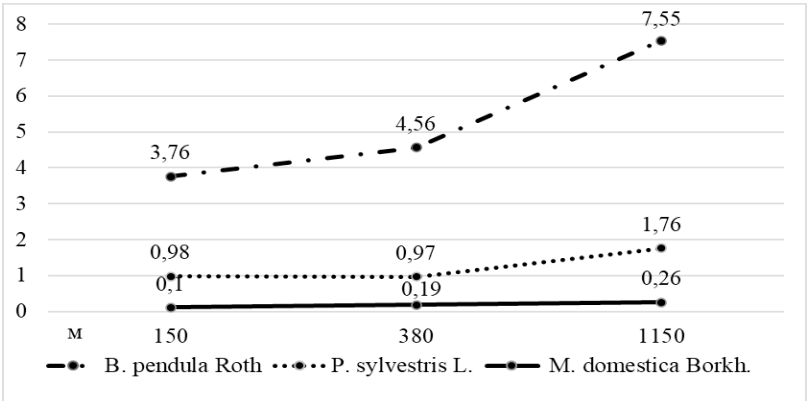


***Рисунок 2** – Коэффициенты концентрации (Кс) Zn в листьях и хвое древесных растений юго-восточного сектора ареала ООО «Белинвестторг-Сплав», г. Белоозерск*

В условиях высокого накопления свинца в листьях *M. domestica* Borkh. отмечено крайне низкое содержание цинка от 0,1 до 0,26 Кс. В хвое *P. sylvestris* L установлены близкие к фоновым значения (0,98–1,76 Кс). В то же время в листьях *B. pendula* Roth отмечены аномальные коэффициенты концентрации цинка: 3,76 на удалении в 150 м, 4,56 – в 380 м и 7,55 – на расстоянии 1150 м. Способность *B. pendula* Roth. к гиперконцентрации цинка в листьях при различной антропогенной нагрузке отмечена в работах [3, 9].

Соотношение Pb/Mn характеризует пропорцию техногенных и биофильных элементов в растениях. Данный показатель (рисунок 3) в листьях березы на расстоянии в 150 м в 550 раз, на расстоянии в 380 м в 17 раз, на расстоянии в 1150 м от завода в 5 раз превышал фоновую величину.

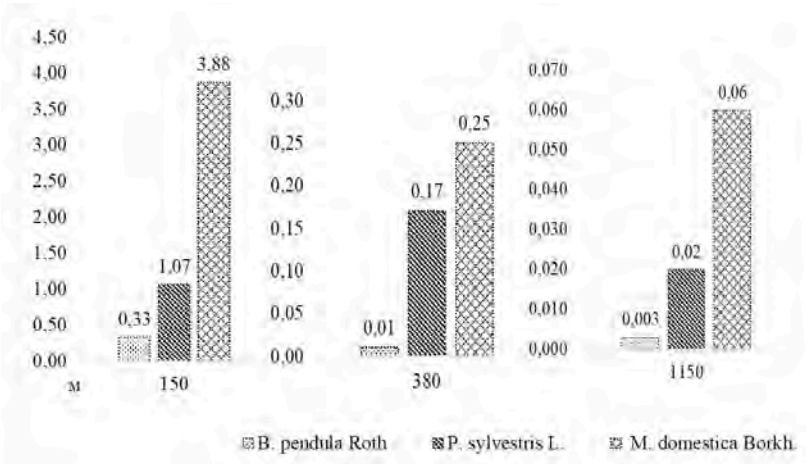


***Рисунок 3** – Соотношение Pb/Mn в листьях и хвое древесных растений юго-восточного сектора ареала ООО «Белинвестторг-Сплав», г. Белоозерск*

Значения этого показателя в хвое сосны на расстоянии в 150 м были кратны фону в 1783 раза, на удалении в 380 м в 283 раза, на расстоянии в 1150 м в 33 раза. Наибольшие отклонения от фоновых данных получены для листьев яблони – на расстоянии в 150 м в 6467 раз, на расстоянии в 380 м в 417 раз, на расстоянии в 1150 м от завода в 100 раз выше фона. Полученные результаты исследований свидетельствует о существенном дисбалансе в микроэлементном обеспечении процессов метаболизма в растениях, поскольку физиологической функцией марганца является создание окислительно-восстановительных условий, осуществление фотопродукции в хлоропластах и азотный обмен.

Заключение. Таким образом, установлена существенная биогеохимическая трансформация древесной растительности импактной территории экологически опасного производства. Полученные данные по интенсивности накопления ТМ в листьях и хвое деревьев зоны влияния аккумуляторного предприятия свидетельствуют о сильном аэротехногенном загрязнении Pb и Cd и нарушениях биогеохимической специализации древесной флоры исследуемого ареала. Исследование растительности как функционального

компонента геосистем, отражающего геохимические особенности и состояние окружающей среды, следует использовать для совершенствования систем импактного мониторинга.

Благодарности. Авторы выражают благодарность П. В. Качанович и М. М. Дашкевичу за помощь в определении элементного состава растительности.

Список использованных источников

1. Добровольский, В. В. Основы биогеохимии: учеб. пособие для геогр., биол., геолог., с.-х. спец. вузов / В. В. Добровольский. – М. : Высш. шк., 1998. – 413 с.

2. Городская среда: геоэкологические аспекты : монография / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 301 с.

3. Бельская, Е. А. Тяжелые металлы в листьях березы в период сокращения выбросов крупного медеплавильного завода / Е. А. Бельская, Г. А. Замшина // Экология. – 2023. – № 6. – С. 446–452.

4. Есенжолова, А. Ж. Биоиндикационная способность листьев древесных и кустарниковых насаждений для оценки загрязнения среды тяжелыми металлами в зоне действия металлургического комплекса / А. Ж. Есенжолова, М. С. Панин // Экология и промышленность России. – 2013. – № 7. – С. 49–53.

5. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – Москва : Гидрометеоиздат, 1981. – 109 с.

6. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / А. В. Кузнецов, А. П. Фесюн, С. Г. Самохвалов, Э. П. Махонько. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЦИНАО, 1992. – 63 с.

7. Михальчук, Н. В. Содержание тяжелых металлов в дикорастущих растениях фоновых территорий юго-запада Беларуси / Н. В. Михальчук, Е. А. Брыль // Прыроднае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання: зб. навук. прац XI Міжнар. навук. канф., Брэст, 11–13 вер. 2024 / Нац. акад. навук Беларусі; Палескі аграрна-экалагіч. ін-т; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2024. – С. 71–74.

8. Markert, B. Chemical Evolution: The Biological System of the Elements / B. Markert, S. Fränzle, S. Wünschmann // Springer International Publishing Switzerland, 2015. – 282 P.

9. Уфимцева, М. Д. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга / М. Д. Уфимцева, Н. В. Терехина. – СПб : Наука, 2005. – 339.

FEATURES OF HEAVY METALS ACCUMULATION BY TREES IN THE AREA OF THE LEAD-CONTAINING WASTE PROCESSING FACTORY

N. V. Mikhalchuk, A. A. Bryl

Using biogeochemical parameters (element concentration factor – Kc, and Pb/Mn ratio), the content of heavy metals in the leaves and needles of woody plants in the range of Belinvesttorg-Splav LLC (Beloozersk) was studied. The inverse dependence of the contrast degree of biogeochemical anomalies Pb and Cd on the distance from the emission source was revealed.

УДК 628.393

ФИЛЬТРАТ КАК ОСНОВНОЙ АГЕНТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Н. В. Михальчук[1], А. А. Волчек[2], А. В. Безручко[3]

[1] Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2] Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь
[3] Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды, г. Брест, Беларусь

Показано, что по всем группам веществ (макрокомпоненты, органические соединения, микроэлементы) фильтрат исследованных полигонов ТКО характеризуется высокими уровнями загрязнения. На всех без исключения полигонах ТКО в ряду приоритетных загрязнителей ведущее место принадлежит азоту аммонийному (NH_4) – его концентрации изменяются от 915,0 мг/дм^3 (г. Лунинец) до 1546,9–1563,9 мг/дм^3 (г. Брест и г. Пинск); усредненное содержание составляет 1260,5 мг/дм^3, усредненный Кс – 991,0. По элементному составу приоритетными загрязнителями фильтрата являются хром, железо, а также никель, медь и цинк.

Ключевые слова: полигоны твердых коммунальных отходов, фильтрат, загрязнение, химические вещества, тяжелые металлы.

Введение. В течение периода эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов (ТКО) происходит деструкция депонированных отходов под действием вод атмосферных осадков и биохимических процессов в теле полигона, результатом чего является образование жидкой фазы отходов в виде фильтрата. Фильтрат, насыщенный загрязняющими компонентами, представляет наибольшую опасность для объектов окружающей среды в случае его миграции за пределы полигона [5, 6]. Именно поэтому вопросы изучения химического состава фильтра принадлежат к числу наиболее актуальных в контексте исследования влияния полигонов ТКО на компоненты экосистем сопредельных территорий.

Цель работы – изучение химического состава фильтра, образующегося в теле полигонов ТКО гг. Барановичи, Бреста, Березы, Пинска, Лунинца Брестской области.

Объекты и методы проведения исследований. Образцы фильтрата отбирались в весенний и осенний периоды. Химический состав фильтрата исследовался по трем группам показателей: содержание макрокомпонентов, органических соединений (нефтепродукты (НП) и анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ) и микроэлементов. Кроме того, определялся показатель pH.

Исследования проб выполнялись по следующим методикам: содержание сухого остатка (МВИ. МН 4218-2012), pH (СТБ ISO 10523-2017), концентрация взвешенных веществ (МВИ. МН 4362-2012), ХПК (ПНД Ф 14.1:2:4.190-2003), $БПК_5$ (СТБ 17.13.05-22-2011 / ISO 5815-1:2003), массовая концентрация нефтепродуктов (ПНД Ф 14.1:2:4.128-9), массовая концентрация железа общего (СТБ 17.13.05-45-2016), массовая концентрация нитритов (ГОСТ 33045-2014 п. 6, метод Б), массовая концентрация нитратов (ГОСТ 33045-2014 п. 9, метод Д), массовая концентрация аммиака и ионов аммония (ГОСТ 33045-2014 п. 5, метод А), массовая концентрация хлоридов (СТБ 17.13.05-42-2015), концентрация ортофосфата (ГОСТ 18309–2014, п. 6) и ТМ.

Определение содержания хлоридов осуществлялось титриметрическим методом; взвешенных и растворенных веществ (сухой остаток) – гравиметрическим методом; НП – флуориметрическим методом; ХПК – бихроматным методом; pH – потенциометрическим методом; азота нитритного, нитратного, аммонийного, железа общего и фосфора фосфатного – фотометрическим методом на спектрофотометре СФ–56А. Определение содержания тяжелых металлов (ТМ) проводилось методом атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрометре с пламенным атомизатором SOLAAR M6 MkII. Статистическая обработка экспериментальных данных была выполнена с использованием программ Microsoft Excel 2013.

Результаты и их обсуждение. Формирование фильтрата происходит за счет влаги, выделяемой отходами, просачивания атмосферных осадков через тело полигона, а также в ходе биохимических процессов анаэробного разложения. К числу специфических особенностей фильтрата относятся: многокомпонентный химический состав, который неодинаков на разных этапах жизненного цикла полигона; зависимость объема и состава фильтрата от возраста, площади и мощности полигона, морфологической структуры ТКО; наличие токсичных веществ и трудно окисляемых соединений; содержание в стоках патогенных

микроорганизмов; значительные перепады объемов накопляемости в разные сезоны года в зависимости от выпадения атмосферных осадков.

Химический состав фильтрата зависит от морфологии депонированных отходов и этапа жизненного цикла полигона, для каждого из которых характерны определенные химические реакции и состав микроорганизмов, участвующих в разложении отходов. В жизненном цикле полигона выделяют следующие фазы биохимического распада отходов: аэробная – период в несколько месяцев; анаэробная – гидролиз (1–3 года); ацетогенез (3–10 лет); метаногенез (10–30 лет); ассимиляция (до 100 лет) [7].

Фильтрат содержит повышенные концентрации органических веществ, в том числе биологически трудно окисляемую органику, например, галогенорганические соединения, ТМ и соединения минерального происхождения. Обычно фильтрат подразделяют на «молодой» (после 2–7 лет складирования отходов) и «старый».

Фильтрат «молодой» формируется в течение 3–10 лет. В этот период продуктами распада отходов являются органические кислоты, CO_2 и H_2O, что изменяет pH фильтрата до 4,5–6,5. Для «молодого» фильтрата характерны высокие значениями ХПК (500–22000 и даже до 60000 мгO_2/дм^3) и БПК5 (200–13000 и до 20000 мгO_2/дм^3). Окисление органических соединений приводит к образованию кислот, способствующих растворению металлов и переходу их в фильтрат; насыщенность ионами ТМ может достигать 70 мг/дм³.

Со временем уменьшается содержание органического углерода и начинается формирование «старого» фильтрата, протекающее на стадии активного метаногенеза, продолжительность которой до 30 лет от начала закладки полигона. В эту фазу происходит ферментативное разложение кислот, образованных на предыдущем этапе. При этом выделяется значительное количество газов: метана, углекислого газа, меркаптана, аммиака и др. Повышается pH среды до 7,2–8,6. Идет постепенное уменьшение содержания органики, но повышается доля трудно окисляемых соединений.

Для «старого» фильтрата характерны значения ХПК около 2000–3000, редко до 4000 мгO_2/дм^3 и БПК5 около 100–180 реже до 400 мгO_2/дм^3, однако повышается доля биорезистентных компонентов. Также протекает связывание ионов металлов с образованием карбонатов или гидроксидов металлов, вследствие чего снижаются их концентрации в фильтрате. С течением жизни полигона происходит и снижение в фильтрате концентрации сульфат-иона от 510–1000 до 80–200 мг/дм^3 за счет восстановления сульфатов до сульфидов и серы. Концентрация хлоридов может изменяться в пределах от 50–200 до 2500–5000 мг/дм^3, концентрация ионов аммония – от 300 до 3000 мг/дм^3. Общая минерализация достигает 10000 мг/дм^3 [8, 9].

По истечении 30–40 лет от начала складирования ТКО начинается стабилизация биохимических процессов. В это время в жизненном цикле полигона наступает рекультивационный период со стабильной фазой метаногенеза, которая длится до 100 лет.

На полигонах ТКО гг. Барановичи, Бреста, Березы, Пинска, Лунинца организована система сбора фильтрата с его откачкой на эксплуатируемые карты. Фильтрат исследованных нами полигонов по химическому составу относится к категории «старый» с концентрациями загрязняющих веществ в десятки и сотни раз превышающими контрольные показатели; он имеет щелочную реакцию: pH составляет 8,0–8,3 (таблица 1).

Результаты исследования химического состава фильтрата показывают, что по всем группам загрязняющих веществ (макрокомпоненты, органические соединения, микроэлементы) он характеризуется высокими уровнями загрязнения.

Среди макрокомпонентов достаточно высокие концентрации свойственны хлорид-иону (Cl^-) и сухому остатку. Так, содержание хлорид-иона варьирует от 2266,1 мг/дм^3 в фильтрате полигона ТКО г. Бреста до 5236,3 мг/дм^3 – полигон ТКО г. Береза, а уровень сухого остатка – 6591,0 мг/дм^3 в фильтрате полигона ТКО г. Барановичи до 15601,5 мг/дм^3 – г. Береза.

На всех без исключения полигонах ТКО в ряду приоритетных загрязнителей ведущее место принадлежит азоту аммонийному (NH_4) – его концентрации изменяются от 915,0 мг/дм^3 (г. Лунинец) до 1563,9 мг/дм^3 (г. Пинск). Также среди макрокомпонентов выделяется и ХПК, что свидетельствует о высоком содержании органических веществ в морфологическом составе захораниваемых отходов. Особенно высоким этот показатель является на полигоне ТКО г. Пинска, где он достигает значения 5000 мг/дм^3. Минимальные значения наблюдаются в фильтрате полигона ТКО г. Барановичи – 1464,0 мг/дм^3.

Органические соединения (АПАВ и НП) также относятся к константным компонентам фильтрата. При этом в ряду сравниваемых полигонов ТКО нефтепродукты в фильтрате полигона ТКО г. Бреста присутствуют в максимальных концентрациях – 2,58 мг/дм^3, в то время как в других случаях их ко-

личество варьирует от 0,12 мг/дм^3 (полигон ТКО г. Лунинца) до 0,35 мг/дм мг/дм^3 (полигон ТКО г. Пинска). Менее существенный вклад в загрязнение фильтрата вносят АПАВ: их содержание изменяется от 0,11 мг/дм^3 в фильтрате полигона ТКО г. Береза до 1,56 мг/дм^3 – на полигоне ТКО г. Барановичи.

Анализ фильтрата по микроэлементному составу позволяет рассматривать в качестве приоритетных загрязнителей хром и железо, а также медь, цинк и в ряде случаев – марганец и никель. Так, максимальные концентрации хрома характерны для фильтрата полигонов ТКО г. Пинска – 1,501 мг/дм^3 и г. Бреста – 1,192 мг/дм^3; минимальные для полигонов ТКО г. Лунинца – 0,233 мг/дм^3 и г. Барановичи – 0,271 мг/дм^3 (таблица 2).

Фильтрат, отводимый от тела полигона ТКО г. Пинска, в ряду сравниваемых полигонов отличается также наиболее высоким содержанием меди – 0,854 мг/дм^3, цинка – 0,941 мг/дм^3, кадмия – 0,006 мг/дм^3; в его составе обнаружен также селен – элемент, не фиксируемый в фильтрате других полигонов. Фильтрат полигона ТКО г. Бреста выделяется высокими концентрациями железа общего – 16,33 мг/дм^3, никеля – 0,286 мг/дм^3, свинца – 0,08 мг/дм^3.

По микроэлементному составу, как и по макрокомпонентам, наименее загрязненным является фильтрат полигона ТКО г. Барановичи.

Сравнение химических свойств фильтрата, отобранного в весенний и осенний периоды на полигонах ТКО гг. Пинск и Береза, свидетельствует о том, что он отличается относительной стабильностью по элементному составу.

Заключение. Таким образом, фильтрат в силу своей высокой токсичности является основным агентом воздействия полигонов ТКО на окружающую среду сопредельных с ними территорий. Состав фильтрата зависит от срока эксплуатации полигона ТКО, морфологического состава захораниваемых отходов. На всех исследованных полигонах ТКО приоритетным загрязнителем является азот аммонийный – его концентрации изменяются от 915,0 мг/дм^3 (г. Лунинец) до 1546,9–1563,9 мг/дм^3 (г. Брест и г. Пинск). По элементному составу наибольшие концентрации характерны для хрома и железа, а также никеля, меди и цинка.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта БРФФИ № Х22Б-010.

Таблица 1 *– Содержание (мг/дм³) макрокомпонентов и органических соединений в фильтрате и фильтратных водах полигонов ТКО Брестской области*

Полигон ТКО	Год отбора	pH	Макрокомпоненты								Органические соединения	
			сухой остаток	SO_4^{2-}	Cl^-	NH^{4+}	ХПК	PO_4^{3-}	нитрат-ион	нитрит-ион	АПАВ	НП
г. Брест	2022	8,0	9709,0	1118,8	2266,1	1546,9	4215,0	11,77	69,50	17,46	0,50	2,58
г. Барановичи	2023	8,3	6591,0	176,5	1550,0	1104,0	1464,0	7,68	–	–	1,56	0,68
г. Пинск	2023	8,3	12105,5	573,0	2288,8	1563,9	5000,0	9,45	440,30	–	0,35	0,35
г. Береза	2023	8,2	15601,5	299,1	5236,3	1391,8	2840,0	16,10	–	–	0,11	0,90
г. Лунинец	2023	7,4	12320,0	125,0	2334,1	915,0	3665,0	12,65	7,80	–	0,47	0,12

Таблица 2 *– Содержание (мг/дм³) микроэлементов в фильтрате полигонов ТКО Брестской области*

Полигон ТКО	Год отбора	Период отбора	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr	Fe	Mo	Se	Sb	As	Sn
г. Брест	2022	А*	0,080	0,002	0,203	0,542	0,433	0,286	0,040	1,192	16,330	0,038	0,0000	0,0170	0,0120	0,506
г. Барановичи	2023	А	0,010	0,001	0,073	0,105	0,218	0,079	0,012	0,271	4,910	0,004	0,0000	0,0000	0,0070	0,048
г. Пинск	2023	А	0,043	0,006	0,854	0,941	0,297	0,174	0,023	1,501	9,517	0,028	0,0070	0,0370	0,0190	0,098
		Б	0,026	0,003	0,449	0,412	0,209	0,135	0,017	0,668	7,780	0,000	–	0,0230	0,0110	0,120
г. Береза	2023	А	0,016	0,020	0,421	0,273	0,393	0,130	0,015	0,802	9,000	0,011	0,0000	0,0000	0,0000	0,000
		Б	0,016	0,002	0,482	0,314	0,504	0,140	0,018	0,807	7,658	0,000	0,0000	0,0160	0,0090	0,038
г. Лунинец	2023	А	0,003	0,000	0,017	0,033	0,249	0,052	0,013	0,223	0,858	0,004	0,0000	0,0050	0,0160	0,004

Примечание: *А – весенний отбор, Б – осенний отбор.

Список использованных источников

1. Ерошина, Д. М. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д. М. Ерошина, В. В. Ходин, В. С. Зубрицкий, А. Л. Демидов. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2010. – 152 с.

2. Завизион, Ю. В. Геоэкологическая оценка состояния полигонов захоронения отходов как элемента природно-техногенной системы / Автореф. дис. … канд. техн. наук. – Пермь, 2019. – 16 с.

3. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Обращение с коммунальными отходами. Объекты захоронения твердых коммунальных отходов. Правила проектирования и эксплуатации = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Адыходы. Абыходжанне з камунальнымі адыходамі. Аб'екты захавання цвердых камунальных адыходаў. Правілы праектавання і эксплутавання : ТКП 17.11–02–2009 (02120/02030). – Введ. 25.04.2009 г. – Минск : Минприроды, 2014. – 29 с.

4. Гурвич, В. И. Свалочный газ: перспективы добычи и утилизации / В. И. Гурвич, А. Б. Лифшиц // Твердые бытовые отходы. – 2006. – № 8. – С. 4–9.

5. Донченко, В. К. Факторы риска от полигонов твердых бытовых отходов / В. К. Донченко, Ю. И. Скорик, JI. С. Венцюлис, В. В. Оников, А. Н. Пименов, Б. М. Бухтеев // Вейст-Тэк : материалы 3-го междунар. конгресса по управлению отходами и природными технологиями. – М. : ЗАО СИБИКО Интернэшнл, 2003. – С. 150–151.

6. Солодовник, М. В. Энергосберегающие технологии очистки сточных вод полигонов твердых бытовых отходов / М. В. Солодовник // Коммунальное хозяйство городов: научно-технич. сборник, 2008. – № 84. – С. 127–131.

7. Тагилова, О. А. Повышение экологической безопасности полигонов твердых бытовых отходов на основе анализа потоков органического углерода : автореф. дис. канд. геол.-минер. наук: 25.00.36; Пермский госуд. технич. ун-т. – Пермь, 2006. – 23 с.

8. Грибанова, Л. П. Процессы на полигонах / Л. П. Грибанова // Твердые бытовые отходы. – 2006. – № 7. – С. 4–7.

9. Гуман, О. М., Гидрогеохимическая модель полигона ТБО / О. М. Гуман, И. А. Долинина // Известия УГГА. Сер. Геология и геофизика. – Вып. 18. – 2003. – С. 262–273.

FILTRATE AS THE MAIN AGENT OF IMPACT OF SOLID WASTE LANDFILLS ON THE ENVIRONMENT

N. V. Mikhalchuk, A. A. Volchek, A. V. Bezruchko

It has been shown that, for all groups of substances (macro components, organic compounds, and trace elements), the filtrate from the MSW landfill sites studied is characterized by a high level of contamination. Without exception, at all MSW landfills, ammonium nitrogen (NH_4) takes the leading position among the priority pollutants – its concentrations range from 915.0 mg/dm³ (Luninets) to 1546.9–1563.9 mg/dm³ (Brest and Pinsk), with an average concentration of 1260.5 mg/dm³ and an average Cs of 991.0. Based on the elemental composition, chromium, iron, nickel, copper, and zinc are among the priority pollutants in the filtrate.

УДК 504.054

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ Г. БАРАНОВИЧИ

Н. В. Михальчук[1], М. И. Хващевский[1,2]
[1] Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2] Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Приведены данные о содержании тяжелых металлов и металлоидов в почвах санитарно-защитной зоны полигона твердых коммунальных отходов г. Барановичи. Показано, что почвенно-геохимическая ситуация на землях сельскохозяйственного назначения по большинству элементов характеризуется как благоприятная, за исключением мышьяка, концентрация которого находится на уровне ПДК, а на землях лесного фонда превышает этот норматив. Выявлено повышенное содержание кадмия (1,5 ПДК) в лесных подстилках некоторых пробных площадок юго-западной трансекты.

Ключевые слова: полигон твердых коммунальных отходов, тяжелые металлы и металлоиды, геохимические аномалии, почвы, подстилки.

Введение. В Республике Беларусь основным способом обращения с твёрдыми коммунальными отходами (ТКО), не относящимся ко вторичным материальным ресурсам, является их захоронение на соответствующих полигонах [1] – сейчас туда поступает более 2,5 млн. тонн из 4,3 млн. тонн образующихся отходов.

На территории Брестской области в настоящее время эксплуатируются 22 полигона ТКО, на которых размещаются отходы потребления и некоторые виды отходов производств. Все они относятся к сооружениям средней мощности (годовое количество поступающих отходов составляет от 30 до 150 тыс. м^3). Согласно Концепции создания объектов по сортировке и использованию твердых коммунальных отходов и полигонов для их захоронения (утверждена постановлением Совета Министров РБ от 23.10.2019 г. № 715), стратегической линией совершенствования системы обращения с ТКО в Республике Беларусь станет обустройство к 2035 г. 30-ти крупных региональных полигонов для захоронения ТКО при одновременном закрытии всех мини-полигонов. В Брестской области к 2030 г. будет создано 6 региональных полигонов. Для обслуживания Барановичской региональной зоны осуществляется расширение и модернизация полигона ТКО г. Барановичи.

Захоронение ТКО всегда сопровождается долговременными эмиссиями загрязняющих веществ, поэтому полигоны являются источником повышенной опасности для окружающей среды и несут угрозу вредного воздействия на здоровье человека. Наиболее сильное негативное влияние испытывают подземные воды и почвы прилегающих к полигонам территорий, что обусловливает необходимость регулярных исследований их экологического статуса. Благодаря своим свойствам, а также большой площади активной поверхности тонкодисперсной части, почва способна к депонированию токсичных соединений. В связи с этим эколого-геохимическая оценка ее состояния является одним из приоритетных направлений экологических исследований [2].

Цель исследования – установить содержание тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) в лесных подстилках, поверхностных слоях природных (лесных) почв и пахотном горизонте почв сельскохозяйственного назначения в зоне влияния полигона ТКО г. Барановичи.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) полигона ТКО г. Барановичи, расположенного в 25–26 км на юго-запад от г. Барановичи, в окрестностях деревни Деревная. Мощность полигона составляет 57,186 тыс. тонн/год. В зону обслуживания полигона помимо г. Барановичи входит весь Барановичский район; в перспективе зона обслуживания будет расширена за счет приема ТКО Ляховичского и Ганцевичского районов.

В состав СЗЗ (500 м от границы полигона) включены земли лесного фонда, земли сельскохозяйственного назначения и земли транспорта. Земли лесного фонда преимущественно представлены сосняками мшистыми и принадлежат Полонковскому лесничеству ГЛХУ «Барановичский лесхоз»; они находятся в непосредственной близости от полигона с южной, юго-западной и западной сторон. Сельскохозяйственные земли принадлежат ОАО «Птицефабрика «Дружба»; они охватывают обширную площадь СЗЗ в северо-западном, северном, восточном и юго-восточном секторах. Почвы дерново-подзолистые супесчаные и легкосуглинистые.

Почвенно-геохимические исследования проведены в контурах 2-х контрастных типов земель: на пахотных угодьях (северо-восточная и юго-восточная трансекты; на каждой по 5 пробных площадок (ПП): Бар1–Бар5 и Бар6–Бар10 соответственно) и на землях лесного фонда в сосняках мшистых (юг–юго-западная и юго-западная трансекты; на каждой по 3 ПП: Бар12–Бар14 и Бар17–Бар19 соответственно). Кроме того, пробы отобраны в пределах островного участка сосняка в 250 м севернее въезда на полигон (Бар16) (рисунок). Отбирались образцы лесных подстилок и почв из горизонта A_1 с глубины 0–2 см и 0–10 см; на сельхозугодьях – из горизонта $A_{пах}$. Отборы производились в 2022–2023 гг. методом конверта в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Почвы. Общие требования к отбору проб», ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Методы отбора проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа», а также ТКП 17.03-02-2020 (33140) «Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами».

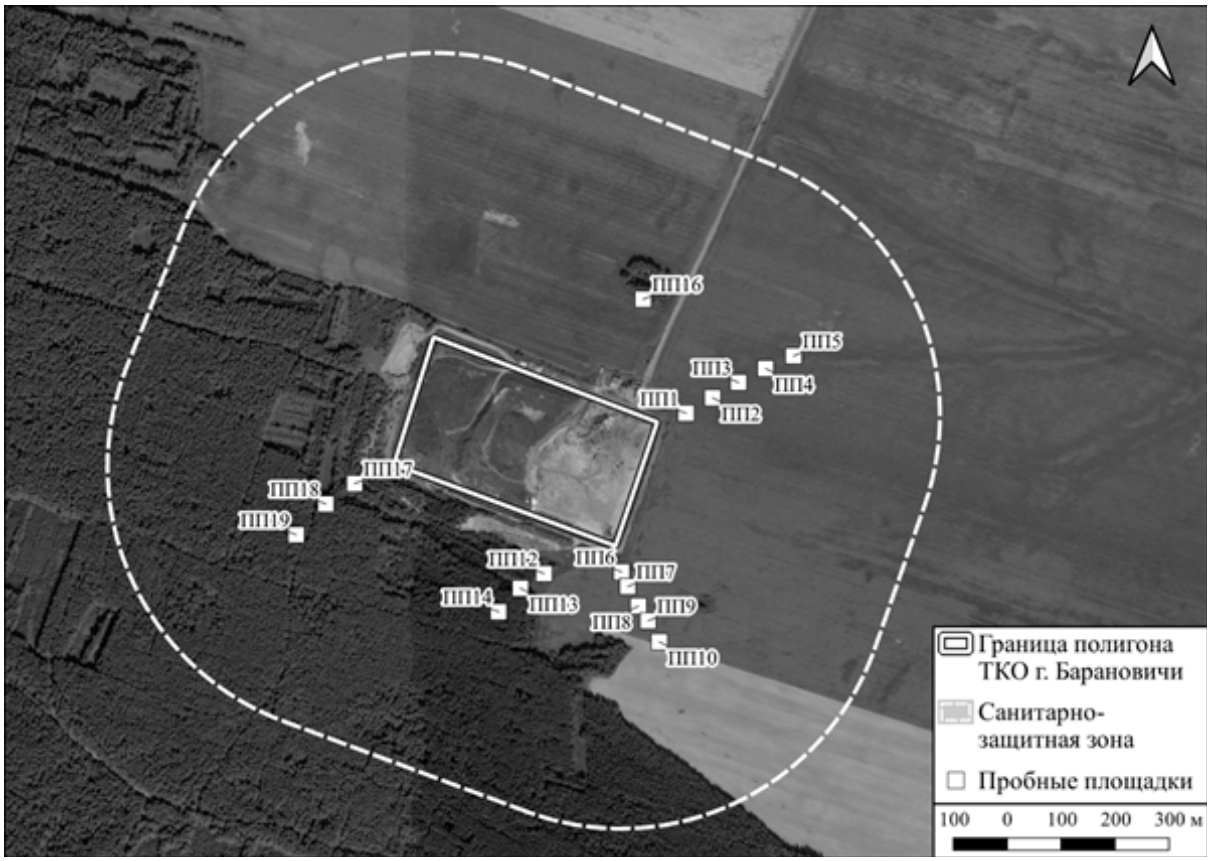


***Рисунок** – Схема отбора проб почв в санитарно-защитной зоне полигона ТКО г. Барановичи*

Подготовленные пробы исследовались на содержание ТММ на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связной плазмой iCAP 7200 ICP-AES DUO (Thermo Scientific) в соответствии с ГОСТ ISO 22036-2014 «Качество почвы. Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием атомно-эмиссионной спектрометрии индуктивно связанной плазмы».

Для оценки эколого-геохимического состояния почв полученные данные сравнивались с показателями ПДК/ОДК [3], пороговыми значениями по ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 и местным геохимическим фоном, который определялся на основе данных по крайним ПП, т.е. наиболее удаленным от тела полигона. Соответствующий ранжированный геохимический ряд концентраций элементов (мг/кг) для пахотных почв имеет вид: Fe5206,08 > Ti184,26 > Mn182,26 > Zn24,73 > V13,14 > Cr11,01 > Pb5,44 > Cu5,28 > Ni5,04 > Co2,29> > As1,70 > Cd0,06; для почв лесных биогеоценозов: Fe5539,22 > Mn184,73 > Ti140,47 > Zn16,08 > V12,01 > Cr11,85 > Pb9,29 > Ni4,47 > Cu2,28 > As2,07 > Co1,87 > Cd0,03. Эти данные использовались для расчета коэффициента концентрации (Кс) как отношение фактического содержания элемента в исследуемом образце к его фоновой концентрации. В качестве критерия аномальности принимали значения Кс>1,5; при Кс>3,0 аномалия относилась к категории контрастных.

Результаты. Результаты исследований показывают, что в зоне воздействия полигона ТКО существенного загрязнения ТММ пахотных почв не наблюдается – на большинстве ПП соответствующие показатели находятся в области значений, характерных местному геохимическому фону. Вместе с тем, для ряда элементов (Pb, Ni, Cr, As) отмечается тенденция к увеличению содержания в почвах обоих агроландшафтных трансект. Так, концентрации Ni, Cr, As превышают фоновые значения на 2–15 %, а Pb – на 3–23 %. При этом в обоих случаях превышения фиксируются на некотором удалении от тела полигона, начиная со 2-й ПП и включая 2-е последующие (соответственно, ПП2–ПП4 и ПП7–ПП9). Следует отметить, что на ПП9 отмечается аномальное содержание Pb и Cd – концентрация элементов достигает 8,51 мг/кг (Кс=1,6) и 0,11 мг/кг (Кс=1,8) соответственно. Безусловно, регулярная вспашка с перемешиванием слоев почв до глубины около 20 см приводит к их гомогенизации и нивелированию общей картины загрязнения.

Градиентный характер химического загрязнения почв отчетливо проявляется в пределах лесных трансект с относительно ненарушенным почвенным покровом и особенно на юго-западной трансекте, ориентация которой примерно совпадает с направлением потока подземных вод через тело полигона. Общей закономерностью здесь является довольно значимое накопление Pb, Cd, Cu, Zn, Cr и As в горизонте A_1 и особенно в поверхностном 0–2 см слое. Так, содержание Pb на ближней к полигону ПП17 достигает 23,55 мг/кг (Кс=2,53), что существенно превышает порог аномальности (Кс>1,5) и приближается к пороговому значению для супесчаных почв земель лесного фонда (27,5 мг/кг). Распределение Pb в латеральном измерении (по трансекте) в обоих рассматриваемых слоях (0–2 и 0–10 см) демонстрирует выраженный градиент уменьшения загрязнения, что не оставляет сомнений в его источнике, каковым является полигон. При этом на 2-х ближних к полигону ПП17 и ПП18 оно является константно аномальным в обоих исследуемых слоях, а на крайней ПП19 – лишь в слое 0–2 см (16,88 мг/кг, Кс=1,8).

Подобный градиент также прослеживается для Cd, Cu, Zn. На ближайших к полигону ПП юг–юго-западной и юго-западной трансект в слое 0–2 см фиксируются значимые превышения фоновых показателей. К примеру, содержание Cd составляет 0,15 мг/кг, Кс=5,0, что характеризует аномалию элемента как контрастную. Превышение порога аномальности наблюдается также для Cu на ПП12, ПП16, ПП17, где концентрация элемента составляет 4,44 мг/кг (Кс=1,9), 4,37 мг/кг (Кс=1,9) и 5,39 мг/кг (Кс=2,4) соответственно. На остальных ПП содержание меди превышает фоновые значения на 7–32%.

Накопление Cr и As является менее контрастным: для Cr максимальное значение Кс=1,3 отмечается в слое 0–2 см на 2-й от полигона ПП18. Аномальность содержания As зафиксирована лишь на 3-й ПП19: Кс=1,52 (2,6 мг/кг). Характерно, однако, что в границах данной трансекты, а также на островном участке сосняка концентрация As константно превышает уровень ПДК элемента в почвах (2,0 мг/кг). Показатель ПДК превышен также и на большей части лесной юг–юго-западной трансекты: например, на ПП14 содержание элемента составляет от 2,01 мг/кг (слой 0–2 см) до 2,26 мг/кг (0–10 см). Всё это свидетельствует о формировании в зоне влияния полигона ТКО г. Барановичи техногеохимической аномалии мышьяка. Учитывая, что его концентрации в почвах земель сельскохозяйственного назначения также приближаются к ПДК, достигая на отдельных ПП уровня 1,89–1,94 мг/кг, должны планироваться мероприятия по предотвращению соответствующих рисков. При этом, если учитывать, что в ходе исследований как гидрохимического состояния подземных вод, так и биогеохимического статуса коры и хвои *Pinus sylvestris* L., мышьяк в пределах СЗЗ полигона ТКО не фиксировался, эти риски не связаны с его функционированием, а генезис данной геохимической ситуации требует дополнительного анализа.

Одним из объяснений мог бы являться факт применения на сельхозугодьях удобрений (компостов), изготовленных с использованием куриного помета, рядом расположенного ОАО «Птицефабрика «Дружба». Известно, что в птицеводстве в кормовых добавках для птицы используются ариларсоновые кислоты, в частности арсаниловая кислота и ее натриевая соль – атоксил [4]. Исследование элементного состава компоста, складированного осенью 2024 г. на поле возле полигона ТКО, выявило в нем содержание As на уровне 0,25–0,39 мг/кг. Подобное содержание элемента в компостах является незначительным, хотя при регулярном их внесении в дозах более 10 т/га в отношении отдельных ТММ в супесчаных и суглинистых почвах могут наблюдаться эффекты повышенной аккумуляции. Вместе с тем, обращает на себя внимание более высокое содержание мышьяка в лесных почвах (слой 0–10 см) в сравнении с пахотными аналогами – усредненное содержание элемента в первом случае составляет 2,03 мг/кг, во втором – 1,78 мг/кг. При этом следует отметить, что на обоих лесных трансектах по мере удаления от полигона ТКО в сторону военного полигона содержание мышьяка в самом верхнем слое почв неизменно увеличивается, образуя следующие ряды (мг/кг): Бр12 – 1,64, Бр13 – 1,72, Бр14 – 2,26; Бр 17 – 2,25, Бр18 – 2,33, Бр19 – 2,58.

На большинстве ПП, заложенных на территории земель лесного фонда, в 0–10 см слое почв не наблюдается существенного загрязнения ТММ. Только на ближайших к полигону ПП юг–юго-западной

(ПП12) и юго-западной (ПП17) трансект отмечается аномальное содержание Cu, где концентрация элемента достигает 3,86 мг/кг (Кс=1,7) и 5,25 мг/кг (Кс=2,3) соответственно. При этом на ПП17 и ПП18 также наблюдается значимое загрязнение Pb, где концентрация элемента достигает 20,79 мг/кг (Кс=2,2) и 13,93 мг/кг (Кс=1,5) соответственно.

Результаты исследования элементного состава подстилок сосняков в СЗЗ полигона свидетельствуют о слабом уровне трансформации их геохимического статуса по большинству изучаемых элементов. Так, ранжированный ряд ТММ по усредненным значениям их концентраций имеет следующий вид (мг/кг): Fe1259,67>Mn389,27>Zn36,89>Ti22,34>Cu5,98>Pb4,85>Ni2,65>Cr2,58>V2,37>Co0,77>Cd0,46>As0,37> Sb0,16>Sn0,06. Наиболее интенсивно концентрирующиеся 3 металла (Fe, Mn, Zn – левая часть ряда) относятся к группе биологически значимых элементов; к этой же группе тяготеют еще 2 эссенциальных элемента (Zn и Cu). Наиболее токсичные элементы находятся или в центральной части ряда (Pb, Cr, V), или замыкают его, фиксируясь в концентрациях, не превышающих 1,0 мг/кг (Cd, As, Sb, Sn). Вместе с тем, отмечается локальное повышение концентраций в подстилках некоторых опасных ТММ. Так, содержание Cd на ПП16 и 19 составляет 0,46–0,47 мг/кг, практически достигая значений ПДК элемента для почв (0,5 мг/кг), а на ПП18 и 19 превышает этот норматив, составляя соответственно 0,59 мг/кг и 0,74 мг/кг. По-видимому, это может свидетельствовать об аэрогенном переносе кадмия от полигона, что также подтверждается значимыми корреляционными связями ($r>0,81$; $p<0,05$) внутри группы Cd–Cu–Zn, а также биогеохимическими исследованиями коры *Pinus sylvestris* L., отобранной на соответствующих ПП, где среднее содержание кадмия составило 0,51 мг/кг, что в 1,4 раза превышает фоновый уровень для старовозрастных деревьев.

Отсутствие в значимых концентрациях в подстилках элементов, идентифицированных нами в качестве приоритетных загрязнителей почв, – Pb, Ni, Cr, As – может также свидетельствовать о существовании альтернативных источников их поступления в почву.

Заключение. Почвенно-геохимическая ситуация на землях сельскохозяйственного назначения в СЗЗ полигона ТКО г. Барановичи по большинству элементов характеризуется как благоприятная. В лесных почвах юго-западной трансекты в верхнем почвенном горизонте и особенно в поверхностном 0–2 см слое выявлено заметное накопление свинца, хрома и мышьяка. Так, содержание свинца достигает 23,55 мг/кг (Кс=2,5), что существенно превышает порог аномальности (Кс>1,5), а накопление мышьяка или приближается к уровню ПДК в почвах сельскохозяйственных угодий, или превышает его на землях лесного фонда. В то же время отсутствие мышьяка в подземных водах и растительных объектах (кора сосны) может свидетельствовать о существовании альтернативных источников его поступления в почвы. Эколого-геохимическое состояние лесных подстилок не вызывает опасений, за исключением повышенного содержания кадмия на некоторых ПП (например, на ПП17, где концентрация элемента достигает 0,74 мг/кг или 1,5 ПДК для почв).

Список использованных источников

1. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д. М. Ерошина, В. В. Ходин, В. С. Зубрицкий, А. Л. Демидов – Минск : БелНИЦ «Экология», 2010. – 152 с.

2. Михальчук, Н. В. Содержание тяжелых металлов в почвах импактных зон некоторых полигонов твердых коммунальных отходов Брестской области / Н. В. Михальчук, П. В. Качанович, М. И. Хващевский, А. М. Подлужная // Веснік Брэсцкага універсітэта. Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2023. – № 2. – С. 111–120.

3. Об утверждении гигиенических нормативов : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 25 янв. 20241г. № 37 : в ред. от 5 дек. 2024 г. № 904 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://pravo.by/document/?-guid=12551&p0=C22100037. – Дата доступа : 15.07.2025.

4. Курсков, С. Н. Мышьяк в природных системах и его эссенциальность / С. Н. Курсков, О. Ю. Растегаев, В. Н. Чупис // Теоретическая и прикладная экология. – 2010. – №. 3. – С. 33–41.

ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL CONDITION OF SOILS IN THE MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILL IMPACT ZONE OF BARANOVICHY CITY

N. V. Mikhalchuk, M. I. Khvashchevsky

The article presents data on the content of heavy metals and metalloids in the soils of municipal solid waste landfill the sanitary protection zone of Baranovichi city. It is shown that the soil geochemical situation on agricultural land is favorable for most elements, with the exception of arsenic, which concentration is at the TLV level and exceeds this limit on forest land. Elevated cadmium content (1.5 of the TLV) was detected in forest floor of some sample sites of the southwest transect.

УДК 552.4(476.13)

КЛИМАТИЧЕСКАЯ УЯЗВИМОСТЬ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ

А. М. Небышинец, Ю. А. Гледко
Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

В статье представлена методика оценки климатической уязвимости регионов Беларуси на основе безразмерного индекса, учитывающего средние и экстремальные значения температуры, осадков и ветра. Проведён анализ пространственного распределения уязвимости по 45 метеостанциям и административным районам Беларуси. Выделены зоны с различной степенью климатической уязвимости, что важно для разработки адаптационных стратегий.

Ключевые слова: климатическая уязвимость, индексы, температура, осадки, ветер.

Введение. В последние десятилетия в Беларуси наблюдаются изменения температурного режима, количества осадков, а также увеличение числа экстремальных погодных явлений, таких как засухи и наводнения. Эти изменения ведут к возрастанию климатической уязвимости, что сказывается как на экосистемах, так и на социальной и экономической сферах. Адаптация к этим изменениям, в том числе через оценку климатической уязвимости, становится приоритетной задачей для устойчивого развития. В связи с этим разработка методов оценки климатической уязвимости и понимание факторов региональных различий, влияющих на уязвимость, имеет особое значение для эффективного управления климатическими рисками.

Климатическая уязвимость является ключевым понятием в области исследований изменения климата, охватывая как физическое воздействие климатических изменений на экосистемы, так и способность социально-экономических систем (экономических, социальных, инфраструктурных) адаптироваться к этим изменениям. Уязвимость к климатическим рискам варьируется в зависимости от географического положения, социально-экономических условий, готовности к адаптации и способности смягчать последствия климатических катастроф.

Климатическая уязвимость – это степень подверженности системы или территории негативным воздействиям климатических изменений и экстремальных климатических явлений. Это понятие охватывает уязвимость как природных экосистем, так и человеческих сообществ, инфраструктуры, экономики и других элементов. В основе оценки климатической уязвимости лежит понимание того, как изменения климата могут воздействовать на существующие системы и их способность адаптироваться к этим изменениям.

Оценка уязвимости – это широко используемый инструмент для представления потенциального ущерба для систем человеческих и экологических ценностей в ответ на глобальное изменение климата [1]. Уязвимость зависит от оценок потенциального изменения климата и адаптивных реакций, а степень уязвимости определяется неблагоприятными последствиями, которые остаются после того, как процесс адаптации произошел [2]. Оценки уязвимости, связанные с климатом, учитывают различные факторы, включая характеристики уязвимой системы, тип и количество стрессоров, их первопричины, их влияние на систему и временные рамки оценки [3].

В настоящем исследовании для оценки климатической уязвимости регионов Беларуси используется методика, предложенная В. В. Оганесяном [4], основанная на интеграции трёх основных климатических параметров: температуры воздуха, количества осадков и скорости ветра. Выбор данной методики обусловлен её простотой, воспроизводимостью и ориентацией на физико-географические характеристики, что особенно актуально в условиях достаточной обеспеченности Беларуси данными метеонаблюдений.

Данный подход позволяет избежать субъективности, связанной с выбором социально-экономических параметров, и делает упор на объективные климатические характеристики. Это особенно ценно при анализе пространственных различий уязвимости в региональном контексте.

Расчет климатической уязвимости производится путем перехода к безразмерным климатическим индексам. Следует отметить, что при вычислении безразмерного индекса для температуры могут возникнуть определенные трудности, когда средние значения близки к нулю. Полная формула климатической уязвимости (Vi) будет включать ещё осадки и ветер:

$$Vi = \frac{|\text{Тмин}| + |\text{Тмакс}|}{|\text{Тмин ср.}| + |\text{Тмакс ср.}|} + \frac{\text{Рэкстр}}{\text{Рср}} + \frac{\text{Fэкстр}}{\text{Fср}} \quad ,$$

где $T_{макс}$ – максимальное значение из абсолютных максимумов температуры воздуха;
$T_{ср.макс}$ – среднее годовое значение из абсолютных максимумов температуры воздуха;
$T_{мин}$ – минимальное значение из абсолютных минимумов температуры воздуха;
$T_{ср.мин}$ – среднее годовое значение из абсолютных минимумов температуры воздуха;
$P_{ср}$ – средняя суточная сумма осадков;
$P_{экстр}$ – максимальная сумма осадков за год;
$F_{ср}$ – средняя годовая скорость ветра;
$F_{экстр}$ – годовой максимум из месячных значений максимальной скорости.

Как видно, формула состоит из суммы безразмерных показателей и представляет соответственно, безразмерное число, которое предлагается считать индексом климатической уязвимости [5].

Методы исследования. Для расчета индексов климатической уязвимости использованы данные метеорологических наблюдений 45 станций сети Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды [6]. Временной охват наблюдений составляет 35 лет – с 1989 по 2024 г., что обеспечивает репрезентативную выборку для оценки климатических изменений на территории Беларуси.

Были вычислены значения ключевых климатических параметров – температуры воздуха, количества осадков и скорости ветра. Для каждого из них были определены как экстремальные значения (абсолютные минимумы и максимумы), так и их многолетние средние величины. Также был проведен анализ изменения отдельных климатических показателей, где отражены изменения основных климатических характеристик – температуры воздуха, количества осадков и скорости ветра, которые показывают, насколько изменились экстремальные показатели климата по отношению к средним значениям.

Результаты и их обсуждение. По результату расчёта индексов Vi по каждой из 45 метеостанций диапазон значений индекса климатической уязвимости составляет от 32,0 (Волковыск) до 53,3 (Езерище), при этом среднее значение по выборке составляет 40,8.

На рисунке 1 отображено пространственное распределение индекса климатической уязвимости, отражающее уровень климатической уязвимости территории Беларуси за исследуемый период. Значения варьируются от менее 35 до более 50, что позволяет выделить территории с различной степенью климатической уязвимости. В южной части страны чётко прослеживаются высокие показатели индекса, там отмечаются значения, превышающие 45, а в отдельных местах – 50, что говорит о нарастающем климатическом воздействии.

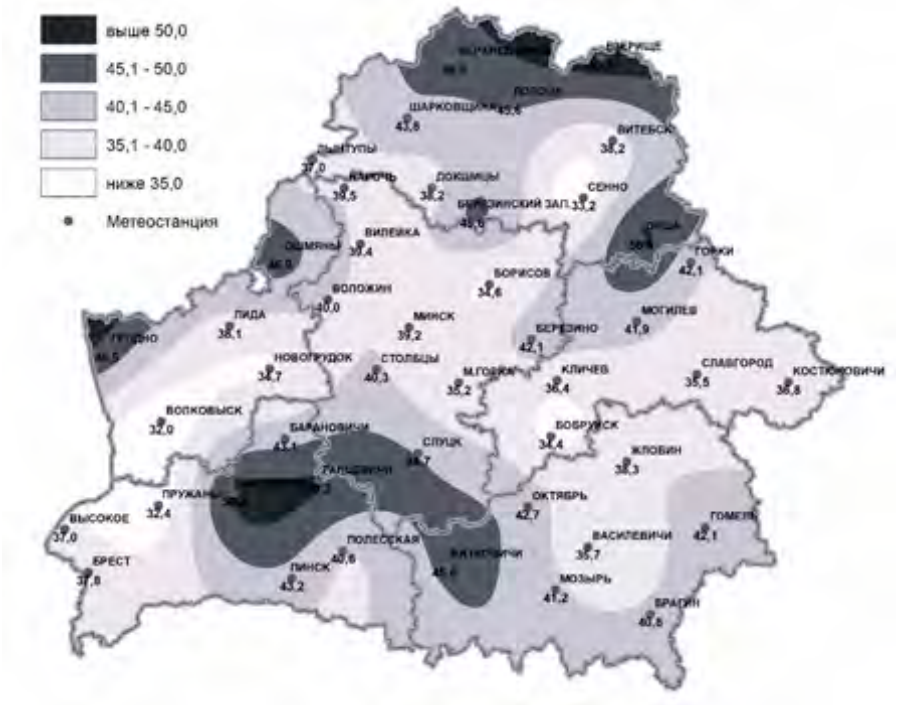


***Рисунок 1** – Распределение индекса климатической уязвимости по территории Беларуси за период 1989–2024 гг.*

Наибольшие значения (выше 50) наблюдаются на северо-востоке (Езерище, Орша), юго-западе (Ивацевичи, Ганцевичи) страны, что указывает на повышенную частоту экстремальных погодных условий в этих зонах. Минимальные значения (ниже 35) отмечаются на юго-западе (Пружаны, Волковыск) и в центральной части (Борисов, Бобруйск, Сенно), где воздействие климатических экстремумов менее выражено.

Территориальная дифференциация климатической уязвимости в Беларуси выражена достаточно чётко. На неё могут влиять как природно-климатические факторы, так и различия в наблюдательной сети и плотности метеостанций, отмеченных на карте.

Также можно утверждать, что высокие значения индекса климатической уязвимости в первую очередь обусловлены особенностями режима выпадения осадков и ростом экстремальных температурных значений, при этом изменения среднесуточных сумм осадков и средних температур остаются незначительными.

На основе рассчитанных показателей уязвимости была сформирована классификация индекса климатической уязвимости для административных районов Беларуси, включающая четыре категории: от «низкая уязвимость» до «повышенная уязвимость» (таблица). Классификация основана на сумме безразмерных показателей, которые представляют безразмерное значение.

***Таблица** – Классификация индекса климатической уязвимости*

Диапазон значений	Категория уязвимости
45,0 и выше	Повышенная
40,1–45,0	Средняя
35,1–40,0	Умеренно-низкая
35,0 и ниже	Низкая

На рисунке 2 представлены результаты расчета и классификация индекса климатической уязвимости (Vi) по административным районам Республики Беларусь за период 1989–2024 гг. Пространственное распределение климатической уязвимости на районном уровне демонстрирует чёткую северо-западную и северо-восточную концентрацию повышенных значений, а также выраженные южные и юго-западные зоны с повышенной и низкой уязвимостью. Эти особенности могут быть обусловлены как региональными климатическими факторами, так и географическим положением, рельефом и плотностью сети метеонаблюдений.

Повышенная уязвимость наблюдается в отдельных северных и юго-западных районах страны, а также локально в центральной части: на севере к зоне повышенной уязвимости относятся районы: Верхнедвинский, Полоцкий, Миорский, Россонский и Городокский; на западе – Гродненский, Ошмянский районы; на юго-западе – Ивацевичский, Ганцевичский, Клецкий, Солигорский и Ляховичский районы; на востоке – Оршанский, Дубровенский и Шкловский районы. Эти регионы характеризуются наиболее высоким количеством экстремальных погодных явлений, что указывает на значительную климатическую нагрузку.

Область средней уязвимости охватывает большую часть восточных, центральных и юго-восточных районов, включая Минскую (Слуцкий, Воложинский), Гомельскую (Мозырьский, Октябрьский) и частично Могилёвскую (Горецкий, Белыничский) области. Это свидетельствует о наличии регулярных, но менее интенсивных климатических воздействий по сравнению с вышеописанными зонами.

Области с умеренно низкой уязвимостью занимают обширную часть юга и центра страны, где экстремальные метеоявления встречаются реже.

Низкая уязвимость зафиксирована в отдельных юго-западных районах, таких как Волковыский, Свислочский, Зельвенский и Пружанский, что указывает на наиболее стабильные и благоприятные метеоусловия среди всей территории страны.



Рисунок 2 *– Результаты расчетов индекса климатической уязвимости по административным районам Беларуси*

Полученные данные помогают более точно выявить и оценить территориальные различия в степени климатической уязвимости и могут быть использованы при разработке адаптационных стратегий на региональном уровне.

Список использованных источников

1. Adger, W. N. Vulnerability. Glob. Environ. Change 2006, 16, 268–281.

2. Kelly, P. M.; Adger, W. N. [No Title Found]. Clim. Change 2000, 47, 325–352.

3. Füssel, H.-M. Conceptual Frameworks of Adaptation to Climate Change and Their Applicability to Human Health; Potsdam Institute for Climate Impact Research: Potsdam, Germany, 2004.

4. Оганесян, В. В. Методика расчета климатической уязвимости территории на основе безразмерных климатических индексов / В. В. Оганесян // Труды Гидрометцентра России. – 2017. – № 366. – С. 158–165.

5. Данилович, И. С. Оценка климатической уязвимости территории Беларуси на основе безразмерных климатических индексов / И. С. Данилович // Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение: Мат-лы Международной научно-практической конференции, Минск, 2022.

6. ГКК. (1961–2020 гг). Государственный климатический кадастр: материалы наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. № свид-ва 0870100021. Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды.

CLIMATIC VULNERABILITY OF REGIONS IN BELARUS

A. M. Nebyshynets, Yu. A. Hledko

The article presents a methodology for assessing the climate vulnerability of regions in Belarus based on a dimensionless index that takes into account average and extreme values of temperature, precipitation, and wind. An analysis of the spatial distribution of vulnerability across 45 weather stations and administrative districts of Belarus was conducted. Zones with varying degrees of climate vulnerability were identified, which is important for the development of adaptation strategies.

УДК 574.4; 504.054

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СФАГНОВЫХ ЛОВУШЕК

В. С. Нестерук[1,2], А. П. Колбас[1,3], Н. В. Михальчук[1], Н. Ю. Колбас[1,4], М. И. Хващевский[1,3], М. М. Дашкевич[1], Е. А. Ростова[1]
[1]Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2]Университет НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[3]Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[4]БрГУ имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

Результаты кластерного анализа содержания потенциально токсичных элементов в сфагновых ловушках позволяют выделить несколько устойчивых групп с близкими профилями распределения. Соответствие структур кластеризации с направлением векторов на PCA-графике подтверждает наличие экологических закономерностей в поступлении элементов из атмосферного воздуха и эффективность использования сфагновых ловушек для мониторинга.

Ключевые слова: атмосферный воздух, биомониторинг, ловушки, потенциально токсичные элементы, сфагнум.

Введение. Загрязнение атмосферного воздуха – это глобальная экологическая проблема, которая оказывает негативное влияние на здоровье людей, животных, растения и экосистемы в целом. Влияние загрязняющих веществ осуществляется на различных уровнях: локальном, региональном и трансграничном, что требует системного подхода к контролю качества воздуха.

В Беларуси мониторинг атмосферного воздуха проводится в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС). В то же время в существующей на данный момент сети отсутствуют точки отбора проб в естественных экосистемах региона, а применяемые методики позволяют оценивать лишь разовые концентрации загрязняющих веществ [1]. Это существенно ограничивает возможности достоверной оценки состояния окружающей среды по уровню загрязнения и требует проведения дополнительных мониторинговых мероприятий, в том числе с применением биоиндикационных методов и объектов, одним из которых является мох сфагнум.

Благодаря особенностям строения клеточных оболочек и высокой сорбционной способности, сфагнум аккумулирует многие атмосферные загрязнители, в частности, потенциально токсичные элементы (ПТЭ). В условиях ограниченности традиционного инструментального мониторинга, особенно на природных территориях, использование мхов рода *Sphagnum* в качестве биоиндикаторов загрязнения атмосферного воздуха представляет собой перспективное направление экологического контроля [2]. Отбор сфагнума в местах естественного произрастания для последующей экспозиции в виде сфагновых ловушек позволяет проводить мероприятия по активному биомониторингу как импактных территорий, в частности, городов, где в естественных условиях сфагнум не произрастает, так и фоновых участков.

Цель работы: проведение сравнительного анализа воздушного загрязнения с использованием сфагновых ловушек и методов многомерной статистики в лесных экосистемах юго-запада Беларуси.

Материалы и методы. Для анализа аэрального загрязнения ПТЭ лесных экосистем юго-запада Беларуси (Брестский, Малоритский и Кобринский районы) было установлено (17.04.2024) 11 блоков сфагновых ловушек по двум трансектам с общим направлением запад–восток с шагом в 14–17 км. Таким образом, общая протяженность каждой трансекты составила более 70 км (рисунок 1).

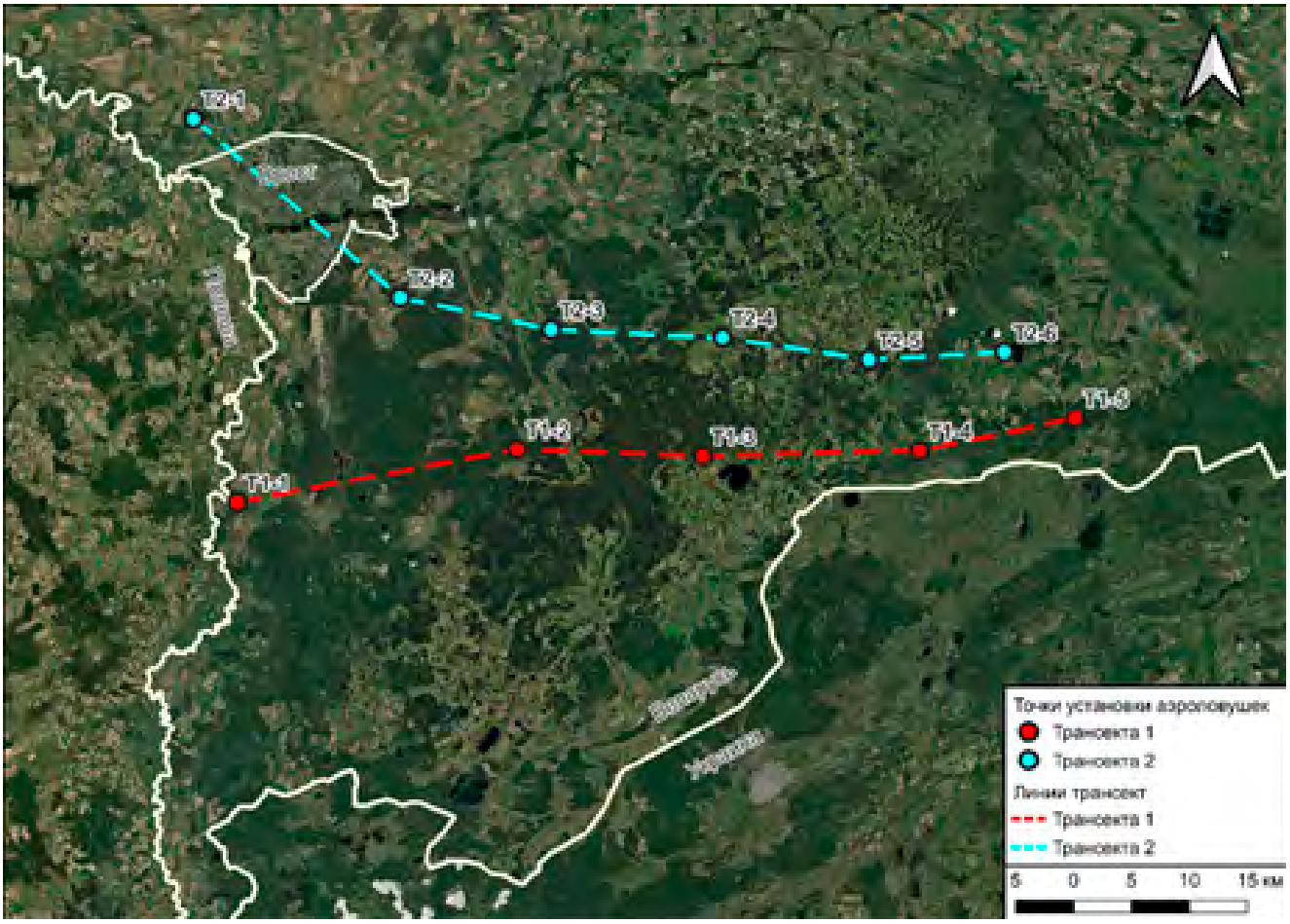


Рисунок 1 *– Расположение точек мониторинга по трансектам:*
Т1 – постпирогенные лесные экосистемы,
Т2 – иные экологически дестабилизированные лесные экосистемы

После трех месяцев экспозиции была проведена пробоподготовка образцов сфагнума (61 шт.) и их микрохимический анализ. Пробоподготовка растительного материала для элементного анализа проводилась согласно ГОСТ 26929-94 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов» [5].

На следующем этапе производили мокрую минерализацию в микроволновой печи. Анализ производился по ГОСТ 30538-97 «Продукты пищевые. Методика определения токсичных элементов атомно-эмиссионным методом» [6] с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой iCAP 7200 ICP-AESDUO (производства Thermo Scientific). В извлеченном из аэроловушек сфагнуме, а также в сфагнуме контрольных аэроловушек, проводился химический анализ содержания 16 химических элементов (Co, Cr, Cu, Cd, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Ti, Zn, As, Se).

Результаты и обсуждение. Был проведён анализ главных компонент (PCA – principal component analysis) для выявления структуры вариации в накоплении химических элементов на различных точках трансекты. Первая главная компонента (PC1) объясняет 41,9% общей дисперсии, а вторая (PC2) – ещё 17,8%; таким образом, первые две компоненты суммарно охватывают 59,7% вариации данных (рисунок 2).

На графике прослеживаются устойчивые группировки как среди переменных (элементов), так и среди объектов наблюдения (точек экспозиции). Особое положение занимает ассоциация 1, включающая цинк и марганец, между которыми подтверждена положительная корреляционная связь (r = 0,71) и схожий профиль накопления по всем точкам. Они образуют отдельную группу элементов, отвечающих за значительную часть вариации по PC1 и PC2. Вторая ассоциация, включающая селен, кадмий и сурьму расположена рядом, однако их вклад в эту компоненту менее выражен, что может свидетельствовать о слабой ассоциации с группой Zn–Mn.

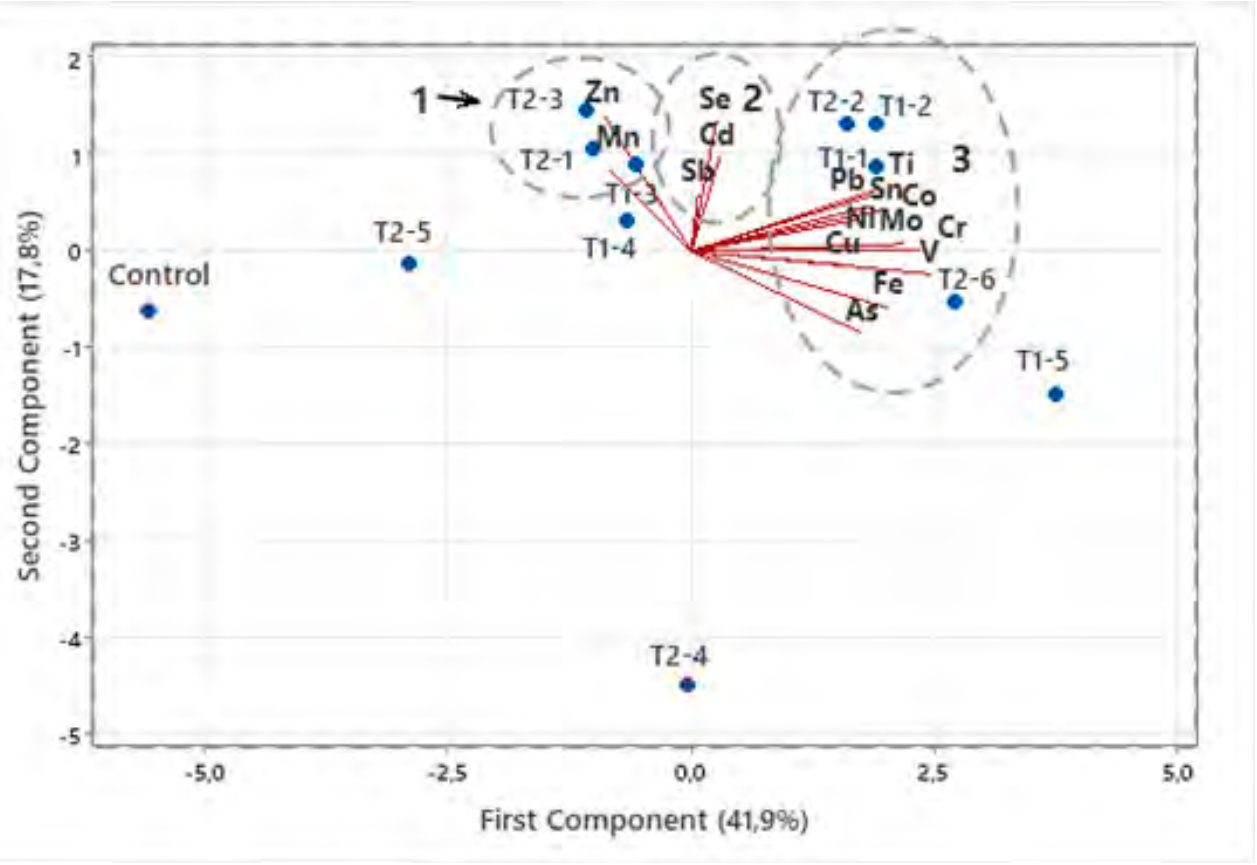


***Рисунок 2** – Анализ главных компонент точек трансекты по профилю накопления ПТЭ*

Отдельную зону графика занимает крупный пул элементов: Pb, Ti, Sn, Co, Ni, Mo, Cu, V, Fe, As и Cr. Данная ассоциация расположена напротив от первой (Zn–Mn), что свидетельствует о происхождении их от различных источников загрязнения и особых геохимических механизмах миграции и аккумуляции этих ПТЭ.

Расположение участков мониторинга на графике также даёт основания для выделения среди них групп с близкими профилями загрязнения. Так, участки Т2–3, Т2–1 и Т1–3 находятся вблизи векторов Zn и Mn, что указывает на высокие содержания этих элементов в атмосфере и возможное наличие локального источника их эмиссии. Точки Т1–1, Т1–2 и Т2–2 располагаются ближе к центру диаграммы и к 3-й группе, что может указывать на смешанный или промежуточный характер загрязнения. В противоположной части пространства главных компонент, ближе к группе тяжёлых металлов, таких как Pb, Cu и Fe, находятся точки Т1–5 и Т2–6. Это может свидетельствовать о повышенном уровне полиэлементного загрязнения на данных участках, отличающемся от профиля накопления Zn и Mn.

Контроль и участок Т2–5 расположены на графике в центре, ближе к началу координат, что указывает на низкое содержание исследуемых элементов. Поэтому территория расположения стационара Т2–5 может быть рекомендована в качестве фоновой. Особое положение занимает точка Т2–4, которая располагается в нижней части графика, это может свидетельствовать о специфическом профиле накопления ПТЭ, отличающемся от других территорий.

Для углублённого анализа взаимосвязей между химическими элементами была проведена иерархическая кластеризация переменных с использованием матрицы сходства, основанной на коэффициентах корреляции и методе средней связи. Полученная дендрограмма визуализирует структуру схожести элементов по их профилю накопления в исследуемых пробах сфагнума. Можно выделить несколько устойчивых кластеров, соответствующих группам элементов со схожим профилем накопления (рисунок 3).

Высокое сходство зафиксировано между свинцом (Pb), никелем (Ni) и медью (Cu), эти элементы демонстрируют аналогичное распределение по точкам и могут быть связаны с техногенным загрязнением, в частности выбросами транспорта или промышленных объектов [6].

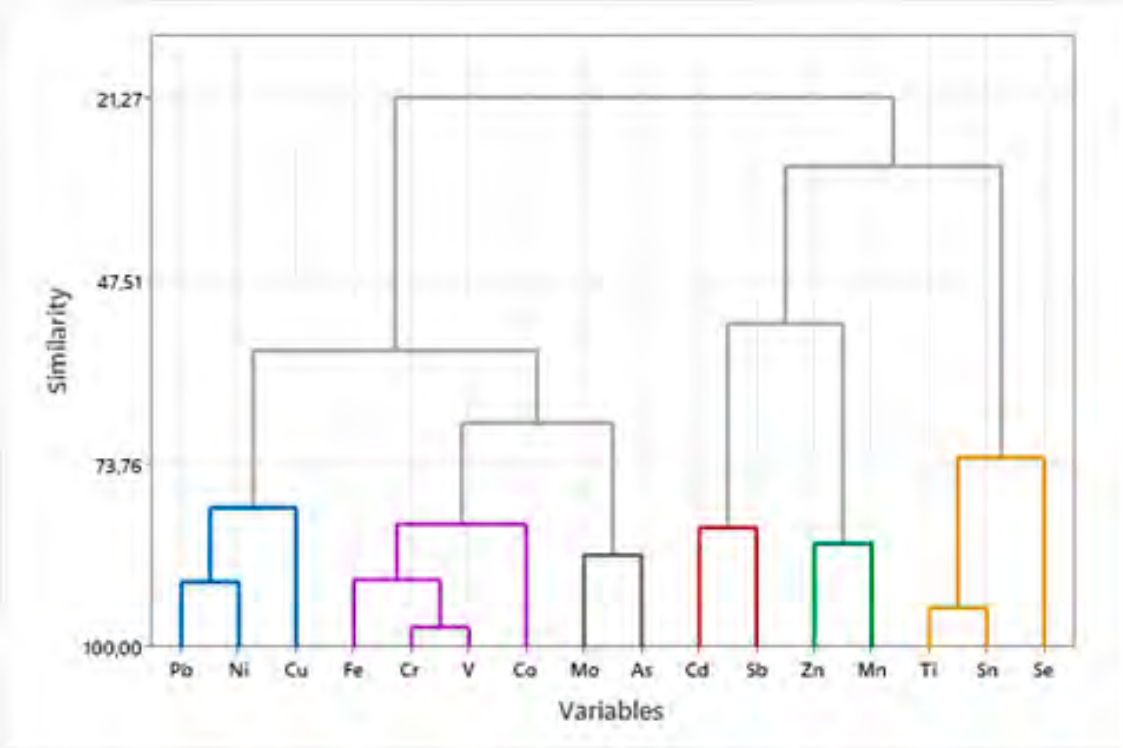


***Рисунок 3** – Дендрограмма иерархической кластеризации элементов по профилю накопления (кластер = схожесть >70)*

Геохимический смысл нахождения железа, хрома, ванадия и кобальта в одном кластере заключается, по-видимому, в их происхождении, связанном с металлургической промышленностью [6] и последующем трансграничном переносе эмиссии. Mo и As также объединяются в один кластер, подтверждая данные PCA; основным источником данных элементов в воздухе служат промышленные выбросы [7]. Кластер Zn–Mn совпадает с ассоциацией 1 в PCA, подтверждая схожий профиль накопления. Такое соответствие выводов разных методов статистического анализа свидетельствует о достоверности выявленных закономерностей.

Олово, селен и титан образуют обособленный кластер с наибольшим сходством по сравнению с остальными группами. Их совместное накопление может указывать на выбросы в результате сжигания топлива, в частности, угля [8]. Отдельное положение Se внутри кластера обусловлено его низкой концентрацией относительно контрольного варианта опыта, что можно объяснить вымыванием его атмосферными осадками [9], что отмечалось и в предыдущих работах [10].

Заключение. Таким образом, анализ главных компонентов позволяет выделить три основные ассоциации по особенностям накопления ПТЭ. Первая группа характеризуется высоким содержанием Zn и Mn, вторая – таких элементов как Cd и Se, а третья отражает комплексное загрязнение с доминированием Pb, Cu, Fe и других металлов. Полученные результаты позволяют не только установить взаимосвязи между элементами, но и выявить пространственные закономерности распределения загрязнения на изученной территории. Соответствие направлений векторов элементов в PCA и результатов кластеризации подтверждает, что выявленные зависимости не случайны и отражают специфику процессов, связанных, прежде всего, с генезисом загрязнений.

Список использованных источников

1. Ежегодник состояния атмосферного воздуха в городах и промышленных центрах Республики Беларусь за 2023 год. – Минск : Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», 2024. 49 с.

2. Glooschenko, W. A. Sphagnum fuscum moss as an indicator of atmospheric cadmium deposition across Canada / W. A. Glooschenko // Environmental Pollution. – 1989. – Vol. 57, № 1. – P. 27–33.

3. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов : ГОСТ 26929-94. – Взамен ГОСТ 26929-86 ; введ. 01.01.1996. – М. : Стандартинформ, 2010. – 12 с.

4. Продукты пищевые. Методика определения токсичных элементов атомно-эмиссионным методом : ГОСТ 30538-97. – Взамен ГОСТ 26929-86; введ. 01.01.1996. – М. : Росстандарт, 1996. – 12 с.

5. Negahban, S. Potential Ecological Risk Assessment of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in Roadside Soils / S. Negahban, M. Mokarram // Earth and Space Science. – 2021. – Vol. 8. – Article e2020EA001120. – DOI: 10.1029/2020EA001120.

6. Zwolak, A. Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: a review / A. Zwolak, M. Sarzyńska, E. Szpyrka, [et al.] // Water, Air, and Soil Pollution. – 2019. – Vol. 230, № 7. – Article 164. – DOI: 10.1007/s11270–019–4221–y.

7. Putman, A. L. Industrial particulate pollution and historical land use contribute metals of concern to dust deposited in neighborhoods along the Wasatch Front, UT, USA / A. L. Putman, D. K. Jones, M. A. Blakowski et al. // GeoHealth. – 2022. – Vol. 6, no. 11. – Article e2022GH000671. – DOI: 10.1029/2022GH000671.

8. Balakrishna, G. Source apportionment of arsenic in atmospheric dust fall out in an urban residential area, Raipur, Central India / G. Balakrishna, S. Pervez, D. S. Bisht // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2011. – Vol. 11, no. 11. – P. 5141–5151. – DOI: 10.5194/acp–11–5141–2011

9. Harmens, H. Mosses as biomonitors of atmospheric deposition of heavy metals: monitoring manual / H. Harmens, D. A. Norris, participants of the ICP Vegetation Programme. – Bangor : Centre for Ecology and Hydrology, ICP Vegetation Programme Coordination Centre, 2020. – 65 p.

10. Колбас, А. П. Оценка аэрального загрязнения потенциально токсичными элементами лесных экосистем юго-запада Беларуси методом сфагновых ловушек / А. П. Колбас, В. С. Нестерук, Н. В. Михальчук [и др.] // Менделеевские чтения – 2025 : электрон. сб. материалов Респ. науч.-практ. конф. по химии и хим. образованию, Брест, 20 февр. 2025 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Н. С. Ступень (отв. ред.), И. В. Бульская, Е. Г. Артемук. – Брест : БрГУ, 2025. – С. 90–94 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://rep.brsu.by/handle/123456789/10424.

COMPARATIVE STUDY OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS CONTENT IN THE ATMOSPHERIC AIR OF SOUTHWESTERN BELARUS USING SPHAGNUM BAGS METHOD

V. S. Nestsiaruk, A. P. Kolbas, M. V. Mikhalchuk, N. Y. Kolbas, M. I. Khvashcheuski, M. M. Dashkevich, E. A. Rostova

The results of cluster analysis of potentially toxic element contents in sphagnum traps make it possible to identify several stable groups with similar distribution profiles. The correspondence between the clustering structures and the direction of vectors on the PCA-plot confirms the existence of ecological patterns in the deposition of elements from atmospheric air and the effectiveness of using sphagnum traps for monitoring.

УДК 504.4.054 (476)

ДИНАМИКА ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ПРИПЯТИ

Е. П. Овчарова
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Анализ динамики водопользования в бассейне реки Припяти за период 2000–2023 гг. приведен по данным Государственного водного кадастра. Показано, что несмотря на снижения объемов сбросов сточных вод, поступление некоторых загрязняющих веществ увеличивается. Изменение экологического состояния водных объектов дано по результатам мониторинга поверхностных вод за период 2015–2023 гг.

Ключевые слова: водопользование, сточные воды, сброс в поверхностные водные объекты, экологическое состояние водных объектов.

Как свидетельствуют результаты мониторинга поверхностных вод за 2024 г., антропогенное влияние на водоемы и водотоки страны усиливается, а наибольшую нагрузку испытывают водные объекты в бассейнах рек Западного Буга, Днепра и Припяти [1]. Основные источники поступления загрязняющих веществ – сточные воды промышленности и коммунального хозяйства, поверхностный сток с территорий животноводческих ферм, неканализованных территорий и с сельскохозяйственных угодий (компоненты органических и минеральных удобрений). Согласно данным Государственного водного кадастра [2], если рассматривать сброс сточных вод в поверхностные водные объекты, то на бассейн реки Припяти последние годы приходится 18,2–16,7 % от суммарного сброса данной категории вод в стране (в 2011–2013 гг. она составляла 21,9–22,6 %).

Как показал анализ данных (рисунок 1), за период 2000–2023 гг. количество отчитывающихся водопользователей в бассейне реки Припяти снизилось с 900–925 до 556–543 единиц. Максимальные показатели объемов сброса сточных вод в окружающую среду наблюдались в 2009–2014 гг. и варьировали в пределах 265,5–308,7 млн м^3. В последние годы объем сброса данной категории вод сократился до 232,7–245,2 млн м^3.



***Рисунок 1** – Динамика объемов сброса сточных вод и количества отчитывающихся водопользователей в бассейне реки Припяти за период 2000–2023 гг.*

Следует отметить, что в бассейне реки Припяти до 2015 г. включительно доля объемов сброса сточных вод в поверхностные водные объекты составляла 91,3–96,1 % от объема сточных вод, поступающих в окружающую среду. Начиная с 2016 г. данный показатель снижается и варьирует в пределах 74,2–85,8 % (рисунок 1).

Необходимо добавить, что в 2014 г. в Водном кодексе Республики Беларусь произошли изменения, касающиеся вопросов управления, использования и охраны водных ресурсов [3]. В частности, уточнены положения Государственного водного кадастра и внесены изменения в порядок его ведения. В целом, изменения направлены на повышение эффективности управления водными ресурсами, обеспечение рационального использования водных объектов и их охраны от негативного воздействия, а также на совершенствование экономического механизма управления в этой сфере [2].

Как видно из рисунка 2, с 2015 г. сокращение объемов сброса сточных вод в поверхностные водные объекты произошло, главным образом, за счет уменьшения объемов сточных вод, поступающих в поверхностные водные объекты без предварительной очистки.

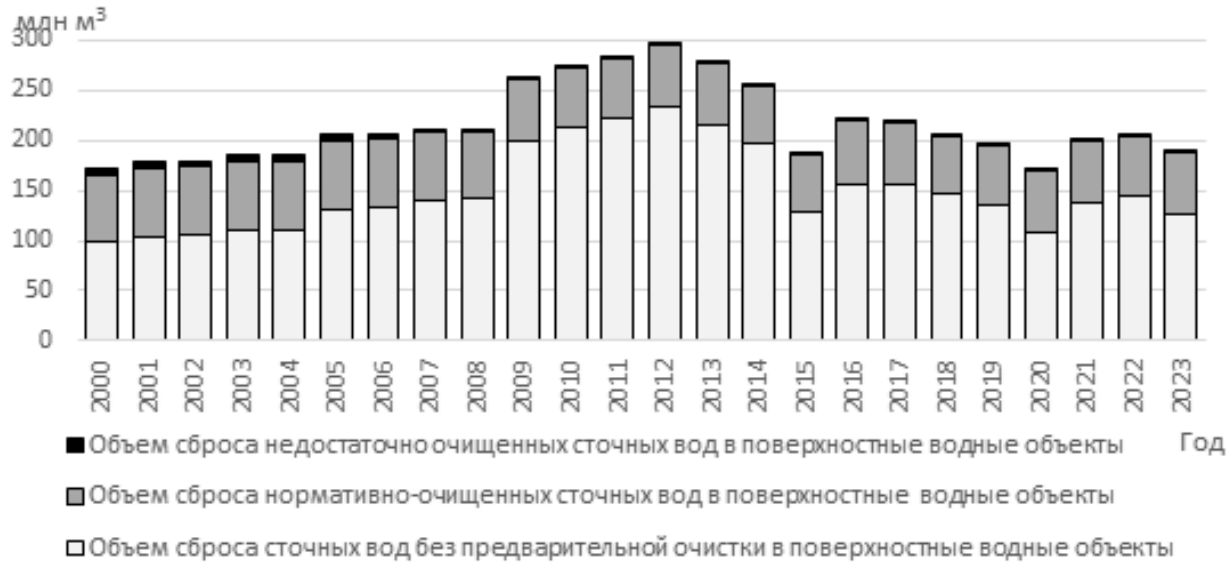


***Рисунок 2** – Динамика объемов сброса различных категорий сточных вод в поверхностные водные объекты бассейна реки Припяти за период 2000–2023 гг.*

Значительное снижение объемов сброса недостаточно очищенных сточных вод (с 1,5–8,5 млн м^3 в 2000–2008 гг.) зафиксировано в 2009 г. (0,1 млн м^3). Более высокие значения для данной категории вод отмечались в 2015 г. и 2017 г. (2,2 и 1,3 млн м^3 соответственно). Начиная с 2020 г. в бассейне реки Припяти объем сброса сточных вод без предварительной очистки в поверхностные водные объекты составляет 0,1–0,2 млн м^3.

Максимальный объем сброса нормативно-очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты бассейна реки Припяти зафиксирован в 2006 г. (70,0 млн м^3), минимальный – в 2015 г. (56,5 млн м^3), а в последние годы он составляет 60,3–62,7 млн м^3.

Таким образом, как видно из таблицы 1, наибольшей нагрузке за счет объемов сброса сточных вод водные объекты бассейна реки Припяти подвергались в период 2010–2014 гг., когда в среднем в год поступало 276,4 млн м^3 сточных вод.

***Таблица 1** – Усредненый за период годовой объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты бассейна реки Припяти, млн м^3*

Показатель	Период				
	2000–2004 гг.	2005–2009 гг.	2010–2014 гг.	2015–2019 гг.	2020–2023 гг.
Объем сброса сточных вод без предварительной очистки в поверхностные водные объекты	105,7	149,0	216,0	144,4	128,6
Объем сброса нормативно-очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты	68,0	66,9	59,8	59,6	61,8
Объем сброса недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты	5,9	2,8	0,6	1,2	0,1
Объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты	179,6	218,6	276,4	205,2	190,5

В период 2020–2023 гг. данный показатель снизился почти в 1,5 раза и составил 190,5 млн м^3 в год. По сравнению с периодом 2010–2014 гг. объем сброса сточных вод без предварительной очистки в поверхностные водные объекты в 2020–2023 гг., уменьшился в 1,7 раза (с 216,0 до 128,6 млн м^3 в год).

Несмотря на то, что, начиная с 2015 г., наблюдается устойчивая тенденция к снижению объемов сброса сточных вод в поверхностные водные объекты, анализ данных поступления загрязняющих веществ для большинства показателей демонстрирует обратный тренд (таблица 2). Так, в 2020–2023 гг. по сравнению с 2010–2014 гг. (когда наблюдался максимальный объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты) усредненный за период годовой сброс органических веществ (по ХПК) увеличился в 1,9 раза, органических веществ (по $БПК_5$) – в 1,5, хлоридов – в 1,3, азота общего – в 12,0, нитритов – в 1,8, фосфатов – в 1,9 и загрязняющих веществ (по минерализации) – 1,5 раза. Обратная тенденция наблюдается только для сульфатов, нитратов и нефтепродуктов, для которых усредненный за период годовой сброс в 2020–2023 гг. уменьшился в 1,2, 1,6 и 1,3 раза соответственно, по сравнению с 2010–2014 гг.

***Таблица 2** – Усредненый за период годовой сброс загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты бассейна реки Припяти, тонны*

Загрязняющее вещество	Период				
	2000–2004 гг.	2005–2009 гг.	2010–2014 гг.	2015–2019 гг.	2020–2023 гг.
Органические вещества (по ХПК)	2476,5	1558,9	4509,6	7364,7	8642,6
Органические вещества (по $БПК_5$)	1001,5	1118,7	1409,4	1983,7	2086,1
Хлорид-ион	9680,7	10330,8	12389,0	11962,3	16290,2
Сульфат-ион	3782,6	5005,3	6602,2	4865,9	5493,2
Азот общий	–	67,7	80,6	653,5	965,4
Нитрит-ион	19,3	17,7	19,4	20,5	34,6
Аммоний-ион	728,8	619,8	680,4	546,3	730,4
Нитрат-ион	185,7	266,7	319,9	196,5	197,9
Фосфат-ион	233,0	124,4	81,3	184,5	156,5
Взвешенные вещества	1283,3	2085,8	2731,8	2791,5	2655,9
Нефтепродукты	19,3	14,2	16,0	18,1	12,0
Вещества по минерализации	–	–	47521,6	49978,3	69325,7

Следует отметить, что, несмотря на рост поступления фосфатов в поверхностные водные объекты в 2020–2023 гг. относительно 2010–2014 гг., по сравнению с периодом 2015–2019 гг. их сброс уменьшился в 1,2 раза, что, вероятно, обусловлено улучшением систем очистки сточных вод.

Однако, несмотря на то, что содержание большинства наблюдаемых показателей качества воды в основном находится в пределах установленных нормативов качества поверхностных вод, для фосфатов (наряду с нитритами и органическим трудноокисляемыми веществами) чаще всего фиксируются превышения ПДК [1].

Начиная с 2014 г. в Беларуси оценка состояния водотоков и водоемов заключается в определении их экологического состояния (статуса). Экологическое состояние (статус) поверхностного водного объекта определяется на основании гидробиологических показателей с учетом гидрохимических и гидроморфологических показателей [3]. Эталонные характеристики соответствуют отличному состоянию, затем градация распределяется следующим образом – хорошее, удовлетворительное, плохое и очень плохое [4]. Для поверхностных водных объектов, которые характеризуются плохим и очень плохим состоянием, разрабатывается комплекс мероприятий, направленных на улучшение их состояния, для поверхностных водных объектов с удовлетворительным состоянием также принимаются меры по недопущению ухудшения их состояния.

Всего в бассейне реки Припяти наблюдениями охвачены 20 водотоков и 11 водоемов. Количество обследованных водных объектов может отличаться от года к году. Так, например, обследование всех водотоков по гидробиологическим показателям проводится раз в два года (трансграничных водотоков – ежегодно) [1].

Как видно из таблицы 3, среднегодовые концентрации химических веществ в воде водных объектов бассейна р. Припяти, усредненные за периоды 2015–2019 гг. и 2020–2023 гг., не имеют больших различий. Можно отметить, что в последние годы (2020–2023 гг.) в воде уменьшились среднегодовые концентрации иона аммония в 1,6 раза, нефтепродуктов – в 1,3 раза и СПАВ – в 1,5 раза и увеличились концентрации органических веществ (по $БПК_5$) в 1,1 раза и нитритов – в 2,0 раза.

Таблица 3 *– Усредненые за период среднегодовые концентрации химических веществ в воде водных объектов бассейна р. Припяти, мг/дм³ (по данным [1])*

Период	Органические вещества (по $БПК_5$)	Аммоний-ион	Нитрит-ион	Фосфат-ион	Фосфор общий	Нефте-продукты	СПАВ
2015–2019 гг.	2,55	0,30	0,01	0,06	0,094	0,029	0,032
2020–2023 гг.	2,85	0,19	0,02	0,06	0,094	0,022	0,022

На рисунках 3 и 4 показано относительное количество участков водотоков бассейна р. Припять с различным состоянием (статусом) по гидрохимическим и гидробиологическим показателям за период 2015–2023 гг. [1].

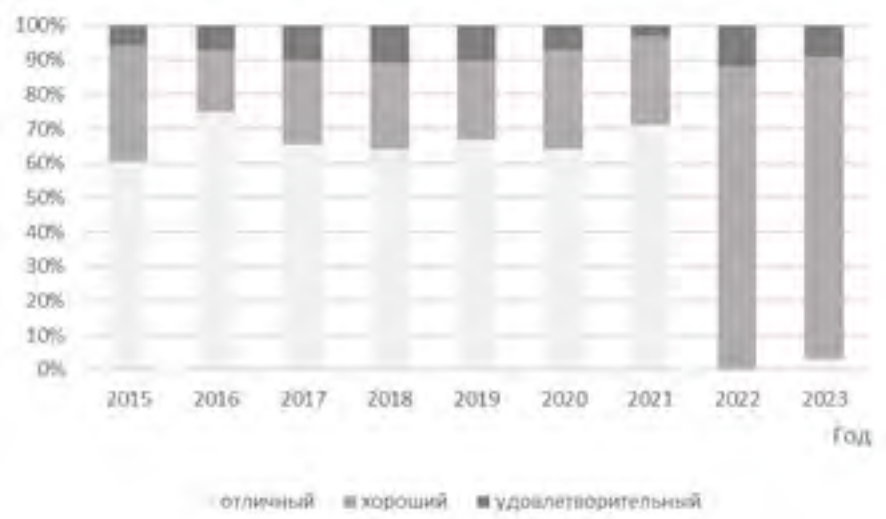


Рисунок 3 *– Относительное количество участков водотоков бассейна р. Припяти с различным состоянием (статусом) по гидрохимическим показателям за период 2015–2023 гг. (по данным [1])*

Анализ данных показал, что, несмотря на небольшое отличие в среднегодовых концентрациях химических веществ в воде водных объектов бассейна р. Припяти, усредненных за периоды 2015–2019 гг. и 2020–2023 гг., состояние водотоков как по гидрохимическим, так и по гидробиологическим показателям ухудшается. Так, если до 2022 г. около 60 % и более водотоков имели отличный гидрохимический статус, то в 2022–2023 гг. 88 % водотоков отнесли к водным объектам с хорошим статусом.

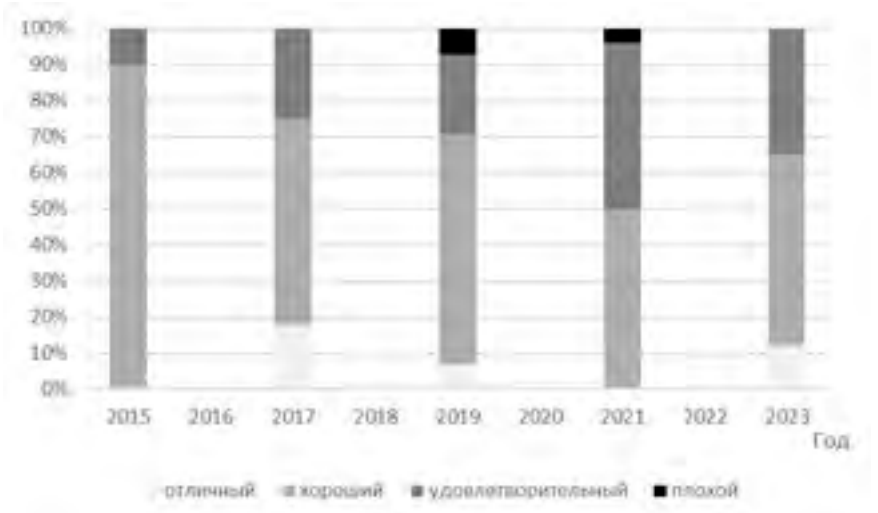


Рисунок 4 *– Относительное количество участков водотоков бассейна р. Припяти с различным состоянием (статусом) по гидробиологическим показателям за период 2015–2023 гг. (по данным [1])*

В 2019 г. и 2021 г. доля водотоков с плохим гидробиологическим состоянием составила 7 и 4 % соответственно. В 2021 г. половина водотоков имела хорошее состояние, а 46 % – удовлетворительное. В 2023 г. состояние водотоков в бассейне реки Припяти по гидробиологическим показателям несколько улучшилось по сравнению с 2021 г.

Список использованных источников

1. Мониторинг поверхностных вод. – Минск, 2015–2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://nsmos.by/environmental-monitoring/monitoring-poverkhnostnykh-vod. – Дата доступа : 26.06.2025.

2. Государственный водный кадастр : информационная система. – Минск, 2000–2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://195.50.7.216:8081/watstat/data. – Дата доступа : 10.07.2025.

3. Водный кодекс Республики Беларусь : 30 апреля 2014 г. № 149-З : принят Палатой представителей 2 апреля 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11 апреля 2014 г. – Минск : Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 20.05.2014, 2/2147. – 40 с.

4. Порядок отнесения поверхностных водных объектов (их частей) к классам экологического состояния (статуса) = Парадак аднясення паверхневых водных аб'ектаў (іх частак) да класаў экалагічнага стану (статусу) : ТКП 17.13–24–2021 (33140). – Введ. 01.03.2022. – Минск : Минприроды, 2021. – 36 с.

DYNAMICS OF WATER USE AND STATE OF WATER BODIES IN THE PRIPYAT RIVER BASIN

A. P. Aucharova

The analysis of water use dynamics in the Pripyat River basin for the period 2000–2023 is given based on the data of the State Water Cadastre. It's shown that despite the reduction in wastewater discharge volumes, the influx of some pollutants increases. The change in the ecological state of water bodies is given based on the results of surface water monitoring for the period 2015–2023.

УДК 574:908

УТИЛИЗАЦИЯ ДРЕНАЖНОГО СТОКА ПУТЕМ УВЛАЖНЕНИЯ ОСУШАЕМЫХ ТОРФЯНИКОВ В УСЛОВИЯХ МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

П. И. Пыленок, Р. О. Ефремов
ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» – Мещерский филиал, г. Рязань, Россия

На основе теоретических и натурных исследований, системного анализа разработаны технологические параметры и расчетные зависимости для определения площади увлажнения осушаемых торфяников дренажными водами и объемов аккумулирования дренажных вод. В зависимости от типов водного питания приводятся условия применения технологий оперативного, сезонного и многолетнего гидромелиоративного рециклинга. Апробация технологий в условиях Мещерской низменности показала, что увлажнение дренажными водами обеспечивает повышение продуктивности осушенных торфяников в 1,5 и более раз, снижение минерализации торфа и эмиссии диоксида углерода, уменьшение загрязнения природных вод и рисков возгорания торфа.

Ключевые слова: осушение, увлажнение, торфяники, дренажный сток, типы водного питания, гидромелиоративный рециклинг, экологические риски.

Введение. Сельскохозяйственное использование больших заболоченных территорий, реализуемое в условиях Белорусского и Мещерского Полесий, показало, что наряду с определенно положительным результатом в решении продовольственных задач, имеются и негативные экологические последствия. Особенно это касается торфяных почв, которые в анаэробных болотных условиях являются пулами депонирования углерода, а в осушенном состоянии становятся источником эмиссии диоксида углерода. Дренажный сток с осушаемых торфяников загрязнен биогенными элементами и пестицидами, создает риски загрязнения и эвтрофирования природных водоемов-водоприемников. В сухом состоянии торф представляет высокую пожарную опасность. Одним из способов снижения этих рисков является использование дренажных вод для увлажнения осушаемых торфяников.

Вопросам увлажнения осушаемых земель в России шлюзованием, дождеванием и подпочвенным увлажнением посвящены исследования А. И. Голованова, Б. С. Маслова, Х. Н Старикова и др. [1, 3, 4, 5, 6, 11]. Нами разработаны научно-технологические основы гидромелиоративного рециклинга, включающие методы и способы, расчетные зависимости для определения площади увлажнения и объемов аккумулирования дренажных вод. В зависимости от типов водного питания (ТВП) рекомендованы к применению оперативный, сезонный и многолетний рециклинг [7, 8].

Цель работы – обобщение полученных результатов для повышения степени их практического освоения. При проведении исследований использован системный анализ, метод водного баланса как частный случай закона сохранения материи, натурные эксперименты и полевые опыты, экологический мониторинг, законы земледелия и экологии [1, 2, 3].

Результаты и обсуждение. Утилизация дренажного стока путем увлажнения осушенной торфяной почвы – это не просто способ избавиться от дренажных вод, а ключевой элемент биосферной концепции и создания технологий гидромелиоративного рециклинга. Это сложный, но крайне эффективный многофункциональный способ утилизации загрязненных дренажных вод, ограничения интенсивности минерализации торфа и эмиссии диоксида углерода, уменьшения рисков возгорания торфа, а при необходимости и восстановление деградировавших болотных экосистем [2].

Суть подобной технологии состоит в том, чтобы уменьшить сброс дренажных вод в водоприемники, при котором происходит загрязнение природных вод продуктами разложения торфа, биогенными веществами, а также вызывает летние мелиоративные паводки. Часть дренажных вод задерживается на осушенной территории. Цель – поднять уровень грунтовых вод (УГВ) и влажности торфяной почвы до оптимального значения для роста и развития растений, одновременно остановив или замедлив процесс окисления и деградации торфа.

Как это работает технически? Существует несколько подходов, от простых до высокотехнологичных.

1. Система шлюзов и колодцев-регуляторов (наиболее распространенная). В магистральных и осушительных каналах устанавливаются подпорно-регулирующие сооружения (шлюзы и др.), на закрытых коллекторах – регулирующие колодцы. Вместо того, чтобы постоянно держать их открытыми для обеспечения максимального стока, при достижении нормы осушения посевного периода затворы

закрываются, что замедляет отток дренажных вод, которые задерживаются на территории, насыщая почву и поднимая УГВ. Шлюзование самая простая и дешевая технология, часто применяемая на больших площадях.

2. Система с насосной станцией обеспечивает более активное управление. Используется в случаях намывного ТВП. Часть дренажного стока после схода половодья подается в пруд-накопитель, откуда с помощью насосов подается обратно в истоковую часть дренажной сети или к дождевальным машинам, и используется для полива. Отдельно нужно сказать о системах вертикального дренажа, которые наиболее эффективны грунтово-напорном ТВП и проводимости водоносного пласта не менее 150 м^2/сут. Для понижения уровней грунтовых и напорных вод используются скважины с погружными насосами и откачкой дренажной воды в бассейны-накопители, из которых после прогрева и отстаивания вода подается к дождевальным машинам [6]. Такие системы дороже из-за затрат на электроэнергию и обслуживание насосов, но дают более полный контроль над процессом.

3. Рециклинговые гидромелиоративные системы с каскадно расположенными каналами или прудами-накопителями дренажных вод, оборудованными в истоковой части регуляторами нижнего бьефа, а в устьевой – регуляторами верхнего бьефа [8]. В результате на мелиорируемой территории создается каскад мелководных водоемов. Это значительно замедляет сток, увеличивает площадь водной поверхности, усиливает инфильтрацию воды в торфяную залежь и очистку дренажных вод. Для реализации рециклинговых технологий требуется создание высокотехнологичных мелиоративных систем пятого или четвертого плюс поколения.

В различных природно-мелиоративных условиях нами установлены технологические показатели и условия применения технологий оперативного, сезонного и многолетнего гидромелиоративного рециклинга (таблица).

Таблица *– Технологические показатели и условия применения гидромелиоративного рециклинга*

Тип рециклинга	Площадь увлажнения	Объем аккумулирования дренажных вод	Условия применения
Оперативный	$F_{увл}^{опер} = \mathbf{8{,}64}\dfrac{F_{ос}}{m_{бр}}\sum_{1}^{t_{min}} q_i t_i$	Водозабор из живого тока	Грунтовый и грунтово-напорный ТВП
Сезонный	$F_{увл}^{сез} = \mathbf{8{,}64}\dfrac{F_{ос}}{M_{бр}}\sum_{1}^{t_{вес}} q_i t_i$	$W_n = \mathbf{10}\left(\dfrac{(\mathbf{1}+\varepsilon)R}{L} - P - g\right)F_{увл}$	Грунтовый ТВП
Многолетний	$F_{увл}^{мн} = \mathbf{8{,}64}\dfrac{F_{ос}}{M_{бр}}\sum_{1}^{t_г} q_i t_i$	$W_{чп} = \mathbf{86{,}4}F_{ос}\sum\left(q_i t_i\right)$	Атмосферный ТВП

В приведенных в таблице формулах использованы следующие обозначения:

$F_{ос}$ – площадь осушения, га; q_i – модуль дренажного стока расчетной обеспеченности і-го периода, л/с га; t_i – продолжительность і-го периода, сут.; $F_{увл}$ – площадь увлажнения дренажными водами, га; $m_{бр}$ – поливная (разовая) норма увлажнения, мм; $M_{бр}$ – сезонная (оросительная) норма увлажнения, мм; t_{min} – продолжительность минимального межполивного интервала, сут; $t_{вес}$ – продолжительность посевного периода стока; $t_г$ – продолжительность заполнения накопительных емкостей при многолетнем регулировании. R – радиационный баланс поверхности почвы, кДж/см^2; ε – доля увеличения R от мелиораций; L – скрытая теплота парообразования, кДж/см^2 в год на 1 мм слоя воды; P – атмосферные осадки, впитавшиеся в почву, мм; g – влагообмен корнеобитаемого слоя почвы с грунтовыми водами (положительное направление вверх), мм.

Преимущества и достигаемые цели при увлажнении торфяных почв, выявленные в процессе натурных исследований на мелиоративно-болотных стационарах Кальское, Вожа, Макеевский мыс, Тинки-II и др. состоят в следующем:

1. Борьба с ускоренной минерализацией и осадкой поверхности осушаемого торфяника. Осушенный торф окисляется, выделяет CO_2 и его объем уменьшается. Поверхность почвы опускается со скоростью 1–4 см в год. Увлажнение замедляет этот процесс, одновременно создает условия для повышения продуктивности в 1,5 и более раз [9].

2. Снижение выбросов парниковых газов. Осушенные торфяники – гигантские источники CO_2. При повышении УГВ аэробные условия сменяются анаэробными, что резко сокращает выбросы CO_2. Хотя может увеличиться выброс метана (CH_2). Однако в долгосрочной перспективе баланс является положительным для смягчения изменения климата.

3. Снижение рисков торфяных пожаров, сохранение ценного природного ресурса – торфа. Влажный торф не горит. Увлажнение – самый эффективный способ предотвратить катастрофические пожары, которые регулярно происходят на осушенных болотах.

4. Улучшение биоразнообразия. Благодаря повышению влажности почв, увеличению площади мелководных водоемов, частично возвращаются типичные болотные растения, животные и птицы. Восстанавливается ценная водно-болотная экосистема.

5. Улучшение качества воды. Задерживая сток, торфяник действует как естественный фильтр, поглощающий взвешенные частицы и излишки питательных веществ (азот, фосфор). В реки попадает более чистая вода.

Одновременно приходится отметить проблемы и риски рассматриваемых мелиоративных технологий.

1. Качество дренажных вод. При интенсивном использовании мелиорируемых торфяных почв в сельском хозяйстве дренажные воды могут содержать в высоких концентрациях биогенные элементы (азот, фосфор из удобрений) и пестициды. По нашим данным зависимости от интенсивности осушения и сельскохозяйственного использования вынос за теплый период азота изменяется от 12 до 45 кг/га, калия – от 8 до 12 кг/га, фосфора – от 0,5 до 7 кг/га. Возврат такой воды может привести к эвтрофикации и загрязнению самой осушаемой территории. Необходим предварительный гидрохимический анализ.

2. Подтопление инфраструктуры и земель. Неправильный расчет может привести к подтоплению дорог, зданий или соседних сельскохозяйственных угодий. Требуется тщательное планирование и моделирование водного баланса.

3. Изменение растительного покрова. Для сельскохозяйственных предприятий увеличение площадей под влаголюбивыми травами может вызвать необходимость корректировать специализацию хозяйства (например, с растениеводства на мясо-молочное скотоводство).

4. Финансовые затраты. Строительство высокотехнологичных систем, оснащенных шлюзами, насосными станциями, каналами и прудами-накопителями дренажных вод, дождевальными машинами требует повышенных первоначальных инвестиций, что удлиняет срок окупаемости. Отчасти это может быть улучшено за счет снижения платы за уменьшенный сброс дренажных вод.

В итоге можно сформулировать ключевые условия для успешной реализации технологий увлажнения осушаемых торфяников дренажными водами. Это детальное изучение водного баланса при проектировании осушительно-увлажнительных систем в целом и систем рециклингового типа в особенности. Необходимо точно рассчитать, сколько дренажных вод и атмосферных осадков поступает, сколько уходит в виде испарения и стока и какой объем дренажного стока может быть утилизирован в процессе увлажнения в конкретных гидрометеорологических условиях.

Экологический мониторинг. Крайне важно оснащение гидромелиоративной системы метеостанцией, водомерными постами, сетью наблюдательных скважин для контроля уровня грунтовых вод на всей территории, а также проведение гидрохимического анализа дренажных вод.

Юридическое оформление. Часто требуется изменение вида разрешенного использования земли и получение соответствующих разрешений от водных и экологических инспекций.

Заключение. Утилизация дренажного стока путем увлажнения – это не просто затопление осушенного торфяника, а высокоэффективная технология продуктивного сельскохозяйственного или лесохозяйственного использования мелиорируемых торфяных почв и частичного, а при необходимости и полного восстановления водно-болотных угодий. Она позволяет переводить деградирующие торфяники из состояния проблемы (как источник CO_2 и пожаров) в состояние природоподобного актива в виде более устойчивой экосистемы, которая обеспечивает производство сельскохозяйственной продукции и одновременно работает на благо биоразнообразия и климата.

Хотя метод требует тщательной подготовки и инвестиций, он является наиболее перспективным и экологически правильным направлением использования осушенных торфяников в условиях изменения климата.

Список использованных источников

1. Айдаров, И. П. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель / И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский. – М. : Агропромиздат, 1990. – 60 с.

2. Агроэкология / В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев [и др.]; Под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. – М. : Колос, 2000. – 536 с.

3. Голованов, А. И. Мелиорация земель / А. И. Голованов, И. П. Айдаров, М. С. Григоров [и др.]; Под ред. А. И. Голованова. – М. : КолосС, 2011. – 824 с.

4. Маслов, Б. С. Руководство по длительному сельскохозяйственному использованию осушаемых торфяных почв Нечерноземной зоны Российской Федерации / Б. С. Маслов [и др.]. – М. : ЦНТИ Мелиоводинформ, 1999. – 98 с.

5. Маслов, Б. С. Болото и пиар природных стихий. 2-е изд. перераб. и доп. / Б. С. Маслов, П. И. Пыленок. – М. : ФГБНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2019. – 76 с.

6. Мурашко, А. И. Осушение земель вертикальным дренажом / А. И. Мурашко, А. И. Митрахович, С. В. Довнар и др. – Минск : Ураджай, 1979. – 248 с.

7. Пыленок, П. И. Гидрология дренажа. Научно-технологическое обоснование осушительно-увлажнительных систем: монография. – М. : МФЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2024. – 172 с.

8. Пыленок, П. И. Основы гидромелиоративного рециклинга // Мелиорация и водное хозяйство. – № 5. – 2019. – С. 57–62.

9. Пыленок, П. И. Ресурсосберегающая технология увлажнения осушаемых торфяных почв дренажными водами / П. И. Пыленок, Р. О. Ефремов // Вестник мелиоративной науки. – 2024. – № 1. – С. 37–42.

10. Семенова, К. С. Обоснование противопожарного шлюзования осушенных торфяников в условиях Мещерской низменности / Дисс... канд. техн. наук. – М., 2016. – 130 с.

11. Стариков, Х. Н. Увлажнение осушаемых торфяников / Х. Н. Стариков. – М. : Колос, 1977. – 206 с.

UTILIZATION OF DRAINAGE WASH BY MOISTURING DRAINED PEAT BOGS IN THE CONDITIONS OF THE MESHCHERSKY LOWLAND

P. I. Pylenok, R. O. Efremov

Based on theoretical and field studies, as well as system analysis, technological parameters and calculation equations have been developed to determine the area of peatlands that are drained and the volume of drainage water that is accumulated. Depending on the type of water supply, the conditions for using operational, seasonal, and long-term hydro-reclamation recycling technologies are provided. Testing of technologies in the Meshchera Lowland has shown that drainage water irrigation increases the productivity of drained peatlands by 1.5 times or more, reduces peat mineralization and carbon dioxide emissions, and reduces natural water pollution and peat fire risks.

УДК 553.97

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫБЫВШИХ ИЗ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТОЛИНСКОГО РАЙОНА БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

В. А. Ракович, Н. Е. Сосновская, Т. Д. Ярмошук
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Разработаны мероприятия для обоснования наиболее целесообразного направления использования каждого выработанного торфяного месторождения или участка с учетом его природно-генетических особенностей, современного состояния, интересов и перспектив развития административного района, экономического и экологического эффекта использования.

Ключевые слова: торфяник, выработанное торфяное месторождение, торфяные участки, осушающее воздействие на прилегающие территории, естественное лесовозобновление, повторное заболачивание.

Введение. В Столинском районе выработанные торфяные месторождения и участки используются преимущественно в лесохозяйственном направлении, некоторые – в сельском хозяйстве, одно имеет водохозяйственное значение, а часть переведена в земли запаса.

Однако не всегда капиталовложения в сельскохозяйственную рекультивацию дают ожидаемый экономический эффект вследствие того, что не все торфяные месторождения по своим природным характеристикам (геоморфологическим, геологическим, гидрологическим, агрохимическим и др.) пригодны для создания на них сельскохозяйственных земель. Неэффективное использование выработанных торфяных месторождений в сельском хозяйстве приводит к их зарастанию древесно-кустарниковой растительностью, и, согласно спутниковой информации, такие территории в Столинском районе уже появились.

Помимо экономических потерь от недобора сельскохозяйственной продукции зарастание выработанных торфяных месторождений древесно-кустарниковой растительностью усиливает степень их пожароопасности.

Вполне очевидно, что существующая многолетняя практика использования выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений не всегда соответствует современным методам хозяйствования и природопользования, поэтому отдельные территории нуждаются в пересмотре направления использования с учетом новых научных знаний. Сложившаяся ситуация объясняется тем, что решения о направлении использования выработанных торфяных месторождений принимались на стадии проектирования промышленной разработки без достаточного научного обоснования.

Разработка Рекомендаций явилась завершающим этапом формирования государственной политики Республики Беларусь в области использования природных ресурсов торфяных месторождений. Суть этого этапа состоит в обосновании наиболее целесообразного направления использования каждого выработанного торфяного месторождения или участка с учетом его природно-генетических особенностей, современного состояния, интересов и перспектив развития административного района, экономического и экологического эффекта использования.

Настоящие Рекомендации по экологически безопасному и экономически целесообразному использованию выработанных торфяных месторождений или участков Столинского района будут научной основой для повышения эффективности хозяйствования на таких землях.

Методы и исходные данные. В качестве исходных материалов для разработки настоящих Рекомендаций использованы кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР», «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов Беларуси», материалы геологических разведок и проекты на разработку торфяных месторождений, данные, полученные от землеустроительной службы Столинского района, картосхемы особо охраняемых природных территорий, материалы космической съемки за последние два года, нормативные документы и некоторые другие.

Оценка направлений современного использования выработанных торфяных месторождений и обоснование предложений по их изменению осуществлялись по критериям, изложенным в ТКП 17.12-01-2008 (02120) с учетом особенностей генезиса и современного состояния каждого месторождения.

При разработке Рекомендаций учитывалась обеспеченность Столинского района сельскохозяйственными, лесными землями и болотами:

общая площадь земель в районе – 334 206 га,

площадь сельскохозяйственных земель – 112 826 га,

площадь лесных земель – 127 899 га,

площадь болот – 67 085 га,

площадь выработанных торфяных месторождений – 2 353 га.

Результаты и обсуждение. Обеспеченность Столинского района сельскохозяйственными землями ниже среднереспубликанской (43,4 %) на 9,7 %, лесистость района находится на уровне среднереспубликанской. Болота занимают пятую часть (20 %) от общей площади земель района, а выработанные торфяные месторождений (0,7 %) имеют существенное значение для района.

Большинство выработанных торфяных месторождений и небольших по площади участков выбыло из эксплуатации в 1970–1990 гг. Залежь остаточного слоя торфа на большинстве (на пяти) месторождений низинная со степенью разложения торфа 34–41 % и зольностью 15,7–22,4 %, одно месторождение переходного типа, а остальные имеют залежь остаточного слоя торфа различных типов (верховой, смешанный, переходный, низинный). После завершения добычи глубина остаточного слоя торфа варьировала в пределах от 0,1 до 1,0 м в связи с неровностями рельефа дна; в среднем для использования в качестве сельскохозяйственных земель при передаче землепользователям была не менее 0,5 м. Однако к настоящему времени произошло уменьшение глубины остаточного слоя торфа из-за процессов минерализации органического вещества.

Все торфяные месторождения вырабатывались, в основном, фрезерным способом РПО «Сельхозхимия» и торфопредприятием «Глинка» (ОАО «Торфопредприятие Глинка»). В настоящее время выработанные торфяные месторождения (либо участки) имеют в основном лесохозяйственное направление использования, часть используется в сельском хозяйстве, создано водохранилище, а часть из них – земли запаса.

В районе имеются примеры изменения принятых ранее направлений использования выработанных торфяных месторождений. Как показала практика, некоторые месторождения, выработанные РПО «Сельхозхимия» и передаваемые для использования в сельскохозяйственном производстве, по целевому назначению, фактически, использоваться не могут из-за необходимости значительных финансовых вложений на проведение мелиоративных работ и рекультивацию. Поэтому со временем такие неиспользуемые земли зарастают древесно-кустарниковой растительностью и нередко заболачиваются. Часть площадей, поросших древесно-кустарниковой растительностью, передана в ведение лесничеств.

В Столинском районе все выработанные торфяные месторождения, находящиеся в осушенном состоянии, оказывают существенное осушающее воздействие на прилегающие территории.

В целом по Столинскому району общая площадь выработанных торфяных месторождений составляет 2 353 га, а осушающее действие каналов распространяется на площадь 3 083 га, т. е. общая осушенная площадь больше суммарной площади выработанной части всех торфяных месторождений района на 31,0 %. Это объясняется тем, что прилегающие к выработанным торфяным месторождениям суходольные территории в основном сложены рыхлыми минеральными породами такими, как пески и супеси.

На выработанных торфяных месторождениях, находящихся в осушенном состоянии, остаточный слой торфа разлагается под воздействием микроорганизмов с образованием водорастворимых и газообразных продуктов. Из водорастворимых органических соединений наиболее распространены фульвокислоты, органические кислоты, в меньшей степени – фенолы, углеводы, аминокислоты, альдегиды и ряд других, из минеральных – соединения кальция, магния, железа, фосфора, микроэлементов, а также ионы аммония, хлора, нитратов, сульфатов. По многолетним данным, ежегодно с 1 га торфяных почв в каналы осушительных сетей поступает 450–650 кг органических веществ и 550–800 кг минеральных, включая неиспользованную растениями часть удобрений, доля которой составляет до 30–40 % от их количества, внесенного в почву.

Для оценки воздействия выработанных торфяных месторождений на поверхностные и подземные воды были взяты минимальные величины годового стока растворённых веществ, равные 0,45 т/га органических и 0,55 т/га минеральных веществ, с учётом того, что эти территории используются для возделывания луговых трав.

При площадях выработанных торфяных месторождений, исчисляемых десятками и сотнями гектаров, суммарное поступление водорастворимых веществ в водоприёмники составляет десятки и сотни тонн в год. Например, с торфяного месторождения Видибор в течение годового биоцикла в каналы может по-

ступать 235 т органических и 286 т минеральных веществ, с торфяного месторождения Поддубиче соответственно 67 т и 82 т и так далее по другим выработанным торфяным месторождениям. При поступлении в водоприёмники эти довольно значительные количества разнообразных веществ изменяют химический состав вод и повышают их евтрофикацию, что в конечном итоге негативно сказывается на функционировании экосистем водоприёмников.

Для выработанных торфяных месторождений, использующихся под посадки леса, вынос водорастворимых веществ принят такой же, поскольку процессы разложения торфа здесь также имеют место, однако воды с облесённых выработанных участков чище, чем с используемых в сельском хозяйстве, так как они не содержат минеральных удобрений и пестицидов. Часть водорастворимых веществ с нисходящим током поступает в подземные воды. Соотношение между этими двумя потоками зависит от гранулометрического состава грунтов, подстилающих остаточный слой торфа: чем более водопроницаемы подстилающие торфяную залежь грунты, тем больше продуктов распада торфа поступает в подземные воды и, наоборот, с уменьшением их водопроницаемости убывает количество водорастворимых веществ, поступающих в подземные воды.

Высокую степень пожароопасности имеют выработанные торфяные месторождения, используемые для лесопосадок и переданные в ведение лесхозов. Для снижения пожароопасности на всех территориях лесхозов предусмотрен комплекс профилактических противопожарных мероприятий, включая ограничение доступа людей и транспортных средств в засушливые периоды, поэтому они менее пожароопасны, чем выработанные неиспользуемые участки торфяных месторождений. В Столинском районе к таким месторождениям относятся: Морочно (кадастровый номер 437*) и Поддубиче (кадастровый номер 440*). Среднюю степень пожароопасности имеют выработанные торфяные месторождения, используемые в качестве сельскохозяйственных земель. В Столинском районе такую степень пожароопасности имеют 2 выработанных торфяных месторождения. Они менее пожароопасны, чем выработанные торфяные месторождения, находящиеся под лесом, потому что на сельскохозяйственных землях при рекультивации территорий предусматривается создание водорегулирующих сооружений, а поверхность торфяных почв закрыта посевами многолетних трав. По этим причинам торфяные пожары на сельскохозяйственных землях бывают реже, чем на лесных.

Низкую степень пожароопасности имеют выработанные торфяные месторождения, у которых уровни грунтовых вод находятся на поверхности почвы или выше неё. В Столинском районе к ним следует отнести выработанные площади на торфяном месторождении Морочно, на котором создано водохранилище «Бережцы» площадью 136 га.

Остаточный слой торфа выработанных торфяных месторождений минерализуется под воздействием микроорганизмов с образованием диоксида углерода, поступающего в атмосферу. При оценке этого вида воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду был использован национальный коэффициент эмиссии диоксида углерода, равный 7,7 т/га, обоснованный для торфяных почв, находящихся под пластом многолетних трав, поскольку на таких территориях рекомендуется создавать только луговые угодья – сенокосы или пастбища, а для лесных земель коэффициент эмиссии составляет 1,1 т/га.

Для осушенных зон болот низинного типа, прилегающих непосредственно к выработанным участкам, принят коэффициент эмиссии, равный 5,0 т/га, потому что в этих зонах уровни грунтовых вод постепенно повышаются по мере удаления от выработанных участков, что снижает интенсивность минерализации торфа в осушенном слое.

Суммарное количество диоксида углерода, выделяемого всеми выработанными торфяными месторождениями Столинского района, ежегодно составляет 4 995 т, в том числе 4 166 т с выработанных участков и 829 т с осушенных, но невыработанных зон торфяных месторождений, прилегающих к выработанным участкам.

Кроме этого, диоксид углерода выделяется в больших количествах при торфяных пожарах, однако этот вид воздействия выработанных торфяных месторождений не учитывался, ввиду случайности возникновения на них пожаров.

Направление использования выработанных торфяных месторождений (участков) Морочно и Поддубиче рекомендуется изменить с сельскохозяйственного на естественное лесовозобновление или повторное заболачивание.

Для проведения мероприятий по естественному лесовозобновлению на торфяных месторождениях (участках) Морочно и Поддубиче не требуется дополнительных материальных или финансовых затрат. Поскольку эти торфяные месторождения занимают наиболее низкие места в рельефе, формирующиеся

на них леса неизбежно будут подвергаться процессам самопроизвольного и медленного заболачивания. Недостатком такого способа заболачивания является сохранение повышенной пожароопасности формирующихся лесных насаждений в течение 15–25 лет. Для снижения пожароопасности целесообразно строительство водоудерживающих перемычек на каналах осушительных сетей. Это значительно выгоднее тушения пожаров. Работы следует осуществлять в соответствии с ТКП 17.12-02-2008 (02120).

Эффективность создания и улучшения сенокосов на выработанных торфяных месторождениях определяется на основании прироста производства сельскохозяйственной продукции на этих землях с учётом всех производственных затрат, важное значение при этом имеют экологические аспекты луговодческого использования торфяных почв, обеспечивающего сохранение 3–4 т/га органического вещества торфяной почвы в год. В пересчёте на азот это эквивалентно 90–120 кг.

Предлагаемые мероприятия по организации луговодства на выработанных торфяных месторождениях ориентированы на достижение продуктивности сенокосов на мелиорированных землях 32–34 ц кормовых единиц с гектара.

Фактическая продуктивность лугов на выработанных торфяниках, введённых в сельскохозяйственное производство 10–20 лет назад без их улучшения, не превышает 7–8 ц/га кормовых единиц. В результате осуществления комплекса работ по интенсификации лугового кормопроизводства уже на первом этапе дополнительный прирост продуктивности составит 25–26 ц/га кормовых единиц. При достижении продуктивности 32–34 ц/га кормовых единиц прирост урожайности позволяет получить дополнительно с 1 гектара 2,2 т молока.

В структуре затрат наибольшее место занимают минеральные удобрения и семена. Предлагаемая система удобрений рассчитана не только на достижение планируемой урожайности, но и на окультуривание выработанных торфяных месторождений. В перспективе просматриваются реальные пути сокращения затрат на удобрения за счёт включения в травостои многолетних бобовых трав и отказа, хотя бы частично, от применения минерального азота, а также внесения фосфорных удобрений по выносу фосфора урожаем. Главное направление сокращения расхода семян – увеличение продуктивного долголетия травостоев. Соответствующие регламенты и технические средства разработаны.

Заключение. В настоящее время выработанные торфяные месторождения Столинского района (либо их участки) имеют в основном лесохозяйственное направление использования, их часть (100 га) используется в сельском хозяйстве, а часть площадей переведена в земли запаса. На выработанных площадях торфяного месторождения Морочно создано водохранилище «Бережцы» площадью 136 га. ОАО «Торфопредприятие Глинка» ведёт добычу торфа на торфяном месторождении Морочно. В дальнейшем после выработки торфяной залежи эти площади подлежат повторному заболачиванию или естественному лесовозобновлению. Из-за особенностей природно-генетических свойств (геоморфология, подстилающие грунты и др.) недостаточно эффективно используются сельскохозяйственные земли на выработанных торфяных месторождениях Морочно и Поддубиче.

В районе целесообразно осуществить мероприятия по оптимизации использования вышеуказанных торфяных месторождений. На выработанных торфяных месторождениях Морочно и Поддубиче целесообразно изменить направление использования земель с сельскохозяйственного на естественное лесовозобновление с постепенным заболачиванием и дальнейшим формированием заболоченных лесов или осуществить повторное заболачивание этих территорий путём строительства перемычек. В обоих случаях будут сформированы заболоченные леса, однако при естественном лесовозобновлении в течение 15–25 лет возможны пожары на этих территориях. Отказавшись от сельскохозяйственного использования малопригодных для этой цели земель, район выиграет экономически и экологически, так как прекратятся затраты на возделывание малопродуктивных лугов, исчезнет осушающее воздействие на прилегающие территории, прекратится эмиссия диоксида углерода в атмосферу, вырастет лес, возобновятся процессы образования и накопления торфа, а также процессы поглощения из атмосферы диоксида углерода и выделение в неё кислорода, восстановятся местообитания биоразнообразия.

На выработанных торфяных месторождениях, используемых в сельском хозяйстве, целесообразно осуществить мероприятия по улучшению лугов, что существенно повысит их продуктивность.

RATIONAL USE OF PEAT DEPOSITS FROM INDUSTRIAL OPERATION OF THE STOLINSKY DISTRICT OF THE BREST REGION

V. A. Rakovitch, N. E. Sosnovskaya, T. D. Yarmoshuk

Activities to justify the most appropriate use of each worked-out peat deposit or site, with considering its natural genetic characteristics, current status, interests and prospects of the administrative region, development economic and environmental effect of use are developed.

УДК:639*585;528

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ НУЖД СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ПОЛЕССКОГО РЕГИОНА

М. Л. Романова[1], А. Р. Понтус[1], А. Н. Червань[2], А. А. Якушев[2]

[1]Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[2]Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Для пяти пилотных сельскохозяйственных организаций Припятского Полесья с помощью Программного комплекса инвентаризации и оценки состояния геосистем Припятского Полесья (ПК ОСПГ) был определен комплекс критериев состояния сельскохозяйственной растительности, условий землепользования, структуры почвенного покрова и оценки природных условий на геосистемном принципе с использованием данных дистанционного зондирования.

Ключевые слова: программный комплекс, геосистемы, точное земледелие, данные дистанционного зондирования, пилотные хозяйства.

В настоящее время разрабатывается проект Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2040 г., определяются критерии развития АПК, призванные сократить разрыв в производительности сельского хозяйства по сравнению со странами-конкурентами на мировом рынке за счет собственного научно-технического потенциала. Поэтому важно обеспечить устойчивый технологический суверенитет в развитии агросектора. Сейчас требуется создание более устойчивой системы сельского хозяйства, которая уменьшает отрицательное воздействие на окружающую среду, сохраняет биоразнообразие и уменьшает выработку вредных отходов [1].

Глобальные климатические изменения требуют адаптации системы ведения сельского хозяйства. Наиболее быстро этот процесс развивается в южной части Беларуси. Использование точной информации о почве, климатических условиях и растениях для принятия решений, направленных на максимизацию урожайности, включает в себя оптимальное размещение сельскохозяйственных культур и применение подходящих методов обработки.

Основной акцент в сельскохозяйственном производстве будет сделан на использовании технологий точного земледелия. Термин «точное земледелие» или «точное сельское хозяйство» происходит от английского слова «precision agriculture». Основой научной концепции точного земледелия являются представления о существовании неоднородностей в пределах рабочего участка или одной почвенной комбинации. Для оценки и детектирования этих неоднородностей используют новейшие технологии, такие как системы глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), специальные датчики, аэрофотоснимки и снимки со спутников, а также специальные программы, разработанные для агроменеджмента. Концепция «точного земледелия» и его расширенная версия «адаптивно-ландшафтного земледелия» необходимы для оценки и детектирования земель на геосистемном уровне. Полученные данные применяют для планирования посева, расчета норм внесения удобрений и средств защиты растений, более точного предсказания урожайности и финансового планирования.

Таким целям служит разработанный Программный комплекс инвентаризации и оценки состояния геосистем Припятского Полесья (ПК ОСПГ). ПК ОСПГ представляет собой совокупность технического, специализированного программного и методического обеспечения, а также соответствующей программной документации, позволяющей оперативно получать картосхемы состояния земельных угодий с использованием мультиспектральных космических снимков высокого разрешения (в том числе в открытом доступе и распространяемых на безвозмездной основе), специальных коэффициентов, получаемых по данным дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), и специально разработанного модуля экспертной системы шаблонного типа ЭСППР, позволяющего выполнять в автоматизированном режиме экспертную оценку текущего состояния основных сельскохозяйственных культур и осуществлять комплекс мероприятий по оптимизации ведения с/х производства на ландшафтно-адаптивной основе.

Для успешной работы комплекса используются ГИС технологии – это совокупность приемов, способов и методов применения программно-технических средств обработки и передачи информации. Они включают: методы ДЗЗ, системы управления базами данных (СУБД), системы глобального позиционирования (GPS), методы анализа, интернет-технологии, системы картографирования, методы цифровой обработки изображений. Геоинформационные технологии применяются для составления тематических карт

хозяйств, таких как карты использования земель, гидрологических условий, типов и характеристик почв, агрохимических данных, текущего состояния растений, урожайности и др.

На территории пяти районов Припятского Полесья выделено 15 вариантов природных систем, дифференцированных на мезокомбинации почв в зависимости от орографических, геоморфологических и литологических условий. Типология геосистем свидетельствует, что в рассматриваемых районах общей площадью 1 525,5 тыс. га водораздельные пространства, характеризующиеся стоком поверхностных вод, занимают 628,7 тыс. га, или 41,1%, причем большую часть этой площади – 522,2 тыс. га (83,0 %) – составляют водоразделы выпуклые и плоские низкие, что объективно способствует развитию луговодческого направления в растениеводстве, обусловленного большей степенью естественного гидроморфизма почвенного покрова агроландшафтов. Геосистемная инвентаризация территории районов Припятского Полесья, выполненная по материалам в М 1: 50000, позволяет определить экологически целесообразные направления хозяйственного использования. Однако, с целью расчета экономической эффективности, требуется выполнение крупномасштабных оценок на геосистемной основе с привлечением детальных цифровых карт и данных, отражающих фактическое состояние землепользований, анализ исторических данных о почвенных условиях, урожайности и других параметрах [2].

ПК ОСПГ предоставляет пользователям функционал для ведения электронной книги истории урочищ, в которой осуществляется контроль за реализацией проекта адаптивно-ландшафтных систем земледелия и охраны почв. Это дает агрономам возможность заполнять и хранить в базе данных информацию о сортах высеваемых культур и их урожайности, освоенных системах обработки почвы, применяемых удобрениях и средствах защиты растений и т.д. для каждого урочища. В процессе разработки ПКОСПГ были выбраны пилотные хозяйства, расположение в пяти районах Припятского Полесья.

По данным государственного предприятия РУП «Белгипрозем», для каждого из пилотных хозяйств: ОАО «Валище» Пинского района, ОАО «Дворецкий» Лунинецкого района, СПК «Федорский» Столинского района, ОАО «Туровщина» Житковичского района, ОАО «Новоселки» Петриковского района был определен комплекс критериев состояния условий землепользования для характеристики, с одной стороны, структуры почвенного покрова и оценки природных условий на геосистемном принципе с использованием данных ДЗЗ, а с другой – для учета фактического состояния обрабатываемых с/х земель тестовых организаций региона Припятского Полесья. Все показатели оценивались в программной среде ГИС с привлечением узкоспециализированных алгоритмов геообработки пространственных и семантических данных. В качестве единиц природопользования использовались почвенные комбинации; по причине внутренней организации и устойчивости они представляют собой геосистемы, которые можно рассматривать как объект хранения информации о природной среде и в качестве единиц для осуществления мониторинга. Почвенная комбинация в производственном выражении представляет собой тип земель (ТЗ). В качестве методологической основы для выделения ТЗ применялся системный подход, основанный на анализе структур почвенного покрова. ТЗ выделялся на крупномасштабных и среднемасштабных картах.

Данные ДЗЗ являются наиболее доступным инструментом определения свойств поверхности для больших территорий. Однако для территорий, находящихся в условиях сельскохозяйственного освоения, задача осложняется значительной изменчивостью спектра отражения солнечной радиации в связи с деятельностью человека. Программный комплекс позволит выявить пространственные инварианты, описывающие почвенно-ландшафтные разности. Полученные разности, дополненные необходимыми полевыми исследованиями, могут быть использованы для построения тематических карт различной семантики – от выделения свойств почв и пригодности территории для конкретных культур до применимости тех или иных сельскохозяйственных технологий. При проведении иерархического факторного анализа для временных рядов ДДЗ, описываются состояния поверхности за периоды от 3-х до 30-ти лет. Это позволяет выявить влияние мелиорации на физические характеристики подстилающей поверхности (шероховатость, тепловую инерцию, влагоемкость и др.), что отражается на микроклимате и, в первую очередь, на режиме увлажненности мелиорированных территорий.

В процессе обработки данных ДЗЗ рассчитываются индексы: NDVI, TDVI и другие. Полученные индексы привязаны к наземным выбранным пилотным хозяйствам.

Наиболее универсальным и стандартизированным индексом является NDVI, который показывает наличие и состояние растительности (относительную биомассу), пригодность использования разновременных данных Landsat 8/9 для усовершенствования идентификации различных культур. Рассчитанные профили динамики индекса NDVI для каждого пикселя позволили установить, что общая точность дешифрирования достигла 84 % при использовании алгоритма «Дерево решений».

Использование разновременных изображений повышает точность классификации сельскохозяйственных культур и луговой растительности, но еще более важным является наличие съемки в оптималь-

ные сроки. Оптимальные сроки съемки отличаются от региона к региону в зависимости от климатических условий для разных сельскохозяйственных культур и различных видов сенокосов и пастбищ. Даже если оптимальный срок съемки был бы определен, по-прежнему остается проблематичным получение снимков хорошего качества (без облаков и дымки) в требуемый промежуток времени. Для решения данной проблемы был разработан способ классификации с использованием сезонных статистик по различным вегетационным индексам, рассчитанным на основании разновременных снимков и дополнительной текстурной информации.

В качестве объекта исследований были выбраны наиболее распространенные виды сельскохозяйственных культур, занимающие ежегодно более 90 % всех пахотных земель: кукуруза, озимая и яровая пшеница, рожь, озимая тритикале, озимый рапс, яровой ячмень, гречиха, многолетние и однолетние травы.

Был выполнен подбор материалов дистанционных съемок с космических летательных аппаратов Landsat 8/9 OLI TIRS и Sentinel 2A на территории полигонов в соответствии с оптимальными сроками аэрокосмосъемки растительного и почвенного покрова. Для полученных мультиспектральных снимков были выполнены процедуры предварительной обработки с использованием программного продукта ArcMap 10.8.

Использование программного комплекса оценки состояния геосистем Припятского Полесья позволит на примере пилотных хозяйств решить перечисленные проблемы, что существенно снизит затраты на выполнение наземных работ по инвентаризации геосистем и ускорит создание серии прогнозных интерактивных карт динамики растительности.

Список использованных источников

1. О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года. Изменения и дополнения: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 24 января 2025 г. № 40 (Национальный правовой... Интернет-портал Республики Беларусь, 28.01.2025, 5/54512) <C22500040>).

2. Кирюшин, В. И. Состояние и проблемы развития адаптивно-ландшафтного земледелия / В. И. Кирюшин // Земледелие. – 2021. – № 2. – С. 3–7.

APPLICATION OF AEROSPACE METHODS FOR THE NEEDS OF AGRICULTURE IN THE POLESIE REGION

M. L. Romanova, A. R. Pontus, A. N. Chervan, A. A. Yakushev

For five pilot agricultural organizations of Pripyat Polesie, using the Software Package for Inventory and Assessment of the State of Geosystems of Pripyat Polesie (SPIG), a set of criteria for the state of agricultural vegetation, land use conditions, soil cover structure and assessment of natural conditions on the geosystem principle using remote sensing data was determined.

УДК 504.064.36:631.416.8

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ

Е. А. Ростова, П. В. Качанович
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

В статье рассмотрены принципы функционирования нейронных сетей и показаны реальные перспективы их использования для выявления сложных нелинейных зависимостей между свойствами почв и подвижностью металлов. Обоснована целесообразность разработки моделей, направленных на прогнозирование содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве на основе валовых значений и прочих почвенных факторов.

Ключевые слова: нейронные сети, моделирование, машинное обучение, подвижные формы тяжелых металлов, почва, экологический мониторинг.

Развитие вычислительных технологий и методов машинного обучения в полной мере меняет подходы к научным исследованиям в области наук о Земле. Особое внимание среди современных методов занимает искусственная нейронная сеть (ИНС) – вычислительная система, архитектура и функционирование которой моделирует биологические нейронные сети, лежащие в основе работы человеческого мозга [1].

Система состоит из взаимосвязанных узлов (нейронов), организованных в слои, каждый из которых выполняет свою специфическую функцию:

1. Входной слой предназначен для приема исходных данных, например, агрохимических показателей почвы.
2. Скрытые слои, количество которых может варьироваться, выполняют основную обработку, выявляя сложные нелинейные зависимости и скрытые признаки в данных.
3. Выходной слой формирует конечный результат, например, прогнозируемое значение содержания подвижных форм тяжелых металлов (ТМ).

Нейроны обрабатывают информацию посредством передачи сигналов через взвешенные соединения – веса (рисунок). В весовых коэффициентах аккумулируются «знания» сети. Процесс обучения ИНС предполагает последовательную корректировку коэффициентов на основе обучающего набора данных. Сеть сопоставляет полученный результат с эталонными ответами, вычисляет величину ошибки и вносит изменения в веса для минимизации этой ошибки в дальнейшем.

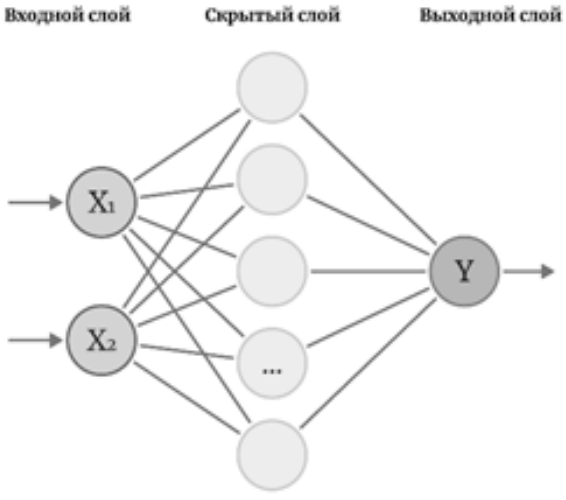


***Рисунок** – Структура нейронных сетей*

Для задач прогнозирования применяются различные архитектуры нейронных сетей, такие как многослойные персептроны (MLP) [2], рекуррентные нейронные сети (RNN), включая сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM) [3] и др.

Использование методов машинного обучения, в частности нейронных сетей, для выявления сложных нелинейных зависимостей между свойствами почв и подвижностью металлов представляет собой перспективное направление исследований. Данная задача приобретает особую значимость, поскольку содержание ТМ, являясь одним из ключевых индикаторов экологического состояния почвы, требует детального анализа для объективной оценки рисков.

Определение подвижных форм ТМ традиционными методами (в том числе экстрагированием ацетатно-аммонийным буфером [4]), требует существенных временных и материальных затрат, особенно при массовом анализе проб, к примеру, в рамках точного земледелия, что обусловливает необходимость создания более эффективных подходов к оценке биодоступности металлов в почве. Именно сложность и многофакторность процесса и представляет собой идеальную область для применения нейронных сетей.

Для объективной оценки экологических рисков необходимо учитывать, что валовые значения ТМ не всегда коррелируют с их подвижной (биодоступной) фракцией – той части общего содержания, которая доступна для усвоения живыми организмами и легко мигрирует в пищевой цепи, представляя угрозу для экосистем. Подвижность металлов определяется сложным взаимодействием физико-химических свойств почвы с внешними факторами. Выявлено четыре ключевых параметра, влияющих на уровень подвижных форм металлов: кислотность (pH), содержание органического вещества, гранулометрический состав, а также температурно-водный режим почвы [5]. Одним из важнейших факторов является значение pH. Влияя на поверхностный заряд почвенных частиц и химическое состояние металлов, кислотность определяет потенциал их адсорбции и осаждения. При pH<7 подвижность многих металлов возрастает, что обусловлено повышением их растворимости [6].

Органические вещества, содержащиеся в почве, могут образовывать с ТМ как комплексные соединения, снижающие их подвижность, так и растворимые комплексы, способствующие их миграции. Характер этого влияния зависит от состава почвенной органической компоненты и конкретного металла [7].

Следующий важный фактор – гранулометрический состав. Высокая удельная поверхность и емкость катионного обмена глин обусловливают способность к адсорбции и удержанию ионов металлов, снижающую их биодоступность [7].

На подвижность ТМ в почве оказывают влияние условия окружающей среды. Температурно-водный режим определяет скорость разложения органического вещества, активность микроорганизмов и растворимость соединений металлов, косвенно воздействуя на их мобильность. Так, увеличение температуры может способствовать росту подвижности ТМ, таких как кадмий [8], а повышенная влажность приводит к снижению концентрации металлов в почвенном растворе [9].

В настоящее время все чаще проводятся исследования применения ИНС для прогноза концентрирования металлов в почве и сопутствующих процессов. Несмотря на ограниченное число работ, посвященных непосредственно прогнозированию содержания подвижных форм на основе валовых значений ТМ, имеются сведения об опыте изысканий, затрагивающем смежные области: агроэкологию, экологический мониторинг и моделирование, гидроэкологию.

К числу подобных исследований относится моделирование накопления ТМ в растениях. В рамках данных работ для прогнозирования накопления металлов в сельскохозяйственных культурах, таких как картофель, морковь и другие овощи, применялся MLP [2]. В качестве факторов учитывались содержание ТМ в почве, коэффициент их биологического накопления и агрохимические свойства почвы (pH, P_2O_5, K_2O). Для оценки эффективности использовался показатель средней абсолютной ошибки (MAPE), значения которого варьировались в диапазоне от 0,11 % до 10,34 %, что указывает на достаточно высокую точность прогнозируемых данных. При выполнении работы выявлена проблема процесса обучения ИНС для прогнозирования накопления кадмия в клубнях картофеля и свинца в столовой свекле и моркови, связанная со сложностями учета всех антропогенных факторов их привнесения.

В исследовании Мешалкина В. П., Панарина В. М. и Масловой А. А. для разработки модели автоматизированного мониторинга загрязнения воздуха были использованы среднесуточные данные за период с 2012 по 2013 г. с трех измерительных станций, расположенных в г. Тула [10]. Входными параметрами для ИНС служили метеорологические показатели (температура, скорость ветра) и концентрация твердых частиц в атмосферном воздухе за предыдущий день. Выходным параметром являлась прогнозируемая концентрация твердых частиц ТМ. В ходе работы наилучшие результаты показал MLP. Точность моделей оценивалась через коэффициент достоверности, который для всех станций превышал 0,9, что свидетельствует о высокой точности прогнозирования. Большинство расхождений между фактическими и прогнозируемыми значениями находились в диапазоне от -10 мкг до +10 мкг. Авторы пришли к выводу, что производительность разработанных моделей является удовлетворительной.

В работе Валуева В. С. и соавторов «Создание «Цифровых двойников» в рамках цифровой трансформации экологического мониторинга» представлено моделирование содержания подвижных форм ТМ в донных отложениях водных объектов [11]. Аналогично другим исследованиям в данной работе использовалась архитектура MLP. В отличие от вышеуказанных научных публикаций, авторами не приводятся конкретные численные показатели точности. Статья носит более концептуальный характер и описывает саму структуру и алгоритм работы. Точность оценивается путем графического сравнения рядов реальных данных и рассчитанных моделью. В работе приведен пример такого графика, который демонстрирует близкое совпадение реальных и смоделированных значений.

Анализ литературных сведений указывает на повышенный интерес и активное применение нейронных сетей для прогнозирования различных аспектов, связанных с содержанием металлов в почве, включая накопление в растениях, уровни загрязнения воздуха в городских условиях и водных объектов. Эти работы демонстрируют многообещающие результаты и указывают на высокий потенциал нейронных сетей как эффективного инструмента оценки и управления состоянием почв. Несмотря на принадлежность приведенных выше работ к смежным областям, они предоставляют значительную методологическую базу и эмпирические сведения для дальнейшей разработки методики прогнозирования содержания подвижных форм металлов в почве на основе валовых значений и прочих почвенных факторов.

В дальнейшем исследования целесообразно сфокусировать на конкретных металлах и типах почв с интегрированием разнородных источников данных для разработки специализированных архитектур ИНС и последующей валидации моделей в реальных условиях.

Список использованных источников

1. Барский, А. Б. Нейронные сети: расписывание, управление, принятие решений / А. Б. Барский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.

2. Левшук, О. Н. Моделирование и прогнозирование пространственного распределения загрязнения тяжелыми металлами картофеля и овощей, выращиваемых на агроселитебных территориях / О. Н. Левшук, Т. Н. Мыслыва // Мелиорация. – 2021. – № 3 (97). – С. 85–98.

3. Кумратова, А. М. Прогнозирование сложных процессов нейронными сетями / А. М. Кумратова, К. Э. Чумаренко // Современная экономика: проблемы и решения. – 2023. – № 3 (159). – С. 27–36.

4. Методика выполнения измерений содержания металлов в жидких и твердых матрицах методом атомной абсорбционной спектрометрии : МВИ. МН 2269-2010. – Введ. 17.04.10. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2010. – 25 с.

5. Сибиркина, А. Р. Биогеохимическая оценка содержания тяжёлых металлов в сосновых борах Семипалатинского Прииртышья : дис. …канд. биол. наук : 03.02.08 / А. Р. Сибиркина. – Омск, 2014. – 496 л.

6. Wang, D. Characteristics and predictive analysis of heavy metal pollution in typical municipal solid waste landfill soil / D. Wang [et al.] // Soil and sediment contamination. – 2025. – Vol. 34. – P. 1–20.

7. McLean, J. E. Behavior of metals in soils / J. E. McLean, B. E. Bledsoe. – Washington, D.C. : U.S. Environmental Protection Agency, 1992. – 25 c.

8. Drabesch, S. Climate induced microbiome alterations increase cadmium bioavailability in agricultural soils with pH below 7 / S. Drabesch [et al.] // Communications earth & environment. – 2024. – Vol. 5 – P. 1–11.

9. Nemeth, T. Mobility of some heavy metals in soil–plant systems studied on soil monoliths / T. Nemeth [et al.]. // Wat. Sci. Tech. – 1993. – Vol. 28, № 3–5. – P. 389–398.

10. Мешалкин, В. П. Нейронные сети в автоматизированной системе мониторинга состояния окружающей среды / В. П. Мешалкин, В. М. Панарин, А. А. Маслова // Science of Europe. – 2020. – № 50. – С. 14–20.

11. Валиев, В. С. Создание «Цифровых двойников» в рамках цифровой трансформации экологического мониторинга / В. С. Валиев [и др.] // Российский журнал прикладной экологии. – 2022. – № 3(31). – С. 29–33.

NEURAL NETWORK MODELING OF HEAVY METALS MOBILE FORMS CONTENT IN SOIL

E. A. Rastova, P. V. Kachanovich

The article contains information about neural networks principles and real prospects for their use to complex nonlinear relationships identifying between soil properties and metal mobility. The feasibility of developing models aimed at predicting the content of mobile forms of heavy metals in soil based on gross values and other soil factors is substantiated.

УДК 504.45.058

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ПТИЧЬ

М. И. Струк, С. Г. Живнач, Г. М. Бокая
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Представлена оценка биогенного загрязнения реки Птичь с учетом сезонов года. Рассмотрены факторы формирования качества воды, связанные с ландшафтным строением и экологическим состоянием ее водосборного бассейна. Показаны уровни общей минерализации воды и концентрации в ней биогенных веществ. Определены приоритетные меры по снижению загрязнения.

Ключевые слова: биогенное загрязнение, эвтрофирование, водохранилище, река Птичь, рекреация, водосборный бассейн.

Введение. Река Птичь является левым притоком реки Припяти. В самом ее верховье на расстоянии 27 км от истока в 1968 г. было создано водохранилище Птичь, которое относится к основным рекреационным водоемам пригородной зоны Минска. На базе этого водохранилища организована зона массового отдыха и оздоровления городских жителей.

Рекреационное значение указанного водоема особенно высоко в силу его размещения в юго-западном направлении от города, где он является единственным на три сектора пригородной зоны – западного, юго-западного и южного. Со временем подобного рода актуалии будут повышаться в связи с созданием вокруг Минска городов-спутников. Сформированную на основе водохранилища Птичь зону отдыха планируется использовать в рекреационных целях жителями таких городов-спутников как Фаниполь и Дзержинск. В этой связи очевидной является важность обеспечения в рассматриваемом водохранилище должного качества вод, которое в решающей мере зависит от качества вод наполняющей его реки.

К числу приоритетных проблем водохранилища Птичь и реки, на которой оно построено, относится биогенное загрязнение, которое вызывает антропогенное эвтрофирование водоемов, сопровождающееся «цветением» воды, ухудшением ее качества и невозможностью рекреационного использования во время купального сезона. Указанная проблема может обостриться в будущем в связи с продолжающимся потеплением климата и повышением температуры воды, что будет стимулировать развитие процесса эвтрофирования. Основным направлением ее решения является снижение поступления в водохранилище биогенных веществ.

В ранее выполненных работах [1, 2], посвященных изучению экологического состояния водохранилища Птичь и реки, на которой оно построено, проводилась оценка качества их вод, а также организации водосборного бассейна. За 2 последних года выполнены дополнительные изыскания с отбором проб воды, которые позволяют уточнить полученные прежде оценки. Основное внимание уделено р. Птичь, воды которой оказывают определяющее влияние на качество вод водохранилища.

Цель исследования – оценка биогенного загрязнения реки Птичь с учетом сезонных особенностей. Для ее достижения решались следующие задачи:

– определение предпосылок биогенного загрязнения;
– оценка вещественного состава, интенсивности, сезонной динамики загрязнения;
– обоснование водоохранных мер.

Методы. Оценка биогенного загрязнения р. Птичь выполнена с использованием собственных фактических данных авторов, полученных в ходе полевых изысканий, проведенных в период 2009–2024 гг., с отбором водных проб по всем сезонам года и их последующим лабораторным химическим анализом. Рассмотрено содержание биогенных веществ-загрязнителей: аммонийный азот, нитриты, нитраты и фосфор фосфатов. Повышенные концентрации названных веществ способствуют развитию антропогенного эвтрофирования водоема. Оценка химического загрязнения реки этими веществами базировалась на использовании их ПДК для поверхностных водных объектов. Также для выявления опасности антропогенного эвтрофирования выполнена оценка биогенного загрязнения с применением экологических показателей качества воды [3].

Результаты. Устойчивость к загрязнению созданного на реке Птичь одноименного водохранилища определяется прежде всего его внутренними гидрологическими параметрами. Площадь водохранилища составляет 0,85 км^2, объем воды – 2,8 млн м^3. Его средняя глубина – 3,3 м, наибольшая – 6,5 м. Площадь водосбора – 143 км^2. Среднегодовой объем стока в створе плотины – 27,6 млн м^3 [4]. Период водообмена

в водохранилище составляет немногим более 1 месяца, что соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к рекреационным водоемам.

В целом, по сочетанию внутренних факторов, главным образом, небольшого объема воды, устойчивость водохранилища можно охарактеризовать как невысокую. Поэтому оно является особенно уязвимым к поступлению загрязняющих веществ, которые содержатся в наполняющих водохранилище речных водах. В свою очередь качество этих вод определяется экологическим состоянием водосборного бассейна реки.

Указанное экологическое состояние зависит от двух факторов: природно-ландшафтного строения территории водосборного бассейна и особенностей природопользования в его пределах. Первый из них определяет характер хозяйственного освоения территории и ее устойчивость к внешним воздействиям, в т.ч. загрязнению вод, второй – вид и интенсивность последних.

Бассейн водохранилища Птичь в природно-ландшафтном отношении довольно однороден, 92 % его площади приходится на ландшафт холмисто-моренно-эрозионной возвышенности с покровом лессовидных суглинков. Грунтовые воды в его пределах залегают глубоко (более 10 м) и обладают высокой естественной защищенностью от загрязнения.

Территория бассейна характеризуется возвышенным крупнохолмистым рельефом; преобладают высоты 240–280 м, на которые суммарно приходится более 60 % территории. Абсолютные высоты составляют от 211,9 м (урез воды вдхр Птичь) до 316 м (верховье Птичи у д. Голышево). Согласно карте уклонов, составленной на основании карты рельефа, на данной территории преобладают уклоны до 3º, но выделяются и участки с уклонами более 10º.

В составе покровных отложений на территории водосборного бассейна представлены лессовые отложения, имеющие наибольшее распространение, а также супеси, супеси с гравием, пески с гравием, пески. Широкое распространение лессовых отложений в сочетании с возвышенным рельефом и достаточно крутыми уклонами местности способствует активному проявлению неблагоприятных физико-геологических и инженерно-геологических процессов: плоскостного смыва, овражной эрозии, делювиального сноса, суффозии.

На преобладающих в пределах территории лессовидных суглинках формируются плодородные почвы, что создает предпосылки ее высокого сельскохозяйственного освоения. В соответствии с указанными предпосылками, рассматриваемый водосбор отличается повышенным уровнем сельскохозяйственного освоения территории. Сельскохозяйственные земли занимают здесь 2/3, а леса лишь 19 % площади. В структуре видов земель, непосредственно прилегающих к реке, доля лесных земель еще ниже и составляет 11 %.

С высоким уровнем сельскохозяйственного использования территории согласуется повышенная плотность сельских поселений (2 поселения на 10 км^2), которая в 2 раза выше среднего для Беларуси показателя. Для сельских поселений, расположенных на водосборной территории, характерно приречное размещение. Из имеющихся 28 таких поселений 22 примыкают к р. Птичь, вследствие чего ее берега оказались застроены на 34 % своей длины (рисунок 1).

Основным источником загрязняющего влияния на речные воды Птичи выступают сельскохозяйственные земли, сельские поселения и дороги. Вследствие его ландшафтных особенностей сельскохозяйственные земли (в первую очередь пахотные) подвержены активной эрозионной трансформации. Рассчитанные данные по площадному смыву почв на данной территории показали, что он является высоким и составляет 7 т/га, что создает предпосылки загрязнения и заиления рассматриваемого водоема.

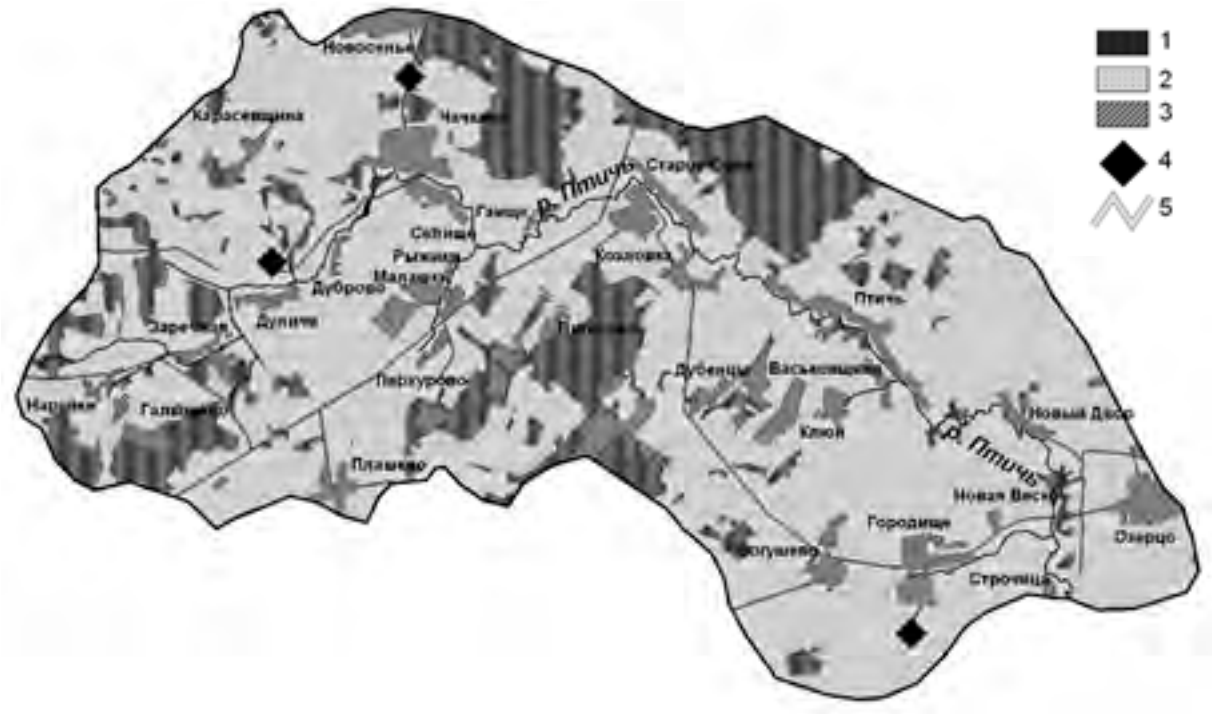


Рисунок 1 *– Виды земель в бассейне реки Птичи выше водохранилища Птичь. Виды земель: 1 – лесные, 2 – сельскохозяйственные, 3 – селитебные, 4 – животноводческие фермы, 5 – автомобильные дороги*

В результате проведенных гидрохимических исследований установлено, что средняя общая минерализация вод р. Птичь составила 384,5 мг/дм^3, что в 1,2 раза выше, чем минерализация вод самого водохранилища. Наиболее высокой среднегодовой минерализацией вода реки характеризуется зимой – 437,3 мг/дм^3. Самое низкое значение минерализации отмечено в летний период – 339,4 мг/дм^3. В целом за весь период наблюдений общая минерализация изменялось от 223,7 мг/дм^3 (лето) до 472,8 мг/дм^3 (зима). Водоем относится к гидрокарбонатно-кальциевому классу.

Выполненные анализы проб показали, что основное влияние на загрязнение водоема оказывают биогенные вещества – соединения азота и фосфора. По сравнению с самим водохранилищем содержание нитратов, нитритов, фосфора фосфатов в реке выше водохранилища больше в 1,3; 2 и 2,1 раза, что свидетельствует о решающем влиянии водосборной территории на поступление в него этих веществ.

За рассмотренный период наблюдений периодически фиксировались превышения ПДК по азоту аммонийному, азоту нитритному, фосфору фосфатов. Максимальные их значения по первому из них составили 2,1, второму – 21,2 и по третьему – 4,0 раза. По среднегодовым значениям имеются превышения ПДК по нитритам и фосфору фосфатов (таблица 1). По сезонам года для нитратов и аммонийного азота характерны максимумы содержания зимой, для нитритов и фосфора фосфатов – летом, что способствует активизации эвтрофирования в летний сезон.

Доля всех водных проб, в которых фиксировались превышения ПДК хотя бы по одному из указанных веществ, составила 83 % от их общего количества (таблица 2). Данная величина свидетельствует о том, что биогенное загрязнение вод реки и водохранилища носит регулярный характер. В вещественном отношении основную роль играет фосфор фосфатов, по которому отмечены повышенные концентрации практически в половине проб, далее следуют соединения азота нитритного и азота аммонийного.

Таблица 1 *– Среднее содержание биогенных веществ в воде реки Птичи, мг/дм³**

Показатели	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	ПДК
Общая минерализация	437,3	390,4	339,4	377,0	384,5	1000
Нитраты	16,7	7,4	4,1	14,7	10,7	40
Нитриты	0,057	**0,171**	**0,273**	0,040	**0,135**	0,08
Фосфор фосфатов	0,043	0,035	**0,128**	**0,082**	**0,072**	0,066
Азот аммонийный	**0,44**	0,10	0,13	0,06	0,18	0,39

Примечание: Полужирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК.

Таблица 2 *– Частота превышения ПДК биогенных элементов в воде реки Птичи, %*

Сезон	Число проб	Частота превышения ПДК, %			
		Азот нитритный	Азот аммонийный	Фосфор фосфатов	Всего
Зима	4	25	50	25	100
Весна	6	17	–	17	33
Лето	9	29	–	71	89
Осень	4	–	–	75	75
Всего	**23**	**17**	**9**	**48**	**83**

В сезонном распределении случаев биогенного загрязнения речного створа выше водохранилища большая их часть приходится на зиму – 100 % от общего числа, а также на лето – 89 %. Высокое значение в зимний период согласуется с низкой интенсивностью биопродукционных процессов в водоеме, в летний – характеризует подверженность водоема эвтрофированию.

Для определения подверженности реки эвтрофированию использован экологический критерий, устанавливающий пороговые значения, при соблюдении которых процесс эвтрофирования не получает развития. Сопоставление указанных значений с показателями концентрации биогенных веществ в реке Птичи показало, что в водах реки среднегодовое содержание азота нитритного и нитратного в 8 раз превышает значения, установленные для чистых вод (рисунок 2а). Особенностью летнего сезона является более высокое в сравнении со среднегодовым содержание нитритного азота, превышающее норматив в 160 раз. Кроме того, летом отмечаются высокие концентрации фосфора фосфатов и азота нитратного (рисунок 2б), что свидетельствуют о высокой подверженности водоема антропогенному эвтрофированию.

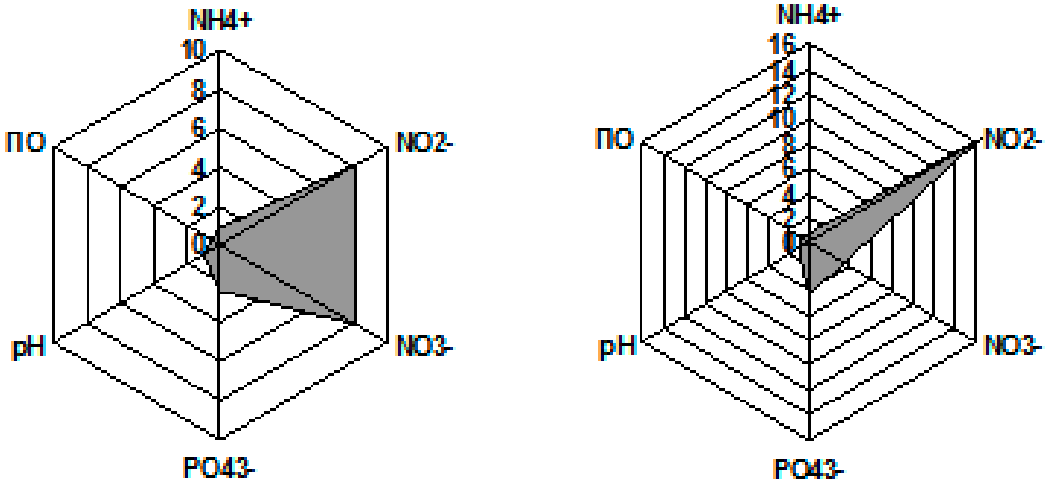


Рисунок 2 *– Превышение экологических норм концентрации биогенных веществ в воде реки Птичи: а) среднегодовые значения; б) в летний период (ПО – перманганатная окисляемость)*

Заключение. Воды реки Птичь регулярно подвергаются биогенному загрязнению, основным источником которого служит поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий водосборного бассейна, занимающих более половины его площади. Принимая во внимание повышенную эрозионную опасность территории, приоритетной водоохраной мерой в его пределах должно выступить применение противоэрозионных способов обработки почв в сочетании с созданием элементов водоохранной инфраструктуры в ложбинах стока и соблюдением режимов водоохранных зон.

Для снижения поступления биогенных веществ в реку необходимо совершенствование технологий применения удобрений на водосборе с тем, чтобы обеспечить их максимальное усвоение растениями.

Территория бассейна характеризуется высокой степенью застроенности сельскими поселениями с преимущественно приречным их размещением, в силу чего угрозу загрязнения речных вод создает также поверхностный смыв с их территории. Для ее минимизации необходимо обеспечение надлежащего санитарного состояния сельских поселений.

Список использованных источников

1. Струк, М. И. Эколого-географические критерии организации природного каркаса водосборного бассейна водохранилища Птичь / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Географические аспекты устойчивого развития регионов [Электронный ресурс]: IV Международная научно-практическая конференция (Гомель, 27–29 мая 2021 г.). – Режим доступа : http://conference.gsu.by. – Дата доступа : 1.07.2025.

2. Живнач, С. Г. Оценка экологического состояния водохранилища Птичь / С. Г. Живнач // Молодежь в науке-2017: сб. материалов Междунар. конф. молодых ученых, Минск, 30 октября–2 ноября 2017 г.: в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Ч. 2. Гуманитарные, медицинские, физико математические, физико-технические, химические науки. – Минск, 2018. – С. 349–354.

3. Жукинский, В. Н. Методологические основы экологической классификации качества поверхностных вод суши / В. Н. Жукинский, О. П. Оксиюк // Гидробиологический журнал. – Т. 19. – 1983. – № 2. – С. 59–67.

4. Блакітны скарб Беларусі: рэкі, азеры, вадасховішчы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў. – Мінск, 2007. – 478 с.

SEASONAL FEATURES OF BIOGENIC POLLUTION OF THE PTICH RIVER

M. I. Struk, S. G. Zhivnach, G. M. Bokaya

The assessment of biogenic pollution of the Ptich River is presented, taking into account the seasons of the year. The factors of water quality formation related to the landscape structure and ecological state of its catchment area are considered. The levels of general mineralization of water and concentration of biogenic substances in it are shown. Priority measures for pollution reduction are defined.

УДК 691.544

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОСТОЙКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ КАУСТИЧЕСКОГО ДОЛОМИТА

Н. С. Ступень
Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

В статье представлены результаты исследований, направленных на получение композиционных магнезиальных вяжущих на основе каустического доломита и вторичных ресурсов микрокремнезема и фосфогипса. Выявлено, что модификация магнезиального вяжущего микрокремнеземом (15 %) и фосфогипсом (20 %) позволяет получить водостойкий композиционный материал. Использование в составе формовочных смесей вторичных ресурсов должно способствовать снижению себестоимости изделий.

Ключевые слова: магнезиальные композиты, каустический доломит, вторичные ресурсы, микрокремнезем, фосфогипс.

Введение. В настоящее время в строительной индустрии вопросы о долговечности и экологичности строительных материалов и конструкций являются основными. Современный строительный материал должен быть универсальным, экологичным, обладать одновременно высокими конструктивными способностями и теплоизолирующими свойствами, негорючим, долговечным, влагостойким и декоративным. Кроме этого, одной из задач является расширение сырьевой базы строительных материалов за счет использования отходов промышленных производств. Рациональное решение проблемы промышленных отходов зависит от их химического состава, агрегатного состояния, количества, технологических особенностей и т.д.

Одним из перспективным направлением расширения базы строительных материалов с использованием вторичных ресурсов является производство композитов на основе каустического доломита.

Каустический доломит – продукт тонкого помола обожженного природного доломита при температуре 650–720 °С. Полуобожженный доломит содержит в своем составе 20–28 % активного оксида магния и инертное вещество в количестве 60–70 % $CaCO_3$.

Доломит, обожженный при температуре выше 900 ˚С, можно затворять водой и применять для приготовления растворов для кладки и штукатурки.

Для приготовления вяжущего полуобжиговый доломит, как и каустический магнезит, затворяют растворами солей электролитов: $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $FeSO_4 \cdot 5H_2O$.

Многочисленные исследования позволили установить возможность использования отходов ферросплавного производства (микрокремнезем) в качестве гидравлической добавки в вяжущие вещества. Нами были разработаны составы доломитовых литых композитов на основе каустического доломита, модифицированного микрокремнеземом (15–20 % по массе) [1]. Также высокими показателями водостойкости (низкими показателями водопоглощения и высокими показателями коэффициента размягчения) обладают образцы, изготовленные из смесей, содержащих 20–25 % стеклобоя и 20–25 % шлака. Водопоглощение образцов на основе композиционного вяжущего оптимального состава уменьшается примерно в 1,7 раз, а коэффициент размягчения увеличивается примерно в 1,5 раза по сравнению с доломитовым вяжущим [2]. На основе этих исследований можно предположить, что, используя гидравлическую добавку микрокремнезем, возможно ввести в композиционное вяжущее отходы различных производств, например фосфогипс.

Фосфогипс – вторичное сырье, которое образуется при производстве фосфорной кислоты и относится к четвертому классу опасности, поэтому его применение несколько ограничено. Строительная индустрия является одной из основных отраслей, использующих этот отход. Он может использоваться вместо природного гипса. Также фосфогипс целесообразно использовать при производстве гипсовых вяжущих и изделий на их основе, в цементной промышленности [3]. Из фосфогипса можно делать цементные смеси [4]. Фосфогипс, прежде чем добавлять к строительным смесям, необходимо прокаливать. Лучшие результаты достигаются при смешении фосфогипса, гашёной извести и золы [5]. Также цементные вяжущие могут быть получены путем смешивания летучей золы, фосфогипсового гипса, фторгипса, гашеной извести, кальцинированной глины, пуццолана и химического активатора. Такие композиционные цементные вяжущие идеально подходят для использования в кладочных растворах и для изготовления бетона [6].

Цель исследований – разработка водостойких составов композиционных магнезиальных вяжущих на основе каустического доломита с использованием вторичного сырья микрокремнезема и фосфогипса.

Методика и объекты исследования. Для исследований использовали полуобжиговый доломит месторождения Руба (Витебская область, Республика Беларусь). В качестве модифицирующих добавок применяли микрокремнезем (отход ферросплавного производства) с массовой долей активного кремнезема не менее 85 % и фосфогипс (отход производства фосфорной кислоты). Химический усредненный состав фосфогипса, используемого для исследований, следующий: CaO – 31,8 %, SO_3 – 44,6 %, Al_2O_3 – 0,42 %, Fe_2O_3 – 0,33 %, P_2O_5 – 1,44 %, SiO_2 – 0,77 %, Me_2O – 0,1 %, РЗЭ – 0,58 %, H_2O – 19,6 %. В качестве затворителя использовали раствор природного бишофита ($MgCl_2 \cdot 6\ H_2O$ с массовой долей $MgCl_2$ 15 % (плотность 1,28 г/см^3).

В экспериментальных исследованиях использованы физико-химические методы исследования, определение показателей пористости образцов осуществляли по кинетике водопоглощения.

Исследование свойств композиционных вяжущих проводили на образцах-кубиках 2х2х2 см, изготовленных из теста нормальной густоты литьевым способом. Добавки вводили на стадии помола полуобожженого доломита. Исследуемые образцы твердели в воздушно-сухих условиях (28 суток). Перед испытанием образцы высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 105±2 °С. Содержание микрокремнезема и фосфогипса изменяли в диапазоне 0–20 % по массе.

Результаты и их обсуждение. Несмотря на ряд преимуществ магнезиальных вяжущих на основе каустического магнезита и каустического доломита по сравнению с портландцементом, следует учесть, что изделия на их основе обладают низкой водостойкостью и характеризуются появлением высолов на поверхности. Поэтому, разрабатывая составы композитов на основе каустического доломита, необходимо введение добавки с гидравлическими свойствами, которая будет повышать водостойкость изделий. В наших исследованиях такую функцию выполняет микрокремнезем. Ранее было установлено, что введение микрокремнезема (15–20 %) влияет на состав продуктов твердения цементного камня [1]. В результате образуются труднорастворимые гидроксосиликаты магния, которые обеспечивают повышение водостойкости.

В таблице приведены результаты исследований влияния комплексной модифицирующей добавки, состоящей из микрокремнезема и фосфогипса, на водостойкость образцов из магнезиальных вяжущих на основе каустического доломита.

Таблица *– Зависимость коэффициента размягчения и водопоглощения образцов от содержания стеклобоя и шлама (размер частиц 10^{-3} мм)*

№ состава	Содержание микрокремнезема, %	Содержание фосфогипса, %	Коэффициент размягчения (Кр)	Водопоглощение по массе (W), %
1	0	0	0,55	15,5
2	10	0	0,60	10,5
3	10	10	0,61	15,0
4	10	15	0,63	14,7
5	10	20	0,70	12,9
6	15	0	0,75	9,3
7	15	5	0,75	9,5
8	15	10	0,77	8,9
9	15	15	0,77	9,0
10	15	20	0,80	8,6
11	20	0	0,78	9,0
12	20	10	0,78	8,9
13	20	15	0,79	8,9
14	20	20	0,79	8,9

Анализ экспериментальных данных показал, что наилучшие результаты по водостойкости демонстрировали образцы состава 10 (15 % микрокремнезема и 20 % фосфогипса). Водопоглощение образцов на основе композиционного вяжущего оптимального состава уменьшалось примерно в 1,8 раз, а коэффициент размягчения увеличивался примерно в 1,46 раза по сравнению с образцами состава 1 (каустический доломит без добавок).

Физико-химическими методами исследований было установлено, что фосфогипс не дает новообразований с каустическим доломитом и микрокремнеземом. Фазовый и минералогический состав продуктов твердения образцов составов 6 (15 % микрокремнезема без фосфогипса) и 10 (15 % микрокремнезема и 20 % фосфогипса) практически одинаковы. В затвердевшем цементном камне присутствуют гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроалюмосиликаты магния и кальция, а также их комплексы с хлоридом магния. Эти новообразования составляют коагуляционную и конденсационную структуры, незначительная кристал-

лическая фаза представлена минералом бруситом ($Mg(OH)_2$). Фосфогипс, по нашему мнению, в данном случае способствует образованию более плотной структуры, за счет чего уменьшается общая пористость цементного камня и уменьшается водопоглощение.

Заключение. В результате исследований было установлено, что замена части магнезиального вяжущего вещества на основе каустического доломита модифицирующим наполнителем из тонкодисперсного кремнезема и фосфогипса повышает водостойкость. Установлено, что наиболее высокой водостойкостью обладают композиты, содержащие 15 % микрокремнезема и 20 % фосфогипса. Физико-химическими методами исследования установлено, что введение микрокремнезема изменяет химический и фазовый состав продуктов твердения магнезиального вяжущего, а фосфогипс является наполнителем и улучшат поровую структуру затвердевшего цементного камня. Использование в составе формовочных смесей вторичных ресурсов может снизить себестоимость изделий из каустического доломита и способствовать утилизации отходов производств.

Список использованных источников

1. Ступень, Н. С. Стекломагнезиальные композиции: экологические аспекты / Н. С. Ступень // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац / Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі ; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2018. – Вып. 11. – С. 98–100.

2. Ступень, Н. С. Использование отходов строительства для получения мелкозернистых бетонов / Н. С. Ступень // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання : зб. навук. прац / Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі ; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2024. – С. 237–239.

3. Яшин, С. О. Технология и битумоминеральных композиций: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 ; 29.10.2013 / С. О. Яшин ; Ростов/н/Дону, 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : ttp://www.dissercat.com/content/tekhnologiya–i–svoistva-modifitsirovannykh-fosfogipsom-bi-tumomineralnykh-kompozitsii. – Дата обращения : 25.07.2025.

4. Касимов, А. М. Комплексная переработка фосфогипса из отвалов и отходов текущего производства минеральных удобрений ОАО «Ровноазот» / А. М. Касимов, Е. Е. Решта // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 4. – С. 123–127.

5. Degirmenci, N. Application of phosphogypsum in soil stabilization / N. Degirmenci, A Okucu, A. Turabi // Building and Environment. – 2007. – № 42. – С. 3393–3398.

6. Değirmenci, N. Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in anufacturing of building products // Construction and Building Materials. – 2008. – № 22. – С. 1857–1862.

USING SECONDARY RESOURCES TO OBTAIN WATER-RESISTANT BUILDING COMPOSITES BASED ON CAUSTIC DOLOMITE

N. S. Stupen

The article presents the results of studies aimed at obtaining composite magnesia binders based on caustic dolomite and secondary resources of microsilica and phosphogypsum. It was found that modification of magnesia binder with microsilica (15%) and phosphogypsum (20%) allows obtaining a water-resistant composite material. The use of secondary resources in the composition of molding mixtures should help reduce the cost of products.

УДК 551.586

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫДЕЛЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

М. А. Хитриков, В. И. Мельник, Ю. А. Бровка, И. В. Буяков
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

В качестве физико-географической основы предложены группы физико-географических районов (мезоклиматические округа) по схожести мезо- и агроклиматических условий для выделения новых агроклиматических районов, а также принципы определения их границ. Выделены агроклиматические районы в предложенных ранее агроклиматических областях и подобластях Беларуси.

Ключевые слова: агроклиматические районы, агроклиматическое районирование, физико-географическое районирование, изменение климата.

Введение. В условиях изменяющегося климата актуальной становится задача адаптации схемы агроклиматического районирования к наблюдаемым условиям. Результаты ранее проведенных исследований [1–3] показали смещение границ агроклиматических областей на север, продолжающееся в настоящее время. В них показаны обновлённые схемы агроклиматического районирования Беларуси. При наблюдаемых тенденциях повышения значений сумм температур воздуха выше 10 °С на 100–150 °С за десятилетие [4] происходит сдвиг границ агроклиматических областей примерно на 120–200 км за аналогичный период [1, 5], вследствие чего остается необходимость в регулярном пересмотре существующей схемы агроклиматического районирования. Однако агроклиматические районы выделяются на основании однородности физико-географических условий, и в этой связи возникает необходимость в разработке физико-географического базиса со стабильными границами, который мог бы использоваться на следующих этапах работ по агроклиматическому районированию.

Цели и задачи. Использованные методы. Целью работы является разработка базисной схемы выделения агроклиматических районов с устойчивыми границами. Для этого необходимо решение задачи группирования физико-географических районов с близкими агроклиматическими условиями, а также особенностями рельефа, почвенного и растительного покрова на основе сравнительно-географического метода.

А. Х. Шкляр при выделении агроклиматических районов использовал схожий подход: группировка близких по своим условиям физико-географических районов, выделенных В. А. Дементьевым [5]. С 2001 г. для Беларуси действует обновлённая схема физико-географического районирования, разработанная Г. И. Марцинкевич и др. [6], включающая в себя 5 провинций, 14 округов и 49 районов. В выполненных ранее работах по агроклиматическому районированию основное внимание уделялось построению новых границ агроклиматических областей и оценке условий произрастания традиционных и новых более теплолюбивых культур. Между тем выделение агроклиматических районов остается актуальной задачей, ввиду имеющихся различий отдельных территорий по условиям рельефа, почвенному покрову, растительности в пределах выделенных областей и подобластей, что создает особенности мезо- и агроклиматических условий рассматриваемых территорий.

В настоящей работе проведено группирование физико-географических районов действующей схемы физико-географического районирования [6], которая была положена в основу выделения агроклиматических районов с учетом мезо- и агроклиматических условий.

Результаты и заключение. На основе общности генезиса и характера рельефа, его абсолютной высоты, лесистости территории, особенностей почвенного покрова 49 физико-географических районов, выделенных Г. И. Марцинкевич и др. [6], были объединены в 19 групп со схожими мезо- и агроклиматическими условиями. Они представлены на рисунке 1. Эти группы районов также можно назвать мезоклиматическими округами, и в ряде случаев они совпадают с физико-географическими округами, выделенными Г. И. Марцинкевич и др. Однако главным фактором группировки физико-географических районов в данной работе было подобие их климатических условий с учетом особенностей рельефа, почвенного и растительного покрова, поэтому мезоклиматические округа могут включать в себя районы из разных физико-географических округов и провинций.

Брестско-Дрогичинская, Припятская, Мозырская и Приднепровская группы соответствуют физико-географическим округам Брестское, Припятское, Мозырское и Гомельское Полесье. Чечерская равнина составляет отдельную группу, так как относительно обособлена и находится южнее других районов округа

Восточное Предполесье. Восточно-Белорусская провинция подразделяется на две группы: Оршанско-Горецкую, которую составляют возвышенности с более рассеченным рельефом, и Могилёвско-Костюковичскую, с волнистым рельефом и меньшей высотой над уровнем моря. Березинскую группу составляют все районы физико-географического округа Восточное Предполесье, кроме Чечерской равнины, благодаря подобию характера рельефа.



Рисунок 1 *– Группы физико-географических районов со схожими мезо- и агроклиматическими условиями (мезоклиматические округа): 1 – Свенцянско-Браславская, 2 – Полоцкая, 3 – Городокско-Витебская, 4 – Лучосско-Суражская, 5 – Нарочанско-Вилейская, 6 – Борисовско-Ушачская, 7 – Оршанско-Горецкая, 8 – Понеманская, 9 – Минско-Ошмянская, 10 – Березинская, 11 – Могилёвско-Костюковичская, 12 – Пружанско-Волковысская, 13 – Новогрудская, 14 – Барановичско-Слуцкая, 15 – Чечерская, 16 – Брестско-Дрогичинская, 17 – Припятская, 18 – Мозырская, 19 – Приднепровская*

Барановичско-Слуцкую группу составляют одноименные равнины физико-географического округа Западное Предполесье, а также Копыльская гряда, входящая в Западно-Белорусскую провинцию. Несмотря на то, что эти три физико-географических района входят в разные провинции, разность характера рельефа, абсолютной высоты и особенностей почвенно-растительного покрова между ними относительно невелика, и поэтому представляется возможным объединение их в одну группу по схожести мезоклимата. Аналогичное можно говорить о Пружанско-Волковысской группе, в которую входят Пружанская равнина, Волковысская возвышенность и Слонимская возвышенная равнина. Новогрудская возвышенность также составляет отдельную группу, так как мезо- и агроклиматические условия в данном районе сильно отлича-

ются от соседних. Понеманская группа соответствует физико-географическому округу Понеманье, а также большей части Гродненской возвышенности, схожей по агроклиматическим условиям Понеманье. Минско-Ошмянской группе соответствуют одноименные возвышенности. Нарочанско-Вилейская группа образована одноименными низинами – несмотря на то, что они принадлежат разным провинциям, их объединяет схожесть характера рельефа и почвенно-растительного покрова. Полоцкая группа соответствует физико-географическому округу Подвинье. Лучосско-Суражская группа образована одноименными низинами, а Витебско-Городокская – одноименными возвышенностями. Чашникская равнина, Ушачско-Лепельская возвышенность, Верхнеберезинская низина и Борисовская возвышенная равнина составляют Борисовско-Ушачскую группу. Объединение этих разных по генезису рельефа районов возможно из-за относительно небольшой разности в высотах и почвенно-растительном покрове, благодаря чему особенности мезо- и агроклиматических условий здесь весьма схожи. Свенцянско-Браславскую группу образуют соответствующие возвышенности; их объединение возможно на основании близости генезиса их рельефа.

Используя выделенные мезоклиматические округа (группы физико-географических районов) как основу, актуальные карты агроклиматического районирования получаются путём наложения существующих границ агроклиматических областей и подобластей на них. В случае выраженного несовпадения границ агроклиматических областей и подобластей с границами мезоклиматических округов необходимо руководствоваться следующими принципами:

1. Если полученные границы агроклиматических областей и подобластей делят мезоклиматический округ на части, сильно отличающиеся по размеру, то большая часть выделяется в отдельный агроклиматический район, а меньшие части разделяются между соседними районами.

2. Если полученные границы агроклиматических областей и подобластей делят мезоклиматический округ на близкие по размеру части, а сам округ достаточно велик (Припятский, Приднепровский, Березинский и др.), то каждая из частей составляет отдельный агроклиматический район.

3. Если полученные границы агроклиматических областей и подобластей делят небольшой по площади мезоклиматический округ (Оршанско-Горецкий, Мозырский, Чечерский и др.) на равные части, а разность в характере и генезисе рельефа между данным округом и соседними не столь разительна, то вся территория этого округа делится и входит в состав соседних агроклиматических районов.

Выделенные 22 агроклиматических района представлены на рисунке 2 с учетом границ агроклиматических областей и подобластей, показанных в опубликованных ранее работах [2].

Необходимо отметить, что при выделении агроклиматических районов были сделаны два исключения из ранее приведённых принципов. Первое исключение – Свенцянско-Плещеницкий и Браславско-Освейский районы. В настоящее время граница между Центральной и Северной областями проходит через Минскую возвышенность, и её северная треть находится в Северной области. Поэтому в данном случае было принято решение придерживаться схемы агроклиматического районирования А. Х. Шкляра, согласно которой Ошмянская, Минская и Свенцянская возвышенности составляют один агроклиматический район [5], а Браславская возвышенность выделялась в отдельный район. В настоящее время граница агроклиматических областей делит Ошмянско-Минско-Свенцянский район, выделенный А. Х. Шкляром, на две примерно равные части, поэтому он был разделён на два новых района. Другое исключение – Березинский мезоклиматический округ. Через него проходит граница между Западной и Восточной подобластями Центральной области, но при этом он составляет единый Березинский агроклиматический район. Несмотря на то, что западная часть Березинского округа крупнее восточной, обе части достаточно велики, чтобы быть выделены в качестве отдельного агроклиматического района. Однако ввиду близкого расположения станций Бобруйск и Кличев от границы подобластей большая континентальность климата, являющаяся характерной особенностью Восточных подобластей, на них не проявляется.

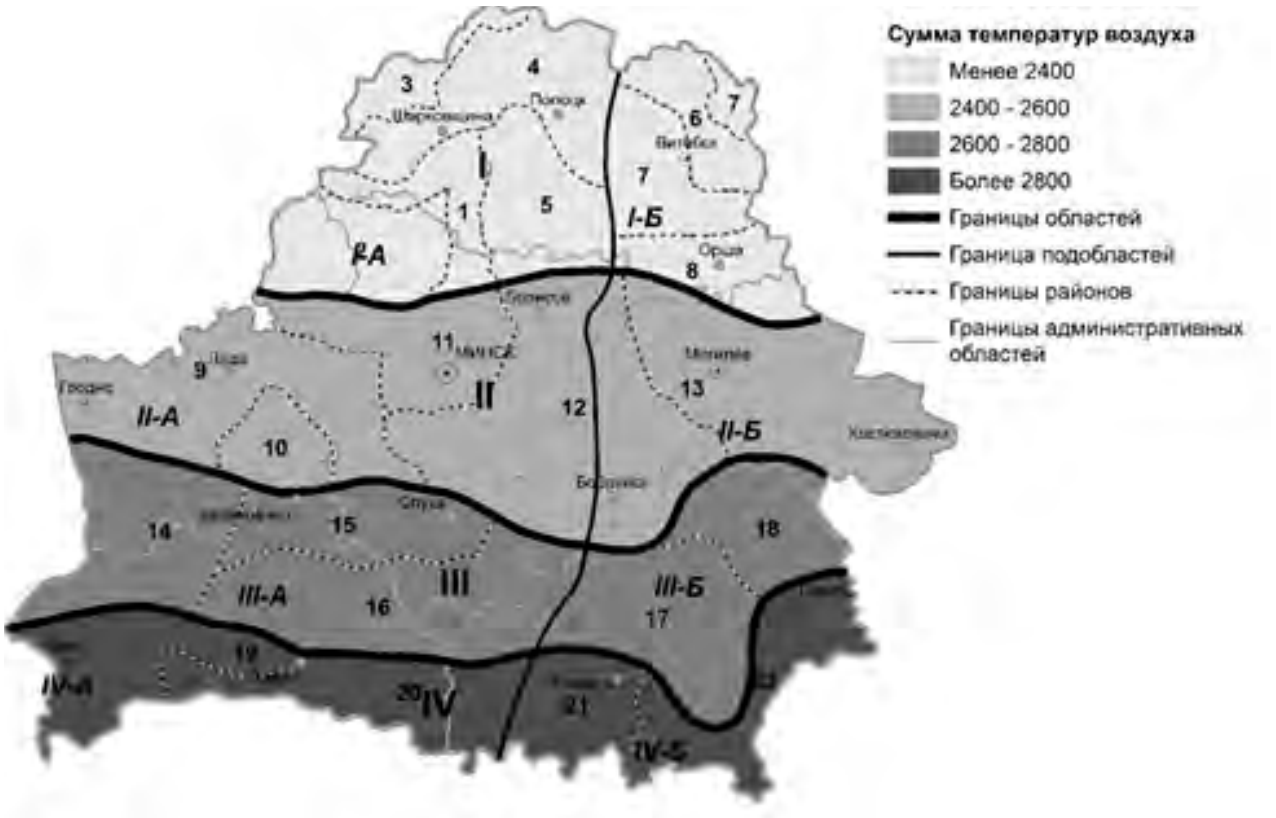


***Рисунок 2** – Действующая схема агроклиматического районирования Беларуси.*
Здесь: I – Северная, II – Центральная, III – Южная, IV – Новая агроклиматическая области;
I-А, II-А, III-А, IV-А – Западные подобласти агроклиматических областей,
I-Б, II-Б III-Б, IV-Б – Восточные подобласти агроклиматических областей;
1 – Свенцянско-Плещеницкий, 2 – Нарочанско-Вилейский, 3 – Браславско-Освейский,
4 – Полоцкий, 5 – Ушачско-Лепельский, 6 – Витебско-Городокский,
7 – Суражско-Лучосско-Шумилинский, 8 – Оршанско-Горецкий, 9 – Неманский,
10 – Новогрудский, 11 – Минско-Ошмянский, 12 – Березинский, 13 – Могилёвско-Костюковичский,
14 – Пружанско-Волковысский, 15 – Барановичско-Слуцкий, 16 – Ивацевичско-Житковичский,
17 – Василевичско-Брагинский, 18 – Жлобинско-Чечерский, 19 – Брестско-Малоритский,
20 – Пинско-Столинский, 21 – Мозырско-Ельский,
22 – Гомельско-Комаринский агроклиматические районы.

В дальнейшем выделенные группы физико-географических районов (мезоклиматические округа) станут основой для обоснованного выделения границ агроклиматических районов при проведении нового агроклиматического районирования в условиях изменения климата.

Список использованных источников

1. Мельник, В. И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси : автореф. дис. … канд. геогр. наук : 25.00.23 / В. И. Мельник ; Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2004. – 22 с.

2. Мельник, В. И. Новое агроклиматическое районирование и оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за 2000–2022 гг. / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – 2025. – № 1. – С. 5–21.

3. Мельник, В. И. Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период 1989–2015 гг. / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – Минск. – 2018. – № 2. – С. 88–101.

4. Хитриков, М. А. Оценка изменений и прогноз биоклиматического потенциала территории Беларуси : автореф. дис. … канд. геогр. наук : 25.03.08 / М. А. Хитриков ; Инст. природопользования НАН Беларуси. – Минск, 2021. – 24 с.

5. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. – Минск : УП «Энциклопедикс», 2020. – 264 с.

6. Шкляр, А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и их использование в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. – Минск : Выш. шк., 1973. – 430 с.

7. Марцинкевич, Г. И. Физико-географическое районирование Беларуси в европейской десятичной системе районирования / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2. Химия. Биология. География. – 2001. – № 1. – С. 85–90.

METHODOLOGICAL BASES OF IDENTIFICATION OF ARGOCLIMATIC DISTRICTS

M. A. Khitrykau, V. I. Melnik, Yu. A. Brovka, I. V. Buyakov

A grouping of physiographic districts by similarity of meso- and agroclimatic conditions withing them (mesoclimatic regions) is proposed as a physiographic basis for agroclimatic zoning, as well as the principles of action in case of mismatch of boundaries of agroclimatic zones with the boundaries of the mesoclimatic regions. Territory of Belarus was divided into 19 mesoclimatic regions, and using them as a basic current scheme of agroclimatic zones and subzones was complemented by 22 new agroclimatic districts.

УДК 504.53.054(476)

ПРИОРИТЕТНЫЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ГОРОДОВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

В. С. Хомич[1], В. В. Парфенов[2]

[1]Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[2]ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», г. Минск, Беларусь

Представлен анализ загрязнения почв в городах Белорусского Полесья по результатам наблюдений в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (НСМОС) в 2020–2024 гг. Даны оценки загрязнения почв с использованием различных геохимических коэффициентов. Приведено ранжирование городов по напряженности экологической ситуации обусловленной загрязнением почв.

Ключевые слова: загрязнение почвы, фон, коэффициент концентрации, доля загрязненных почв в городе, ранжирование городов.

Введение. Несмотря на принимаемые меры на страновом и местном уровнях по снижению поступления загрязняющих веществ в окружающую среду проблема химического загрязнения почв в городах Белорусского Полесья продолжает оставаться актуальной [1–4 и др.].

Цель настоящей статьи – провести сравнительный анализ загрязненности почв в городах Белорусского Полесья, ранжировать города по степени загрязнения почв, определить приоритетные загрязняющие вещества, требующие первостепенного внимания.

Материалы и методы исследований. Состояние городских почв чаще всего оценивается по результатам научных исследований, геоэкологических изысканий и мониторинга земель, проводимого в составе НСМОС. В Полесском регионе наблюдения за химическим загрязнением земель в рамках НСМОС осуществляются на территории 11 городов, в т. ч. 5 городов в Брестской области (Белоозерск, Брест, Кобрин, Лунинец и Пинск) и 6 городов в Гомельской (Гомель, Жлобин, Калинковичи, Мозырь, Речица и Светлогорск) [4]. Для полноты картины и сопоставления данное исследование распространялось также на гг. Барановичи и Рогачев, расположенные соответственно в Брестской и Гомельской областях за пределами Полесского региона.

При проведении мониторинга почвенные пробы в городах отбираются на постоянных пунктах наблюдений с периодичностью 1 раз в 5 лет. В пробах почв определяется концентрация тяжелых металлов (валовые формы), мышьяка, сульфатов, нитратов, хлоридов, нефтепродуктов, бензо(а)пирена, полихлорированных бифенилов (ПХБ) и показатель pH [5]. О накоплении/рассеивании химических веществ в почвах городов судят по значениям коэффициентов концентрации – отношению замеренных концентраций химических веществ в городских почвах к содержанию химических веществ в почвах на пунктах фонового мониторинга. Сеть фонового мониторинга на территории Брестской и Гомельской областей включает 30 пунктов наблюдений, равномерно распределенных по их территории на удалении от источников загрязнения и расположенных, в основном, в луговых биогеоценозах с ненарушенным почвенным покровом.

Для сопоставления загрязненности почв городов на основании коэффициентов концентраций рассчитан комплексный (суммарный) показатель загрязнения (Zc) для каждого города: $Zc = \Sigma Kc - (n - 1)$. В качестве порога аномальности содержания элемента принято значение, соответствующее Кс = 1,5 [6,7].

Оценка степени загрязнения почвы осуществлялась путем сопоставления полученных данных с гигиеническими нормативами (ПДК/ОДК) [8].

Результаты. Анализ результатов мониторинга почв за последний тур наблюдений (2020–2024 гг.) показал, что средние концентрации нефтепродуктов и цинка в почвах городов выше фоновых значений соответственно в 2,1–5,8 и 2,1–6,6 раз, что свидетельствует об их накоплении в почвах всех обследованных городов (таблица 1). Согласно значениям коэффициентов концентрации, в почвах большинства городов накапливаются также свинец (кроме Белоозерска) и медь (кроме Светлогорска, Рогачева и Калинковичей). Накопление никеля, мышьяка, кадмия и хрома в городских почвах менее распространено: средние значения коэффициентов концентрации этих элементов превышают порог аномальности (1,5) только в 4–5 рассматриваемых городах.

***Таблица 1** – Средние значения коэффициентов концентрации химических веществ и суммарного показателя загрязнения (Zc) в почвах городов Белорусского Полесья, 2020–2024 гг.*

Город	Год набл.	НП	Cd	Zn	Pb	Cu	Ni	Cr	As	**Zc**
Брестская область										
Барановичи	2023	2,6	2,1	5,8	1,9	2,7	2,1	1,2	5,5	**15,0**
Брест	2022	3,6	1,1	3,7	1,6	1,9	2,8	2,5	5,8	**13,3**
Пинск	2023	3,1	1,4	3,5	3,9	3,2	0,8	0,5	2,0	**9,6**
Белоозерск	2023	2,4	3,1	2,5	1,4	1,8	1,3	0,6	4,2	**8,6**
Кобрин	2024	5,4	0,9	3,1	2,1	2,3	2,2	1,2	0,8	**6,7**
Лунинец	2024	2,1	1,7	2,5	2,7	1,5	1,0	0,8	1,3	**5,3**
Среднее для городов		3,2	1,7	3,5	2,3	2,2	1,7	1,1	3,2	9,6
Региональный фон, мг/кг		*19,7*	*0,07*	*12,1*	*5,4*	*3,5*	*2,4*	*3,9*	*0,4*	**–**
Гомельская область										
Гомель	2021	5,4	2,8	3,3	12,9	3,3	6,9	12,5	1,2	**35,5**
Речица	2024	2,9	0,8	5,6	4,5	2,2	1,4	1,6	0,6	**10,9**
Светлогорск	2022	5,1	2,0	3,6	3,0	1,2	3,7	0,7	2,3	**10,6**
Жлобин	2024	2,9	1,0	4,3	3,4	2,1	1,3	3,2	0,5	**10,0**
Мозырь	2023	4,7	1,2	5,5	2,3	2,0	0,9	1,7	0,6	**8,2**
Рогачев	2020	3,4	1,2	3,3	3,2	1,2	0,7	0,5	–	**5,5**
Калинковичи	2023	6,6	0,9	2,1	2,2	0,8	0,3	0,6	0,6	**3,3**
Среднее для городов		4,6	1,5	4,1	4,7	1,9	2,6	3,4	1,0	13,2
Региональный фон, мг/кг		*13,2*	*0,09*	*11,3*	*3,5*	*3,8*	*3,0*	*3,1*	*0,8*	–

Наибольшие значения коэффициентов концентрации выявлены для свинца и хрома в почвах Гомеля – 12,9 и 12,5 соответственно. Сравнение полученных данных с результатами детальной почвенно-геохимической съемки Гомеля [7] свидетельствует о наличии высоконтрастных аномалий хрома в центральной и северной частях города, что очевидно обусловило высокое среднее значение коэффициента концентрации элемента в почве. Высокое среднее значение коэффициента концентрации свинца в почве Гомеля обусловлено повышенными концентрациями элемента на большей части городской территории. Так, например, в 45 % почвенных проб, отобранных в 2021 г., концентрация свинца в почве была выше гигиенического норматива.

Суммарный показатель загрязнения почв рассматриваемых городов тяжелыми металлами и мышьяком изменяется в пределах от 3,3 (Калинковичи) до 35,5 (Гомель) (таблица 1). Все города по величине суммарного показателя загрязнения почв могут быть отнесены к следующим группам: с наиболее высоким уровнем загрязнения (Zc > 16; Гомель), высоким (Zc 12–16; Барановичи и Брест), средним (Zc 8–12; Речица, Светлогорск, Жлобин, Пинск, Белоозерск, Мозырь) и низким уровнем загрязнения (Zc < 8; Кобрин, Рогачев, Лунинец и Калинковичи).

Ранжирование и группировка коэффициентов концентрации тяжелых металлов по отельным городам дает представление об ассоциациях элементов-загрязнителей в почвах городов Белорусского Полесья (таблица 2).

***Таблица 2** – Ассоциации элементов-загрязнителей в почвах городов Белорусского Полесья*

Город	Ассоциация
Гомель	Pb 12,9 > Cr 12,5 > Ni 6,9 > Zn, Cu 3,3 > Cd 2,8
Барановичи	Zn 5,8 > As 5,5 > Cu 2,7 > Cd, Ni 2,1 > Pb 1,9
Брест	As 5,8 > Zn 3,7 > Ni 2,8 > Cr 2,5 > Cu 1,9 > Pb 1,6
Речица	Zn 5,6 > Pb 4,5 > Cu 2,2 > Cr 1,6
Светлогорск	Ni 3,7 > Zn 3,6 > Pb 3,0 > As 2,3 > Cd 2,0
Жлобин	Zn 4,3 > Pb 3,4 > Cr 3,2 > Cu 2,1
Пинск	Pb 3,9 > Zn 3,5 > Cu 3,2 > As 2,0
Белоозерск	As 4,2 > Cd 3,1 > Zn 2,5 > Cu 1,8
Мозырь	Zn 5,5 > Pb 2,3 > Cu 2,0 > Cr 1,7
Кобрин	Zn 3,1 > Cu 2,3 > Ni 2,2 > Pb 2,1
Лунинец	Pb 2,7 > Zn 2,5 > Cd 1,7 > Cu 1,5
Рогачев	Zn 3,3 > Pb 3,2
Калинковичи	Pb 2,2 > Zn 2,1

В выделенных ассоциациях наибольшая интенсивность накопления чаще всего характерна для пары «цинк–свинец». Вклад или доля участия цинка и свинца в суммарном показателе загрязнения почв составляет более 50 % в 8 городах (Кобрине, Лунинце, Пинске, Жлобине, Мозыре, Речице, Рогачеве и Калинковичах). 50-процентный и более вклад других пар элементов фиксируется в единичных случаях: «свинец–хром» – в Гомеле, «цинк–мышьяк» – в Бресте и Барановичах, «мышьяк–кадмий» – в Белоозерске и «никель–цинк» – в Светлогорске.

Представление о площади загрязнения почв в городах возможно составить по доле пунктов наблюдений (%), на которых зафиксировано превышение гигиенических нормативов. Приведенные в таблице 3 данные о долях пунктов наблюдений в городах с превышениями гигиенических нормативов свидетельствуют об ориентировочной доле городских территорий с загрязненными почвами. Среди рассматриваемых городов выделяются Речица, Гомель и Барановичи, в которых доля загрязненных почв составляет более 75 %. Несколько меньше загрязненных почв в Мозыре – 74,2 %. В остальных городах доля загрязненных почв составляет менее половины их площади. Наименьшая доля загрязненных почв в Рогачеве – 5 %.

Таблица 3 *– Загрязнение почв в городах Белорусского Полесья, 2020–2024 гг.*

Город	Кол-во ПН[1]	Доля ПН[2], %	Ранжированный ряд встречаемости превышений ПДК/ОДК по отдельным веществам	$K_{опасности}^{мах}$[3]
1. Города с долей загрязненных почв более 75 %				
Речица	30	80	Б/п[4] 85,7 > Zn 66,7 > НП[5] 6,7 > Pb, SO_4^{2-} 3,3	Б/п – 6,3
Гомель	40	77,5	Pb 45 > Б/п 40 > Ni 27,5 > НП 25 > Cd 15 > Cu 10 > Cr 5 > Zn, SO_4^{2-} 2,5	Б/п – 7,3
Барановичи	30	76,7	Zn, As 50 > Б/п 28,6 > НП 16,7 > Pb 3,3	Б/п – 5,0
2. Города с долей загрязненных почв от 50 до 75 %				
Мозырь	31	74,2	Zn 71 > Б/п 62,5 > НП 16,7 > Cu, SO_4^{2-} 3,2	НП – 3,9
3. Города с долей загрязненных почв от 25 до 50 %				
Лунинец	24	45,8	Б/п 100 > Zn 12,5 > Pb 8,3 > Cd, SO_4^{2-} 4,2	Б/п – 9,4
Белоозерск	9	44,4	Б/п 100 > As 22 > Zn 11,1	Б/п – 2,0
Жлобин	30	43,3	Б/п 85,7 > Pb 10 > НП 6,7 > Zn, Cd, SO_4^{2-} 3,3	Б/п – 16,5
Брест	50	36	Б/п 27,5 > НП 18 > Zn 16 > ПХБ[6] 12,5	НП – 4,9
Светлогорск	20	35	Б/п 40 > НП, Zn 25 > Ni 5	Zn, НП–1,2
Калинковичи	15	33,3	Б/п 50 > НП 33,3	НП – 3,2
Пинск	35	31,4	Б/п 66,7 > Zn 14,3 > Pb, НП 11,4 > Cu, As 2,9	Б/п – 7,5
Кобрин	23	30,4	Б/п 50 > Zn, ПХБ 17 > НП 13 > Pb 4,3	Б/п – 12,5
4. Города с долей загрязненных почв < 25 %				
Рогачев	20	5,0	НП 5	НП – 2,2

Примечания: [1]Количество пунктов наблюдений (ПН).

[2]Доля ПН в городе (%), на которых зафиксировано превышение ПДК/ОДК в почве.

[3]Максимальная величина коэффициента опасности загрязнения почвы в городе – наибольшее превышение фактической концентрации химического вещества по сравннию с ПДК/ОДК.

[4]Бензо(а)пирен (Б/п). Измерения концентраций производились в ограниченном числе проб.

[5]Нефтепродукты (НП).

[6]Полихлорированные бифенилы (ПХБ). Измерения концентраций производились в ограниченном числе проб.

В соответствии с ранжированными рядами встречаемости превышений ПДК/ОДК по отдельным веществам на пунктах наблюдений (таблица 3), в большинстве городов (9) максимум приходится на бензо(а)пирен. Кроме бензо(а)пирена, высока доля пунктов наблюдений, на которых зафиксировано превышение ПДК/ОДК в почве по цинку в Мозыре, Речице и Барановичах (71, 66,7 и 50 % соответственно), по мышьяку – в Барановичах (50 %), по свинцу и никелю – в Гомеле (45 и 27,5 %), по нефтепродуктам – в Калинковичах (33 %), Светлогорске и Гомеле (по 25 %).

В таблице 3 показана также степень опасности загрязненных почв с использованием коэффициента опасности – отношения максимальной фактической концентрации химического вещества в почве

к гигиеническому нормативу. Для большинства городов максимальная степень опасности обусловлена высокими концентрациями в почве бензо(а)пирена, реже – нефтепродуктов. По величине коэффициентов опасности города могут быть отнесены к следующим группам: с наибольшим уровнем опасности (Ко > 15; Жлобин), высоким (Ко 10–15; Кобрин), умеренным (Ко 5–10; Речица, Гомель, Барановичи, Лунинец и Пинск) и наименьшим уровнем опасности (Ко < 5; Светлогорск, Рогачев, Калинковичи, Брест, Белоозерск и Мозырь).

Поскольку используемые показатели состояния загрязненности почв в городах (суммарный показатель загрязнения, доля пробных площадок с превышениями гигиенических нормативов и коэффициент опасности загрязнения) отражают различные аспекты проблемы загрязнения городских почв, для суждения о напряженности ситуации в городах в связи с загрязнением почв выполнено интегральное ранжирование городов с использованием результатов ранжирования по перечисленным трем показателям. Для этого по каждому показателю использовались балльные оценки от 1 до 4 соответственно выделенным уровням или степеням состояний. Полученные суммы баллов по городам (от 5 баллов по Гомелю до 12 по Рогачеву) позволили ранжировать города по напряженности экологической ситуации, обусловленной загрязнением почв, на следующие группы: 1) с наиболее напряженной ситуацией – Гомель и Барановичи, 2) с напряженной ситуацией – Речица и Жлобин, 3) умеренной ситуацией – Брест, Мозырь, Кобрин и Пинск, 4) наименее напряженной ситуацией – Светлогорск, Белоозерск, Лунинец, Калинковичи и Рогачев.

Заключение. В результате выполненного исследования оценено загрязнение почв городов Белорусского Полесья с использованием показателей суммарного загрязнения, доли пробных площадок с превышениями гигиенических нормативов и коэффициента опасности загрязнения. Полученные оценки позволили ранжировать города по напряженности экологической ситуации, обусловленной загрязнением почв, на следующие группы: 1) с наиболее напряженной ситуацией – Гомель и Барановичи, 2) с напряженной ситуацией – Речица и Жлобин, 3) умеренной ситуацией – Брест, Мозырь, Кобрин и Пинск, 4) наименее напряженной ситуацией – Светлогорск, Белоозерск, Лунинец, Калинковичи и Рогачев.

В соответствии с рассчитанными коэффициентами концентрации химических веществ в городских почвах к приоритетным веществам-загрязнителям почв городов Белорусского Полесья необходимо отнести прежде всего цинк и свинец. По встречаемости превышений гигиенических нормативов и значениям показателя максимальной степени опасности к приоритетным веществам-загрязнителям необходимо отнести также бензо(а)пирен и нефтепродукты.

Список использованных источников

1. Городская среда: геоэкологические аспекты: монография / В. С. Хомич и [др.]. – Мн. : Беларус. навука, 2012. – 426 с.

2. Марцинкевич, Г. И. Урболандшафты г. Пинска: классификация, эколого-геохимическая оценка, способы оптимизации / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Вестн. БГУ. Сер. 2. Химия. Биология. География. – 2015. – № 3. – С. 70–75.

3. Михальчук, Н. В. Содержание тяжелых металлов в почвах жилой усадебной застройки г. Бреста / Н. В. Михальчук [и др.] // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2020. – № 2. – С. 115–120.

4. Виды мониторинга // Ежегодные обзоры [Электронный ресурс]. – Режим доступа : nsmos.by/content/402.html.

5. Научно-практическое издание «НСМОС Беларуси – 30 лет! Перспективы развития» / Под общей редакцией главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. – Минск, 2023. – 94 с.

6. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Сает [и др.] – М. : Недра, 1990. – 335 с.

7. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск : РУП «Минсктиппроект», 2004. – 260 с.

8. Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности почвы» / утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 25.01.2021 № 37.

PRIORITY POLLUTANTS IN SOILS OF BELARUSIAN POLESIE CITIES

V. S. Khomich, V. V. Parfenov

The article presents an analysis of soil pollution in the cities of the Belarusian Polesie based on the results of observations within the National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus in 2020–2024. Soil pollution assessments are given using various geochemical coefficients. The cities are ranked according to the intensity of the environmental situation caused by soil pollution.

УДК 556.166

ИЗМЕНЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕКИ ЛЕСНАЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Т. А. Шелест
Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

Исследовано изменение максимального стока реки Лесная в современных условиях потепления климата и дана количественная оценка этим изменениям. Отдельно рассмотрены изменения максимальных расходов воды весенних половодий и дождевых паводков. Выявлено почти двукратное уменьшение величины весенних половодий и дождевых паводков в современный период.

Ключевые слова: дождевой паводок, весеннее половодье, максимальный расход воды, многолетние колебания.

Введение. Максимальные расходы воды рек относятся к числу важнейших гидрологических характеристик. Их расчеты являются обязательными и считаются одной из наиболее ответственных задач в составе водохозяйственных проектов. Именно на мгновенные максимальные расходы воды рассчитываются размеры различного рода водопропускных отверстий, отметки дорожных насыпей, оградительных дамб и других сооружений.

От объективного определения максимальных расходов воды зависят параметры гидротехнических сооружений и их стоимость. Занижение максимальных расходов приводит к разрушению сооружений, затоплению прилегающей к реке местности, материальному ущербу и человеческим жертвам. Завышения максимальных расходов повышают общую стоимость сооружения, что снижает его экономическую эффективность. Сочетание требований безопасности работы сооружения и его стоимости достигается применением принципа вероятностного расчета, основанного, с одной стороны, на учете условий формирования наиболее высокого максимального расхода с точки зрения гидрологического режима реки и, с другой стороны, на учете вероятности превышения этой величины.

В условиях Беларуси максимальные в году расходы воды обычно формируются во время весенних половодий, однако в отдельные годы их образование происходит во время паводков. Поскольку формирование и половодий, и паводков на реках связано с атмосферными осадками, представляющими либо дожди, либо осадки в виде снега, особенности таяния которого определяют величину половодий, изменения климата, которые наблюдаются в последние десятилетия, сопровождаются изменением величины максимальных расходов воды. Изучение особенностей многолетних колебаний максимального стока рек в современных условиях потепления климата является одной из актуальных задач гидрологии [1].

Цель исследования – выявление тенденций и оценка изменений максимального стока реки Лесная в современных условиях.

Методы исследования и исходные данные. Река Лесная является правым притоком Западного Буга, имеет длину около 85 км и площадь бассейна 2 650 км^2. Протекает по Прибужской равнине и Брестскому Полесью. Регулярные непрерывные наблюдения за водным режимом реки Лесная на гидрологическом посту в г. Каменец ведутся с 1946 г. (до 1975 г. – в д. Замосты), в д. Тюхиничи – с 1975 г.

Основными исходными материалами для исследования послужили данные наблюдений за максимальными расходами воды весенних половодий Республиканского гидрометеорологического центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, а также данные наблюдений за ежесуточными расходами воды, из которых вычленялись максимальные расходы воды дождевых и зимних паводков.

На предварительном этапе проведена оценка однородности и стационарности исходных временных рядов наблюдений за максимальными расходами воды весенних половодий и дождевых паводков. Оценка однородности рядов осуществлялась на основе генетического и статистического анализов исходных данных наблюдений. Для количественной оценки статистической однородности применялись критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении (критерии Смирнова-Граббса и Диксона), критерии однородности выборочных дисперсий (критерий Фишера) и выборочных средних (критерий Стьюдента). Для оценки репрезентативности имеющихся рядов наблюдений определялась средняя квадратическая ошибка, расчет которой показал, что ошибка не превышает 10 %. Следовательно, рассматриваемые ряды максимальных расходов воды половодий и паводков являются репрезентативными.

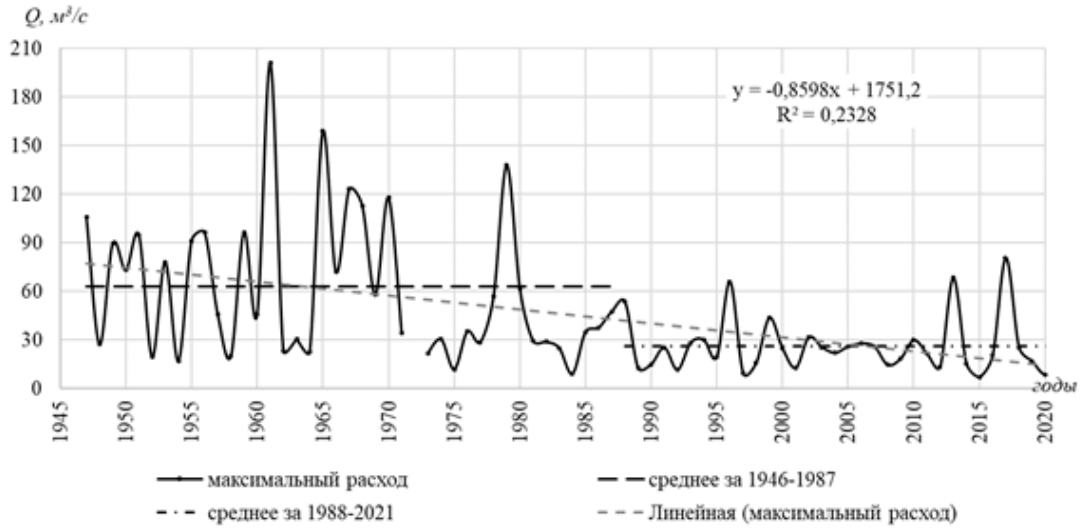
Оценка изменения временных рядов максимальных расходов воды половодий и паводков оценивалась с помощью стандартных статистических параметров и линейных трендов как по всему рассматриваемому периоду, так и по выборкам различной длины. Проверка однородности выборочных статистических параметров осуществлялась с помощью тестовых критериев Стьюдента и Фишера [2].

Для выявления тенденций изменения максимального стока р. Лесная отдельно рассматривались многолетние ряды колебаний максимальных расходов воды весенних половодий и дождевых паводков, что связано с различной природой их формирования. Рассматриваемый период был разделен на два интервала: первый – от 1946 до 1987 г. (базовый, с климатическими условиями, характерными для периода до начала потепления), второй – с 1988 по 2021 г. (современный период потепления климата, характеризующийся повышением температур воздуха). Выбор периода обусловлен наличием непрерывных рядов наблюдаемых величин, что обеспечивает отсутствие пропусков в данных и гарантирует их полноту для статистической обработки и анализа.

Результаты и их обсуждение. По типу гидрологического режима река Лесная относится к рекам с весенним половодьем и преимущественно снеговым питанием.

На рисунке представлены графики многолетних колебаний максимальных расходов воды весенних половодий (а) и дождевых паводков (б) на р. Лесная – г. Каменец за период с 1946 по 2021 г., на которых показаны линии трендов. Кроме того, рассчитаны средние значения максимальных расходов воды за каждый из выделяемых периодов.

а)



а)

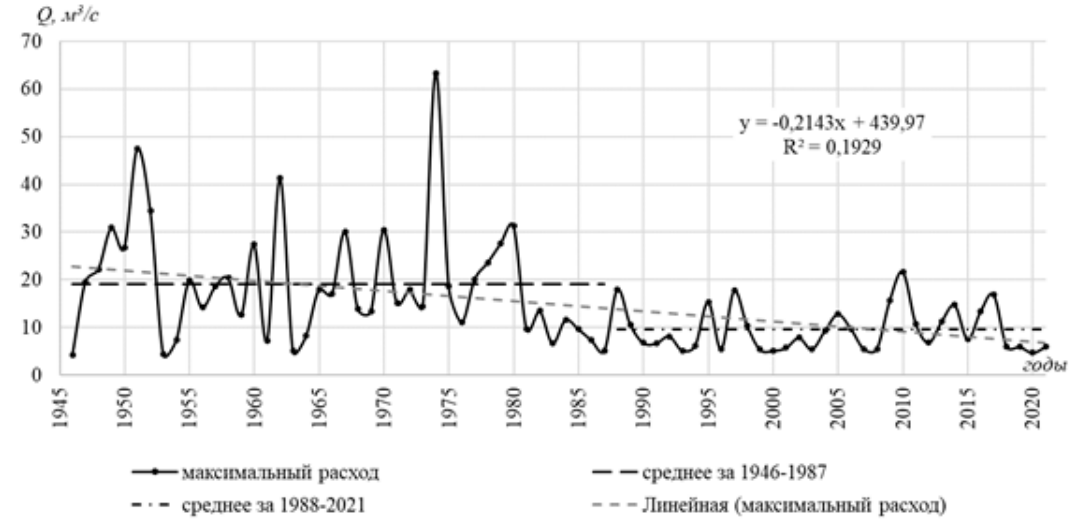


***Рисунок** – Многолетние колебания максимальных расходов воды а) весенних половодий, б) дождевых паводков на р. Лесная – г. Каменец*

Анализ трендов рядов максимального стока р. Лесная – г. Каменец показал, что для максимальных в году расходов воды наблюдается резко выраженная тенденция к уменьшению их величины. Причем наиболее существенно уменьшились максимальные расходы воды половодий (рисунок а), а максимальные расходы воды дождевых паводков изменились менее существенно (рисунок б).

Самые высокие весенние половодья на р. Лесная наблюдались в 1961 г. и 1965 г. С 1980 г. их величина заметно уменьшилась и произошло также снижение размаха их колебаний. Из последних наиболее высоких половодий можно выделить половодье 2017 г., обеспеченность которого составила 18 %.

В многолетнем ряду колебаний максимальных расходов воды дождевых паводков за рассматриваемый период очень заметно выделяется 1974 г., когда был зарегистрирован самый высокий паводок на р. Лесная. Он был вызван выпадением большого количества осадков, когда ряд дождевых паводков, последовательно наложившись друг на друга, образовали один общий подъем. После 1980 г. величина дождевых паводков заметно уменьшилась. Максимальный расход воды паводка 2010 г., который был наибольшим за период современного потепления климата на р. Лесная, сопоставим по величине максимального расхода со средними значениями паводков, наблюдаемыми в первый из рассматриваемых периодов, и соответствует 21 % обеспеченности.

В таблице представлены основные статистические параметры временных рядов максимальных расходов воды весенних половодий и дождевых паводков на р. Лесная – г. Каменец, а также значения расходов воды 5 % обеспеченности.

Таблица *– Статистические характеристики максимальных расходов воды половодий и паводков за различные периоды на р. Лесная – г. Каменец*

Характеристики	Период	Среднее значение, $м^3/с$	Наибольшее значение, $м^3/с$	Коэффициент вариации Cv	Коэффициент асимметрии Cs	Коэффициент автокорреляции r (1)	Расход 5% обеспеченности
Весенние половодья	1946–1987	62,8	201	0,71	1,09	0,01	125,3
	1988–2021	26,1	80,7	0,66	1,80	–0,19	
Дождевые паводки	1946–1987	19,1	63,4	0,64	1,47	0,06	35,5
	1988–2021	9,55	21,7	0,48	0,99	0,19	

Анализ текущих изменений максимального стока р. Лесная на основе данных стандартной гидрологической сети позволяет выполнить оценку изменений максимального стока в условиях потепления климата. Происходящие климатические изменения привели к значительной перестройке системы влагооборота на водосборах. Повышение температуры воздуха способствует росту суммарного испарения и дефицита почвенной влаги, иссушению почво-грунтов, росту их впитывающей способности. В таких условиях наблюдается рост потерь воды, что приводит к снижению максимальных расходов воды половодий и паводков.

Современное потепление климата привело к тому, что зимы стали теплее, начало их сместилось на более ранние сроки, участились оттепели, уменьшилась промерзаемость почв, нередко наблюдается выпадение осадков в виде дождя и т.д. Все это способствует формированию зимних паводков на реках. Увеличение частоты оттепелей сопровождается ростом их числа, при этом за зиму формируется несколько паводков, что приводит к снижению их максимальных расходов. Кроме того, вследствие отсутствия условий для формирования водонепроницаемого запирающего слоя в почве создаются благоприятные предпосылки для фильтрации влаги в почву [3].

Изменения максимального стока половодий определяются целым комплексом факторов: величиной снегозапасов к моменту устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С, глубиной промерзания почво-грунтов в течение зимы и влажностью почвы к началу снеготаяния, количеством осадков в период половодья и др. При благоприятном сочетании всех этих факторов на реках формируются высокие весенние половодья. Однако глубина промерзания почво-грунтов в течение зимнего периода уменьшилась, вследствие частых оттепелей больших запасов воды в снеге не накапливается, что в итоге приводит к уменьшению их величины [2].

Уменьшение величины весенних половодий и смещение их на более ранние сроки в некоторой степени способствует и снижению величины дождевых паводков. Формирование дождевых паводков в конце весны – начале лета может происходить в результате выпадения даже относительно небольшого количе-

ства осадков, т.к. почво-грунты насыщены влагой благодаря повышенной водности за счет весеннего половодья. Однако в современных условиях насыщенность влагой почво-грунтов снизилась, и для формирования высоких дождевых паводков в этот период необходимо выпадение значительно большего количества осадков.

В современный период потепления климата средняя величина максимальных расходов воды весенних половодий на р. Лесная уменьшилась на 58 %, а величина максимальных расходов воды дождевых паводков – на 50 % по сравнению с предыдущим периодом.

Анализ таблицы показывает, что на р. Лесная наибольшие наблюдаемые, а также расчетные максимальные расходы воды дождевых паводков 5 % обеспеченности в три и более раз ниже наибольших расходов воды весенних половодий. Однако случаи превышения половодий дождевыми паводками в отдельные годы нередки. Так, на р. Лесная дождевые паводки превысили половодья или были примерно равны им в 1952, 1962, 1974, 1975, 1997, 2015 гг. В отдельные годы величина зимних паводков превышает величину весенних половодий и является наибольшей в году, как это наблюдалось в 1948, 1958, 1975, 1989, 1990, 2015 и 2019 г. Превышение максимальных расходов воды паводков над максимумами половодий на р. Лесная наблюдается в 14 % случаев. Дополнительно проведена оценка соотношения величин максимальных расходов воды паводков и весенних половодий за период современного потепления климата (1988–2021 гг.), которая показала, что с середины 80-х гг. XX в. на р. Лесная частота превышения максимальных расходов воды половодий дождевыми паводками уменьшилась, при этом максимальные годовые расходы воды чаще стали формироваться во время зимних паводков.

Превышение половодий дождевыми паводками происходит как при очень высоких паводках, как это было, например, в 1974 г., так и при невысоких паводках, но в условиях низких половодий (например, в 2015 г.). Максимальные расходы воды высоких весенних половодий на р. Лесная не могут быть превышены максимумами дождевых паводков. Причина этого – различная природа их формирования. Так, весенние половодья формируются в результате таяния снега, который накапливался всю зиму. Благоприятными факторами для формирования высоких весенних половодий являются: выпадение снега на хорошо увлажненные почво-грунты, глубокая промерзаемость их в течение зимы, большие запасы воды в снеге к началу снеготаяния, дружное и интенсивное снеготаяние, отсутствие оттепелей, выпадение жидких осадков во время снеготаяния и др. При благоприятном сочетании всех этих факторов на реках формируются высокие весенние половодья.

Дождевые же паводки формируются в результате выпадения дождей. И даже при самом благоприятном сочетании факторов формирования высокого дождевого стока (высокое предшествующее увлажнение, большая интенсивность и продолжительность осадков, большая площадь одновременного охвата дождем и др.) дождевые паводки на реках не могут достигать таких масштабов, как весенние половодья.

Заключение. Для максимального стока реки Лесная характерна резко выраженная тенденция к уменьшению его величины. Причем наиболее существенно уменьшились максимальные расходы воды весенних половодий – на 58 %, что вызвано прежде всего увеличением частоты оттепельных периодов зимой, уменьшением глубины промерзания почво-грунтов, которое сопровождается снижением снегозапасов к началу снеготаяния. Максимальные же расходы воды дождевых паводков уменьшились в два раза, что прежде всего обусловлено ростом потерь воды вследствие иссушения почво-грунтов. При этом уменьшение стока весеннего половодья и дождевых паводков вовсе не исключает возможность формирования наводнений, следовательно, и экономического ущерба.

Список использованных источников

1. Георгиевский, В. Ю. Оценка современных изменений максимального стока рек России / В. Ю. Георгиевский [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2019. – № 11. – С. 46–55.

2. Волчек, А. А. Максимальный сток рек на территории Беларуси / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф. – Брест, 2023. – С. 130–151.

3. Волчек, А. А. Формирование зимних паводков на реках Беларуси / А. А. Волчек, Т. А. Шелест // Ученые записки Рос. гос. гидрометеорологич. ун-та. – 2012. – № 25. – С. 5–19.

CHANGES IN THE MAXIMUM FLOW OF THE LESNAYA RIVER IN MODERN CONDITIONS

T. Shelest

The change in the maximum flow of the Lesnaya River under modern conditions of climate warming was considered, and these changes were quantified. The changes in the maximum water flows of spring floods and rain floods were examined separately. It was found that the magnitude of spring floods and rain floods has decreased by almost two times during the modern period.

УДК 675.04:677.027:677.057

ФОРМИРОВАНИЕ ПОДХОДОВ МИНИМИЗАЦИИ НЕГАТИВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОЧНЫХ ВОД ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

В. Н. Штепа, А. В. Дубина, Е. В. Россоха
Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

Проанализирована экологическая опасность сточных вод деревоперерабатывающих производств, акцентировано внимание на сложность их эффективной очистки. С использованием диаграммы Исикавы создана модель причинно-следственных связей экологических рисков для водных объектов, связанных с потенциальной гибелью (угнетением) активного ила коммунальных очистных сооружений, например, в результате токсического воздействия формальдегида. Разработана параметрическая модель процессов отведения и очистки формальдегидсодержащих сточных вод деревоперерабатывающих производств с включением предиктивной аналитики экологической безопасности. Предложены дальнейшие направления научных исследований, нацеленные на повышение экологической эффективности предприятий деревопереработки в разрезе использования ими природных водных ресурсов.

Ключевые слова: деревопереработка, экологическая безопасность, сточные воды, формальдегид, причинно-следственные связи, параметрическая модель.

Введение. В технологических операциях мойки различного оборудования, которое используется для приготовления, хранения и дозирования клеевых составов, образуются высокотоксичные сточные воды (СВ) [1], содержащие формальдегид, метанол, муравьиную кислоту, водорастворимые смолы в виде олигомерных и полимерных соединений и дисперсной фазы. Их расход при проектировании принимается исходя из использования 26 м^3 промывного водного раствора на 1000 м^3 продукции. При этом, в силу высокой концентрации в них токсинов, СВ представляют значительную экологическую опасность: не только когда сбрасываются в природные водные объекты самим предприятием (прямое негативное влияние), но и когда направляются в коммунальные водоотводящие сети (опосредствованное негативное влияние). Второе вызвано тем, что формальдегид негативно воздействует на микробиоценоз активного ила (АИ) коммунальных очистных сооружений (КОС) [2, 3] и может вызвать его гибель (или значительное снижение эффективности путем его угнетения), а, соответственно, и большие экологические риски. Ситуация усложняется тем, что эффективных способов редукции поллютантов формальдегидсодержащих СВ деревоперерабатывающих предприятий, долговременно используемых на реальных объектах, относительно небольшое количество [4, 5] – все они представляют собой комбинированные решения и требуют строгого соблюдения научно обоснованных и созданных регламентов их эксплуатации. Сложность нормативной очистки заключается в том, показатели качества загрязнённых водных растворов не являются постоянными, а нелинейно, стохастически, ненаблюдаемо в режиме реального времени инструментальными измерительными средствами, с высокими амплитудными значениями изменяются, нарушая ранее определённые стационарные параметры и режимы водообработки.

Соответственно, задача исследований, которая заключается в формировании комплексного подхода поддержания экологической безопасности деревоперерабатывающих промышленных объектов на основе причинно-следственных методов разработки, внедрения и практической адаптации технологических регламентов водопользования (производственные процессы) и водоотведения (процессы транспортировки и очистки СВ), является актуальной и отвечающей современным экологическим запросам Республики Беларусь.

Материалы и методы. Диаграмма Исикавы, также известная как диаграмма «рыбья кость» или диаграмма причинно-следственных связей, представляет собой визуальное представление, используемое для анализа и отображения потенциальных причин определенной проблемы или следствия; она названа в честь профессора Каору Исикавы. Её структура напоминает скелет рыбы, где голова представляет проблему или следствие, а кости разветвляются, чтобы изобразить различные категории потенциальных причин. Эти категории обычно включают: методы (процессы или процедуры, которые могут способствовать возникновению проблемы); машины (оборудование и агрегаты, задействованные в процессе); сырье, вещества или компоненты; рабочая сила (человеческие факторы, такие как навыки, обучение и рабочая нагрузка);

измерение, используемые для анализа и оценки процесса; окружающая среда (внешние факторы или условия, которые могут повлиять на проблему).

Структурно-параметрический синтез – это аналитический процесс установления структуры исследуемого объекта и параметров (схемы) составляющих элементов таким образом, чтобы были удовлетворены условия задания на его синтез (модернизацию).

Результаты и их обсуждение. Используя концепт создания диаграмм Исикавы, представим укрупнённые причинно-следственные связи, которые могут вызвать гибель АИ КОС, акцентируя внимания на экологических рисках для природных водных объектов при использовании деревоперерабатывающими промышленными объектами коммунальных систем водоотведения, как на значительно более сложной для оценки задаче, поскольку «прямой» сброс в геоэкосистемы приемлемо контролируется и нормируется традиционными способами (рисунок 1). Оценка диаграммы Исикавы позволяет предложить следующую последовательность минимизации негативного экологического воздействия деревоперерабатывающих производств (под экологической эффективностью, в случаи отведения сточных вод в коммунальную сеть канализации, принимается минимизация технологических рисков для АИ КОС, которые могут вызвать его угнетение или гибель):

□ разработка и выполнение организационно-нормативных мероприятий в виде технологических регламентов, нацеленных на обеспечение экологической эффективности использования водных ресурсов;

□ создание и эксплуатация технологий очистки СВ на локальных очистных сооружениях (ЛОС) на основе таких внутренних нормативных документов, с оперативным мониторингом выполнения их требований [6].



***Рисунок 1** – Схема причинно-следственных связей между потенциальными экологическими рисками, вызванными гибелью (угнетением) АИ КОС и технико-технологическими факторами (человеческий фактор не учитывался)*

Базируясь на указанном алгоритме, создадим параметрическую схему поддержания экологической безопасности (рисунок 2), где параметры: слева – контролируемые, сверху – возмущающие воздействия, снизу – управляющие воздействия, справа – выходы системы.



***Рисунок 2** – Общая параметрическая схема процессов загрязнения, отведения и очистки формальдегидсодержащих сточных вод деревоперерабатывающих производств*

Тогда можно сформулировать следующие задачи дальнейших исследований:

– системный анализ и моделирование, в том числе физическое, технологических процессов формирования загрязнённых СВ и отходов деревоперерабатывающих предприятий, исследование их состава и свойств;

– установление закономерностей очистки формальдегидсодержащих сточных вод, содержащих компоненты карбамидоформальдегидных смол, и определение параметров и критериев экологической безопасности и ресурсоэффективности таких процессов, обоснование методик оперативного мониторинга, включая с применением интеллектуального математического аппарата анализа данных (под термином «мониторинг» подразумевается контроль и прогнозирование развития ситуаций);

– исследование способов экологически безопасной утилизации отходов деревоперерабатывающих производств с повторным их использованием в хозяйственной деятельности;

– обоснование и создание комплексной технологической схемы и технологического регламента отведения и очистки формальдегидсодержащих сточных вод и рециклинга отходов на основе критерия экологической эффективности производственного использования водных ресурсов, с учётом фактической невозможности внедрения на КОС методов качественной редукции формальдегида из водных растворов, прежде всего в силу больших объёмов водных растворов, поступающих на них для обработки.

Заключение. Деревоперерабатывающие предприятия представляют экологическую опасность для природных водных объектов как непосредственно сбрасывая токсичные формальдегидсодержащие СВ в гидроэкосистемы, так и отводя их в коммунальные канализационные сети, поскольку во втором случае они могут вызвать угнетение и гибель АИ КОС, а, соответственно, и негативное, включая критическое, воздействие на окружающую природную среду. Процессы образования, транспортировки и очистки на ЛОС СВ необходимо рассматривать как единую операцию с интегральными причинно-следственными связями и необходимостью наличия на производстве интеллектуальной системы экологического мониторинга выполнения целевых показателей их качества.

Список использованных источников

1. Дубина, А. В. Очистка формальдегидсодержащих сточных вод деревообрабатывающих производств / А. В. Дубина, В. Н. Марцуль // Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология, 2013. – С. 15–161.

2. Блинова, П. А. Влияние формальдегида на состав микробоценоза активного ила / П. А. Блинова, О. М. Минаева // Международная научная школа «Перспективные направления физико-химической биологии и биотехнологии». – Томск, 2011. – С. 44–45.

3. Shtepa V., Balintova M., Chernysh Ye., Chubur V., Demcak S., Gautier M. (2021) Rationale for the Combined Use of Biological Processes and AOPs in Wastewater Treatment Tasks, Applied Sciences, 2021, Vol. 11, Iss. 16, 7551.

4. Mir-Tutusaus J. A., Jaén-Gil A., Barceló D., Buttiglieri G., Gonzalez-Olmos R., RodriguezMozaz S., Caminal G., Sarrà M. (2021) Prospects on coupling UV/H2O2 with activated sludge or a fungal treatment for the removal of pharmaceutically active compounds in real hospital wastewater, Science of The Total Environment, 2021, Vol. 773, Article 145374.

5. Лабораторный генератор ферратов: конструкция, режим, эффективность / С. Ю. Киреев, В. Н. Штепа, С. Н. Киреева, А. В. Дубина [и др.] // Вестник технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 4. – С. 69–75

6. Штепа, В. Н. Интеллектуальная подсистема управления экологической безопасностью промышленно-коммунального водоотведения / В. Н. Штепа, П. В. Васюхневич // Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века: материалы 23-й международной научной конференции. – Минск : МГЭИ им. А. Д. Сахарова, 2023. – Ч. 2. – С. 249–253.

DEVELOPMENT APPROACHES TO MINIMIZING THE NEGATIVE ENVIRONMENTAL IMPACT OF WOOD PROCESSING WASTEWATER ON WATER BODIES

V. N. Shtepa, A. V. Dubina, E. V. Rossokha

The environmental hazard of wastewater from wood processing industries is analyzed, with an emphasis on the complexity of their effective purification. Using the Ishikawa diagram, a model of cause-and-effect relationships environmental risks for water bodies associated with the potential death activated sludge from municipal treatment facilities, for example, as a result of the toxic effects formaldehyde, is created. The parametric model of the processes removal and purification of formaldehyde-containing wastewater from wood processing industries with the inclusion predictive analytics of the environmental safety is developed. Further directions of scientific research aimed at increasing the environmental efficiency of wood processing enterprises in terms of their use of natural water resources are proposed.

УДК 551.582.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ УВЛАЖНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

К. С. Юдыцкая, В. И. Мельник

Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Анализируется возможность использования спутниковых данных для оценки увлажнения почв на примере Брестской области. Приводится сравнение индекса здоровья растительности, полученного по спутниковым данным, и измерений влажности, проводимых на опытных участках метеорологических станций.

Ключевые слова: индекс здоровья растительности (VHI), данные дистанционного зондирования, спутниковый мониторинг засух, влажность почвы.

Введение. В условиях изменения климата и увеличения количества засух влажность почвы остается важным источником информации для оценки произрастания и формирования урожайности сельскохозяйственных культур. Однако определение влажности почвы только на наблюдательных участках метеорологических станций не позволяет получать достаточную полную информацию о пространственном распределении влагозапасов и, следовательно, критически оценить состояние сельскохозяйственных угодий. В этой связи представляется целесообразным при проведении мониторинга засух использовать методы дистанционного зондирования (ДЗ). Их основными преимуществами являются большая частота наблюдений, высокая обзорность. В последние годы для этих целей используется спутниковая информация, полученная радиометрами в различных участках спектра. Использование спутниковых данных позволяет дать более глобальную пространственную оценку условий увлажнения региона и характеризовать пространственно-временные особенности распределения засух в Полесском регионе на примере Брестской области.

Целью работы является оценка возможности использования спутниковых данных для мониторинга влажности почв на примере Брестской области.

Среди инструментов спутникового мониторинга влажности почв выделяют методы активного зондирования и пассивные наблюдения с использованием радиометров и радаров C и X диапазонов для оценки объемной влажности почвы на глубине до 5 см и прикорневом слое растительности [1]. На современном этапе широкое применение получает использование L-диапазона, что связано со снижением степени влияния наземной растительности на достоверность проводимых наблюдений [2].

При проведении оценок влажности почвы применяют как прямые методы, основанные на данных ДЗ (например, SMAP), так и косвенные подходы, включающие использование спектральных индексов, связанных с вегетационными или температурными характеристиками.

Прямые методы позволяют измерять влажность почвы напрямую. Эти методы демонстрируют высокую точность благодаря использованию активных микроволновых радаров и пассивных радиометров, которые способны проникать через растительный покров и облачность.

Одним из наиболее значимых спутников для оценки влажности почвы является SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), запущенный Европейским космическим агентством (ESA) в 2009 г. Этот спутник использует микроволновый радиометр L-диапазона (1,4 ГГц), что позволяет минимизировать влияние атмосферных помех и растительного покрова на точность данных. Согласование данных спутниковых наблюдений и данных станционных измерений влажности определяется рядом климатических факторов и географических особенностей региона, описываемых в [3]. В настоящее время проводятся также пассивные наблюдения в L-диапазоне с помощью радиометра, установленного на спутнике SMAP (Soil Moisture Active Passive), запущенном НАСА в 2015 г.

Принципиальной важностью обладают данные, полученные с помощью скаттерометра ASCAT (Advanced Scatterometer), запущенного Европейской организацией эксплуатации метеорологических спутников (EUMETSAT). ASCAT использует C-диапазон (5,255 ГГц), что снижает его чувствительность к влажности почвы по сравнению с L-диапазоном, но обеспечивает лучшее пространственное разрешение. Результаты измерений влажности с помощью ASCAT и их согласованность с результатами наземных измерений при различной глубине проводимых измерений влажности для территории России представлены в работе [4].

Оценки влагозапасов, полученные по данным приборов, выполняющих прямые измерения, представляют интерес, однако часто требуют дополнительной постобработки. Особенностью этого класса методов также является снижение точности с увеличением глубины почв. Кроме того, основным ограничением является низкая разрешающая способность устройств, работающих в перечисленных диапазонах спектра.

Альтернативным подходом является комбинированное использование спектральных (вегетационных и температурных) индексов, которые предоставляют информацию о состоянии растительности и ее реакции на изменение влажности почвы. Широкое применение находит нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), основанный на соотношении отражательной способности в красном и ближнем инфракрасном диапазонах, нормализованный индекс влажности почвы (NDMI), который также использует коротковолновое инфракрасное излучение и улучшенный вегетационный индекс (EVI). EVI был разработан для преодоления некоторых ограничений NDVI, таких как влияние атмосферных помех. Этот индекс включает дополнительные корректировки для учета влияния аэрозолей и других факторов. EVI более точен в условиях сложного ландшафта и высокой плотности растительности, например, в тропических лесах или областях с интенсивным сельским хозяйством, что оценено в [5]. Однако в пустынных регионах, где растительность менее значительна, оценка влагозапасов по EVI менее достоверна.

В [6] демонстрируется высокий потенциал использования комбинации индексов NDVI, NDMI, NDWI и SMI для оценки влажности на сельскохозяйственных полях. Однако эффективность применения вегетационных индексов для оценки влажности почв зависит от типа ландшафта и климатических условий. Кроме того, значительный потенциал имеет комбинирование вегетационных индексов с тепловыми характеристиками, такими как LST (Land Surface Temperature) и TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index). Высокая информативность TVDI, определяемого в пространстве NDVI-LST, показана при оценке условий поверхностного увлажнения в [7,8,9].

Комбинацию вегетационных и температурных характеристик отражает также индекс здоровья растительности (VHI), сочетающий информацию о плотности и активности фотосинтетической биомассы, представленную нормализованным разностным вегетационным индексом (NDVI), и данные о тепловых условиях среды, которые влияют на испарение воды и, следовательно, на уровень увлажнения почвы, представленные температурой поверхности земли (LST).

Основными компонентами VHI являются индекс состояния растительности (VCI, Vegetation Condition Index) и температурный стресс-индекс (TCI, Temperature Condition Index). VCI рассчитывается на основе данных NDVI и характеризует относительное состояние растительности в сравнении с историческими максимумами и минимумами. TCI, в свою очередь, основан на анализе LST и отражает степень теплового стресса, которому подвергается растительность. Эти компоненты объединяются в рамках формулы VHI, где весовые коэффициенты могут варьироваться в зависимости от региональных особенностей. В [10, 11] оценивается вклад каждой из составляющих при учете различных географических факторов.

Оценка условий увлажнения для территории Брестской области. Для оценки используется полученный по данным ДЗ индекс здоровья растительности VHI (Vegetation health Index), представляющий собой линейную комбинацию индекса состояния растительности VCI (Vegetation Condition Index) и индекса температурных условий TCI (Temperature Condition Index):

$$VHI = \alpha VCI + (1 - \alpha)\, TCI \quad (1),$$

где α – весовой коэффициент, определяющий вклады каждого из компонентов, который может быть адаптирован для различных регионов.

Для расчета описываемого индекса используются данные спутниковых приборов MODIS, доступ к которым осуществляется посредством программного интерфейса платформы Google Earth Engine. Для определения индекса VCI используется спутниковый продукт MOD09Q1.061, содержащий спутниковые снимки в красном и ближнем инфракрасном диапазонах с пространственным разрешением 250 м и временным разрешением 8 суток. По прошедшим процедуру атмосферной коррекции данным вычисляется нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), позволяющий характеризовать состояние растительности. На основе значений NDVI индекс состояния растительности вычисляется следующим образом:

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (2),$$

где $NDVI_{max}$ и $NDVI_{min}$ – максимальное и минимальное значение индекса для каждого пикселя в заданный фенологический период, составляющий ± 15 дней от рассматриваемой даты. Экстремумы вычисляются на основе анализа данных за рассматриваемый период наблюдений (2000–2022 гг.).

Аналогичным образом на основе данных продукта MOD11A2.061, представляющего собой композиты температуры подстилающей поверхности с пространственным разрешением 1 км и временным разрешением 8 суток, вычисляется индекс температурных условий:

$$TCI = \frac{LST_{max} - LST}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (3),$$

где LST_{max} и LST_{min} – максимальное и минимальное значения дневной температуры для каждого пикселя во временном диапазоне ± 15 дней от рассматриваемой даты. Температурная составляющая позволяет оценить условия, определяющие испаряемость и оказывающие влияние на содержание влаги в почве.

Вычисляемые коэффициенты VCI и TCI, а также итоговый коэффициент VHI принадлежат диапазону [0, 1], где значения близкие к 0 соответствуют неблагоприятным условиям, а близкие к 1 – оптимальным.

Индекс здоровья растительности вычислялся для территорий, относящихся согласно данным классификации почвенно-растительного покрова Global Land Cover 2019 к классу пахотных земель. Для анализа были использованы спутниковые данные за первую декаду мая – третью декаду сентября в период 2000–2022 гг. По полученным за данный период спутниковым снимкам в различных спектральных диапазонах вычислялись коэффициенты VCI и TCI. Коэффициент здоровья растительности (VHI) представляет собой линейную комбинацию описанных коэффициентов с весом α = 0.5, что соответствует одинаковому вкладу температурной и вегетационной составляющих.

Результаты применения VHI для территории Брестской области. Для оценки целесообразности применения VHI в качестве индекса, характеризующего засуху, на рисунке 1 приведено сопоставление временных зависимостей индекса здоровья растительности и измерений продуктивных запасов влаги в мм в слое почвы 0–20 см, проводимых на наблюдательных участках метеорологических станций. Приведенные значения измерений являются осредненными для метеорологических станций Брестской области (использованы ряды измерений метеостанций Барановичи, Брест, Высокое, Ганцевичи, Дрогичин, Ивацевичи, Пинск, Полесская, Пружаны), а значения VHI территориально осредняются для всех пикселей, принадлежащих классу «пахотные земли» на территории Брестской области.

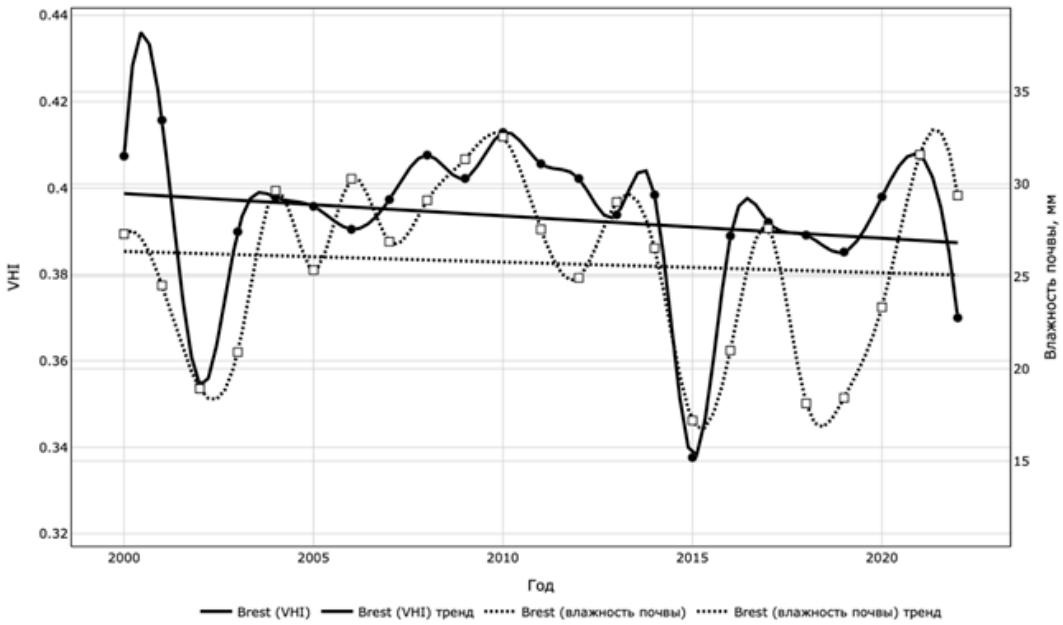


Рисунок 1 *– Динамика рассчитываемых значений VHI и измерений запасов продуктивной почвенной влаги в мм для территории Брестской области*

Приведенные зависимости позволяют оценить схожесть динамики годовых значений VHI и станционных измерений и их трендов. Для рассматриваемого временного диапазона (2000–2022 гг.) коэффициент корреляции Пирсона между рассматриваемыми зависимостями составил R = 0.6. Для обеих зависимостей характерен нисходящий тренд.

Установление регрессионной зависимости между значениями VHI и станционными измерениями позволит ввести критерии градации степени засухи, связанные с содержанием определенного количества влаги в почве, который позволит дать общую геопространственную оценку степени засухи в регионе на основе данных дистанционного зондирования.

Заключение. Использование данных дистанционного зондирования земли представляется перспективным для расширения возможностей пространственно-временных оценок условий увлажнения. Использование рассчитанного по спутниковым данным коэффициента VHI позволяет характеризовать состояния увлажнения и пространственно-временные особенности распространения засух в регионе.

Список использованных источников

1. Волчек, А. А. Источники данных глобального мониторинга влажности почвы средствами дистанционного зондирования поверхности земли / А. А. Волчек, Д. О. Петров // Гидрометеорология и экология. – № 1. – 2021. – С. 38–43.

2. SMAP Handbook. Soil Moisture Active Passive. Mapping Soil Moisture and Freeze/ Thaw from Space / Entekhabi D. [et al.] // National Aeronautics and Space Administration. – 2014.

3. Usowicz, B. Comparison of Surface Soil Moisture from SMOS Satellite and Ground Measurements / B. Usowicz, W. Marczewski, J. Usowicz, M. Lukowski, J. Lipiec // International Agrophysics. – 2014. – Vol. 28. – P. 359–369.

4. Василенко, Е. В. Использование данных с прибора ASCAT/METOP для мониторинга влажности почвы / Е. В. Василенко, Л. Л. Тарасова // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2015. – № 2. – С. 40–49.

5. Li, S. Regional Soil Moisture Estimation Leveraging Multi-Source Data Fusion and Automated Machine Learning / S. Li, P. Zhu, N. Song, C. Li, J. Wang // Remote Sensing. – 2025. – Vol. 17. – P. 837.

6. Imtiaz, F. An inclusive approach to crop soil moisture estimation: Leveraging satellite thermal infrared bands and vegetation indices on Google Earth Engine / F. Imtiaz [et al.] // Agricultural Water Management. – 2024. – Vol. 306.

7. Madelon, R. Soil moisture estimates at 1 km resolution making a synergistic use of Sentinel data / R. Madelon [et al.] // Hydrology and Earth System Sciences. – 2023. – Vol. 27, № 6. – P. 1221–1242.

8. Holzman M. E., Rivas R., Bayala M. (2014). Subsurface soil moisture estimation by VI-LST method. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 11(11): 1951–1955.

9. Prze´zdziecki, K. Assessing Moisture Content and Its Mitigating Effect in an Urban Area Using the Land Surface Temperature-Vegetation Index Triangle Method / K. Prze´zdziecki, J. Zawadzki // Forests. – 2023. – Vol. 14. – P. 1–16.

10. Karnieli, A. Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations / A. Karnieli [et al.] // Journal of Climate. – 2010. – Vol. 23, № 3. – P. 618–633.

11. Bento, V. Contribution of Land Surface Temperature (TCI) to Vegetation Health Index: A Comparative Study Using Clear Sky and All-Weather Climate Data Records / V. Bento [et al.] // Remote Sensing. – 2018. – Vol. 10, № 9. – P. 1324.

USING REMOTE SENSING DATA FOR ASSESSMENT OF SOIL MOISTURE CONDITIONS OF THE BREST REGION

K. S. Yudytskaya, V. I. Melnik

The use of Earth remote sensing data shows promises for enhancing spatio temporal assessment of soil moisture conditions. Vegetation Health Index (VHI) calculated from satellite data enables the characterization of moisture levels and the spatiotemporal patterns of drought distribution across a region.

УДК 552.6+929

АКАДЕМИК В. И. ВЕРНАДСКИЙ И МЕТЕОРИТ БРАГИН ИЗ ВОСТОЧНОГО ПОЛЕСЬЯ

Е. П. Янин
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, г. Москва, Россия

Сообщается об участии В. И. Вернадского в изучении метеорита Брагин, упавшего на территории нынешней Гомельской области Республики Беларусь. Публикуются два письма Вернадского директору Института истории АН БССР Н. М. Никольскому, в которых он просит оказать содействие в получении исторических сведений, имеющих отношение к метеориту, и предлагает помощь в поиске утраченных во время немецкой оккупации Минска его экземпляров. Особый интерес представляют мысли Вернадского о культурной древности в белорусском языке, а также его внимание к журналу «Беларусь».

Ключевые слова: метеорит Брагин, палласит, академик В. И. Вернадский, академик Н. М. Никольский, эпистолярное наследие, Полесье.

На территории современной Беларуси известны находки шести метеоритов: Брагин (первая находка около 1807–1810 гг., время падения неизвестно, предполагается, что событие произошло в пределах последней тысячи лет), Гресск (найден в июле 1954 г., падение – сотни лет назад), Жмени (падение в августе 1858 г.), Забродье (падение 22.09.1893 г.), Черный Бор (падение 05.06.1963 г.), Смолевичи (падение 25 декабря 2024 г.). Два из них – Жмени и Брагин – упали на территории Полесья. В данном сообщении речь пойдет о метеорите Брагин, которым в свое время заинтересовался академик Владимир Иванович Вернадский (1863–1945).

Интерес к метеоритам возник у Вернадского еще в 1885 г., когда он наблюдал метеорный поток Андромеды, связанный с кометой Биэлы, а в 1886–1888 гг. даже предпринял попытку изучить химический состав метеоритов [1]. Более активно этой проблемой он занялся в 1890-х гг., уже работая в Московском университете. Особенно большое внимание организации сбора метеоритов и их всестороннему изучению Вернадский стал уделять с начала 1920-х гг. [2]. В 1921 г. по его инициативе при Российской академии наук (РАН) была организована Метеоритная экспедиция, в 1922 г. в Минералогическом музее РАН создан Метеоритный отдел; в 1935 г. – Метеоритная комиссия (при Институте геохимии, кристаллографии и минералогии им. М. В. Ломоносова АН СССР), а 25 мая 1938 г. на заседании Совета Отделения математических и естественных наук АН СССР по докладу Вернадского было принято решение о реорганизации указанной Комиссии в Комитет по метеоритам (КМЕТ), председателем которого он стал [3]. Вернадский особо подчеркивал, что «научная работа над метеоритами, в ее организованной форме, у нас только что начинается и, очевидно, ввиду огромной ценности метеоритов должна быть строго регулирована. Раз уничтоженный, метеорит не может быть возмещен, так как каждое падение есть неповторяющееся природное тело, особое природной явление иногда огромного значения» [4, с. 8]. Не прошел мимо его внимания и уникальный железокаменный метеорит Брагин, под которым подразумевается целая группа масс, найденных в разное время в бассейне р. Брагинки (Брагинский район Гомельской области). Они имеют одинаковые структуру и состав, различаясь лишь по массе. Предполагается, что в этом районе (на площади примерно 15 × 30 км) когда-то выпал мощный метеоритный дождь [5]. Метеорит Брагин принадлежит к палласитам, названным так по имени легендарного Палласова Железа – метеорита, найденного в 1749 г. в 200 км от г. Красноярска. Многие специалисты считают метеорит Брагин, который сложен полупрозрачными буровато-зелеными кристаллами оливина в металлической железоникелевой матрице, одним из самых красивых палласитов.

История находок и изучения брагинских метеоритов (до 1939 г.) рассмотрена Л. А. Куликом [6–8] и Е. Л. Криновым [5]. Из их публикаций следует, что первыми (вполне достоверными) находками являются два экземпляра (весом 80 и 20 кг), найденные примерно в 1807–1810 гг. в местности Кунцовка, близ д. Капоренки. В самом конце XIX века в 2–3 км от с. Круки был обнаружен еще один палласит (весом 182 кг), в этом же районе, в начале XX в., найдены сразу два образца, затем в 1927 г. (жителями д. Колыбань) обнаружены три куска аналогичного палласита (весом 1376 г, 543 г и 340 г), в 1937 г. недалеко от с. Круки – образец в 270 кг, в 1938 г. близ д. Капоренки – экземпляр весом в 16 кг. Последние два образца поступили тогда в Институт геологии АН БССР. Всего (на начало 1939 г.) было известно семь индивидуальных экземпляров метеорита Брагин, общим весом (с мелкими осколками) более чем в 633 кг. В литературе брагинские мете-

ориты впервые упоминаются в 1819 г. Кулик особо подчеркивал, что «проблема изучения площади находок брагинских метеоритов совместными силами АН СССР и АН БССР стоит в настоящее время в порядке дня» [8, с. 84]. В 1952 г. в 6 км к востоку от с. Круки был найдет новый (9-й по счету) экземпляр метеорита Брагин (массой 73 кг) [9]. Согласно [10], на начало 1950-х гг. образцы этого метеорита имелись в Горном музее при Ленинградском горном институте, в коллекции Геологического института АН Эстонской ССР (г. Тарту), в коллекции Комитета по метеоритам АН УССР (г. Киев), в коллекции метеоритов Комиссии по метеоритам АН БССР (создана в 1950 г.), в Днепропетровском горном институте. Хранившиеся в Институте геологии АН БССР два крупных палласита пропали во время оккупации Минска фашистами [5].

В фонде Вернадского (в Архиве РАН, в Москве) отложились два его письма к Николаю Михайловичу Никольскому (1877–1959), известному историку-востоковеду, этнографу, исследователю истории религии, академику АН БССР (1931), члену-корреспонденту АН СССР (1946), директору (в 1937–1953 гг.) Института истории АН БССР. С ним Вернадский явно был в дружеских отношениях. Так, в «Хронологии 1942 г.» он, интересуясь ситуацией в оккупированном немцами Минске, записал, что всегда был в курсе работы Белорусской Академии, а среди немногих людей, с которыми в этой связи общался, называет Никольского [11, с. 381]. В личной библиотеке Вернадского в его Мемориальном кабинете-музее при ГЕОХИ РАН имеется одна из научных работ Никольского [12].

Первое из сохранившихся писем представляет собой черновик, составленный Вернадским [13]:

«Глубокоуважаемый Николай Михайлович,

Обращаюсь к Вам как к директору Исторического института Белорусской академии наук с просьбой помочь в работе Метеоритного комитета СССР, председателем которого я являюсь.

Мы заняты сейчас изучением Брагинского метеорита, упавшего давно, возможно в начале XIX столетия (1807?), а может быть и много раньше. Это был, по-видимому, метеоритный дождь, т. е. упало одновременно несколько, по-видимому, много, железных глыб. Известно (в разных коллекциях – в Вильно, в Ленинграде, Москве, Киеве) много кусков в десятки-сотни килограммов каждый.

Этот дождь метеоритов представляет большой научный интерес, так как это железокаменные метеориты, так называемые палласиты. Образцы последней находки находятся в Минске в Музее Белорусской Академии, и Вы можете их там видеть. Они найдены случайно при земляных работах в 1937 и 1938 г. – два метеорита весом 16–270 килограммов. Всего в коллекциях известны были 633 килограмма Брагинских метеоритов. Изучены они недостаточно и сейчас все палласиты являются одной из проблем, изучаемых нашим Комитетом. В частности, брагинские метеориты изучаются Белорусской Академией (представитель которой должен – по нашему уставу – входить в состав нашего комитета) в тесном контакте с нашим Комитетом.

Первые образцы Брагинского метеорита попали в научный обиход в начале XIX века, когда образцы попали в Виленский университет в руки профессора Городецкого, а в 1821 году граф Л. Рокицкий подарил глыбу (в 17 кило), найденную в кузнице, куда ее снесли крестьяне его поместий (находится сейчас в нашей коллекции – испорчена нахождением в кузнице), а в 1822 г. там находилась другая глыба в 79,8 кило, неповрежденная и изучавшаяся польскими и французскими учеными (теперь находится в собрании Украинской Академии наук в Киеве).

После долгого перерыва за последнее время стали вновь находить новые куски. Обычно находят крестьяне. Помимо находок 1937–1938 гг., поступивших в вашу Академию, в 1911 году найдена и описана покойным молодым минералогом П.И. Гришинским глыба весом в 18,2 килограмма (теперь в собрании Украинской Академии наук). Все эти находки найдены между Круками и Капоренкой южнее Брагина.

Мы хотим – совместно с Белорусской Академией – произвести поиски этих метеоритов с помощью магнитной разведки. Вероятно, есть еще ряд неоткрытых глыб.

Обращаюсь с просьбой к Вам о помощи в этой работе и в частности:

1. Дать сведения о графе Л. Рокицком.

Есть ли о нем литература, сохранился ли его архив?

Где были его поместья?

2. Есть ли в печати – газетной и журнальной – русской и польской – сведения о находке метеоритов начала XIX столетия в Брагинском районе. В научной только в Dziennik Wilenski нам известны указания.

3. Есть ли в официальных архивных материалах – в донесениях местных властей (в губернаторских отчетах?) сведения о падениях камней с неба.

4. Нет ли где в этом районе у местного населения сведений о находке метеоритов».

Это письмо Вернадский подготовил, судя по всему, в начале осени 1938 г. В частности, как сказано выше, решение о реорганизации Комиссии по метеоритам в Комитет по метеоритам было принято 25 мая

1938 г. (в письме Вернадский уже называет себя председателем КМЕТ). Кроме того, 29 августа 1937 г. по заданию Вернадского Минск посетил Е.Л. Кринов (в то время научный сотрудник Комиссии по метеоритам). Сохранилось его письмо от 29 августа Вернадскому, в котором Кринов пишет: «Сегодня утром я приехал в г. Минск и с вокзала проехал в Институт геологии Белорусской Академии наук, к заместителю директора Института Зуеву, от которого мы получили все сообщения о находке метеорита». Далее Кринов сообщает, что Зуев был рад его приезду и «тотчас провел меня в музей, куда уже был доставлен найденный метеорит», который по внешнему виду «чрезвычайно сходен с образцами Брагинского метеорита, имеющегося у нас». Вес метеорита – 17 кг. «Он очень хорошо сохранился», найден «в районе прежних находок Брагинского метеорита, в дюнных песках, на глубине около 1 метра. Нашел его случайно один крестьянин». По просьбе белорусских коллег Кринов письменно изложил свое мнение о метеорите «для доклада президенту» АН БССР. Что же касается «дальнейшего хранения найденного метеорита, то здесь очень несклонны передавать его в нашу коллекцию. Наоборот, имеется желание этим метеоритом положить основание метеоритной коллекции здесь». Кринов также сообщил, что все материалы, связанные с находкой, ему обещали прислать в конце сентября. Кроме того, он «подробно изложил пожелания в отношении описаний обстоятельств находки (данной и могущих быть в будущем), на что следует обращать внимание, как составить описание и т. д.» [14]. Позже, 7 августа 1938 г., Кринов сообщил Вернадскому, что посылает ему «папку со всеми материалами по метеориту Брагин» [15], которые он, очевидно, подготовил на основе присланных из Минска сведений.

Второе письмо В. И. Вернадского Н. М. Никольскому (машинопись, копия), написанное им в Москве уже после возвращения из эвакуации, датируется 9 декабря 1944 г. [16]:

«Глубокоуважаемый Николай Михайлович,

Очень жалею, что не видел Вас в Москве. Когда я справился о Вас, вернувшись в Москву, то оказалось, что Вы уже уехали из Москвы.

В Узком <академический санаторий под Москвой> Вас тоже не было.

Обращаюсь к Вам с просьбой. Я хотел бы подписаться на издание «Беларусь» на белорусском языке, на 1945 г. Тот номер, который был у меня, несомненно интересен. Но здесь <в Москве> мне не удается подписаться. Интересно и то, что чувствуешь, по сравнению с украинским и с русским <языками>, какую-то большую культурную древность в <белорусском> языке.

Очень буду Вам благодарен, если исполните мою просьбу, тотчас вышлю деньги, как Вы мне сообщите сумму. Может быть, есть и еще что-нибудь интересное?

Как Ваше здоровье? Над чем Вы работаете? Не собираетесь ли в Узкое? Я прожил в Узком два месяца летом. Там все сохранилось в порядке, хотя немцы были в 10 км. Когда я там был, то были попытки каких-то военных властей захватить часть леса, но это удалось быстро остановить.

Желаю Вам всего лучшего. Буду рад, если черкнете.

P. S. Я являюсь председателем Комитета по метеоритам нашей Всесоюзной Академии. В Белорусской Академии нет метеоритного комитета, но есть очень ценные большие метеориты – железные, по-видимому, упавшие в конце XVIII века. В мое время найдены были два таких больших метеорита, по много пудов весом. Один был найден в кузнице, когда я был президентом (головой) Украинской Академии наук, другой был найден в песке при добыче песка, около 1938 г. Это – Брагинские метеориты. Очень прошу Вас сообщить мне, что с ними сделалось? Я имею ход по этим делам к представителям правительства и немедленно приму меры к возвращению их, если они увезены <фашистами>. Возможно, что ваша Академия имела и еще метеориты, полученные в обмен на образцы Брагинских. Надо вернуть все! Напишите мне тогда полный список метеоритов, которые числились и не нашлись после немцев.

В Белорусской Академии хранились два образца Брагинских метеоритов, найденные в 1937 и в 1938 гг. Они хранились в Геологическом институте Академии».

В этом письме Вернадского особый интерес представляют его мысли о культурной древности в белорусском языке, а также внимание к журналу «Беларусь». В частности, в дневнике Вернадского есть запись от 10 декабря 1944 г. о том, что он выписал украинскую газету (через вице-президента АН УССР Б. И. Чернышева), а также «написал и письмо в Минск Никольскому, о том же для “Беларуси”» [17]. О журнале «Беларусь» Вернадский несколько раз упоминает в «Хронологии 1944 г.». Так, в одном месте он записал: «“Беларусь”. Новый журнал» [18, с. 234]; в другом – отметил: «”Беларусь”. Двухмесячны грамадска-палітычны і літаратурны часопіс, 1944. № 1» [18, с. 252]. Известно, что в 1944 г. на русском языке выходил журнал «Белоруссия», вышло 6 номеров, причем №№ 1–3 печатались (по понятным причинам) в Москве. В этом же году начал издаваться на белорусском языке (как ежемесячный литературно–художественный и общественно-политический) журнал «Беларусь», вышло 6 номеров (первые три также печатались в Москве), в 1945–1949 гг. – выходило по 12 номеров в год, уже в Минске.

Судя по всему, первое письмо Вернадского и поездка по его заданию в Минск Кринова привели к тому, что уже в 1939 г. Комитет по метеоритам АН СССР, как об этом сообщает Л. А. Кулик [19], установил контакты с АН БССР, выделившей в его состав своих представителей с правами действительных членов КМЕТ. Вторым письмом Никольскому Вернадский предпринял попытку восстановить прерванную войной совместную работу по изучению метеоритов. Не исключено, что в Архиве РАН и Архиве НАН Беларуси отложились документы, в которых есть сведения об этой деятельности и которые ждут своего исследователя.

Сообщение подготовлено в рамках выполнения государственного задания ГЕОХИ РАН (№ FMMZ-2024-0039).

Список использованных источников

1. Янин, Е. П. Из архивного наследия академика В. И. Вернадского. Начало творческого пути, 1885–1888 гг. / Е. П. Янин. – М. : НП «АРСО», 2024. – 464 с.

2. Кринов, Е. Л. Академик В. И. Вернадский и развитие метеоритики в СССР / Е. Л. Кринов // Природа. – 1946. – № 9. – С. 11–13.

3. О реорганизации Комиссии по метеоритам в Комитет по метеоритам и о месте пребывания его в системе АН. Доклад академика В. И. Вернадского от 25 мая 1938 г. // Архив Российской академии наук (АРАН). – Ф. 518. Оп. 4. Д. 39. Л. 1.

4. Вернадский, В. И. Несколько соображений о проблемах метеоритики / В. И. Вернадский // Метеоритика. – М.–Л., 1941. – Вып. I. – С. 2–11.

5. Кринов, Е. Л. Метеориты / Е. Л. Кринов. – М.–Л. : Изд-во АН СССР, 1948. – 371 с.

6. Кулик, Л. А. Брагинские метеориты и метеоритные рои / Л. А. Кулик // Мироведение. – 1924. – Т. 13. – № 2. – С. 231–233.

7. Кулик, Л. А. Четвертый Брагинский метеорит / Л. А. Кулик // Доклады РАН. Серия А. – 1924. – Апрель–июнь. – С. 85–88.

8. Кулик, Л. А. Прирост коллекции метеоритов Академии наук СССР в Москве с 1934 по 1939 г. / Л. А. Кулик // Метеоритика. – М.–Л., 1941. – Вып. I. – С. 73–122.

9. Рынг, С. И. Находки метеоритов в Белоруссии / С. И. Рынг // Природа. – 1957. – № 8. – С. 112–113.

10. Метеоритика. – М., 1955. – Вып. XII. – 128 с.

11. Вернадский, В. И. Дневники. Июль 1941 – август 1943 / В. И. Вернадский. – М. : РОССПЭН, 2010. – 542 с.

12. Никольский, Н. М. Еврейские и христианские праздники, их происхождение и история / Н. М. Никольский. – М. : Атеист, 1931. – 134 с.

13. Письмо В. И. Вернадского к Никольскому Николаю Михайловичу // Архив Российской академии наук (АРАН). – Ф. 518. Оп. 3. Д. 1986. Л. 4.

14. Письмо Е. Л. Кринова В. И. Вернадскому, 1937.VIII.29 // Архив Российской академии наук (АРАН). – Ф. 518. Оп. 3. Д. 865. Л. 24–25.

15. Письмо Е. Л. Кринова В. И. Вернадскому, 1938.VIII.7 // Архив Российской академии наук (АРАН). – Ф. 518. Оп. 3. Д. 865. Л. 35.

16. Письмо В. И. Вернадского к Никольскому Николаю Михайловичу, 9.XII.1944 г. // Архив Российской академии наук (АРАН). – Ф. 518. Оп. 3. Д. 1986. Л. 5.

17. Дневник В. И. Вернадского последнего периода жизни // Архив Российской академии наук (АРАН). – Ф. 518. Оп. 2. Д. 24. Л. 20.

18. Вернадский, В. И. Собрание сочинений: в 24 т. Т. 24. Дневники В. И. Вернадского 1944 г. / В. И. Вернадский / Научн. ред. и сост. академик Э. М. Галимов. – М. : Наука, 2013. – 365 с.

19. Кулик, Л. А. Комитет по метеоритам АН СССР в 1939 г. / Л. А. Кулик // Метеоритика. – М.–Л., 1941. – Вып. II. – С. 123–129.

ACADEMICIAN V. I. VERNADSKY AND THE BRAGIN METEORITE FROM EASTERN POLESIE

E. P. Yanin

The article reports on V. I. Vernadsky's participation in the study of the Bragin meteorite, which fell in the present-day Gomel region of the Republic of Belarus. Two letters from Vernadsky to N. M. Nikolsky, Director of the Institute of History of the Academy of Sciences of the BSSR, are published, in which Vernadsky requests assistance in finding historical information related to the meteorite and offers to help in the search for copies that were lost during the German occupation of Minsk. Of particular interest are Vernadsky's thoughts on cultural antiquity in the Belarusian language, as well as his attention to journal «Belarus».

СЕЛЬСКАЯ ГАСПАДАРКА

УДК 631.44.001.53:631.47

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ БОБОВЫХ КУЛЬТУР

Т. Н. Азарёнок, О. В. Матыченкова, С. В. Дыдышко

РУП «Институт почвоведения и агрохимии», г. Минск, Беларусь

Проведен анализ многолетних статистических данных посевных площадей и урожайности бобовых культур (сои, гороха посевного, вики и пелюшки), впервые осуществлена геостатистическая оценка пригодности почв элементарных участков землепользований и составлены картограммы распределения пригодных почв для выращивания бобовых культур по административным районам Брестской области.

Ключевые слова: пахотные земли, административный район, посевная площадь, урожайность, геостатистическая оценка, пригодность почв, соя, горох, вика, пелюшка.

Введение. Проблема расширения посевов бобовых культур, обладающих высокой кормовой ценностью и высокой экологической значимостью в повышении и сохранении плодородия почв, является актуальной производственной задачей. Размещение сельскохозяйственных культур в наиболее благоприятных для их роста и развития почвенно-агроэкологических условиях дает возможность максимально выгодно использовать почвенные ресурсы для эффективного их выращивания. Бобовые культуры по своим биологическим особенностям предъявляют различные требования к почвенным условиям произрастания [1]. Для соблюдения технологии производства зернобобовых культур и определения их посевных площадей в областях республики и административных районах требуется комплексный учет данных о типах почв, степени увлажнения, гранулометрическом составе почвообразующих и подстилающих пород. Но размещение посевов бобовых культур даже на пригодных почвах без учета агроэкологических условий их произрастания приводит к увеличению риска снижения их урожайности. Применение геостатистических методов [2] позволяет провести комплексную оценку пригодности почв пахотных земель для выращивания бобовых культур как с учетом региональных особенностей компонентного состава, так и с учетом агрохимических свойств почв (кислотности, содержания гумуса, подвижных форм питательных веществ), характеризующих их плодородие.

Цель исследований – провести геостатистическую оценку пригодности почвенно-агроэкологических условий пахотных земель Брестской области для выращивания бобовых культур (сои, гороха, вики, пелюшки).

Методы исследования и исходные материалы. Геостатистическая оценка компонентного состава почв элементарных участков хозяйств проведена с использованием ГИС-инструментария [2]. Применялись разработанные в Институте почвоведения и агрохимии электронные справочники определения степени пригодности почв на основе частных агрогруппировок почв с учетом показателей требовательности культур (сои, гороха посевного, вики и пелюшки) к уровню агрохимического плодородия почв и их агроэкологическому состоянию. Исходным материалом служили базы данных Почвенно-информационной системы Беларуси (ПИСБ) и данные почвенного агрохимического обследования элементарных участков землепользований административных районов области из электронной республиканской «Базы данных агрохимических свойств сельскохозяйственных земель Беларуси» (14 тур обследования).

Результаты и обсуждение. Проведенный анализ посевных площадей и урожайности культур *сои, гороха посевного, вики и пелюшки* на основании многолетних данных Национального статистического комитета [3] позволил установить, что посевные площади сои в области за период с 2015 по 2024 гг. превышали 1 000 га (за исключением 2016 г. – 699 га). В 2015 и 2020 гг. посевные площади культуры составляли 1 406 и 1 416 га соответственно и достигли максимального значения в 2024 г. – 1 600 га, где она высевалась в 8 районах области. Наибольшие ее посевные площади (254–600 га) отмечены в Ивацевичском, Малоритском, Кобринском и Пинском районах.

Установлена динамика посевных площадей *гороха посевного*. Так, если в 2010 и 2015 гг. посевная площадь культуры составляла 1 930 и 1 287 га соответственно, то уже к 2020 г. площадь посевов увеличилась в 4,3–6,5 раза (до 8 312 га). Максимальные посевные площади гороха посевного в области были в 2021 г. – 10 745 га. В последующие годы наблюдалось незначительное снижение посевов этой культуры. В 2024 г. горох высевался на площади 7 219 га, а наибольшие посевные площади (>1000 га) отмечены в 3-х районах: Брестском, Ивановском и Пружанском.

Анализ статистических данных показал, что посевные площади *вики* в Брестской области подвержены значительной динамике. Максимальные площади этой культуры зафиксированы в 2005 г. – 9 600 га. С 2010 по 2013 гг. отмечался некоторый рост посевной площади культуры – с 3 014 га до 4 517 га соответственно. Однако в 2015–2020 гг. посевы вики в области сократились до 2 741–2 772 га, а с 2021 по 2023 гг. посевная площадь культуры еще более снизилась – в 2,9 раза (с 1 855 га до 6 35 га). По состоянию на 2023 г. вика высевалась в 6 районах области, а максимальные посевные площади отмечены в Малоритском и Столинском районах –157 га и 353 га соответственно.

В 2010 и 2020 гг. посевные площади *пелюшки* в области составили 5 825 и 6 599 га соответственно. Максимальные посевные площади культуры в области отмечались лишь в 2015 г. – 19 152 га. С 2021 по 2023 гг. посевы пелюшки снизились до 4 935 га. По состоянию на 2023* г. пелюшка высевалась в 13 районах области, а наибольшие площади под культуру отведены в Кобринском и Лунинецком районах – 1 292 и 1 883 га соответственно.

Проведен анализ урожайных данных по каждой из культур на уровне административных районов с расчетом коэффициента устойчивости получения урожая по каждому из них [4]. Анализ полученных данных показал, что средняя урожайность *сои* в области за исследуемый период составляет 12,0 ц/га, изменяясь от 6,1 до 16,6 ц/га (таблица 1).

Таблица 1 *– Средняя многолетняя урожайность зернобобовых культур (сои за 2015–2024 гг., гороха, вики, пелюшки за 2005–2024 гг.), ц/га*

Область/ республика	Соя		Горох		Вика		Пелюшка	
	x±σ	min–max	x±σ	min–max	x±σ	min–max	x±σ	min–max
Брестская область	12,0±3,4	6,1–16,6	24,7±4,5	16,3–34,2	24,0±4,3	15,9–32,6	23,5±3,4	19,1–30,5
Республика Беларусь	11,3±3,4	6,0–16,0	24,3±5,1	9,9–39,3	23,8±5,1	11,2–38,7	23,6±5,0	9,4–34,7

Примечание: x – среднее значение; σ – стандартное отклонение.

За исследуемый период наибольшая урожайность культуры составила 16,6 ц/га. Наименьшая среднемноголетняя урожайность бобов сои – в Лунинецком районе (4,4 ц/га), наибольшая – в Дрогичинском (24,5 ц/га). По состоянию на 2024 г. наибольшая урожайность культуры сои достигнута в Пинском, Барановичском и Дрогичинском районах – 19,0–26,2 ц/га. В целом показатели урожайности сои за исследуемый период в Брестской области несколько превышают многолетние республиканские значения (таблица 1). На основании рассчитанного коэффициент устойчивости Брестская область относится к неустойчивой зоне получения урожая сои (КУ= 0,72).

Средняя урожайность *гороха посевного* в области за исследуемый период составляет 24,7 ц/га (таблица 1). Наименьшей среднемноголетней урожайностью гороха характеризуется Лунинецкий район (13,9 ц/га), наибольшей – Барановичский (29,7 ц/га). По состоянию на 2024 г. наибольшая урожайность гороха достигнута в Брестском, Дрогичинском и Пружанском районах – 27,9–30,7 ц/га. Показатели урожайности гороха за исследуемый период по Брестской области чуть выше многолетних республиканских значений. На основании рассчитанного коэффициент устойчивости (КУ=0,82) регион характеризуется как область с допустимым уровнем получения урожая гороха посевного.

Средняя многолетняя урожайность *вики* за 2005–2024 гг. в области составляет 24,0 ц/га (таблица 1). Наименьшей среднемноголетней урожайностью гороха характеризуется Лунинецкий район (15,3 ц/га), наибольшей – Кобринский (35,8 ц/га). По состоянию на 2024 г. наибольшая урожайность вики – 33,0 ц/га – получена в Ивацевичском районе. Показатели урожайности вики за исследуемый период по Брестской области чуть выше многолетних республиканских значений. Брестская область характеризуется допустимым уровнем получения урожая вики (КУ=0,82).

Анализ полученных данных показал, что средняя урожайность *пелюшки* в области за исследуемый период составляет 23,5 ц/га (таблица 1). Наименьшая среднемноголетняя урожайность отмечена в Лунинецком районе (16,1 ц/га), наибольшая – в Жабинковском и Брестском районах (31,3–31,7 ц/га). По состоянию на 2024 г. наибольшая урожайность культуры достигнута в Жабинковском и Дрогичинском районах – 28,7–30,6 ц/га. В целом показатели урожайности пелюшки за исследуемый период в Брестской области соответствуют многолетним республиканским значениям (таблица 1).

*С 2024 г. данные о посевных площадях вики и пелюшки объединены в одну категорию.

Установлено количество пригодных почв для выращивания сои, гороха, вики и пелюшки по административным районам Брестской области с учетом оптимальных почвенно-агрохимических показателей, соответствующих биологическим требованиям культур [1]; а результаты подсчета площадей пригодных почв приведены в таблице 2.

***Таблица 2** – Площади пригодных почв пахотных земель для возделывания бобовых культур (сои, гороха посевного, вики и пелюшки) в Брестской области*

Районы	Соя		Горох посевной		Вика, пелюшка	
	га	%	га	%	га	%
Барановичский	12042,1	16,3	24704,9	33,4	30626,7	41,5
Березовский	3019,1	7,9	1667,1	4,3	2393,2	6,2
Брестский	2454,0	6,4	2992,1	7,8	3813,4	9,9
Ганцевичский	444,0	2,3	353,1	1,8	478,4	2,5
Дрогичинский	4031,1	10,3	962,8	2,5	1078,6	2,8
Жабинковский	2157,7	7,7	485,0	1,7	469,1	1,7
Ивановский	2997,6	6,7	1290,8	2,9	1692,6	3,8
Ивацевичский	265,6	0,5	1705,2	3,2	2384,9	4,5
Каменецкий	6123,5	10,2	10340,2	17,2	12639,1	21,0
Кобринский	2987,8	5,4	1193,0	2,2	1538,5	2,8
Лунинецкий	111,8	0,3	27,7	0,1	34,2	0,1
Ляховичский	5671,9	15,8	9435,9	26,4	11064,4	30,9
Малоритский	42,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Пинский	1205,0	2,0	1010,0	1,7	1052,2	1,8
Пружанский	3483,7	4,9	5337,3	7,5	7760,1	10,9
Столинский	2665,2	6,3	892,7	2,1	803,5	1,9
Итого по области	**49702,2**	**6,8**	**62397,8**	**8,6**	**77828,9**	**10,7**

Анализ полученных данных показал, что в Брестской области площади пригодных пахотных почв для выращивания сои с учетом типовых различий степени увлажнения, гранулометрического состава и агрохимических показателей составляют 49 702,2 га или 6,8 % пахотных земель. Возможная посевная площадь с учетом фитосанитарных условий произрастания культуры составляет 9 940 га или 1,4 % пахотных земель. Наибольшие площади пригодных почв для выращивания *сои* в Барановичском районе – 12 042,1 га или 16,3 % пахотных земель. Доля пригодных почв пахотных земель для возделывания *гороха посевного* в области составляет 8,6 % или 62 397,8 га. Возможная посевная площадь культуры с учетом фитосанитарных условий составляет 15 599,5 га или 2,1 % пахотных земель. Наибольшее количество пригодных почв для выращивания этой культуры в Ляховичском и Барановичском районах – 26,4–33,4 % пахотных земель соответственно (таблица 2). Для возделывания *вики и пелюшки* в области всего пригодно 77 828,9 га или 10,7 % пахотных земель (таблица 2). Возможная посевная площадь с учетом фитосанитарных норм составляет 25 942,9 га или 3,6 % пахотных земель области. Наибольшее количество пригодных почв для выращивания этих двух культур – в Каменецком, Ляховичском и Барановичском районах (таблица 2).

По результатам геостатистической оценки составлены картосхемы распределения пригодных почв для размещения отдельных бобовых культур по административным районам области (рисунок).

В 9 районах области доля пригодных почв для выращивания сои составляет 10,0–1,0 %, а в 3-х районах (Лунинецком, Ивацевичском и Малоритском) – менее 1,0 %, где в составе пахотных земель преобладают почвы рыхлого гранулометрического состава. Лишь в 3-х районах области – Каменецком, Барановичском и Ляховичском районах доля пригодных почв для выращивания гороха посевного превышает 10,0 %. Также в этих районах доля пригодных почв для выращивания вики и пелюшки превышает 20,0 %.

Заключение. Таким образом, применение геостатистической оценки пригодности почв может служить методическим инструментом для регулирования посевных площадей бобовых культур (сои, гороха посевного, вики и пелюшки) на основе комплексного учета их требовательности к почвенно-агроэкологическим условиям произрастания, обеспечивая практическую реализацию принципов рационального землепользования на основе дифференцированного подхода в использовании почвенных ресурсов пахотных земель Брестской области и указывает на необходимость включения новых видов бобовых культур в структуру посевных площадей районов с низким удельным весом пригодных почв, адаптированных к существующим почвенно-агроэкологических условиям произрастания.

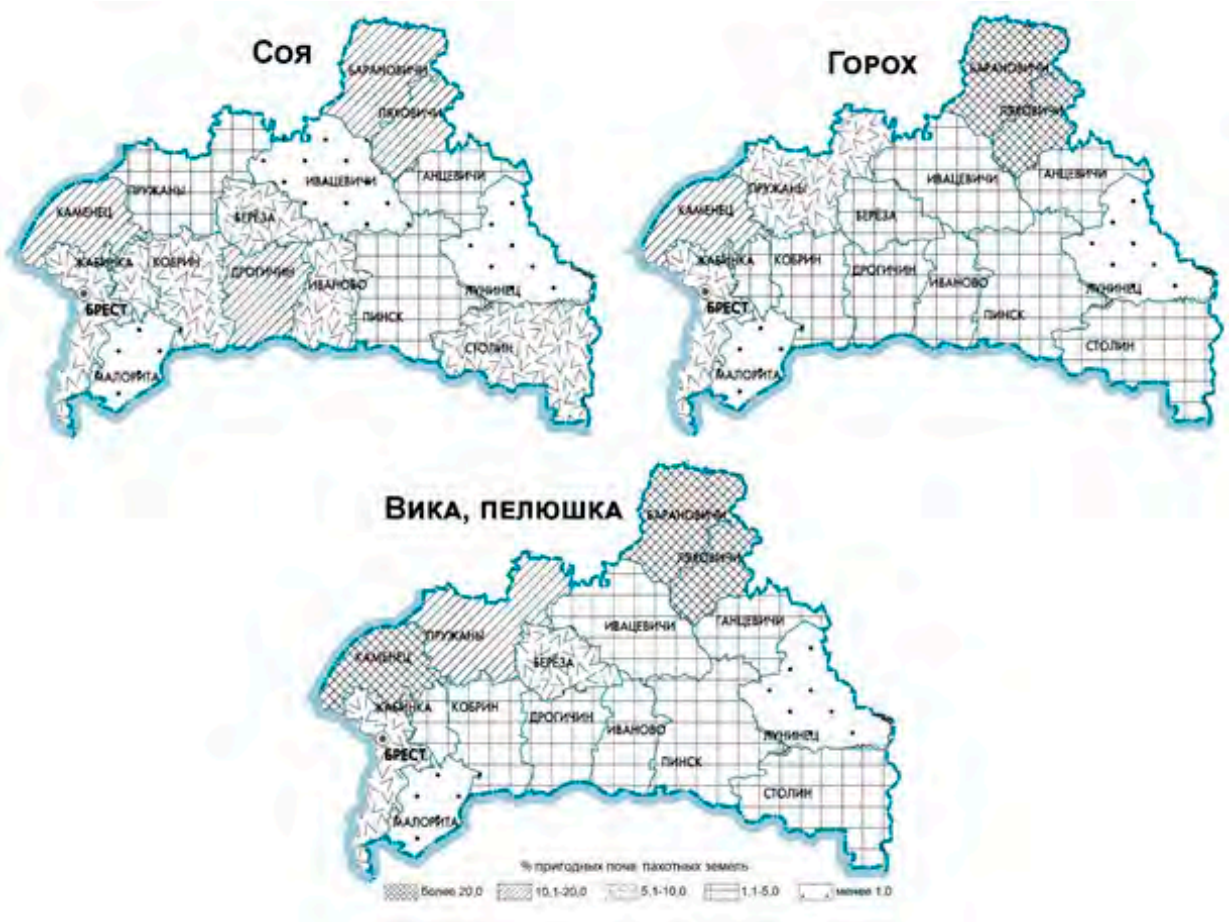


Рисунок *– Картограммы распределения пригодных почв пахотных земель для выращивания отдельных бобовых культур по административным районам Брестской области*

Список использованных источников

1. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных, кормовых и технических растений: сборник отраслевых регламентов / Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию; рук. работы: Ф. И. Привалов, В. В. Гракун, Э. П. Урбан [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – 530 с.

2. Методика создания информационной системы учета динамики и прогноза свойств отдельных компонентов почвенного покрова землепользований для наиболее экономически эффективного использования почвенных ресурсов / В. В. Лапа, Д. В. Матыченков, Т. Н. Азарёнок [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 39 с.

3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь: [сайт]. – Минск, 1998–2025. – Режим доступа : https://www.belstat.gov.by. – Дата доступа : 25.02.2025.

4. Суслов, С. А. Методика региональной оценки экономической устойчивости сельскохозяйственного производства / С. А. Суслов, И. В. Громова // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 5. – С. 100–114.

GEOSTATISTICAL ASSESSMENT OF THE SOILS' FITNESS OF THE ARABLE LAND IN THE BREST REGION FOR GROWING LEGUMES

T. N. Azaronak, **O. V. Matychenkova, S. V. Dydyshko**

The analysis of long-term statistical data on the sown areas and yields of leguminous crops (soybeans, field peas, vetch and pea) was carried out for the first time. A geostatistical assessment of the suitability of soils for elementary land use areas was conducted, and maps were created to show the distribution of suitable soils for growing leguminous crops in the administrative districts of the Brest region.

УДК 631.47

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В АГРАРНЫХ ЛАНДШАФТАХ ПОЛЕСЬЯ

Е. В. Алексейчик, Н. Н. Цыбулько

Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь

Проведен анализ распространения в агроландшафтах территории Белорусского Полесья деградированных торфяных почв. Выполнена группировка районов по удельному весу деградированных торфяных почв в составе земель сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: деградированные торфяные почвы; сельскохозяйственные земли; оценка; группировка.

Введение. На территории Белорусского Полесья за относительно небольшой временной период (вторая половина XX века) проведено мелиоративное преобразование (осушение) огромных массивов болотных и заболоченных ландшафтов для использования торфяных почв под сельскохозяйственные земли. Изменение гидрологических условий при осушении и интенсивное сельскохозяйственное использование приводят к изменению свойств и режимов торфяно-болотных почв: происходит механическая усадка торфа, повышается температура и аэрируемость почвенных горизонтов, восстановительные процессы сменяются окислительными, активизируются микробиологические процессы. Все это в итоге способствует разрушению органогенного (торфяного) слоя [1, 2].

Трансформация осушенных торфяных почв представляет собой постепенное уменьшение мощности торфяного слоя вплоть до полного его разрушения в результате минерализации органического вещества, дефляции и физического уплотнения. Скорость этих процессов зависит от степени осушения, глубины торфяного слоя, ботанического состава и степени разложения торфа, продолжительности и интенсивности сельскохозяйственного использования почвы, механической обработки почвы, количества вносимых удобрений, поступления в почву послеуборочных растительных остатков, количества и состава минеральных компонентов [3].

Академиком Н. Н. Бамбаловым на основе обобщения многочисленных данных исследований по 16 экспериментальным объектам Беларуси установлено, что уменьшение мощности торфа колеблется от 1 до 12 см в год, составляя в среднем 2–3 см в год. При этом в результате безвозвратных потерь слой торфа уменьшается на 0,3–0,5 см в год, остальное – за счет уплотнения [4].

На месте осушенных торфяных почв в результате частичной или полной сработки торфа и припахивания подстилающей породы, преимущественно песчаного гранулометрического состава, формируются антропогенно-преобразованные деградированные торфяные почвы, в пахотном (торфяно-минеральном) горизонте которых содержание органического вещества составляет менее 50 %.

Цель работы – провести анализ распространения деградированных торфяных почв на сельскохозяйственных землях Полесского региона.

Объекты исследования и исходные данные. Объектами исследования выступали деградированные торфяно-минеральные, минеральные остаточно-торфяные и постторфяные минеральные почвы пахотных и луговых земель 35 районов Белорусского Полесья, в том числе 15 районов Брестской области (Березовский, Брестский, Ганцевичский, Дрогичинский, Жабинковский, Ивановский, Ивацевичский, Каменецкий, Кобринский, Лунинецкий, Ляховичский, Малоритский, Пинский, Пружанский, Столинский), 17 районов Гомельской области (Брагинский, Ветковский, Гомельский, Добрушский, Ельский, Житковичский, Жлобинский, Калинковичский, Лельчицкий, Лоевский, Мозырский, Наровлянский, Октябрьский, Петриковский, Речицкий, Светлогорский, Хойникский), 2 района Минской области (Любанский, Солигорский) и 1 район Могилевской области (Глусский).

Информационно-аналитическими материалами явились результаты третьего тура (1986–1998 гг.) и корректировки третьего тура (2005–2018 гг.) почвенных обследований сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь, выполненных Проектным институтом Белгипрозем и его областными филиалами [5, 6].

Результаты и их обсуждение. По данным третьего тура почвенных обследований, проведенного в течение 1986–1998 гг., площади торфяных почв с разной мощностью торфа составляли в структуре пахот-

ных и луговых земель сельскохозяйственных организаций республики 863,5 тыс. га или 11 % от общей площади сельскохозяйственных земель на тот момент. Площади деградированных торфяных почв (торфяно-минеральные, минеральные остаточно-торфяные, постторфяные минеральные) занимали 187,2 тыс. га или 2,4 % от общей площади сельскохозяйственных земель (рисунок 1).

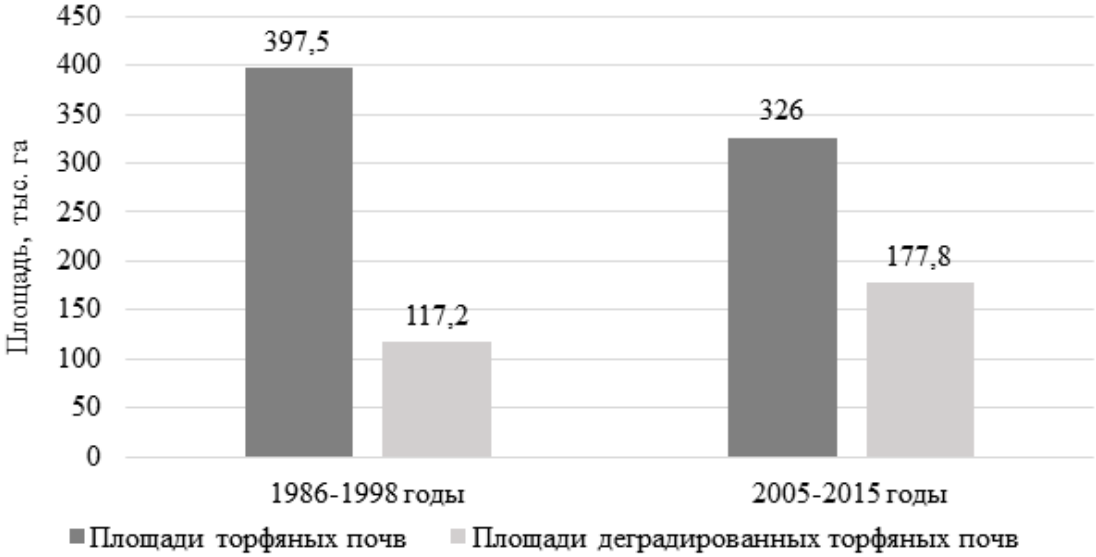


***Рисунок 1** – Изменение площадей торфяных и деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель в районах Полесского региона (Брестская и Гомельская области) между двумя турами почвенных обследований*

Результаты корректировки третьего тура почвенных обследований, которая проводилась на протяжении 2005–2018 гг., показали, что площадь торфяных почв сократилась на 71,5 тыс. га или на 18 %. В то же время площадь деградированных торфяных почв (с разной степенью деградации) увеличилась до 177,8 тыс. га или более чем на 50 %.

Наблюдаются значительные колебания площадей и удельного веса деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель по административным районам. По данным корректировки третьего тура (2005–2018 гг.) почвенных обследований сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь площади их колеблются от 600–800 га до 10–15 тыс. га.

Наибольшие площади деградированных торфяных почв находятся в Лунинецком (15,2 тыс. га), Любанском (15,0 тыс. га), Пинском (13,4 тыс. га), Солигорском (13,0 тыс. га), Петриковском (11,5 тыс. га), Кобринском (9,8 тыс. га) и Ивацевичском (9,4 тыс. га) районах. Значительные площади их (от 7,3 до 8,5 тыс. га) имеются в Ганцевичском, Дрогичинском, Калинковичском, Малоритском и Пружанском районах (таблица).

***Таблица** – Площади деградированных торфяных почв и их удельный вес в составе органогенных почв по районам Белорусского Полесья*

Районы	Площадь торфяных почв, га	Площадь дегроторфяных почв, га	Дегроторфяные почвы в составе органогенных, %
Брагинский	11627	2727,2	19
Гомельский	5106,4	1224,7	19
Жлобинский	11639,2	3949,3	25
Березовский	8504,5	2912,3	26
Ветковский	1770,2	626,9	26
Ивацевичский	25922	9370	27
Хойницкий	6271,7	2305,6	27
Глусский	10023,5	3713	27
Пружанский	21629,1	8420,6	28
Пинский	34307	13444,5	28
Октябрьский	12544,5	5076,4	29

Продолжение таблицы

Речицкий	11270,5	4710,7	30
Лельчицкий	11784,9	5090,3	30
Калинковичский	19260,6	8467,5	31
Солигорский	28287,1	13045,7	32
Светлогорский	10100,5	5365,7	35
Любанский	27258,2	15037,2	36
Брестский	2720,7	1523,3	36
Каменецкий	3937,2	2222	36
Добрушский	2413,4	1361,4	36
Ляховичский	5755,7	3520,7	38
Столинский	8718,4	5930,5	41
Ганцевичский	9794,9	7273,5	43
Житковичский	9108,1	6871,1	43
Мозырский	1104,6	838,8	43
Кобринский	12609,2	9849,5	44
Ельский	6609,9	5580,6	46
Лунинецкий	17893,1	15186,6	46
Ивановский	6808,2	6500	49
Малоритский	7032,6	7384,4	51
Петриковский	10803	11497,3	52
Дрогичинский	6808	7583,7	53
Жабинковский	1219	1524,5	56
Наровлянский	871,3	1225,2	58
Лоевский	1173,1	1663,5	59

Как показывают данные таблицы, практически во всех административных районах, расположенных на территории Белорусского Полесья, площади деградированных торфяных почв в составе всех органогенных почв (торфяные + дегроторфяные) превышает 25 %, а в отдельных районах (Дрогичинский, Жабинковский, Лоевский, Малоритский, Наровлянский, Петриковский) их доля превышает 50 %.

Проведена группировка районов по удельному весу деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственного землепользования (пахотные и луговые земли). К первой группе отнесены районы, в которых доля этих почв не превышает 5 %. Вторую группу составляют районы с удельным весом деградированных торфяных почв 5–10 % и третью группу – более 10 %. К первой группе (<5 %) относится 11 районов, ко второй группе (5–10 %) – 12 районов и к третьей группе (>10 %) – также 12 районов. К третьей группе относятся следующие районы: Пинский (10,2 %), Ивацевичский (10,6 %), Солигорский (11,4 %), Лельчицкий (11,8 %), Октябрьский (12,2 %), Житковичский (12,8 %), Малоритский (14,1 %), Ельский (14,5 %), Ганцевичский (16,2 %), Петриковский (16,2 %), Любанский (17,3 %), Лунинецкий (17,4 %) (рисунок 2).

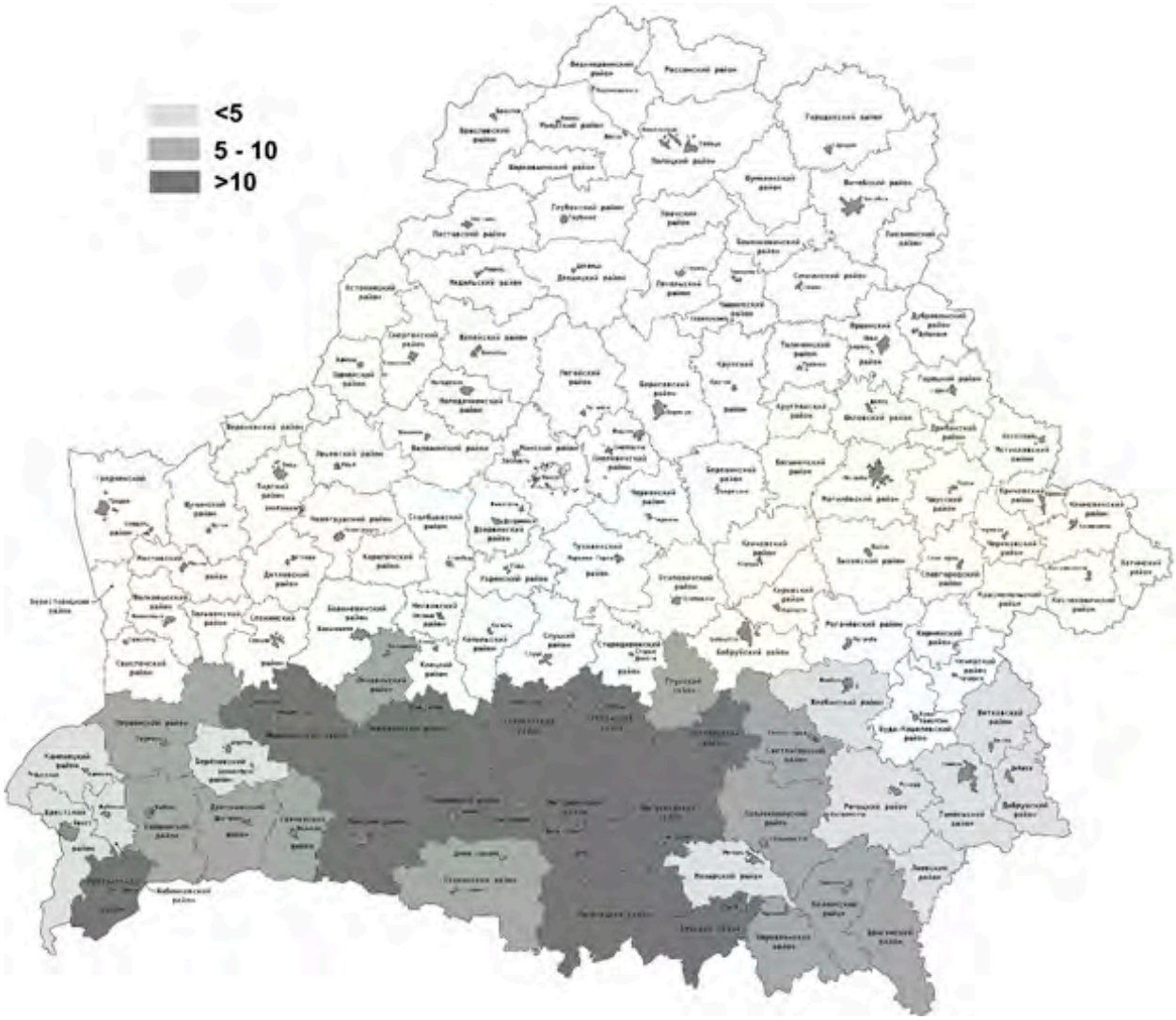


***Рисунок 2** – Картограмма группировки административных районов по удельному весу деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель, %*

Заключение. Таким образом, изменение гидрологического режима при осушении и интенсивное сельскохозяйственное использование приводят к резкому изменению свойств торфяно-болотных почв. В результате уменьшения мощности торфяного слоя и содержания органического вещества, частичной или полной сработки торфа и припахивания подстилающей породы формируются деградированные торфяные почвы, площадь которых на территории Белорусского Полесья в настоящее время составляет 203,0 тыс. га. В составе землепользований ряда административных районов деградированные торфяные почвы с разной степенью минерализации органического вещества занимают более 10 % от площади сельскохозяйственных земель. В районах, в которых удельный вес таких почв уже превышает 5 %, необходима разработка системы почвоохранных мероприятий, корректировка специализации аграрного производства и оптимизация землепользования.

Список использованных источников

1. Мееровский, А. С. Торфяные почвы Беларуси – 150 лет в сельском хозяйстве / А. С. Мееровский, В. Н. Филиппов // Мелиорация. – 2018. – № 4 (86). – С. 78–83.

2. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.

3. Бамбалов, Н. Н. Агрогенная эволюция осушенных торфяных почв / Н. Н. Бамбалов // Почвоведение. – 2005. – № 1. – С. 29–37.

4. Бамбалов, Н. Н. Причины и следствия ускоренной деградации торфяных почв / Н. Н. Бамбалов, В. Я. Туруто // Белорусское Полесье. – 2001. – Вып. 1. – С. 14–20.

5. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. – Минск : Оргстрой, 2001. – 432 с.

6. Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : практическое пособие / В. В. Лапа [и др.] ; под общ. ред. В. В. Лапа ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : ИВЦ Минфина, 2018. – 215 с.

DISTRIBUTION OF DEGRADED PEAT SOILS IN AGRICULTURAL LANDSCAPES OF POLESIE

A. V. Aliakseichyk, M. M. Tsybulka

The analysis of distribution of degraded peat soils in agrolandscapes of the territory of Belarusian Polesie was carried out. The grouping of regions by the specific weight of degraded peat soils in the composition of agricultural lands was carried out.

УДК 633.2.03

СРАВНЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ УРОЖАЙНОСТИ ПОЙМЕННЫХ ЛУГОВ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ РАЗЛИЧНЫМ ХОЗЯЙСТВЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ, НА ТЕРРИТОРИИ НП «ПРИПЯТСКИЙ»

А. А. Берки
Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Проведен анализ хозяйственной урожайности пойменных лугов, подвергающихся различным хозяйственным воздействиям. Определены группы растений, которые первыми восстанавливаются после мульчирования.

Ключевые слова: пойменные луговые экосистемы, хозяйственная урожайность, состав растительности.

Введение. Припятское Полесье характеризуется уникальным биоразнообразием. Не в последнюю очередь это обеспечивается широким распространением на этой террритории пойменных лугов. Луга являются источником ценных кормовых, пищевых, лекарственных и технических ресурсов. Кроме того, существование лугов является необходимым условием для сохранения 97 видов растений, включенных в Красную Книгу Республики Беларусь [1]. Исследования естественных пойменных лугов р. Припять показали высокий класс ценности растений пойменного фитоценоза [2]. Однако из-за сокращения выпаса скота и объемов скашивания луговой растительности количество естественных лугов в пойме Припяти сокращается [3].

Цель исследования – выяснение влияния различных хозяйственных воздействий на состав и урожайность лугов в пойме р. Припять.

Материалы и методы. Исследования проводились на территории государственного природоохранного учреждения Национальный парк «Припятский». Для исследований были выбраны луга в пойме реки Припять, которые располагаются в урочище Лясковичи (Петриковский район Гомельской области). Была исследована хозяйственная урожайность общепринятым [4] методом учетных площадок (УП). Для исследования влияния скашивания на урожайность лугов было заложено 6 УП площадью 0,25 м^2 каждая. Для оценки урожайности травянистой растительности и динамики групп растений УП закладывались в следующей последовательности: 1) участок, где был уничтожен напочвенный покров в осенний период 2024 г. (при помощи мульчера Raptor 500) на глубину 15 см; 2) участки, растительность на которых скашивается 2 раза в год (июль и август); 3) участки, на которых травянистая растительность не скашивается как минимум 2 года.

В исследованиях растительность в пределах каждой закладываемой УП срезалась на уровне 1 см от земли. В лабораторных условиях высушивалась до воздушно-сухого состояния, сортировалась по агроботаническим группам и взвешивалась на весах с точностью до 1 г. Исследования проводились в не менее трех последовательностях, результаты по каждой группе усреднялись.

Результаты и их обсуждение. Полученные данные представлены в таблице.

***Таблица** – Урожайность (ц/га) и доля растений (%) каждой агроботанической группы в составе растительности на исследованных участках.*

Агроботаническая группа растительности	Луга с/х назначения				Участок с ранее проведенным мульчированием		Нетронутый участок	
	скашиваемый участок		нескашиваемый участок					
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Злаки	6,68	20,6	8,64	27,3	26,88	73,7	16	41,1
Осоки	7,8	24	6,64	21	0,8	2,2	0,8	2,1
Бобовые	1,68	5,2	0,48	1,5	0,32	0,9	0,48	1,2
Разнотравье	16,28	50,2	15,92	50,2	8,48	23,2	21,6	55,6
Всего	32,44	100	31,68	100	36,48	100	38,88	100

Наибольшая урожайность злаков отмечена на участке с ранее проведенным мульчированием (26,88 ц/га), наименьшая – на скашиваемом участке (6,68 ц/га). Урожайность осок оказалась максимальной

на скашиваемом участке (7,8 ц/га) и минимальной на участках с проведенным ранее мульчированием и на нетронутом участке (по 0,8 ц/га). Урожайность бобовых выше на скашиваемом участке (1,68 ц/га) и ниже на участке с проведенным мульчированием (0,32 ц/га). Разнотравье имело наибольшую урожайность на нетронутом участке (21,6 ц/га) и наименьшую на участке с проведенным ранее мульчированием. Общая хозяйственная урожайность была максимальной на нетронутом участке (38,88 ц/га) и минимальной на нескашиваемом участке (31,68 ц/га).

Сравнение средней урожайности лугов, которые подвергаются скашиванию, и нескашиваемых лугов не показало значимых отличий их хозяйственной урожайности. На скашиваемом участке в среднем в 4 раза выше урожайность бобовых, чем на нескашиваемом (1,68 ц/га и 0,48 ц/га соответственно). При этом урожайность злаков на скашиваемом участке оказалась ниже (6,68 ц/га и 8,64 ц/га соответственно).

Анализ ботанического состава растительности исследованных УП показал, что в первую очередь отрастают злаки (мятлик луговой и полевица тонкая). Разнотравье, напротив, в первый год развития растительного покрова представлено в меньшей степени. В основном эта группа представлена тысячелистником обыкновенным, подмаренником мягким, погремком и лапчаткой. Ряд растений этой группы (подмаренник северный, мята полевая, тысячелистник птармика, лютик едкий) были представлены только на участках, растительность на которых не была уничтожена.

Заключение. Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод, что после сплошного уничтожения быстрее всего восстанавливаются злаки, медленнее всего – разнотравье. Регулярное скашивание способствует увеличению доли бобовых и осок и уменьшению доли злаков. На долю разнотравья в общем составе растительности скашивание не влияет.

Список использованных источников

1. Дмитриева, С. А. Генетические ресурсы естественных луговых экосистем / С. А. Дмитриева, С. С. Савчук, В. Н. Лебедько // Геоботанические исследования естественных экосистем: проблемы и пути их решения [Электронный ресурс] : междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26 ноября 2020 г. : сборник материалов / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : Н. М. Дайнеко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – С. 57–62.

2. Пехота, А. П. Растительный покров естественного пойменного луга р. Припять (Мозырьское Полесье) / А. П. Пехота // Веснік МДПУ імя І.П. Шамякіна, 2016. – № 1 (47). – С. 61–67.

3. Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана: материалы Международной науч.-практ. конференции, Пинск, 8–11 июня 2015 г. : в 2 ч. / Институт природопользования НАН Беларуси, Полесский государственный университет [и др.]; редкол.: В.С. Хомич (отв. ред.) [и др.]. – Пинск : УО «Полесский государственный университет», 2015. – Ч. 2. – С.144–146.

4. Лемеза, Н. А. Геоботаника. Учебная практика : учеб. пособие / Н. А. Лемеза, М. А. Джус. – Минск : БГУ, 2015. – 128 с.

COMPARISON OF ECONOMIC PRODUCTIVITY OF FLOODPLAIN MEADOWS SUBJECT TO VARIOUS ECONOMIC IMPACTS ON THE TERRITORY OF THE PRIPYATSKY NP

A. A. Berki

An analysis of the economic productivity of floodplain meadows exposed to various economic impacts was conducted. Groups of plants that are the first to recover after mulching were determined.

УДК 633.3: 633.31:633.13:633.16

ФОРМИРОВАНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОСТА И РАЗВИТИЯ ЛЮЦЕРНЫ ПОСЕВНОЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОКРОВНЫХ КУЛЬТУР, УБРАННЫХ НА РАЗЛИЧНЫЕ КОРМОВЫЕ ЦЕЛИ.

Н. П. Власюк[1], Т. В. Гончаревич[2], Е. А. Дыдышко[1], Д. Н. Прудников[1]

[1]Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь
[2]РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси», г. Пружаны, Беларусь

В статье представлены результаты исследования развития люцерны посевной с различными нормами высева, вышедшей из-под покрова однолетних культур, убранных в разные фазы развития. Было установлено, что лучшей покровной культурой является ячмень, убранный на зеленую массу при норме высева люцерны 13 кг/га (5,9 млн шт./га).

Ключевые слова: люцерна посевная, покровная культура, ячмень, овес, пелюшко-овсяная смесь, нормы высева, зеленая масса, монокорм, зерно.

Введение. Одним из направлений развития агропромышленного комплекса республики на современном этапе является получение высококачественных кормов, характеризующихся высокой питательностью. Известно, что такие корма возможно получить при доминировании бобовых трав.

Поэтому ежегодно увеличивается спрос на бобовые культуры, особенно на многолетние травы, такие как люцерна посевная, гибридная, клевер луговой, ползучий, галега восточная, лядвенец рогатый [1].

Производственной опыт многих стран, в том числе и Беларуси, показывает, что люцерна на данный момент востребованная культура, так как может произрастать на разных типах почв: суглинистых, супесчаных и песчаных. Лучшими для неё являются хорошо дренированные земли с высоким содержанием минеральных веществ, обогащенные минералами кальция. Непригодны для неё заболоченные почвы с повышенной кислотностью. При pHKCL – 5,0 клубеньковые бактерии на корнях люцерны не образуются, азотфиксация недостаточна для обеспечения растений азотом. Люцерна хорошо растет и развивается при pHKCL – 6,5–7,0 [2].

Среди деградированных торфяных почв преобладают торфянно-минеральные почвы, на которых, по мнению О. В. Пташец, можно выращивать люцерну и получать стабильные высокие урожаи зеленой массы [3].

В настоящее время проблема увеличения объема заготовляемых кормов и улучшения их качества является актуальной, что в итоге определяет рентабельность всего сельского хозяйства. Одним из основных свойств почвы является плодородие. В Беларуси преобладают дерново-подзолистые почвы, которые не всегда характеризуются высоким плодородием.

Материал и методы. Научные исследования проводились путем постановки полевых опытов с люцерной посевной. В опытах высевали сорт «Будучыня». Опыт был заложен на землях РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси» в Пружанском районе Брестской области. Полевые исследования проводили в 2014–2018 гг. в севообороте отдела кормопроизводства. Агрохимическая характеристика почвы перед посевом по данным обследования УП «Брестская ОПИСХ» представлена в таблице 1.

***Таблица 1** – Агрохимические показатели почвы опытного участка*

pH в KCl	Гумус,%	Содержание мг/кг почвы				
		P_2O_5	K_2O	B	Cu	Zn
6,22	2,37	317	242	0,53	2,10	3,1

Величины этих показателей оказывают существенное влияние на плодородие почв. В дальнейшем можно рекомендовать определенные приемы по повышению плодородия почв при возделывании сельскохозяйственных культур, основываясь на полученных результатах.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований изучалось влияние покровных культур и сроков, а также норм высева люцерны на продуктивность ее зеленой массы.

***Таблица 2** – Биометрические показатели травостоя люцерны в зависимости от норм высева люцерны и кормового назначения однолетних культур**

Покровные культуры	Кормовое значение культуры	Нормы высева люцерны, кг /га	Биометрические показатели		
			Масса 100 шт. стеблей, кг	Количество побегов, шт./м^2	Высота побегов, см
Ячмень	Зеленая масса	9	2,8	243	75,3
		13	3,1	368	73,3
		17	3,0	447	70,6
		21	2,8	441	69,6
Овес		9	2,7	257	73,6
		13	2,9	348	77,3
		17	2,6	373	77,0
		21	2,9	496	76,3
Пелюшко-овсяная смесь		9	2,7	210	75,3
		13	3,3	352	75,0
		17	2,9	448	72,0
		21	3,2	456	71,0
Ячмень	Монокорм	9	2,4	219	67,6
		13	2,6	309	69,3
		17	2,3	407	74,0
		21	2,2	415	69,3
Овес		9	2,4	217	70,6
		13	2,5	369	71,0
		17	2,5	482	72,6
		21	2,6	488	63,0
Пелюшко-овсяная смесь		9	2,3	207	72,0
		13	2,5	349	71,0
		17	2,7	439	72,3
		21	2,9	470	71,6
Ячмень	Зерно	9	1,8	288	71,3
		13	2,8	402	69,3
		17	2,7	417	74,4
		21	2,9	435	69,3
Овес		9	1,7	260	75,6
		13	2,7	352	74,0
		17	2,5	372	72,6
		21	2,6	387	73,3
Пелюшко-овсяная смесь		9	1,6	260	74,6
		13	2,4	362	78,0
		17	2,2	371	70,6
		21	2,8	406	67,0

*В таблице приведены результаты средних данных трех укосов зеленой массы люцерны.

Сравнительный анализ данных таблицы 2 показал, что с наиболее благоприятными условиями для роста и развития люцерны оказался вариант при условиях, когда покровные культуры убираются в ранние сроки. При этом масса 100 штук стеблей варьировала от 2,8 до 3,3 кг. Менее благоприятные условия для роста люцерны оказались в вариантах с поздней уборкой покровной культуры. Согласно полученным данным масса сотни стеблей люцерны варьировала от 1,6 до 2,8 кг. Количество стеблей зависело от норм высева люцерны.

Заключение. Таким образом, установлено, что более благоприятные условия для развития люцерны посевной отмечаются после уборки ячменя на зеленую массу при норме высева 13 кг/га.

Список использованных источников

1. Шлапунов, В. Н. Кормовые культуры зеленого конвейера для восполнения дефицита кормов / В. Н. Шлапунов, Л. Н. Лукашевич // Белорусское сельское хозяйство. – 2006. – № 5. – С 35–42.

2. Никончик, П. И. Агрохимические основы систем использования земли / П. И. Никончик. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 532 с.

3. Пташец, О. В. Эффективность возделывания люцерны посевной на антропогенно-преобразованных торфяных почвах / О. В. Пташец // Мелиорация. – Минск, 2013. – № 2. – С. 113–118.

FORMATION OF BIOMETRIC INDICATORS OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF ALFALFA UNDER THE INFLUENCE OF COVER CROPS HARVESTED FOR VARIOUS FEED PURPOSES

N. P. Vlasyuk, T. V. Goncharevich, E. A. Dydyshko D. N. Prudnikov

The article presents the results of a study of the development of alfalfa with different seeding rates, emerging from under the cover of annual crops, harvested at different stages of development. It was found that the best cover crop is barley harvested for green mass at a seeding rate of 13 kg/ha (5.9 million pcs/ha).

УДК 631.879.2

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «САРИЯ»)

А. Н. Гапонюк[1], Н. Н. Костюченко[1], А. С. Антонюк[1], Н. Ф. Терлецкая[1], А. Е. Лебедева[2]

[1]Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2]Унитарное предприятие «САРИЯ», Березовский район, Брестская область, Беларусь

В статье анализируются физические и агрохимические показатели отходов предприятия с целью возможности их применения в качестве органического удобрения при возделывании сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: осадок сточных вод, элементы питания.

Введение. В настоящее время одной из острых проблем является рациональная утилизация органических отходов очистных сооружений – осадков сточных вод (ОСВ) [1], накапливающихся в больших количествах на предприятиях. ОСВ имеют сложный полиэлементный макро- и микросостав со значительным содержанием органического вещества, азота и зольных элементов, в том числе фосфора [2]. В осадках также широко представлены микроэлементы, необходимые для жизнедеятельности растений [3].

Анализ многолетнего опыта работы с ОСВ [4, 5–7] позволяет считать перспективным использование ОСВ в качестве удобрения сельскохозяйственных культур, в городском зеленом строительстве и лесном хозяйстве. Эффективность использования ОСВ на удобрение определяется качественным составом осадков и нормой внесения, способами и глубиной их заделки, свойствами почвы, погодными условиями вегетационного периода и биологическими особенностями возделываемых культур и т.д. [8–10]. Особенно эффективны ОСВ на легких дерново-подзолистых почвах, где их применение устраняет дисбаланс элементов питания [11, 12].

Использование осадков сточных вод в сельском хозяйстве требует проведения исследований применительно к местным условиям и разработки на их основе соответствующих технических нормативно-правовых актов на приготовление и внесение удобрений. В этой связи особый интерес представляют ОСВ очистных сооружений унитарного предприятия «САРИЯ».

Цель исследований – определить физические и агрохимические показатели ОСВ для определения возможности их использования в качестве органических удобрений.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований являлись отходы 4-го класса опасности производственно-торгового унитарного предприятия «САРИЯ» для их компостирования с целью получения экспериментальных органических удобрений:

– осадки биологических прудов очистных сооружений, код отхода 8430800;

– прочие осадки очистки сточных вод на очистных сооружениях, не вошедшие в группу 3, код отхода 8439900;

– ил активный очистных сооружений, код отхода 8430300;

– осадок сточных вод после фильтр-пресса (аналогичен илу активному).

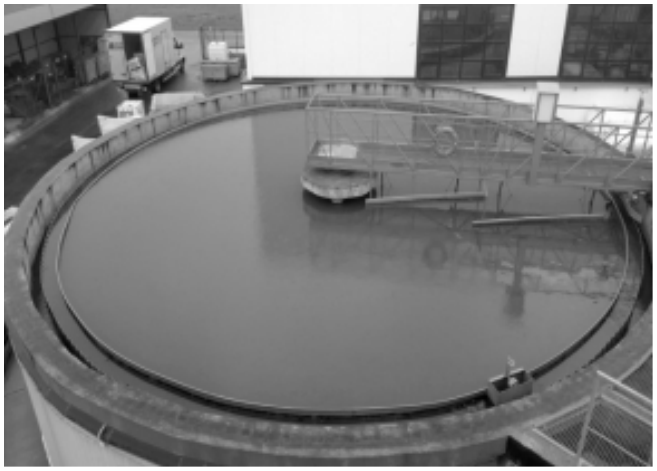


***Рисунок 1** – Очистные сооружения предприятия*



***Рисунок 2** – Иловая карта очистных сооружений предприятия*

Аналитические исследования качества ОСВ проводились в аккредитованных лабораториях государственного научного учреждения «Полесский аграрно-экологический институт Национальной академии наук Беларуси».

Результаты. Для установления агрохимической ценности и возможности сельскохозяйственного использования осадков и ила активного очистных сооружений унитарного предприятия «САРИЯ» определялась их влажность, кислотность, содержание органического вещества, общего и аммонийного азота, общего фосфора и калия. Полученные данные сравнивали с нормативами для удобрений органических на основе отходов животноводства согласно ГОСТ 33830-2016 [13].

Осадок сточных вод после фильтр-пресса и осадок из биологических прудов по массовой доле влаги схожи с жидким навозом с влажностью 92–97 %, ил активный из иловой карты и прочие осадки сточных водочистных сооружений – с полужидким навозом влажностью не более 92 % (таблица 1).

***Таблица 1** – Влажность, кислотность и содержание органического вещества в образцах осадков и ила активного очистных сооружений унитарного предприятия «САРИЯ»*

Образец	Массовая доля влаги, %	Кислотность, ед. pH	Массовая доля золы, % в сухом веществе	Массовая доля органического вещества, % в сухом веществе
Осадок сточных вод после фильтр-пресса	93±0,9	7,8±0,2	14,5±0,3	85,5
Ил активный из иловой карты	85±0,8	8,2±0,2	51,4±0,4	48,6
Осадок из биологических прудов	94±0,9	8,2±0,2	41,6±0,4	58,4
Прочие осадки очистных сооружений	89±0,9	8,3±0,2	39,5±0,4	60,5
Полужидкий навоз	**не более 92**	**6,0–8,5**	**–**	**не менее 70,0**
Жидкий навоз	**92–97**	**6,0–8,5**	**–**	**не менее 70,0**

Кислотность осадков сточных вод после фильтр-пресса находилась в пределах нормы, ила и остальных осадков – приближалась к верхней границе нормы. По содержанию органического вещества только осадок сточных вод после фильтр-пресса соответствовал нормативным данным не менее 70 %.

Анализируя потенциальную удобрительную ценность образцов унитарного предприятия «САРИЯ», ориентируясь на нормативы для органических удобрений на основе отходов животноводства [13], установлено, что по содержанию общего азота и фосфора осадки сточных вод и ил активный соответствуют требованиям, предъявляемым к данному виду удобрений (таблица 2).

***Таблица 2** – Содержание питательных элементов в образцах осадков и ила очистных сооружений унитарного предприятия «САРИЯ»*

Образец	Массовая доля						
	общего азота		аммонийного азота, % с исходной влажностью	общего фосфора в пересчете на P_2O_5		общего калия в пересчете на K_2O	
	% с исходной влажностью	% в сухом веществе		% с исходной влажностью	% в сухом веществе	% с исходной влажностью	% в сухом веществе
Осадок сточных вод после фильтр-пресса	0,63	8,98±0,22	0,08	0,16	2,24±0,20	0,07	0,95±0,04
Ил активный из иловой карты	0,62	4,10±0,16	0,14	0,36	2,41±0,21	0,11	0,76±0,04
Осадок из биологических прудов	0,29	4,83±0,17	0,19	0,18	3,01±0,26	0,04	0,69±0,04
Прочие осадки очистных сооружений	0,62	5,66±0,17	0,02	0,31	2,82±0,25	0,10	0,87±0,04
Полужидкий навоз	**не менее 0,2**	**–**	**–**	**не менее 0,1**	**–**	**не менее 0,15**	**–**
Жидкий навоз	**не менее 0,1**	**–**	**–**	**не менее 0,05**	**–**	**не менее 0,05**	**–**

Согласно полученным данным, наибольшая доля аммонийного азота от общего азота отмечена в осадке биологических прудов. Нормативным требованиям по содержанию общего калия в органических удобрениях согласно ГОСТ 33830-2016 ОСВ после фильтр-пресса отвечают ил активный из иловой карты и прочие осадки очистных сооружений, отвечают они и требованиям, предъявляемым к жидкому навозу (таблица 2).

Что касается тяжелых металлов, то на сегодняшний день в Республике Беларусь не разработаны нормативные ограничения по содержанию данных элементов в ОСВ для использования их в качестве удобрений.

Заключение. Отходы унитарного предприятия «САРИЯ» содержат большое количество общего азота (0,29–0,63 %), фосфора (0,29–0,63 %), достаточно высокий процент органического вещества (48,6–85,5 %), что дает возможность использовать их в качестве компонентов для получения органических удобрений путем компостирования с наполнителями (подстилочный навоз, торф и др.).

Список использованных источников

1. Захаров, Н. Г. Эколого-биологическая оценка продукции растениеводства при использовании осадков сточных вод г. Димитровграда Ульяновской области / Н. Г. Захаров, Т. В. Починова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2007. – № 4 (8). – С. 80–83.

2. Канунникова Т. В. Агроэкологическое использование осадка сточных вод в качестве удобрения в центральном Черноземье : автореф. дис. … канд. сельхоз. наук : 11.00.11 / Т. В. Канунникова ; Кур. НИИ агропром. производства. – Курск, 2000. – 21 с.

3. Зотов, Н. И. К вопросу об использовании осадков бытовых сточных вод в сельском хозяйстве / Н. И. Зотов, С. Р. Суслов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2010. – Вып. 3 (83). – С. 214–220.

4. Пахненко, Е. П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения / Е. П. Пахненко. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 311 с.

5. Решецкий, Н. П. К вопросу об утилизации осадков городских сточных вод (ОСВ) / Н. П. Решецкий // Наука – производству : материалы науч.-пр. конф., Гродно, март 2000 г. / Гродненск. гос. сельскохозяйственный ин-т ; редкол.: А. Д. Шацкий (отв. ред.) [и др.]. – Гродно, 2000. – С. 142–143.

6. Чемаева, О. В. Экологическая оценка осадков сточных вод и использование их в качестве удобрения : автореф. дис. … канд. биол. наук : 03.00.16 / О. В. Чемаева ; Ульян. гос. ун-т. – Ульяновск, 2003. – 24 с.

7. Касатиков, В. А. Агроэкологические основы применения осадков городских сточных вод в качестве удобрения : автореф. … д-ра сельхоз. наук : 06.01.04 / В. А. Касатиков; Московская ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева. – М., 1989. – 42 с.

8. Захаров, Н. Г. Роль обработки почвы и осадков сточных вод в повышении продуктивности кукурузы на силос / Н. Г. Захаров, И. А. Вандышев, А. В. Карпов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – Ульяновск, 2007. – № 2. – С. 17–20.

9. Касатиков, В. А. Критерии загрязненности почвы и растений микроэлементами, тяжелыми металлами при использовании в качестве удобрения осадков городских сточных вод / В. А. Касатиков // Агрохимия. – 1991. – № 11. – С. 78–83.

10. Жукова, Л. А. Осадки сточных вод в качестве удобрения / Л. А. Жукова, А. Ф. Пехлецкая, А. Ф. Сулима // Химизация сельского хозяйства. – 1998. – № 10. – С. 35–39.

11. Касатиков, В. А. Влияние последействия осадков городских сточных вод на агроэкологические и биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной / В. А. Касатиков, Н. П. Шабардина // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах: материалы междунар. науч.-пр. конф., Нижний Новгород, 11–12 дек. 2014 г. / М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Нижегородская гос. с.-х. акад.; редкол.: В. И. Титова (отв. ред) [и др.]. – Нижний Новгород, 2014. – С. 72–76.

12. Касатиков, В. А. Влияние систематического применения осадка городских сточных вод, известкования на агроэкологические свойства почвы, урожайность зерновых культур и их макроэлементный состав в длительном опыте / В. А. Касатиков, Н. П. Шабардина // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1 (60). – С. 155–161.

13. ГОСТ 33830-2016 Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия: введ. 01.01.18. – М. : Стандартинформ, 2016. – 12 с.

PROSPECTS FOR USING SEWAGE SLUDGE AS ORGANIC FERTILIZERS (ON THE EXAMPLE OF THE UNITARY ENTERPRISE “SARIYA”)

A. N. Gaponyuk, N. N. Kostyuchenko, A. S. Antonyuk, N. F. Terletskaya, A. E. Lebedeva

The article analyzes the physical properties and chemical composition of sewage sludge with a view to the possibility of their use as organic fertilizer.

УДК 631.559:635.21(476.2+476.7)

ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ И ЕЕ УСТОЙЧИВОСТЬ В ПОЛЕССКОМ РЕГИОНЕ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Г. А. Камышенко

Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты исследования продуктивности картофеля и ее устойчивости в Брестской и Гомельской областях в период с 1960 по 2024 г. Показана динамика изменчивости коэффициента устойчивости урожайности культуры с использованием пятилетних скользящих периодов, определены тенденции развития процесса в изменяющихся погодно-климатических условиях.

Ключевые слова: урожайность картофеля; коэффициент устойчивости; тенденции; погодно-климатические условия.

Введение. Картофель традиционно занимает важное место в аграрном секторе Беларуси, являясь своеобразным символом республики. Стабильность урожайности возделываемой культуры зависит от ряда факторов, таких как сочетание благоприятных условий окружающей среды, эффективных методов ведения сельского хозяйства и поддерживающей сельскохозяйственной политики. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [1], валовой сбор картофеля в сельскохозяйственных организациях страны в 2023 г. составил 579,3 тыс. т, в 2024 г. – 336,0 тыс. т, то есть в 2024 г. данный показатель снизился на 42,0 % по сравнению с предыдущим годом. Еще более существенное снижение валовых сборов картофеля в 2024 г. произошло в сельскохозяйственных организациях Полесского региона – в Брестской области на 47,3 %, в Гомельской области – на 43,3 %. Снижение валовых сборов картофеля обусловлено снижением урожайности вследствие сложившихся неблагоприятных погодных условий для выращивания культуры (отмечалась положительная аномалия температуры воздуха в летний период, что негативно отразилось на клубнеобразовании), сокращением выделенных в сельскохозяйственных организациях посевных площадей под культуру – в Брестской области на 34,6 %, в Гомельской области – на 20,7 %, потерями урожая при хранении. Устойчивое, стабильное функционирование агропромышленного комплекса является залогом обеспечения продовольственной безопасности страны. Под устойчивостью производства обычно понимают способность противостоять отрицательным воздействиям, преимущественно, стихийным силам природы, способность предупредить или ослабить спады производства. В отличие от устойчивости «стабильность» – это способность системы возвращаться в прежнюю область устойчивого равновесия после временного воздействия природного или антропогенного фактора. Среди параметров, ответственных за устойчивость и стабильность агроэкосистемы, первостепенное значение имеет величина продуктивности агрофитоценоза, снижение которой ниже заданного уровня свидетельствует о переходе агроэкосистемы в неустойчивую область [2]. Наблюдаемое периодически снижение урожайности сельскохозяйственных культур вследствие изменяющихся погодно-климатических условий свидетельствует об актуальности агроэкологических исследований.

Цель работы – выполнить анализ динамики продуктивности картофеля, возделываемого в сельскохозяйственных организациях на территории Белорусского Полесья (в Брестской и Гомельской областях), и ее устойчивости на временном интервале 1960–2024 гг.

Методы исследования и исходные данные. Методические подходы к исследованию колебаний урожайности сельскохозяйственных культур под влиянием изменяющихся погодно-климатических условий представлены в работах как белорусских, так и зарубежных ученых. В частности, при выполнении данного исследования нами учитывались подходы к решению вопросов оценки продуктивности картофеля под влиянием погодно-климатических условий, используемые учеными Белорусского государственного университета [3].

Система критериев и методика оценки устойчивости сельскохозяйственного производства подробно изложена в [4]. Эффективным статистическим средством исследования устойчивости продуктивности сельскохозяйственной культуры как динамического процесса являются расчеты с использованием пятилетних скользящих средних для определенных периодов, что позволяет исключить из рассмотрения короткопериодные колебания данных и тем самым более наглядно показать характер изменчивости. В расчете коэффициента устойчивости урожайности культуры задействованы такие показатели, как среднее значение и среднее квадратическое отклонение, рассчитанные по 5-летним скользящим периодам, коэф-

фициент вариации, отражающий нормированную на среднее значение урожайности величину отклонения от нормы в процентах. Коэффициент устойчивости вычисляется как разница между 100 % и значением коэффициента вариации.

В исследовании использованы статистические материалы Национального статистического комитета Республики Беларусь по урожайности картофеля в Брестской и Гомельской областях в 1960–2024 гг.

Результаты. На рисунке 1 представлены графики продуктивности картофеля, возделываемого в Полесском регионе (в Брестской и Гомельской областях), по данным за 1960–2024 гг.

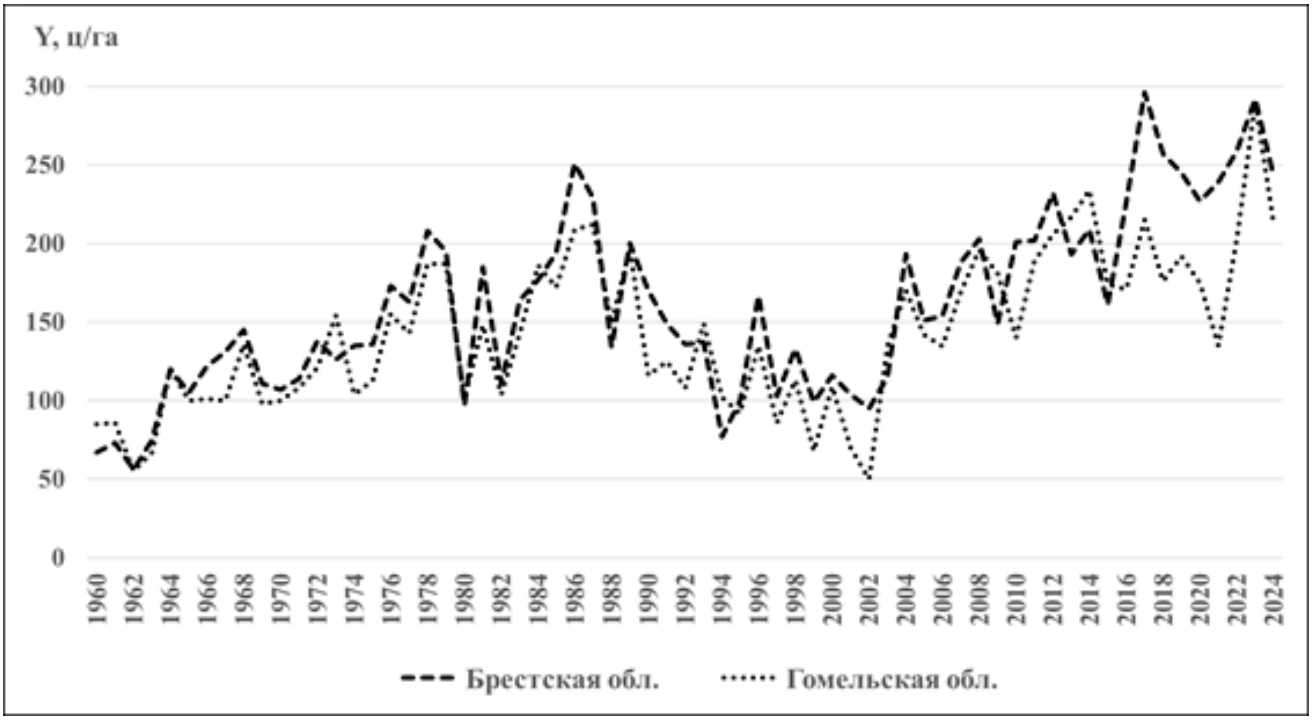


Рисунок 1 *– Урожайность картофеля (ц/га) в Брестской и Гомельской областях (1960–2024 гг.)*

Построенные графики продуктивности картофеля имеют сходный вид, однако уровень урожайности культуры в Брестской области выше, чем в Гомельской. Среднее значение урожайности культуры в Брестской области в период с 1960 по 2024 г. составило 161 ц/га, в то время как в Гомельской области – 144 ц/га.

На графиках выделяется временной интервал с 1994 по 2002 г., характеризующийся низкой продуктивностью картофеля. Основными причинами значительных недоборов урожайности картофеля в этот период явились засухи, приведшие к недостатку почвенной влаги. В последние годы пониженной урожайностью картофеля характеризуется 2021 год. Согласно [5], в этот год на территории Брестской и Гомельской областей сложились погодные условия, благоприятные для развития фитофтороза картофеля. Продолжительная теплая и влажная погода (относительная влажность воздуха выше 75 %, среднесуточная температура 14–20 °С) способствовала интенсивному развитию болезни, что привело к снижению продуктивности картофеля в Гомельской области почти на 23 % по отношению к предыдущему году. Таким образом, наблюдаемая изменчивость температурно-влажностного режима территории южной части Беларуси в вегетационный период, обусловленная, в основном, неустойчивым выпадением атмосферных осадков, оказывает значительное влияние на урожайность картофеля.

1989 год, признанный как начало периода современного потепления, делит интервал 1960–2024 гг. на две части, несколько схожие по динамике урожайности картофеля. Трендовые составляющие этих интервалов имеют положительную направленность с коэффициентом детерминации, равным ≈ 0,6. При этом в период потепления климата среднее значение урожайности картофеля в Брестской области повысилось по сравнению с предшествующим периодом с 1960 по 1988 г. на 28 % (со 139 до 178 ц/га); в Гомельской области наблюдается такая же тенденция – урожайность повысилась на 21 % (со 129 до 156 ц/га).

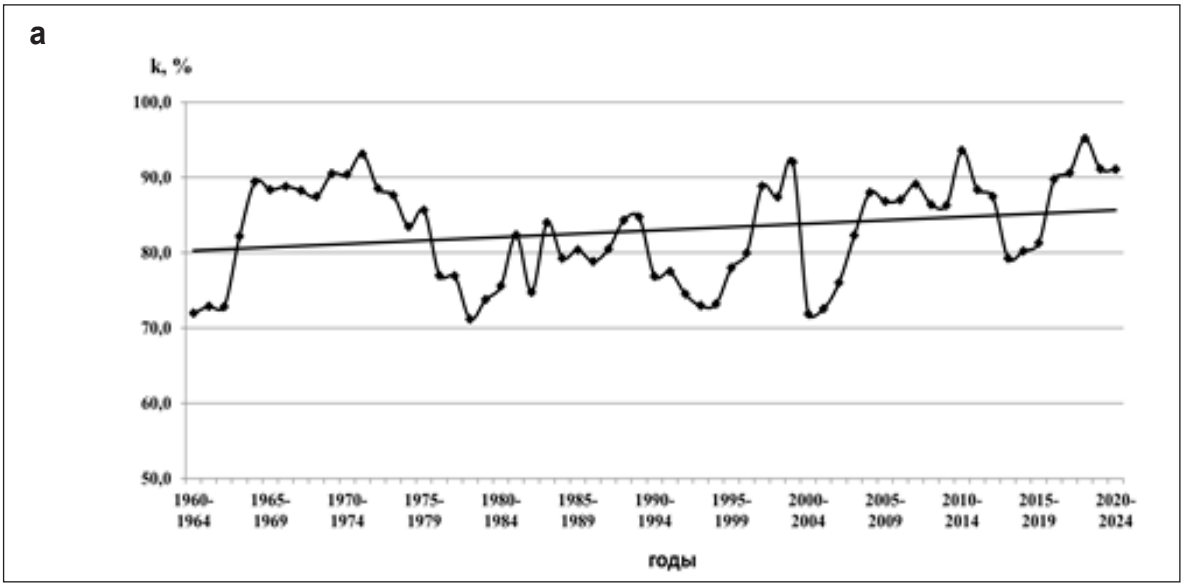
В агрометеорологических исследованиях принято считать, что тренд во временных рядах урожайности культуры связан с агротехнической составляющей, отклонения от тренда рассматриваются как кли-

матообусловленные колебания. Уровнь культуры земледелия в условиях изменяющегося климата приобретает все более существенное значение. В районах с более высоким уровнем агротехнологий снижаются последствия проявления неблагоприятных погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур, минимизируются потери урожая. Учитывая в целом достаточно устойчивую положительную направленность тренда в изменении урожайности картофеля в последние два десятилетия, можно утверждать о соблюдении в картофелеводстве Полесского региона агротехнологических требований, включающих выбор подходящих сортов, соблюдение севооборота, подготовку почвы, уход за растениями, внесение необходимых удобрений и использование средств защиты растений от вредителей и болезней, соблюдение сроков посадки и уборки культуры.

На рисунке 2 представлены хронологические ряды устойчивости урожайности картофеля, рассчитанные по скользящим 5-летним периодам с трендовыми составляющими по данным Брестской (а) и Гомельской (б) областей за 1960–2024 гг. Среднее скользящее сглаживает краткосрочные колебания, позволяет отфильтровать шум и адекватно выделить основные тренды.

В соответствии с [4] предлагается следующая градация значений коэффициента устойчивости, выраженная в процентах: $k \geq 90$ − норматив устойчивости, $90 > k \geq 80$ – допустимая колеблемость, при $80 > k \geq 60$ − неустойчивое развитие явления или процесса, при $60 > k \geq 40$ − ситуация крайне неустойчивая, а при $k < 40$ – недопустимая. Согласно принятой градации, в Брестской и Гомельской областях в среднем отмечается допустимая колеблемость по устойчивости урожайности картофеля со средними значениями 83,0 % и 81,5 % соответственно. При этом наблюдается значительная вариация коэффициента устойчивости от 71,2 до 95,2 % в Брестской области и от 61,4 до 91,2 % в Гомельской области, из чего следует, что в отдельные годы отмечалась весьма неустойчивая и нестабильная ситуация с возделыванием картофеля. Нестабильная ситуация обусловлена не столько частыми скачками продуктивности, сколько резкими падениями данного показателя в отдельные годы. При этом следует отметить, что использование в расчетах скользящих временных периодов не только позволяет сгладить колебания данных и выявить тенденции развития процесса, но и в определенной степени завышает значения коэффициента устойчивости.

Ранее аналогичные расчеты нами были выполнены для интервала с 1960 по 2009 г. [6], показавшие наличие отрицательного (нисходящего) линейного тренда динамики коэффициента устойчивости урожайности культуры, что свидетельствовало о негативном влиянии роста теплообеспеченности территории на развитие картофелеводства. На более протяженном 65-летнем временном интервале отмечается несколько иная ситуация по устойчивости продуктивности картофеля, в частности, выявлена незначительная положительная направленность трендовой составляющей в Полесском регионе.



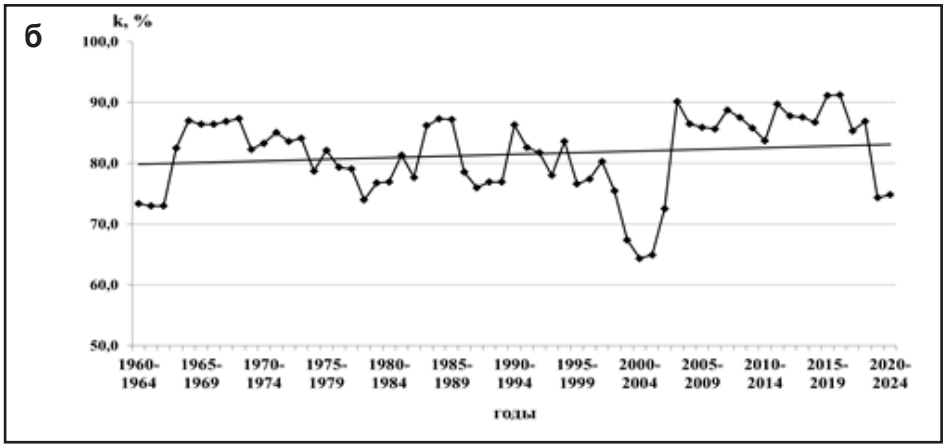


***Рисунок 2** − Динамика устойчивости урожайности картофеля с трендовой составляющей по данным: а – Брестской области, б – Гомельской области (1960–2024 гг.)*

Наряду с положительной трендовой составляющей, на исследуемом временном интервале с 1960 по 2024 г. отмечается изменение и среднего уровня устойчивости урожайности картофеля по сравнению с рассмотренным ранее периодом с 1960 по 2009 г. – на юге республики средняя устойчивость продуктивности культуры повысилась.

Заключение. Результаты анализа продуктивности и устойчивости урожайности картофеля в Брестской и Гомельской областях свидетельствуют о положительных изменениях в картофелеводстве Полесского региона, произошедших в последние два десятилетия. Отмечается адаптация к изменяющимся погодно-климатическим условиям, достигнутая посредством выполнения основных агротехнологических мероприятий по возделыванию культуры. Установлено, что в отдельные годы проявляется нестабильность устойчивости продуктивности картофеля, что обусловлено, в основном, неустойчивым атмосферным увлажнением территории, в то время как стабильный режим осадков и умеренные температуры имеют решающее значение для устойчивого роста урожайности культуры.

Список использованных источников

1. Урожайность сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://dataportal.belstat.gov.by/osids/indicator-info. – Дата доступа : 14.06.2025.

2. Титова, В. И. Агроэкосистемы: проблемы функционирования и сохранения устойчивости (теория и практика агронома-эколога): Учебное пособие / В. И. Титова, М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова. – Н. Новгород : Изд-во Волго-Вятской академии государственной службы, 2002. – 206 с.

3. Давыденко, О. В. Влияние термических условий на урожайность картофеля в административных районах Республики Беларусь / О. В. Давыденко, П. С. Лопух // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2019; 1:46–62. – Режим доступа : https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-1-46-62.

4. Суслов, С. А. Методика региональной оценки экономической устойчивости сельскохозяйственного производства / С. А. Суслов, И. В. Громов // Вестник Нижегородского гос. инженерно-экономического института. Серия экономич. наук. – Нижний Новгород, 2012. − № 5. − С. 100−114.

5. Государственное учреждение «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений»: Новости. Внимание: фитофтороз картофеля! [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.ggiskzr.by/news/522.html?print= 1&PAGEN_2=15&SIZEN_2=20. – Дата доступа : 05.07.2025.

6. Камышенко, Г. А. Анализ устойчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси (на примере озимой пшеницы и картофеля) / Г. А. Камышенко // Природопользование. – Вып. 18. – 2010. – С. 97–102.

POTATO PRODUCTIVITY AND ITS SUSTAINABILITY IN THE POLESIE REGION UNDER CHANGING WEATHER AND CLIMATIC CONDITIONS

H. A. Kamyshenka

The results of the study of potato productivity and its sustainability in Brest and Gomel regions in the period from 1960 to 2024 are presented. The dynamics of variability of the sustainability coefficient of crop yield using five-year moving periods is shown, the trends of the process development in changing weather and climatic conditions are determined.

УДК 638.132.2

ВЛИЯНИЕ ОПЫЛЕНИЯ ПЧЕЛАМИ НА СЕМЕННУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ФАЦЕЛИИ ПИЖМОЛИСТНОЙ

С. С. Колотков, В. А. Сатишур
Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси, аг. Тулово, Беларусь

Установлено, что при опылении одной пчелосемьей продуктивность Фацелии пижмолистной составила 305 кг/га семян. Увеличение количества пчелосемей до 5 шт. сопровождалось увеличением продуктивности семян Фацелии пижмолистной на 5,2 % (+16 кг/га). Увеличение количества пчелосемей до 10 шт. обеспечивало увеличение продуктивности семян Фацелии пижмолистной на 10,8 % (+33 кг/га).

Ключевые слова: Фацелия пижмолистная, опыление пчелами, продуктивность семян.

Введение. Семенная продуктивность является важнейшим показателем адаптации культуры к конкретным условиям произрастания. Её уровень зависит от целого ряда внешних факторов и агротехники, отсюда различают потенциальную и реальную семенную продуктивность. Аграрии, естественно, заинтересованы в потенциально возможной урожайности семян, особенно энтомофильных кормовых культур, основополагающую роль для которых имеет опыление медоносными пчелами. Семенами Фацелии пижмолистной часто интересуются пчеловоды и агрономы [1].

Фацелия пижмолистная (Phacélia tanacetifólia) – ценное медоносное растение. Однолетнее травянистое растение 15–70 см высотой, покрытое жёстким щетинистым опушением. Стебель прямостоячий, простой или слабо ветвящийся, с желёзками. Прикорневые листья 6–20×3–15 см, на черешках, в очертании продолговато-эллиптические до яйцевидных, перисто-рассечённые, с продолговатыми или ланцетовидными перисто-зубчатыми листочками.

Стеблевые листья сходные, с очень короткими черешками или сидячие. Цветки многочисленные, собраны в густые щитковидные сложные зонтики. Чашечка с густо опушёнными острыми линейно-ланцетовидными долями 4–6×0,3–1 мм. Венчик с синевато-сиреневыми лепестками, ширококолокольчатый, 7–10 мм длиной. Тычинки выступающие из венчика, 9–14 мм длиной, с голыми нитями и продолговато-эллиптическими пыльниками. Коробочки широкояйцевидные, 3–4 мм длиной, обычно с двумя морщинистыми тёмно-коричневыми семенами по 2–3 мм длиной.

Зацветает примерно через 40–45 дней после посева; продолжительность цветения в зависимости от погодных условий, региона произрастания и плодородия почвы – 20–60 дней. Родина Фацелии пижмолистной – Калифорнийская долина и пустыни Калифорнии, а также Нижняя Калифорния. Описана «из Калифорнии», тип был собран Дэвидом Дугласом в 1833 г. Интродуцирована в Европу, где нередко встречается в качестве сорного растения по нарушенным местообитаниям. На естественные экосистемы, однако, давления не оказывает. Растение среднескороспелое, холодостойкое и зимоустойчивое. Выдерживает заморозки до -6 °С. Семена сохраняют всхожесть до 4 лет. Прорастают при 3–4 °С, лучше при 8–10 °С. Страдает от избытка влаги. Семена созревают неравномерно. Вегетационный период длится около 90 дней. Растение опыляется насекомыми. Растение нетребовательно к почве и уходу. На плодородных почвах при обработке даёт исключительно высокие урожаи. Отзывчиво на внесение органических и минеральных удобрений. С 1 гектара можно получить до 400 кг семян. Такое количество семян достаточно для посева на 30–40 гектарах. Летние посевы дают более высокие урожаи зелёной массы. Зелёная масса в начале цветения содержит: 83,5 % воды, 2,3 % протеина, 0,6 % жира, 4,4 % клетчатки, 3,0 % золы, 6,2 % БЭВ, 17 мг/га каротина. Является медоносом, привлекает других полезных насекомых (мухи-журчалки), используется в качестве зелёного удобрения. Медовая продуктивность 200 кг, а на плодородных почвах – более 300 кг с 1 га. Урожайность зелёной массы доходит до 20 тонн на гектар. Однако в качестве корма зелёная масса мало пригодна, скотом не поедается. В чистом виде плохо силосуется из-за недостатка сахаров [2].

Цель исследований – изучение семенной продуктивности Фацелии пижмолистной при опылении пчелами.

Методы исследований. Исследования выполнены в рамках задания 2.35 подпрограммы «Земледелие и селекция» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» (№ГР20241856). Полевой опыт по возделыванию Фацелии пижмолистной сорта «Медуница» заложен 18.05.2024 г. в РУП «Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси» в Витебском районе Витебской области на дерново-подзолистой супесчаной почве. Метод размещения вариантов в

повторении последовательное (систематическое). Форма делянки прямоугольная, с длиной сторон 100 м, шириной – 100 м. По центру делянки оставлена дорога, на которой через 10 м устанавливались улья. Учётная площадь делянки (0,7*100) – 70 м^2. Повторность четырехкратная. Опыление пчелами проводили в мае–сентябре 2024 г. Статистическую обработку данных осуществляли по методике полевого опыта Б. А. Доспехова (1985) [3].

Схема опыта:

1 – Одна пчелосемья на 1 га;

2 – Пять пчелосемей на 1 га;

3 – Десять пчелосемей на 1 га.

Результаты. Установлено, что при опылении одной пчелосемьей продуктивность Фацелии пижмолистной составила 305 кг/га семян. Увеличение количества пчелосемей до 5 шт. сопровождалось увеличением продуктивности семян Фацелии пижмолистной на 5,2 % (+16 кг/га). Увеличение количества пчелосемей до 10 шт. обеспечивало увеличение продуктивности семян Фацелии пижмолистной на 10,8 % (+33 кг/га) (таблица 1).

***Таблица 1** – Влияние опыления пчелами на семенную продуктивность*

№	Вариант	Продуктивность семян, кг/га		Нектаропродуктивность, кг/га	
1	Одна пчелосемья на 1 га	305	–	20,7	–
2	Пять пчелосемей на 1 га	321	+16	99,5	+78,8
3	Десять пчелосемей на 1 га	338	+33	183,4	+162,7
$НСР_{05}$		2,00		2,07	

В варианте опыта с одной пчелосемьей было собрано 20,7 кг меда с 1 га Фацелии пижмолистной; в варианте опыта с пятью пчелосемьями – 99,5 кг меда с 1 га (+ 78,8 кг/га к 1 варианту); в варианте опыта с десятью пчелосемьями было собрано 183,4 кг меда с 1 га Фацелии пижмолистной (+ 162,7 кг/га к 1 варианту). В то же время при увеличении количества пчелосемей на 1 га снижался сбор меда Фацелии пижмолистной в среднем на одну пчелосемью с 20,7 кг до 18,3 кг.

На основании полученных экспериментальных данных нами построена линейная математическая модель, описывающая зависимость продуктивности Фацелии пижмолистной от опыления пчелами (рисунок 1).

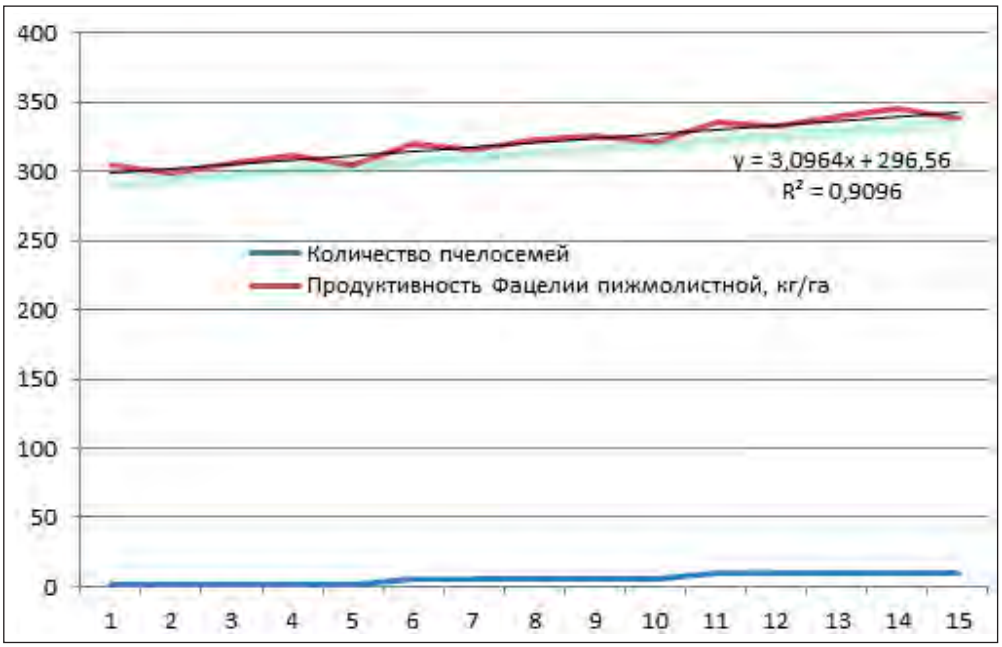


***Рисунок 1** – Математическая модель, описывающая зависимость между опылением пчелами и продуктивностью семян Фацелии пижмолистной*

Уравнение регрессии *y=3,0964x+296,56*. Также был выполнен расчет коэффициентов достоверности аппроксимации (R^2), которые показывают степень соответствия трендовой модели исходным данным. Их значение может лежать в диапазоне от 0 до 1, чем ближе R^2 к 1, тем точнее модель описывает имеющиеся данные. В опыте величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9096$.

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что опыление пчелами растений Фацелии пижмолистной оказало достоверное влияние на увеличение продуктивности семян и сбора нектара.

Список использованных источников

1. Сатишур, В. А. Влияние опыления пчелами на семенную продуктивность Сильфии пронзеннолистной / В. А. Сатишур // Современные технологии сельскохозяйственного производства : сбор. науч. стат. по матер. XXVIII Межд. науч.-практ. конф. (Агрономия, Защита растений). – Гродно : ГГАУ, 2025. – С. 168–169.

2. Сатишур, В. А. Семенная продуктивность медоносных кормовых культур при опылении пчелами / В. А. Сатишур // Наше сельское хозяйство : журнал настоящего хозяина. – 2024. – № 23 (Агрономия). – С. 63–67.

3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

INFLUENCE OF BEE POLLINATION ON SEED PRODUCTIVITY OF PHACELIA TANACEOFOLIOS

S. S. Kolotkov, V. A. Satischur

It was found that when pollinated by one bee colony, the productivity of Phacelia tanacetifolia was 305 kg/ha of seeds. An increase in the number of bee colonies to 5 pcs. was accompanied by an increase in the productivity of Phacelia tanacetifolia sedes by 5,2% (+16 kg/ha). An increase in the number of bee colonies to 10 pcs. was accompanied by an increase in the productivity of Phacelia tanacetifolia sedes by 10,8% (+33 kg/ha).

УДК 504.05

СОДЕРЖАНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕЛЕНОЙ МАССЕ КУКУРУЗЫ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ НА ПОЧВЕ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАЛИЯ

Н. Н. Костюченко, М. А. Пастухова
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Приведены результаты исследования содержания макроэлементов (калий, кальций, фосфор, магний) в зеленой массе кукурузы, возделываемой на дерново-подзолистой песчаной почве с высоким содержанием подвижных соединений калия. Полученные результаты сопоставлены с оптимальным содержанием данных элементов в корме, а также с типовой концентрацией вышеуказанных макроэлементов в кукурузном силосе урожая 2024 г. предприятий АПК Брестской области.

Ключевые слова: кукуруза, калий, кальций, фосфор, магний, оптимальное содержание.

Введение. Интенсивное развитие животноводства оказывает отрицательное воздействие на экологическое состояние почв в зонах размещения животноводческих комплексов и ферм [1]. Причиной этого является бессистемное внесение побочных продуктов животноводства на одни и те же поля вблизи навозохранилищ, что приводит к зафосфачиванию почв, очень высокой их обеспеченности подвижными формами калия, нитратами, тяжелыми металлами, хлоридами и другими соединениями [2].

Калий наряду с фосфором и азотом является важнейшим элементом, влияющим на качество травяных кормов. Исследования экологического состояния дерново-подзолистых легкосуглинистых почв, расположенных в зоне влияния животноводческих комплексов Несвижского района Минской области, показали, что почвы с повышенным содержанием подвижного фосфора (151–250 мг/кг) занимают около 60 %, почвы с очень высоким (более 400 мг/кг) и высоким (301–400 мг/кг) содержанием подвижного калия занимают соответственно 48,4 % и 35,6 % от площади обследованных земель. На некоторых участках в зоне влияния животноводческих комплексов концентрация калия в сене многолетних трав превышала оптимальные значения (2,5 %) в среднем в 1,2–1,4 раза [3].

Физиологические процессы в организме животных во многом регулируются количеством поступающих с кормом химических элементов. Для крупного рогатого скота оптимальное содержание калия в 1 кг сухого вещества 2,5 г; фосфора 1,5 г; кальция 3,5–4,0 г; магния 1,0–1,5 г соответственно [4]. Избыток калия препятствует усвоению других элементов, что оказывает негативное воздействие на здоровье животных.

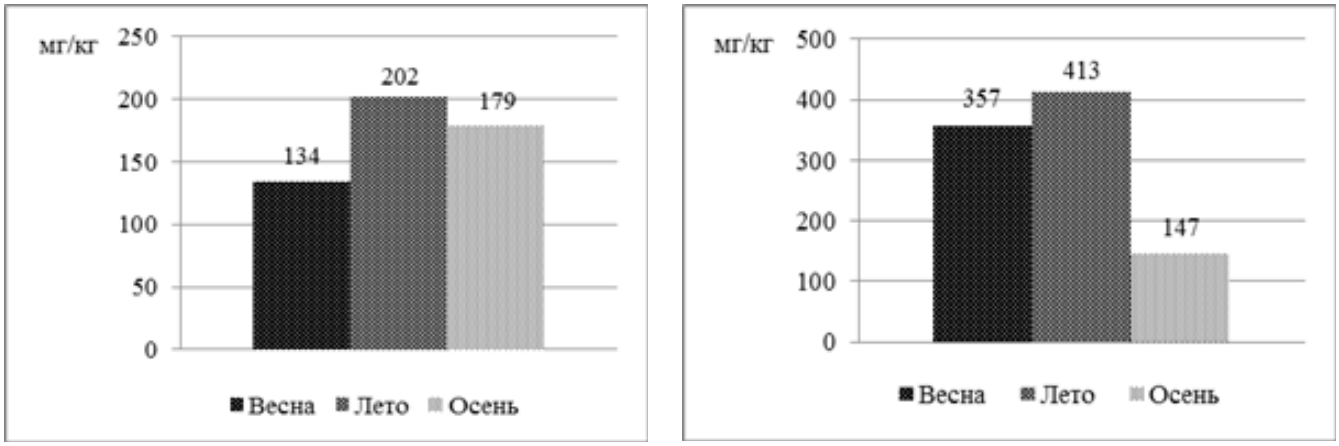
Целью исследований являлось определение содержания макроэлементов в зеленой массе кукурузы, полученной на дерново-подзолистой песчаной почве с высоким содержанием подвижных соединений калия (после длительного хранения побочных продуктов животноводства в полевых условиях), а также установление процентного содержания кормов предприятий АПК Брестской области с аналогичной концентрацией макроэлементов и выше.

Объекты и методы. Исследования по оценке содержания макроэлементов в зеленой массе кукурузы, возделываемой на почве с высоким содержанием подвижных соединений калия, проводили в 2024 г. на территории ОАО «Племзавод Мухавец» Брестского района. Почвенные и растительные образцы отбирали на участке поля, отведенном для хранения подстилочного навоза крупного рогатого скота в полевых условиях (внутри контура штабеля навоза). Размеры участка – 127×4×1 м (~510 т навоза, S=1070 м^2). Почва – дерново-подзолистая песчаная, типичная для юго-запада Беларуси. Глубина отбора почвенных проб – 0–25 см. Для установления концентраций подвижных форм фосфора и калия в почве использовали метод Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91).

Анализ растительных образцов проводился атомно-эмиссионным методом на приборе iCAP 7200 DUO по ГОСТ 30823-2002. Полученные результаты сравнивали с химическим составом 1333 образцов кукурузного силоса предприятий АПК Брестской области, отобранных в течение вегетационного периода 2024 г., предоставленных отраслевой научно-исследовательской лабораторией качества кормов Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси. Математическая обработка полученных данных проводилась при помощи программы Microsoft Office Excel.

Результаты. При химическом анализе почвы экспериментального участка, где ранее осуществлялось длительное хранение побочных продуктов животноводства, установлено, что в весенний период содержание подвижных соединений фосфора составило 134 мг/кг, что близко к нижней границе интервала

их оптимального содержания в песчаных почвах Беларуси (150–230 мг/кг). В то же время концентрация подвижного калия оказалась равной 357 мг/кг, что в 1,8 раз выше верхней границы интервала его оптимального содержания в почвах (120–200 мг/кг) [5] (рисунок 1).



А Б

Рисунок 1 *– Содержание подвижных соединений фосфора (А) и калия (Б) в дерново-подзолистой песчаной почве внутри контура ранее расположенного штабеля навоза*

В летний период количество исследуемых соединений в пахотном слое почвы оказалось выше по сравнению с весенним: фосфора – в 1,5 раз, калия – в 1,2 раза. Это, вероятно, связано с действием удобрений, внесенных до посева кукурузы. Хозяйствам, в которых функционируют животноводческие комплексы, рекомендовано не вносить органические и минеральные удобрения на поля с содержанием подвижных форм фосфора и калия свыше 400 мг/кг [3].

Анализ химического состава зеленой массы кукурузы показал, что содержание исследуемых макроэлементов (калий, кальций, фосфор, магний) внутри контура ранее расположенного штабеля навоза значительно не отличалось. В то же время их концентрации в кукурузном силосе предприятий АПК Брестской области варьировали в довольно широком диапазоне, что может быть связано с различными почвенными и погодными условиями. Поэтому для более точного анализа результатов находили медиану числового ряда и сравнивали ее со средним арифметическим значением полученных данных. Численные значения данных показателей оказались очень близки, что свидетельствует о достаточно стабильном содержании макроэлементов в силосе кукурузы, заготавливаемом предприятиями АПК Брестской области.

На участке поля, где хранились побочные продукты животноводства, концентрация калия в зеленой массе кукурузы оказалась в среднем в 4, кальция и фосфора – в 2,9, магния – в 2,3 раза выше по сравнению со значениями, полученными по Брестской области (таблица 1).

Таблица 1 *– Содержание макроэлементов в корме при естественной его влажности*

Показатель	Магний	Кальций	Фосфор	Калий
Среднее значение концентрации элемента в зеленой массе кукурузы внутри контура штабеля навоза, г/кг	1,60	3,08	2,58	18,0
Диапазон значений концентрации элемента в зеленой массе кукурузы внутри контура штабеля навоза, г/кг	1,58–1,61	3,04–3,12	2,56–2,60	17,9–18,1
Среднее значение концентрации элемента в кукурузном силосе по области, г/кг	0,70	1,06	0,88	4,49
Медиана	0,67	0,98	0,84	4,37
Диапазон значений по области, г/кг	0,03–2,25	0,24–4,94	0,06–13,13	0,07–12,13
Доля образцов по области с концентрацией элементов ≥ исследуемым, %	0,6	0,6	0,07	0

Нами также выявлено процентное содержание образцов силоса кукурузы предприятий АПК Брестской области с таким же содержанием исследуемых элементов, как в опытном варианте и выше. Концен-

трация калия, равная 18,0 г/кг и более, в образцах корма сельскохозяйственных предприятий области отсутствовала. Доля растительных образцов с содержанием кальция 3,08 г/кг и более, магния 1,60 г/кг и более составила 0,6 %, количество фосфора равное 2,58 г/кг и более – 0,07 % от всех образцов предоставленного корма.

При сопоставлении полученных данных с оптимальным содержанием элементов в корме для крупного рогатого скота установлено, что на почве с высоким содержанием калия концентрация данного элемента в зеленой массе кукурузы в 20,7 раз превышала оптимальное значение, фосфора – в 4,9, магния – в 3,1, кальция – в 2,2 раза (таблица 2).

***Таблица 2** – Содержание макроэлементов в кормах, г/кг сухого вещества*

Показатели	Магний	Кальций	Фосфор	Калий
Внутри контура штабеля подстилочного навоза	4,6	8,9	7,43	51,8
Оптимальная концентрация в корме	1–1,5	3,5–4	1,5	2,5

Заключение. В зеленой массе кукурузы, возделываемой на почве с высоким содержанием подвижных соединений калия (в результате длительного хранения побочных продуктов животноводства в полевых условиях), концентрация макроэлементов превышала их оптимальное значение в корме для крупного рогатого скота: калия – в 20,7, фосфора – в 4,9, магния – в 3,1 кальция – в 2,2 раза.

Содержание магния, кальция и фосфора, аналогичное опытному варианту и выше, наблюдалось менее чем в 1 % кукурузного силоса предприятий АПК Брестской области, а калия – отсутствовало.

Для получения качественных кормов дозы удобрений необходимо корректировать с учетом исходного содержания элементов питания в почве и потребности в них выращиваемой культуры.

Список использованных источников

1. Медведский, В. А. Экологические проблемы крупных животноводческих комплексов / В. А. Медведский, Т. В. Медведская // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины» : научно-практический журнал. – Витебск, 2006. – Т. 42, вып. 2, ч. 2. – С. 167–168.

2. Агроэкологическое состояние дерново-подзолистых почв и сельскохозяйственных культур в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик / Е. Н. Богатырева [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 73–92.

3. Лукашенко, Н. К. Пространственное распределение минерального азота, подвижного фосфора и калия в почвах территорий, прилегающих к животноводческим комплексам / Н. К. Лукашенко, С. Е. Головатый, Н. В. Сидорейко // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2 (49). – С. 239–249.

4. Suttle, N. F. Mineral nutrition of livestock / N. F. Suttle. – CABI (CAB International), Wallingford, Oxfordshire, OX10 8DE, UK, 2010. – 587 p.

5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Институт системных исследований В АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.

CONTENT OF MACROELEMENTS IN THE GREEN MASS OF CORN CULTIVATED ON SOIL WITH HIGH CONTENT OF MOBILE POTASSIUM COMPOUNDS

N. N. Kostyuchenko, M. A. Pastukhova

The article presents the concentrations of macroelements (potassium, calcium, phosphorus, magnesium) in the green mass of corn grown on sod-podzolic sandy soil with a high content of mobile potassium compounds. The obtained results were compared with the optimal content of these elements in feed, as well as with the typical concentration of the above-mentioned macroelements in corn silage of the 2024 harvest of agricultural enterprises in the Brest region.

УДК 581.524.3

ПОЙМЕННЫЕ ЛУГА КАК ИСТОЧНИК ЗЕЛЕНЫХ КОРМОВ В ЗАСУШЛИВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПОЛЕСЬЯ

Т. В. Ласько, Е. А. Танкевич, Ю. К. Симончик

Институт радиобиологии НАН Беларуси, г. Гомель, Республика Беларусь,

Природные пойменные луга Полесья являются важными природно-ландшафтными комплексами и ценными естественными кормовыми угодьями. В ходе исследований была разработана компьютерная модель прогнозирования динамики природно-растительных комплексов на исключенных из использования пойменных землях. Данная модель позволяет отслеживать динамику изменений в любой временной отрезок, вплоть до 2050 г., по заболоченности, закустаренности, видовому составу растений.

Ключевые слова: радиационно опасные земли, экосистема, сукцессии, зона отчуждения, природно-растительные комплексы, прогноз.

Введение. Изучение лугов всегда имело большое прикладное значение и было направлено на выработку практических рекомендаций по достижению максимальной продуктивности лугов и высоких питательных качеств сена.

Глобальные изменения климата оказывают существенное влияние на состояние аграрного сектора экономики. Для обеспечения продовольственной безопасности страны и развития сельскохозяйственной отрасли необходимо принятие мер по своевременному реагированию на изменения климата, деградацию сельскохозяйственных земель и решению агро-экологических проблем. Повышение среднегодовой температуры воздуха привело к смещению агроклиматических зон с юга на север и появлению на юге Брестской и Гомельской областей Новой агроклиматической зоны с более продолжительным вегетационным периодом. В целом пойменные луга мало пригодны для сельскохозяйственного использования, но зато благоприятны для укрепления кормовой базы. Значительные площади поймы (вся прирусловая и часть высокого уровня центральной зоны) используются под постоянные пастбища. Здесь, в основном, проводится одноразовое скашивание травостоя, а во вторую половину лета эти площади используются как пастбища.

Луга в Республике Беларусь занимают более 3,2 млн га, на долю пойменных приходится 5,2 % лугов. В Гомельской области всего 0,6 млн га лугов, из них пойменных – 92,1 тыс. га или более половины (54,6 %) всех пойменных лугов Беларуси.

Рациональное использование, улучшение и охрана естественных кормовых угодий, в том числе пойменных, имеет важное народнохозяйственное значение. С увеличением поголовья крупного рогатого скота в регионах, подвергшихся загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС, возрастает потребность в травяных кормах. В связи с этим отмечается возврат к более интенсивному использованию пойменных лугов. После аварии на Чернобыльской АЭС значительные площади луговых сообществ в поймах рек Днепр, Сож, Припять и их притоков оказались загрязнены долгоживущими радионуклидами, которые включаются в пищевые цепи, ведущие к человеку, при вовлечении лугов в хозяйственный оборот. В постчернобыльский период происходит естественный распад радионуклидов (убыль за счет радиоактивного распада ^{90}Sr составляет 2,35 % в год, ^{137}Cs – 2,27 %). Благодаря естественному распаду радионуклидов снижается загрязнение всех сельскохозяйственных угодий, в том числе и выведенных из оборота [1].

Цель и задачи – разработать прогноз динамики природно-растительных комплексов на радиационно опасных землях, выведенных из хозяйственного оборота, для использования при оценке и планирования мероприятий по их реабилитации.

Задачи исследования предусматривали:

– проведение оценки текущего состояния природной растительности тестовых полигонов на землях, выведенных из сельскохозяйственного использования;

– осуществление моделирования динамики природно-растительных комплексов на землях, выведенных из сельскохозяйственного использования;

– разработку прогноза изменения природно-растительных комплексов на землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота, до 2050 г.

Методы исследования. Описание площадок проводилось по следующей схеме: номер, дата и адрес описания, местоположение (координаты), изображение, вид угодий, название фитоценоза (предварительная ассоциация); распределение растений в сообществе: общее проектное покрытие (в %), вид

кустарников и деревьев, их проективное покрытие, средняя высота, диаметр ствола, доминантные виды травянистой растительности, мощность экспозиционной дозы.

Определение географических координат осуществлялось при помощи GPS-навигатора Garmin eTrex Venture HC. Измерение мощности дозы γ-излучения проводилось на высоте 1 м и 3–4 см над поверхностью почвы с помощью дозиметра-радиометра: МКС-АТ 1125 (АТОМТЕХ, РБ) [2].

Изучение видового состава растительности тестовых полигонов проводилось стационарным методом, где многократно и детально исследовались одни и те же участки растительности на протяжении длительного времени [3]. Определения ботанического состава растительного покрова выполнялось при помощи мобильных приложений «Flora Incognita» и «Picture This», а также учебного пособия «Определитель высших растений Беларуси» [4]. Определение общего проективного покрытия проводилось глазомерно.

Результаты. В ходе исследования был выполнен комплекс геоботанических работ по оценке современного состояния лесной, древесно-кустарниковой, болотной, луговой и рудеральной растительности, формирующейся на радиационно опасных землях, выведенных из хозяйственного оборота после аварии на Чернобыльской АЭС.

Современные виды космической съемки и технологии их обработки позволяют выполнять глубокий анализ структуры и пространственных взаимосвязей объектов растительного мира, что позволяет извлекать детальную информацию о характеристиках растительности в пространственном и временном аспектах. Это делает возможным выполнение детального картографирования и ресурсной оценки природных растительных сообществ [5].

Анализ полученных результатов показывает, что более 80 % участков, выведенных из сельскохозяйственного использования, продемонстрируют увеличение уровня заболоченности в течение следующих 30 лет. Это связано с постепенным ухудшением дренажных характеристик почв и климатическими изменениями. Средний уровень увеличения заболоченности составляет 3–6 % за десятилетие.

Участки с заболоченностью выше 80 % в настоящее время демонстрируют замедленный темп роста земель с избыточным увлажнением. Здесь темп увеличения заболоченности происходит на уровне 1–2 % за десятилетие. На участках с глинистыми почвами наблюдается более высокая скорость роста заболоченности из-за низкой их водопроницаемости, способствующей накоплению влаги. На песчаных почвах будут наблюдаться более низкие темпы роста заболоченности благодаря их высокой водопроницаемости.

Участки, расположенные в пониженных местах рельефа, имеют более высокие темпы роста заболоченности (до 7 % за десятилетие). Участки на возвышенностях, напротив, показывают минимальный прирост или стабилизацию данного показателя.

Исследуемые участки были разделены на группы по двум ключевым характеристикам:

1. Степень заболоченности: низкая (0–30 %), умеренная (30–60 %), высокая (60–100 %).

2. Скорость изменения: медленная (<2 % за десятилетие), умеренная (2–5 %), быстрая (>5 %).

Группа 1: Низкая заболоченность (0–30 %). Участки с минимальной заболоченностью в настоящее время часто расположены на возвышенностях или имеют песчаные почвы. Темпы роста заболоченности преимущественно варьируют в диапазоне от 2 до 4 % за десятилетие. Однако имеется значительное количество участков, которые остаются не заболоченными на всем протяжении прогнозируемого периода. К 2050 г. средний уровень заболоченности для участков этой группы составит 15–40 %.

Группа 2: Сильная заболоченность (30–60 %). Они расположены на равнинных элементах рельефа или имеют суглинистые почвы. Преимущественно будут иметь темп прироста заболоченности на уровне 4–5 % за десятилетие. К 2050 г. большинство участков из этой группы достигнут заболоченности 60–80 %.

Группа 3: Очень сильная заболоченность (60–100 %). Участки в низинах, поймах рек или с глинистой почвой, уже находящиеся в состоянии очень сильной заболоченности. Темпы увеличения заболоченности тут невысокие (<2 % за десятилетие). Участки, приближающиеся практически к полной заболоченности, относительно стабильны по данному показателю.

Прогноз строился на основании обработки моделью мультиспектральных данных спутниковых наблюдений. Анализ результатов моделирования демонстрирует определяющее влияние эдафического фактора на динамику заболачивания участков: на глинистых почвах темпы увеличения заболоченности выше среднего (до 7 % за десятилетие), на суглинистых почвах они средние (4–5 % за десятилетие), на песчаных почвах темпы заболачивания минимальные (<3 % за десятилетие).

Структура прогнозной растительности земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота после аварии на ЧАЭС, представлена в таблице.

Таблица *– Структура прогнозной растительности земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота*

№	Вид растительности	Площадь		Разница с 2024 г.	
		га	%	га	%
ЛУГОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ		17085,9	32,22	-1358,1	-7,4
ЛУГА ПОЙМЕННЫЕ (ЗАЛИВНЫЕ) с участками кустарников (*Salix alba, S. cinerea*, *S. fragilis*, *S. pentandra*, *S. myrsinifolia*, *S. triandra*, *Frangula alnus*)		16118,1	30,39	-564,0	-3,4
1	Остепненные луга с участками псаммофитных пустошей, настоящих, сырых и болотистых лугов	3785,2	7,14	-211	-5,3
1.1	чистые	3785,2	7,14	-6,6	-0,2
1.2	закустаренные	0	0	-204,4	-100
2	Настоящие с участками сырых и болотистых лугов	96,6	0,18	-0,3	-0,3
2.1	чистые	0	0	-96,9	-100
2.2	закустаренные	96,6	0,18	+96,6	-
3	Сырые луга с участками настоящих и болотистых лугов	5406	10,19	-100,8	-1,8
3.1	чистые	5082	9,58	-333,7	-6,2
3.2	закустаренные	324	0,61	+232,9	+255,7
4	Болотистые луга с участками сырых и торфянистых лугов	6830,3	12,88	-251,9	-3,6
4.1	чистые	6542,0	12,34	-314,6	-4,6
4.2	закустаренные	288,3	0,54	+62,7	+27,8
ЛУГА ВНЕПОЙМЕННЫЕ (МАТЕРИКОВЫЕ) с участками кустарников (*Salix cinerea*, *S. caprea*, *S. triandra*, *S myrsinifolia*, *S. rosmarinifolia*, *S. pentandra*, *S. aurita*, *Frangula alnus*)		967,8	1,83	-794,1	-45,1
5	Суходольные с участками пустошей и низинных лугов	0	0	-691,9	-100
5.1	чистые	0	0	-654,3	-100
5.2	закустаренные	0	0	-37,6	-100
6	Низинные с участками суходольных	967,8	1,83	-102,2	-9,6
6.1	чистые	761,3	1,44	-213	-21,9
6.2	закустаренные	206,5	0,39	+110,8	+115,8
ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ		22842,4	43,079	+1441,9	+6,7
7	Древесно-кустарниковая растительность с преобладанием кустарников	5817,3	10,97	+1439,9	+32,9
8	Древесно-кустарниковая растительность с преобладанием деревьев	17025,1	32,109	+2,0	+0,01
БОЛОТНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ		8,61	-82,3	-1,8	
9	Болота (низинные и переходные) открытые	4428,3	8,35	-135,6	-3
10	Болота (низинные и переходные) закустаренные	135,6	0,26	+53,3	+64,8
ПРОЧИЕ	8530,6	16,09	–	–	
Всего:	53,0 тыс. га				

Общий анализ полученной совокупности прогнозных данных показал, что заболоченные участки, низины и участки с глинистой почвой имеют более высокие темпы увеличения закустаренности, в то время как возвышенности, песчаные почвы и участки с наличием антропогенного воздействия остаются менее подверженными зарастанию древесно-кустарниковой растительностью.

Для более чем 85 % участков закустаренность увеличивается с течением времени, что связано с естественным процессом сукцессии и практически полным отсутствием антропогенной деятельности, прежде всего, распашки земель и выпаса скота. Средний рост закустаренности для всех участков составляет 2–4 % за десятилетие в зависимости от начальных условий.

На участках с закустаренностью более 80 % в настоящее время наблюдается стабилизация данных процессов. К 2050 г. они достигнут близких к максимальным значениям (95–100 %). Проявляется значительное влияние типа почвы и ландшафта на темп закустаривания. Наличие глинистых почв и пониженные элементы рельефа способствуют ускорению покрытия участков древесно-кустарниковой растительностью. На песчаных почвах и возвышенных участках темпы закустаривания минимальны вследствие низкой обеспеченности влагой.

Можно разделить все проанализированные участки на четыре группы по прогнозируемым показателям покрытия древесно-кустарниковой растительностью:

1. Участки, не подверженные зарастанию (0–10 %): повторно вовлеченные в хозяйственный оборот, а также участки на возвышенных элементах рельефа с песчаными почвами. Песчаные участки на возвышенных местоположениях с начальной закустаренностью 3–5 % остаются практически неизменными. Степень зарастания древесной и кустарниковой растительностью тут увеличится лишь до 7–10 % к 2050 г.

2. Низкая закустаренность (0–30 %): участки, расположенные на возвышенностях или с заметным антропогенным воздействием. Некоторые из участков уже используются в растениеводстве. В эту же группу попало большинство участков на песчаной почве. Среднее увеличение закустаренности составляет 1–2 % за десятилетие.

3. Умеренная закустаренность (30–60 %): участки на равнинных элементах рельефа с суглинистыми почвами и средней влажностью. Темпы прироста закустаренности здесь составляют 3–4 % за десятилетие. С наибольшей вероятностью к 2050 г. эти участки достигнут закустаренности в пределах 60–70 %.

4. Высокий уровень влажности и естественные условия способствуют активному зарастанию участков кустарниковыми и древесными породами. В большинстве случаев темп зарастания тут составляет 1–2 % за десятилетие при средней закустаренности выше 80 %. Максимальная закустаренность (>90 % к 2050 г.) расположена в непосредственной близости от водоемов в поймах рек, а также на заболоченных территориях.

Суммарная площадь всех участков, покрытых древесно-кустарниковой растительностью, к 2050 г. составит около 72 % от общей площади земель, исключенных из сельскохозяйственного оборота после аварии на Чернобыльской АЭС.

Заключение. Более 80 % площади земель участков, выведенных из сельскохозяйственного использования, продемонстрируют увеличение уровня заболоченности в течение следующих 30 лет. Максимальный темп заболачивания прогнозируется на участках, расположенных в пониженных элементах рельефа, минимальные темпы заболачивания будут наблюдаться на возвышенностях. Наиболее уязвимыми к заболачиванию участками являются те, которые имеют глинистую подстилающую породу и расположены в пониженных элементах рельефа. Для таких участков заболоченность может увеличиваться более чем на 10 % за десятилетие.

Для более 85 % участков закустаренность увеличивается с течением времени, что связано с естественным процессом сукцессии. Средний рост закустаренности для всех участков составляет 2–4 % от текущего состояния за десятилетие. Площадь участков, покрытых древесно-кустарниковой растительностью к 2050 г., составит около 72 % от общей площади земель, исключенных из сельскохозяйственного оборота.

С учетом знаний о сукцессионных сменах растительного покрова были созданы цифровые карты современной и прогнозной растительности (до 2050 г.), формирующейся на землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота по радиационному фактору. Они предназначены для принятия управленческих решений по развитию регионов, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС.

Список использованных источников

1. Рекомендации по использованию возвращаемых в оборот загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель / А. Г. Подоляк, Т. В. Ласько, С. А. Тагай // РНИУП «Институт радиологии». – Минск, 2015. – 36 с.

2. Методика выполнения измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения дозиметрами и дозиметрами-радиометрами : МВИ. МН 2513–2006. – Утв. и введ. в действ. 09.06.2005. – Гомель : республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии», 2005. – 11 с.

3. Тиходеева, М. Ю. Практическая геоботаника (анализ состояния растительных сообществ): учебное пособие / М. Ю. Тиходеева, В. Х. Лебедева. – СПб: Из-во С.-Петерб. ун-та, 2015. – 166 с.

4. Определитель высших растений Беларуси / Под ред. В. И. Парфенова. – Мн. : Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.

5. Груммо, Д. Г. Наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем особо охраняемых природных территорий / Д. Г. Груммо [и др.]; под общ. ред. Д. Г. Груммо, А. В. Судника. – Минск : Беларуская навука, 2023. – 351 с.

FLOODPLAIN MEADOWS AS A SOURCE OF GREEN FODDER IN ARID CLIMATIC CONDITIONS OF POLESIE

T. V. Lasko, E. A. Tankevich, Yu. K. Simonchyk

Natural floodplain meadows of Polesia are important natural landscape complexes and valuable natural forage lands. During the research, a computer model was developed for forecasting the dynamics of natural plant complexes on floodplain lands excluded from use. This model allows you to see the dynamics of changes in any time period, up to 2050, in terms of swampiness, bushiness, and plant species composition.

УДК 633.2; 633.3

НЕСТРУКТУРНЫЕ УГЛЕВОДЫ В КОМБИКОРМАХ СОБСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

М. А. Пастухова[1], И. А. Левченко[1], З. А. Зайцева[1], Б. В. Шелюто[2]

[1]Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2]Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь

Проведен анализ содержания неструктурных углеводов в комбикормах собственного производства предприятий АПК Брестской области по пяти рецептам (КДК-60; КДК-61; КР-1; КР-2; КР-3). Отмечено, что 98 % всего приготовленного тоннажа комбикормов не соответствует нормативным значениям по содержанию сахара и крахмала в 1 кг сухого вещества. Основной риск для КРС заключается в развитии ацидозов, снижении переваримости клетчатки за счет понижения pH рубца, уменьшении жирности молока и ожирении животных.

Ключевые слова: комбикорм, рецепт, неструктурные углеводы.

Введение. Баланс углеводов – важнейший аспект в кормлении жвачных животных. Он зависит от структуры углеводов, их переваримости и усвояемости в разных отделах желудочно-кишечного тракта животных. Основная роль углеводов заключается в обеспечении организма энергией, улучшении ферментации и использования питательных веществ корма, реализации молочной продуктивности животных. В процессе рубцовой микробиальной ферментации простые и сложные углеводы преобразуются в летучие жирные кислоты, которые обеспечивают животных на 70 % необходимой энергией [1]. Углеводы кормов представлены структурной и неструктурной фракциями. Неструктурные углеводы характеризуются более быстрым по сравнению со структурными углеводами расщеплением и перевариванием. К ним относятся следующие вещества: сахар, крахмал, органические кислоты. Легкорастворимые углеводы кормов (сахар) быстро расшепляются в рубце. Поэтому непосредственным источником глюкозы для организма жвачных сахар кормов не является. Повышенное содержание сахара в рационе (более 13 % в 1 кг сухого вещества) увеличивает риск развития ацидозов за счет резкого снижения pH рубца [1–5].

Легкогидролизуемые углеводы (крахмал) более ценный, чем сахар, источник энергии для жвачных животных. В зависимости от отдела желудочно-кишечного тракта, где происходит его переваривание, образуются разные конечные продукты распада. При расщеплении крахмала в преджелудках животного образуются летучие жирные кислоты (энергия корма) и пропионовая кислота. Пропионовая кислота способствует повышению белка в молоке коров, улучшает переваривание протеина корма и нормализует работу печени и профилактику кетозов. Часть потребленного с кормом крахмала переваривается и усваивается в тонком кишечнике животных с образованием глюкозы. Оптимальное соотношение крахмала к сахару в рационе 1,5 : 1 [2].

Соотношение переваримого в рубце крахмала к переваримому в кишечнике должно быть 70 : 30 %. Быстрое расщепление крахмала в рубце с образованием повышенного содержания пропионовой кислоты снизит pH рубца, что будет ингибировать переваривание клечатки и образование уксусной кислоты и, как следствие, снижать жирность молока. В зависимости от физиологии животных содержание крахмала должно составлять 13–23 % от сухого вещества рациона [2–4].

Основной источник поступления крахмала – зерновая группа кормов. Крахмал зерновых хорошо переваривается в кишечнике и служит основным прямым продуктом для синтеза глюкозы. Наибольшее значение это имеет для высокопродуктивных коров, особенно в начале лактации, так как наряду с энергетической составляющей глюкоза способствует реализации потенциала молочной продуктивности животных. Профицит переваримого в кишечнике крахмала снизит его перевариваемость за счет ограниченности соответствующих ферментов кишечника. Повышенное поступление глюкозы на поздних сроках лактации может спровоцировать раннюю гормональную перестройку в организме и резкое снижение кривой лактации [1–5].

Цель исследований – проведение анализа содержания неструктурных углеводов в комбикормах предприятий АПК Брестской области собственного производства и определение соответствия показателей нормативным значениям [7].

Методы исследования. Лабораторные исследования проводились в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории качества кормов Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси по утвержденным методикам [6, 7]. Исследовано 277 образцов комбикормов собственного производства предприятий АПК Брестской области. Комбикорма приготовлены по пяти различным рецептам (КДК-60; КДК-61;

КР-1; КР-2; КР-3). Учет и хранение данных проводились при помощи компьютерной программы баз данных Access, математическая обработка данных – при помощи программы Excel. Анализ соответствия содержания неструктурных углеводов (сахар+крахмал) в комбикормах для разных групп животных проводился согласно нормам, установленным в [7].

Результаты. Свод полученных данных представлен в таблице 1.

***Таблица 1** – Анализ результатов исследований комбикормов собственного приготовления по содержанию неструктурных углеводов (сахар+крахмал)*

Комбикорм	Группа	Сахар+крахмал, норма, %, не менее	Исследовано		Отклонения от нормы		
			проб, шт.	тонн	проб, шт.	тонн	% к исследованным, т
КДК-60	нетели, молочные коровы продуктивностью до 6000 кг	250–350	71	6192,.7	61	6017,7	97,2
КДК-61	молочные коровы продуктивностью более 6000 кг	250–350	118	7853,4	112	7528,4	95,9
КР-1	молодняк от 10 до 75 дней включ.	350–400	11	1171,5	11	1171,5	100
КР-2	молодняк свыше 75 до 115 дней включ.	350–400	40	2571,5	40	2571,5	100
КР-3	молодняк свыше 115 до 400 дней включ.	250–350	44	4194,8	44	4194,8	100
Всего			**277**	**21983,9**	**268**	**21483,9**	**98**

В результате анализа 277 образцов по содержанию неструктурных углеводов определено, что 98 % всего приготовленного тоннажа комбикормов собственного производства не соответствует установленным нормам. В комбикормах, приготовленных по рецепту КДК-60, процент несоответствия составил 97,2; по рецепту КДК-61 – 95,9. Во всех комбикормах для молодняка (КР-1; КР-2; КР-3) отмечено 100 % несоответствие установленным требованиям. Во всех образцах, отклоняющихся от нормы, содержание неструктурных углеводов превышает норму до 20 %. Таким образом, учитывая преимущественно силосно-концентратный тип кормления, в организм животных с кормом постоянно поступает повышенное содержание сахара и крахмала. Основной риск в данном случае заключается в развитии ацидозов, снижении переваримости клетчатки за счет снижения pH рубца, уменьшении жирности молока и ожирении животных. Наиболее уязвимой группой животных являются нетели и первотелки, а также высокопродуктивные коровы.

Проведен анализ производственных показателей молочного скотоводства Брестской области за 2023–2024 гг. Статистическая информация получена от комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Брестского облисполкома и представлена в таблице 2.

***Таблица 2** – Производственные показатели молочного животноводства Брестской области (2023–2024 гг.)*

Среднесуточный привес, г		Средний удой, кг/год		Товарность молока, %	
2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
687	714	6655	7525	91	92

В 2024 г. отмечен существенный рост по всем производственным показателям молочного скотоводства Брестской области; соответствующие данные представлены в таблице 2. Средний удой от коровы по региону составил 7525 кг/год, что на 870 кг выше к показателю 2023 г. Среднесуточный привес увеличился на 27 г и составил в среднем 714 г. Товарность молока увеличилась на 1 % и составила в 2024 г. 92 %. Достигнутый темп роста производства – это результат комплексного подхода к содержанию, кормлению и ветеринарному сопровождению животных. В области реализован ряд мероприятий, обеспечивающих качественную работу на местах. За 2023–2024 гг. построено 94 современных профилактория, оснащенных кормовыми кухнями. В 2024 г. введено в эксплуатацию 34 животноводческих объекта, в том числе 27 молочно-товарных комплексов. Цеха производства молока оснащаются вентиляторами. Дополнительно за

2023–2025 гг. закуплено 125 пастеризаторов и молочных такси, 12 тыс. индивидуальных домиков для телят. В текущем году также закуплено 2014 индивидуальных клеток-домиков, 30 пастеризаторов молока. С целью расширения возможностей проведения работ по дезинфекции животноводческих помещений за счет дополнительного бюджетного финансирования в 2024 г. каждой районной ветеринарной станцией закуплена передвижная дезинфекционная установка (всего 16 штук на область). Тем не менее, несмотря на принятые меры, актуальными остаются вопросы преждевременного выбытия скота. Средний период хозяйственного использования КРС составляет 2,7 лактации. Поэтому вопросы сбалансированного кормления животных остаются весьма актуальными. Необходим более детальный анализ и баланс рационов, в том числе контроль компонентного состава комбикормов собственного производства для определения наилучшей их структуры, отвечающей физиологии животных.

Заключение. Проведенный анализ содержания неструктурных углеводов в комбикормах собственного производства предприятий АПК Брестской области по пяти рецептам (КДК-60; КДК-61; КР-1; КР-2; КР-3) показал, что 98 % всего приготовленного тоннажа комбикормов не соответствует нормативным значениям по содержанию сахара и крахмала в 1 кг сухого вещества. Основной риск для молочного стада заключается в развитии ацидозов, снижении переваримости клетчатки за счет понижения pH рубца, уменьшении жирности молока и ожирении животных.

Благодарность. Выражаем признательность комитету по сельскому хозяйству и продовольствию Брестского облисполкома за помощь и предоставление статистических сведений по результатам работы молочного скотоводства Брестской области.

Список использованных источников

1. Шупик, М. В. Кормление сельскохозяйственных животных / М. В. Шупик, А. Я. Райхман. – Горки : БГСХА, 2014 – 236 с.

2. Кормление высокопродуктивных коров / А. Ф. Карпенко [и др.] ; Национальная академия наук Беларуси, Институт радиобиологии. – Минск : Беларуская навука, 2021. – 430 с.

3. Ганущенко, О. Структурность кормосмесей для коров / О. Ганущенко // Животноводство России. – 2019. – № 12. – С. 59–61.

4. Рядчиков, В. Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных: учебно-практическое пособие / В. Г. Рядчиков. – Краснодар : КубГАУ, 2012. – 328 с. – 200 экз.

5. Калашников, А. П. Кормление сельскохозяйственных животных / А. П. Калашников, Н. И. Клейменов. – Москва : Россельхозиздат, 1988. – 366 с.

6. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов: ГОСТ 26176-2019. – Взамен ГОСТ 26176-91; введ. РБ 10.10.2019. – Минск : БелГИС, 2000. – 15 с.

7. Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия: ГОСТ 9268-2015. – Взамен ГОСТ 9268-90; введ. РБ 14.10.2016. – Минск : БелГИС, 2017. – 13 с.

CONTENT OF CRUDE PROTEIN IN COMPOUND FEED OF OWN PRODUCTION

M. A. Pastukhova, I. A. Levchenko, Z. A. Zaitseva, B. V. Sheluto

The analysis of the content of non-structural carbohydrates in compound feeds of own production of agricultural enterprises of the Brest region was carried out according to five recipes (KDK-60; KDK-61; KR-1; KR-2; KR-3). It was noted that 98% of the total prepared tonnage of compound feeds does not correspond to the standard values for the content of sugar and starch in 1 kg of dry matter. The main risk in this case is the development of acidosis, decreased digestibility of fiber due to a decrease in the pH of the rumen, a decrease in the fat content of milk and obesity of animals.

УДК 633.2; 633.3

СОДЕРЖАНИЕ СЫРОГО ПРОТЕИНА В КОМБИКОРМАХ СОБСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

М. А. Пастухова[1], С. Н. Михальчук[1], Т. И. Новикова[1], Б. В. Шелюто[2]

[1]Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2]Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь

В статье приводится анализ комбикормов предприятий АПК Брестской области собственного производства по содержанию сырого протеина и соответствию значений показателя установленным нормам. Исследовано 5 рецептов комбикормов для разных групп животных (КДК-60; КДК-61; КР-1; КР-2; КР-3). Общий тоннаж, не соответствующий норме, составил 33,7 %. Наибольший процент несоответствия отмечен для комбикормов, приготовленных по рецепту КР-1 (93 %) и КДК-60 (41,1 %). Таким образом, на фоне положительной динамики сохранности крупного рогатого скота остается высоким уровень выбытия скота именно в группах молочных коров (41 %) и телят до двухмесячного возраста (33 %).

Ключевые слова: комбикорм, удои, молодняк, сырой протеин, питательность.

Введение. Молочное скотоводство Республики Беларусь занимает более 53 % в структуре товарной продукции животноводства. Наряду с внутриреспубликанским обеспечением населения качественной молочной продукцией, около 65 % производимого в республике молока поступает на экспорт, поэтому предъявляются высокие требования к качеству и количеству производимого молока. В Брестской области по результатам 2024 г. средний удой от коровы составил 7525 кг; это наивысший показатель среди регионов республики. Соответственно, высокие надои – это повышенная нагрузка на организм животных, которая должна компенсироваться высокой питательностью и энергией кормов. В этой связи в Брестской области практикуется силосно-концентратный тип кормления, который обеспечивает высокую питательность рационов, хотя и не отвечает в полной мере физиологии животных. Соотношение заготавливаемого силоса к сенажу составляет 65:35. Силос – это корм, богатый крахмалом, но с низким содержанием протеина. Белок – один из основных питательных компонентов корма, за счет которого синтезируются белковые вещества организма. Для нормального роста, развития и продуктивности организма животного белок, как и другие питательные вещества корма, должен поступать с кормом в оптимальном количестве и составе. Особенностью протеинового питания крупного рогатого скота является распад и расщепление части белка (до 80 %) в рубце животных и переваривание его микрофлорой рубца; там же происходит синтез микробного белка, который существенно отличается по составу аминокислот от белка, поступившего с кормом. Количество доступного для обмена жвачных животных протеина определяется суммой микробного белка и нераспавшегося в рубце протеина, причем важно также соотношение расщепляемого протеина к нерасщепляемому. Рост продуктивности животных в зависимости от протеиновой обеспеченности требует учитывать количественные параметры микробиального синтеза в преджелудках, степень усвоения и использования кормового и микробного белка, аминокислот при различных физиологических состояниях и уровнях продуктивности животных. В этой связи большое внимание уделяется исследованиям по сохранению ценного кормового белка от разрушения в рубце: предлагаются различные способы его защиты (например, подбор и разработка рецептов комбикормов с относительно низкой его расщепляемостью, влаготепловая обработка – гранулирование, экструдирование, обработка химическими препаратами (формальдегидами, органическими кислотами, конденсатом низкомолекулярных жирных кислот), а также включение в рационы специальных кормовых добавок) [1–4].

Потребность в сыром протеине сильно варьирует в зависимости от возраста, физиологического состояния и продуктивности животных. При удое 10 кг/сут достаточно 11 % сырого протеина в 1 кг сухого вещества, а при удое 32 кг/сут – не менее 16,5 %, соответственно [1]. Особого внимания требует баланс питательных веществ у нетелей и первотелок. Около 80 % заболеваний первотелок относятся к последствиям недостаточного по протеину, витаминам и минеральным веществам рациону нетелей, так как нетель в период стельности также продолжает расти. Рост мышечной ткани нетели и плода в первую очередь зависит от содержания в рационе сырого протеина [2]. В зависимости от периода стельности потребность сырого протеина в рационе для этой группы животных составляет от 13 до 15 % в 1 кг сухого вещества; для

первотелок 14–16 % соответственно [2, 4]. Поэтому дефицит протеина в рационах животных восполняют повышенной долей концентратов, которая может достигать 50 % и более. Такая структура рациона увеличивает издержки на корма, поэтому широко распространена практика скармливания животным комбикормов собственного приготовления.

Цель исследований – определение соответствия нормативным показателям комбикормов собственного производства для разных возрастных групп животных по содержанию протеина.

Методы исследования. Лабораторные исследования проводились в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории качества кормов Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси по утвержденным методикам [6, 7]. Учет и хранение данных проводилось при помощи компьютерной программы баз данных Access, математическая обработка данных – при помощи программы Excel. Анализ соответствия содержания сырого протеина в комбикормах для разных групп животных проводили согласно норм, установленных в [7].

Результаты. Полученные данные представлены в таблице.

***Таблица** – Результаты исследований комбикормов собственного приготовления по содержанию сырого протеина*

Комбикорм	Группа	Норма, %, не менее	Исследовано		Содержание сырого протеина менее нормы		
			проб, шт.	тонн	проб, шт.	тонн	% к исследованным, т
КДК-60	Нетели, молочные коровы продуктивностью до 6000 кг	16	64	6192,7	23	2547,7	41,1
КДК-61	Молочные коровы продуктивностью более 6000 кг	20	118	7853,4	54	2056	26,2
КР-1	Молодняк от 10 до 75 дней включ.	21	11	1171,5	5	1089,5	93,0
КР-2	Молодняк свыше 75 до 115 дней включ.	16	40	2571,5	19	735	28,6
КР-3	Молодняк свыше 115 до 400 дней включ.	13	44	4194,8	14	985	23,5
Всего			**277**	**21983,9**	**115**	**7413,2**	**33,7**

В результате анализа определено, что из 277 исследованных образцов комбикормов 115 не соответствуют нормативным значениям по содержанию протеина, что в тоннаже соответствует 33,7 %. Наибольшая доля комбикормов с отклонением от нормативных значений по содержанию сырого протеина отмечена для телят от 10 до 75 дней включительно. Из общего тоннажа исследованных партий комбикормов для этой группы животных 93,0 % не соответствует норме. Отклонение от нормы 23,5 % от общей массы исследованных кормов отмечено в комбикормах для группы молодняка на откорме (от 115 до 400 дней включительно). В этой группе животных наименьшие требования по содержанию сырого протеина в 1 кг сухого вещества комбикорма (13 %). Доля не соответствующих по обеспеченности сырым протеином комбикормов для дойных коров продуктивностью выше 6000 кг составила 26,2 % от общего тоннажа исследованных партий. Также в комбикормах для молодняка на откорме (от 75 до 115 дней включительно) отклонения от нормы (16 %) установлены в 28,6 % от всей массы исследованных партий кормов. Несмотря на достаточно низкий порог нормативного значения по содержанию сырого протеина в 1 кг сухого вещества (16 %), в комбикормах для нетелей и молочных коров продуктивностью до 6000 кг установлен процент несоответствия норме на уровне 41,1 %. Таким образом, логично предположить, что для комбикормов по рецепту КДК-60 используются наименее ценные по содержанию сырого протеина компоненты.

Вследствие этого, на фоне постоянно повышающегося уровня молочной продуктивности и интенсивности использования дойного стада применяющийся на практике силосно-концентратный тип кормления, несбалансированность рационов в соответствии с продуктивностью и физиологией животных, низкая питательность кормов приводят к преждевременному выбытию скота. Согласно представленной комитетом по сельскому хозяйству и продовольствию Брестского облисполкома статистической информации по состоянию на 01.06.2025, установилась стойкая положительная динамика в части падежа и непроизводительного выбытия скота. В разрезе возрастных групп 33 % от общего падежа приходится на телят до 2-х месячного возраста, от 2-х до 6-ти месяцев – 13 %, от 6-ти до 12-месячного возраста – 5 %, от 12-ти до 24-х месяцев – 8 %; на долю коров основного стада приходится 41 %.

Вместе с тем в течение последних 3-х лет в области определена и реализуется стратегия по снижению падежа скота, включающая в себя целый комплекс материально-технических, организационно-технологических, диагностических, лечебно-профилактических и управленческих мер. Принимаемые меры, а также совместная работа ОНИЛКК со всеми заинтересованными структурами и ведомствами по контролю качества кормов, позволили сократить потери крупного рогатого скота.

В целом по области за 5 месяцев 2025 г. падеж крупного рогатого скота снизился на 0,9 тыс. голов к соответствующему периоду прошлого года.

При этом в сравнении с прошлым годом снижено количество падежа на группе молодняка от 0 до 2-месячного возраста на 4 % или на 668 голов. Падеж молодняка составил 5,7 тысяч голов, что на 1,2 тысячи меньше прошлогоднего. Однако падеж коров основного стада увеличился на 274 головы к уровню прошлого года и составил 3,5 тыс. голов.

За январь–май 2025 г. процент технологических потерь крупного рогатого скота (0,82) снижен к прошлогоднему на 0,15 процентных пункта и оказался ниже законодательно установленного норматива – 1,5. Справочно: средний по Республике процент технологических потерь по состоянию на 01.06.2025 составил 1,4, в Гродненской области – 1,1, Минской области – 1,3, Витебской – 1,8, Могилевской – 2,2, Гомельской – 2,1.

Заключение. Проведен анализ 277 образцов комбикормов предприятий АПК Брестской области собственного производства по содержанию сырого протеина и соответствию значений показателя установленным нормам. Исследовано 5 рецептов комбикормов для разных групп животных (КДК-60; КДК-61; КР-1; КР-2; КР-3). Установлено, что 115 образцов комбикормов не соответствуют нормативным значениям содержания сырого протеина в 1 кг сухого вещества. Общий тоннаж, не соответствующий норме, составил 33,7 %. Наибольший процент несоответствия отмечен для комбикормов, приготовленных по рецепту КР-1 (93 %) и КДК-60 (41,1 %). На фоне положительной динамики сохранности крупного рогатого скота остается высоким уровень выбытия скота в группах молочных коров (41 %) и телят (33 %).

Благодарность. Выражаем признательность комитету по сельскому хозяйству и продовольствию Брестского облисполкома за помощь и предоставление статистических сведений по результатам работы молочного скотоводства Брестской области.

Список использованных источников

1. Шупик, М. В. Кормление сельскохозяйственных животных / М. В. Шупик, А. Я. Райхман. – Горки : БГСХА, 2014. – 236 с.

2. Кормление высокопродуктивных коров / А. Ф. Карпенко [и др.] ; Национальная академия наук Беларуси, Институт радиобиологии. – Минск : Беларуская навука, 2021. – 430 с.

3. Пастухова, М. А. Аминокислотный состав кормосмеси для дойного стада КРС при введении в рацион силоса из сильфии пронзеннолистной / М. А. Пастухова, Б. В. Шелюто // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 3 (141). – Режим доступа : https://research-journal.org/archive/3-141-2024-march/10.23670/IRJ.2024.141.47. – Дата доступа : 18.03.2024. – DOI: 10.23670/IRJ.2024.141.47.

4. Разумовский, Н. П. Белковый обмен и состав рациона / Н. П. Разумовский, Д. Т. Соболев // Животноводство России. – 2020. – № 6. – С. 39–40.

5. Кормление сельскохозяйственных животных / А. П. Калашников, Н. И. Клейменов. – Москва : Россельхозиздат, 1988. – 366 с.

6. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина: ГОСТ 13496.4-93. – Взамен ГОСТ 23638–79; введ. РБ 01.08.2000. – Минск : БелГИС, 2000. – 16 с.

7. Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия: ГОСТ 9268-2015. – Взамен ГОСТ 9268-90; введ. РБ 14.10.2016. – Минск : БелГИС, 2017. – 13 с.

CONTENT OF CRUDE PROTEIN IN COMPOUND FEED OF OWN PRODUCTION

M. A. Pastukhova, S. N. Mikhalchuk, T. I. Novikova, B. V. Sheluto

The article provides an analysis of compound feeds of Brest region agro-industrial complex enterprises of their own production by the content of crude protein and the compliance of the indicator values with the established standards. Five recipes of compound feeds for different groups of animals were studied (KDK-60; KDK-61; KR-1; KR-2; KR-3). The total tonnage that did not meet the standard was 33.7%. The highest percentage of non-compliance was noted for compound feeds prepared according to the recipe KR-1 (93%) and KDK-60 (41.1%). Thus, against the background of positive dynamics of cattle survival, the level of cattle attrition remains high in the groups of dairy cows (41%) and calves under two months of age (33%).

УДК 334:378:631

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ БЫСТРО УЛУЧШАТЬ ПОДГОТОВКУ КАДРОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, ОХРАНУ ТРУДА И РАЗВИТИЕ ВУЗОВ, ИСПОЛЬЗУЯ ЛУЧШИЙ МИРОВОЙ ОПЫТ И МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

С. А. Радченко
Тульский государственный педагогический университет имени Л. Н. Толстого, г. Тула, Российская Федерация

Научно обоснована и подготовлена реальная возможность наиболее быстро, сильно и малозатратно улучшать: 1 – обучение в школах, колледжах и вузах регионов; 2 – безопасность работы в сельском хозяйстве и его устойчивое развитие. Это возможно при международном сотрудничестве, обеспечивающем: а – использование опыта знаменитых университетов России и ведущих стран; б – получение хоздоговоров для многих кафедр.

Ключевые слова: улучшение обучения, мировой опыт, международное сотрудничество, хоздоговоры кафедр.

Введение. Ряд проблем улучшения подготовки кадров для сельского хозяйства и обеспечения их более эффективной и безопасной работы и массового внедрения многих новых достижений и видов современной продукции в России, Белоруссии и других странах и их причины давно известны. Они регулярно обсуждаются на многих научных конференциях, но обеспечивать их успешное комплексное решение за счет использования только традиционных методов пока не удается по многим объективным причинам, даже в случаях выделения на эти цели очень больших бюджетных и внебюджетных денег. Важно найти и подготовить новые доступные для вузов и органов управления регионов и стран и реальные способы для быстрого и эффективного улучшения решения таких проблем в любых регионах, даже без больших дополнительных расходов бюджетов всех уровней, на основе использования лучшего опыта самых знаменитых и процветающих университетов.

Цели и задачи 35-летнего изучения лучшего опыта знаменитых университетов.

1. Изучить лучший опыт самых знаменитых университетов России и ведущих стран, позволяющий им получать многие важные преимущества по сравнению с другими вузами.

2. Исследовать возможность успешно применять лучший мировой опыт улучшения обучения, быстрого внедрения новых достижений и развития другими вузами в регионах.

3. Научно обосновать, разработать и апробировать в учебном процессе методы и средства для быстрого и эффективного улучшения обучения и развития вузов в регионах, используя лучший мировой опыт, а также межрегиональное и международное сотрудничество.

Методы разработки и апробации в учебном процессе инновационных способов улучшения обучения, профориентации и сотрудничества ведущих кадров кафедр.

В результате 35-летнего изучения автором лучшего опыта самых знаменитых и процветающих университетов России и ведущих стран (в том числе на стажировках в Великобритании в Кембридже и Лидском университете в США и в командировках в Бельгию, Францию, Германию и Данию) мы научно обосновали и подготовили новые реальные возможности гораздо быстрее, результативнее и менее затратно решать многие проблемы технологического и сельскохозяйственного образования и внедрения новых достижений в регионах, обеспечивая для ряда технических и других факультетов и кафедр вузов: 1 – уникальные бюджетные хоздоговоры на многие годы; 2 – новые возможности улучшать обучение и внедрение новых достижений, используя безотказные во всем мире законные методы [1–8], которые давно и успешно применяют знаменитые университеты.

Многие годы целенаправленной научно-исследовательской, учебно-методической и образовательной деятельности под научным руководством автора, в которой участвовали ведущие преподаватели шести кафедр четырех факультетов Тульского государственного педагогического университета имени Л. Н. Толстого [1–16], позволили разработать и многие годы успешно применять при обучении студентов 8 факультетов очной и заочной формы обучения 20 электронных интерактивных учебных и учебно-методических пособий [10–16], позволяющих повышать качество обучения и интерес и мотивацию студентов к нему.

Кроме того, нами разработан и успешно использовался в учебном процессе новый портативный учебно-тренировочный комплекс [9], который пока является единственным в России уникальным дополни-

тельным средством для обеспечения наиболее быстрого, дешевого и эффективного применения лучшего мирового опыта комплексного решения многих актуальных проблем обучения и массового внедрения многих новых достижений и лучших видов продукции в регионах (за счет быстрой организации более эффективного при рыночной экономике и даже при бюджетном дефиците уникального многостороннего межрегионального и международного сотрудничества, которое позволит участвующим в нем факультетам и кафедрам вузов в любых регионах быстро и просто получить на много лет новые уникальные возможности для улучшения обучения, развития и дохода ведущих кадров, которые пока есть лишь в самых знаменитых университетах России и мира [1–9]).

Результаты изучения лучшего опыта самых знаменитых университетов мира.

35-летнее изучение автором лучшего опыта ряда самых знаменитых университетов России и ведущих стран мира позволило сделать важные научные и практические выводы, позволяющие наиболее быстро использовать такой опыт для реального получения рядом технических и других факультетов и кафедр вузов в любых регионах новых возможностей быстро и просто улучшать обучение и доходы ведущих кадров, используя уникальные преимущества предлагаемого межрегионального и международного сотрудничества [1–9].

1. Автор установил, что самые знаменитые, процветающие и богатые университеты России и ведущих стран мира, опыт которых он изучал, отличаются от всех других вузов:

– во-первых, тем, что кроме образовательной деятельности они постоянно выгодно и полезно для всех сотрудничают с органами управления (особенно в своих регионах и городах) и с рядом фирм, квалифицированно помогая им при участии некоторых кафедр и факультетов по хоздоговорам в региональных и городских программах (с привлечением ведущих специалистов) успешнее совместно решать важные для них задачи и проблемы;

– во-вторых, взаимовыгодным сотрудничеством некоторых факультетов и кафедр с многими ведущими фирмами, что позволяет использовать при обучении имеющееся у них оборудование без собственных затрат вузов для его покупки, эксплуатации и обновления.

2. Ведущие зарубежные экономисты давно показали: 1 – невозможность сильного повышения бюджетного финансирования большинства вузов в мире; 2 – необходимость поиска вузами новых способов получения дополнительных бюджетных и внебюджетных средств, так как большинству вузов всех стран хватает денег в основном только для выплаты зарплаты и они не могут обновлять свое оборудование и успешно развиваться.

3. Ряд знаменитых университетов применяет очень похожие во всех странах методы сотрудничества с администрацией регионов, эффективнее используя «административный ресурс» администрации для улучшения обучения и получения новых возможностей.

4. Самый перспективный и реальный для технических вузов и факультетов способ получать большое дополнительное бюджетное финансирование от администраций своих регионов и региональных центров (по хоздоговорам с некоторыми кафедрами и другими способами, участвуя в региональных программах) – это участие в обеспечении массового внедрения современной продукции и в решении актуальных для администрации проблем.

5. Самым быстрым, эффективным и малозатратным способом улучшения обучения и развития вузов и их технических факультетов и кафедр в регионах и использования потенциала их кадров является их участие в многостороннем международном и/или межрегиональном сотрудничестве с участием органов управления образованием (прежде всего их регионов и городов) и ведущих организаций и фирм, что обеспечивает им [1–8]:

– гораздо большую эффективную поддержку такого сотрудничества всеми органами управления всех уровней и новые уникальные дополнительные возможности постоянно получать много дополнительных бюджетных и внебюджетных денег (за счет их активного участия в различных региональных, государственных и международных программах);

– привлечение кадров некоторых их факультетов и кафедр (особенно технических и экономических) к участию (на основе бюджетных хоздоговоров) в реализации всегда хорошо финансируемых региональных, государственных и международных программ и «пилотных» проектов, что повышает результативность научно-исследовательской работы;

– использование «административного ресурса» и других возможностей органов управления, в том числе финансовых, самыми эффективными и безотказными методами;

– повышение их роли в регионах как центров науки и образования, в том числе с их участием в разработке и реализации комплексных программ решения важных проблем.

6. Самый быстрый и безотказный способ обеспечивать получение рядом кафедр бюджетных хоздоговоров при их участии в региональных программах – это разработка и утверждение (подписание) сельско-

хозяйственными вузами в регионах двух документов: 1 – многосторонней комплексной программы сотрудничества органов управления и вуза для улучшения обучения, профориентации, охраны труда, внедрения новых достижений и современной продукции и эффективности решения важных для администрации проблем [1–8]; 2 – уникального многостороннего «рамочного» договора о сотрудничестве [8].

Наша многолетняя научная, методическая, учебная и практическая работа [1–16] помогла научно обосновать и подготовить реальные возможности быстро разработать, утвердить и использовать программы многостороннего международного сотрудничества вузов с органами управления с участием некоторых технических, экономических и других кафедр сельскохозяйственных вузов и тульской фирмы, которая будет под научным руководством автора производить и поставлять портативный учебно-тренировочный комплекс [9] и выполнять многие нужные для успешного сотрудничества функции, которые все вузы и любая администрация не могут выполнять сами по ряду причин:

1 – с органами управления образованием и другими структурами своего региона и города (так как бюджеты у них разные и они могут финансировать такие хоздоговоры);

2 – с одним и/или с несколькими вузами и с администрациями их регионов и городов в целях совместной реализации уникального по возможностям российско-белорусского «пилотного» проекта (при бюджетном финансировании даже на многие годы), используя:

– наши разработки, опыт и «ноу-хау» и комплект документов, разработанный и использовавшийся в г. Туле под научным и практическим руководством автора во время выполнения им в течение 3-х лет функций внештатного помощника заместителя Главы г. Тулы и ученого секретаря Тульского городского научно-технического совета по развитию городского хозяйства, энергосбережению и экологическим проблемам;

– 20-летний опыт работы автора на высших руководящих должностях в трех организациях, изучавших мировой опыт и участвовавших в его внедрении в регионах.

Степень готовности к такому международному и межрегиональному сотрудничеству с использованием наших разработок, опыта, «ноу-хау» и комплекта документов очень большая [1–16]. Это подтверждают 4 диплома I, II и III степени, полученные автором на «Выставках педагогических инноваций» в Ишимском педагогическом институте имени П. П. Ершова (филиале) Тюменского государственного университета в 2023, 2024 и 2025 гг.

Поэтому совместное внедрение в школах учебно-тренировочного комплекса [9] позволит участвующим в этом сотрудничестве вузам, факультетам и кафедрам постоянно получать большое целевое бюджетное финансирование на многие годы и улучшать: 1 – изучение многих видов современного оборудования и правил охраны труда и безопасной работы в сельском хозяйстве; 2 – межпредметные связи, профориентацию и знания обучаемых, их интерес к учебе; 3 – визуализацию изучаемого материала [10–16].

Предлагаемое эффективное совместное использование лучшего мирового опыта [1–9] может быть полезно для быстрого и сильного повышения роли сельскохозяйственных вузов, факультетов и кафедр в решении многих важных проблем: 1 – подготовки кадров для сельского хозяйства; 2 – обеспечения внедрения новых достижений, современных технологий и видов продукции в сельскохозяйственном производстве; 3 – улучшения охраны труда и безопасности работ самыми эффективными и малозатратными методами.

Выводы. Научно обоснована и подготовлена новая реальная возможность быстро и просто улучшать подготовку кадров для сельского хозяйства, охрану труда и возможности для законного повышения доходов ведущих кадров и развития сельскохозяйственных вузов, факультетов и кафедр в регионах России, Белоруссии и других стран, используя лучший опыт самых знаменитых университетов России и ведущих стран [1–9]:

1 – самые эффективные во всех странах «рамочные» договоры о многостороннем международном и межрегиональном сотрудничестве вузов с органами управления всех уровней, позволяющие иметь уникальные бюджетные хоздоговоры для кафедр;

2 – совместное внедрение в системе образования и дальнейшее совершенствование портативного учебно-тренировочного комплекса [9] как лучшего малозатратного средства для эффективного внедрения образовательных технологий нового поколения и создания для некоторых технических, экономических и других факультетов и кафедр уникальных возможностей улучшать обучение, доходы ведущих кадров, развитие и сотрудничество с органами управления и фирмами, которые пока есть только в знаменитых университетах.

Список использованных источников

1. Радченко, С. А. Международное сотрудничество – лучший способ эффективного внедрения в вузах и школах образовательных технологий нового поколения / С. А. Радченко // Педагогическая наука и образование: сохраняя прошлое – создаем будущее: материалы Междун. науч.-практ. форума, посвященного 110-летию БГПУ. – Минск : Минский гос. пед. ун-т им. Максима Танка, 2025. – С. 424–427.

2. Радченко, С. А. Возможности улучшать подготовку кадров, используя опыт знаменитых университетов и международное сотрудничество / С. А. Радченко // Совершенствование системы подготовки кадров в вузе: направления и технологии. Сборник научных статей. – Гродно : Гродненский гос. ун-т, 2024. – С. 103–107.

3. Радченко, С. А. Организационно-экономические возможности использовать международное сотрудничество и лучший мировой опыт для быстрого улучшения обучения и доходов ведущих кадров / С. А. Радченко // Актуальные вопросы экономической науки в XXI веке: Сб. матер. междун. научно-прак. конф. – X чтений, посвящ. памяти известного белорусского и российского ученого-экономиста М. В. Научителя. – Гомель : Гомельский гос. ун-т им. Франциска Скорины, 2024. – С. 170–174.

4. Радченко, С. А. Использование международного сотрудничества и мирового опыта – лучший реальный способ для улучшения обучения и воспитания молодежи / С. А. Радченко // Актуальные вопросы воспитания детей и учащейся молодежи: Сборник материалов Республиканской (с междун. участием) научно-практ. конф. – Брест : Брестский гос. ун-т им. А. С. Пушкина, 2024. – С. 3–6.

5. Радченко, С. А. Новые возможности быстро улучшать экологическое образование, используя лучший мировой опыт, международное сотрудничество и хоздоговора / С. А. Радченко // Green School: вместе к устойчивому развитию. Матер. Междун. научно-практ. конф. – Минск : Минский гос. пед. ун-т им. Максима Танка, 2024. – С. 162–167.

6. Радченко, С. А. Возможности быстро улучшать обучение в регионах и получать большие хоздоговоры для кафедр педагогических вузов, используя лучший мировой опыт и межрегиональное сотрудничество / С. А. Радченко // Современное технологическое образование. Сб. статей, докладов и материалов XXX Междун. науч.-практ. конф. – М. : Ассоциация технических университетов, 2024. – С. 10–18.

7. Радченко, С. А. Самый реальный, быстрый и малозатратный способ улучшить в регионах технологическое образование и доходы педагогических вузов и их ведущих кадров / С. А. Радченко, С. С. Радченко // Технолого-экономическое образование: достижения, инновации, перспективы: материалы XX Всеросс. науч.-практ. конф. с междун. участием. – Тула : Тульский гос. пед. ун-т им. Л. Н. Толстого, 2023. – С. 54–65.

8. Радченко, С. А. Многосторонние договора о сотрудничестве – самый быстрый, реальный и малозатратный способ улучшить обучение технологии и доходы вузов и их ведущих кадров, используя лучший мировой опыт / С. А. Радченко // Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития: матер. IX Междун. науч.-метод. конф. – М.: Московский пед. гос. ун-т., 2023. – С. 215–220.

9. Радченко, С. А. Портативный учебно-тренировочный комплекс для быстрого улучшения обучения, доходов вузов и их ведущих кадров и межрегионального сотрудничества / С. А. Радченко, С. С. Радченко // Проблемы и перспективы технологического и физико-математического образования в России и за рубежом: сборник материалов VI Междун. науч.-практ. конф. – Ишим : Ишимский пед. ин-т имени П. П. Ершова (филиал) Тюменского гос. ун-та, 2024. – С. 96–103.

10. Радченко, С. А. Инновационные методы для улучшения обучения по технологии, физике, теплотехнике и охране труда / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев // Школа будущего. – 2017. – № 6. – С. 180–187.

11. Радченко, С. А. Комплекс учебных пособий по технологии, теплотехнике и охране труда для улучшения подготовки и работы учителей / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев // Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития: Матер. IV межд. научн.-метод. конф. – М. : Московский пед. гос. ун-т, 2019. – С. 641–648.

12. Будникова, С. П. Планирование и обеспечение успешной карьеры выпускника: Методические рекомендации для студентов всех специальностей / С. П. Будникова, Н. В. Просперова, С. А. Радченко, С. С. Радченко. – Тула : Тульский гос. пед. ун-т им. Л. Н. Толстого, 2015. – 262 с.

13. Будникова, С. П. Получение практических навыков для безопасности жизнедеятельности, успешности трудоустройства и карьеры: Учебно-методическое пособие / С. П. Будникова, С. А. Радченко, Н. В. Просперова, Л. В. Лукиенко, С. В. Пазухина, С. С. Радченко, Р. Г. Рябов, М. С. Петрова. – Тула : Тульский гос. пед. ун-т им. Л. Н. Толстого, 2016. – 142 с.

14. Радченко, С. А. Охрана труда в сельском хозяйстве: Учебное пособие / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев, С. С. Радченко, В. М. Заёнчик, Ю. В. Балясова // Комплекс учебных и учебно-методических материалов кафедры технологии и сервиса ТГПУ им. Л. Н. Толстого. Вып. 6. – Тула : Тульский гос. ун-т, 2017. – 444 с.

15. Радченко, С. А. Лабораторный практикум «Охрана труда в сельском хозяйстве»: Учебно-методическое пособие / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев, С. С. Радченко, Д. В. Малий // Комплекс учебных и учебно-методических материалов кафедры технологии и сервиса ТГПУ им. Л. Н. Толстого. Вып. 6. – Тула : Тульский гос. ун-т, 2017. – 326 с.

16. Радченко, С. А. Практикум «Охрана труда в сельском хозяйстве»: Учебно-методическое пособие / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев, С. С. Радченко, В. М. Заёнчик // Комплекс учебных и учебно-методических материалов кафедры технологии и сервиса ТГПУ имени Л. Н. Толстого. Вып. 6. – Тула : Тульский гос. ун-т, 2017. – 220 с.

NEW OPPORTUNITIES TO IMPROVE QUICKLY TRAINING FOR THE AGRICULTURAL SECTOR, LABOR PROTECTION AND DEVELOPMENT OF UNIVERSITIES USING THE BEST WORLD EXPERIENCE AND INTERNATIONAL COOPERATION

S. A. Radchenko

We scientifically substantiated and prepared the real opportunity to improve: 1 – education in schools, colleges and universities in the regions; 2 – agricultural safety and sustainable development. This is possible through international cooperation, which will ensures: a – the use of the experience of famous universities of Russia and leading countries; b – the acquisition of business contracts for many departments.

УДК 631.821(476)

АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕЛИОРАНТОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

В. А. Сатишур[1], А. Н. Лицкевич[2], Е. А. Брыль[2], Т. И. Макаренко[3]

[1]Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси, аг. Тулово, Беларусь
[2]Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[3]Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Показано, что новый известковый мелиорант на основе карбидной извести не уступает по эффективности снижения кислотности супесчаной почвы дорогостоящей доломитовой муке. Известкование среднекислой дерново-подзолистой супесчаной почвы с pH $_{KCL}$ 4,63 доломитовой мукой, дефекатом, карбидной известью в дозах, рассчитанных по 0,5, 1,0, 1,5 Нг является агрономически эффективным приемом повышения урожайности кукурузы и ярового ячменя. Этот прием обеспечивает в первый год действия извести прирост урожайности зеленой массы кукурузы на 5,8–21 %. На второй год действия известковых мелиорантов окупаемость минеральных удобрений зерном ячменя увеличилась в 1,6–2,5 раза.

Ключевые слова: карбидная известь, дефекат, известкование, урожайность, качество продукции.

Введение. Повышенная кислотность почвы – лимитирующий фактор плодородия. В связи с этим самым важным и первостепенным агрохимическим мероприятием при разработке систем применения удобрений в севооборотах является поддерживающее известкование кислых минеральных почв с pH менее 5,5. Повышенная кислотность нарушает микробиологические процессы в почвах, снижает обеспеченность полевых культур фосфором, азотом и молибденом, что негативно сказывается на росте, развитии и урожайности культур, требовательных к оптимальной кислотности (pH 5,8–6,5) и сбалансированному минеральному питанию: сахарной свеклы, рапса, кукурузы, пшеницы и овощей.

Планомерное известкование сельскохозяйственных земель республики доломитовой мукой на протяжении последних 50 лет позволило исключить повышенную кислотность из числа факторов, лимитирующих производство растениеводческой продукции, оптимизировало pH, насытило поглощающий комплекс почв обменными формами кальция и магния. Однако в последние годы в связи с недостаточным финансированием и снижением объемов работ по известкованию кислых почв прослеживается тенденция подкисления пахотных земель во многих районах Беларуси. На 18 % площадей наблюдается умеренный дефицит кальция, что препятствует получению высокой урожайности культур. Минимальное содержание обменного кальция характерно для районов с преобладанием легких почв, где доля проблемных кислых почв с pH меньше 5 превышает 20 % от площади пашни.

Отечественной агрохимической наукой разработан «Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 гг.», одобренный научно-техническим советом Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. Этот документ рекомендует увеличить площади известкования сельскохозяйственных земель в 2,2 раза при средней дозе внесения извести ($CaCO_3$) 4,9 т/га. Исходя из этого, в республике необходимо ежегодно известковать около 580 тыс. га сельскохозяйственных земель и вносить 2,8 млн т $CaCO_3$. Если не соблюдать указанные объемы работ, то в ближайшие 10 лет доля кислых почв (с pH меньше 5) по областям Беларуси повысится в 2–3 раза, что приведет к снижению эффективности удобрений и недобору урожая на 25 % пашни [1].

Критерием выбора известкового удобрения является тип содержащегося в нем химического соединения. Известковые удобрения встречаются в форме оксидов (CaO и MgO), гидроксидов ($Ca(OH_2)$ или карбонатов ($CaCO_3$).

Доломитовые удобрения ($CaCO_3$) характеризуются высокой нейтрализующей способностью, но их химическая активность нарастает постепенно и продолжается довольно длительное время. Реакционная способность известковых мелиорантов в форме оксидов и гидроксидов более высокая. Они снижают кислотность быстрее, но срок их действия короче. Из кальциевых удобрений следует выбирать такие, в которых содержание оксида кальция максимально высокое. Многие из них в своем составе могут иметь добавки, влияющие на питание растений.

Одним из способов по удешевлению работ по известкованию кислых почв в республике может стать использование местных дешевых известковых мелиорантов, полученных из отходов производства. Это также позволит решить экологические вопросы, поскольку накопление отходов сахарного производства (фильтрационного осадка – дефеката) и ацетиленового производства (карбидной извести) происходит ежегодно.

Дефекат накапливается на 4 сахарных заводах Беларуси в количестве около 10 % от объема урожая корнеплодов сахарной свеклы. Карбидная известь (известковое тесто) получается при переработке карбида кальция (CaC_2) в ацетилен (C_2H_2). Она представляет собой суспензию гидроксида кальция в воде.

Нами проведена комплексная химическая и агрохимическая оценка, научное обоснование экологической и микробиологической безопасности дефеката ОАО «Жабинковский сахарный завод» и отхода ацетиленового производства – карбидной извести (ТУ BY 200035715.002-2017) ООО «ДельтАГаз».

Установлено, что по микробиологическим и санитарно-гигиеническим нормативам указанные отходы сахарного и ацетиленового производств являются безопасными для применения при возделывании сельскохозяйственных культур. Химический состав дефеката и мелиоранта на основе карбидной извести представлен в таблице 1.

В химическом составе дефекат и карбидная известь содержат много кальция, что обусловливает возможность их использования для известкования кислых почв.

***Таблица 1** – Химический состав дефеката и карбидной извести*

№	Показатель	Дефекат	Карбидная известь	ПДК–ОДК*
1	Влажность, %	14,0	8,0	–
2	Органическое вещество, %	12,9	следы	
3	N	0,52	следы	
4	P_2O_5, %	0,68	следы	
5	K_2O, %	0,77	0,35	
6	CaO, %	39,2	44,8	
7	MgO, %	следы	0,13	
8	$CaCO_3$, %	70,0	108,8	
9	Zn, мг/кг	27,99	2,69	55,0
10	Cu, мг/кг	9,88	7,32	33,0
11	Mn, мг/кг	112,73	не обнаружены	1500,0
12	Pb, мг/кг	4,34	не обнаружены	32,0
13	Cd, мг/кг	0,15	не обнаружены	0,5
14	Ni, мг/кг	0,37	3,93	20,0
15	Cr, мг/кг	28,04	не обнаружены	100,0
16	Co, мг/кг	0,30	не обнаружены	20,0

В то же время, чтобы увеличить эффективность применения этих промышленных отходов и отнести их в разряд известковых мелиорантов, рекомендуется увеличить содержание в них действующего вещества $CaCO_3$ до 70 %. Этого можно достичь путем механического или естественного обезвоживания отходов. Карбидную известь обезвоживают до влажности 45–50 % и подсушивают до влажности 10–15 % с последующим измельчением до состояния муки (меньше 2 мм).

Качество известковых мелиорантов оценивают не только по содержанию действующего вещества (кальция и магния), но и по толщине помола. Чем он тоньше, тем быстрее нейтрализуется почвенная кислотность. Новый известковый мелиорант на основе карбидной извести ($Ca(OH_2)$) после доработки имеет влажность 8 %, содержит 108,8 % действующего вещества в пересчете на $CaCO_3$. В таком виде его применение позволяет сократить затраты на транспортировку и повышает эффективность нейтрализации кислотности. В составе карбидной извести содержатся необходимые для нейтрализации кислотности и питания растения элементы: 44,8 % CaO, 0,13 % MgO, 2,69 мг/кг Zn, 7,32 мг/кг Cu.

Объекты и методы исследований. В 2016–2017 гг. в полевом опыте ОАО «Чернавчицы» (Брестский район) изучена сравнительная эффективность основного известкового мелиоранта – доломитовой

муки, а также промышленных отходов – дефеката и карбидной извести, при известковании среднекислой дерново-подзолистой супесчаной почвы, развивающейся на рыхлой супеси. Исследования прошли в звене севооборота: кукуруза – яровой ячмень с подсевом клевера.

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка: гумус – 2,0–2,4%, pH $_{KCL}$ – 4,63, подвижные формы, мг/кг: P_2O_5 – 254–411, K_2O – 300–399, обменные, мг/кг: CaO – 605–699 и MgO – 307–360.

В качестве органического удобрения под кукурузу (гибрид *Матеус*, ФАО 190) фоном внесли ил очистных сооружений в дозе 50 т/га (влажностью 38,3 %, с содержанием 1,60 % азота, 0,59 % фосфора, 0,03 % калия, 309,6 мг/кг Zn, 86,5 мг/кг Mn, 37,08 мг/кг Cu, 1,11 мг/кг Co). Дозы извести рассчитаны из величины гидролитической кислотности (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 Нг). Последействие мелиорантов изучали на среднеспелом сорте ярового ячменя *Скарб*, под который перед посевом фоном внесли минеральные удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Результаты и их обсуждение. Известкование оказывает комплексное влияние на почву и растения, но главной его целью является повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Для каждого вида культур существует наиболее благоприятный интервал реакции почвенной среды. Но большинство культурных растений и почвенных микроорганизмов лучше развиваются при pH $_{KCL}$5,8–6,5.

Результаты учета урожайности зеленой массы кукурузы показали, что ил очистных сооружений в дозе 50,0 т/га обеспечил прибавку к контролю 153,8 ц/га. В первый год действия извести кукуруза хорошо отзывается на все три вида мелиорантов в разных дозах внесения (таблица 2).

Таблица 2 *– Урожайность зеленой массы кукурузы при известковании среднекислой дерново-подзолистой супесчаной почвы, 1-й год действия*

№	Варианты опыта	Урожайность з/м кукурузы, ц/га	Прибавка от извести, ц/га
1	Контроль (без удобрений)	316,7	–
2	Ил очистных сооружений 50,0 т/га – фон	470,5	–
3	Фон + доломитовая мука 2,3 т/га (0,5 Нг)	497,9	27,4
4	Фон + доломитовая мука 4,6 т/га (1,0 Нг)	517,8	47,3
5	Фон + доломитовая мука 6,9 т/га (1,5 Нг)	537,4	**66,9**
6	Фон + доломитовая мука 9,2 т/га (2,0 Нг)	525,7	55,2
7	Фон + дефекат 2,9 т/га (0,5 Нг)	501,8	31,3
8	Фон + дефекат 5,7 т/га (1,0 Нг)	533,1	62,6
9	Фон + дефекат 8,6 т/га (1,5 Нг)	567,5	**97,0**
10	Фон + дефекат 11,4 т/га (2,0 Нг)	546,0	75,5
11	Фон + карбидная известь 2,0 т/га (0,5 Нг)	510,4	39,9
12	Фон + карбидная известь 4,0 т/га (1,0 Нг)	541,7	71,2
13	Фон + карбидная известь 6,1 т/га (1,5 Нг)	569,4	**98,9**
14	Фон + карбидная известь 8,1 т/га (2,0 Нг)	546,2	75,7
$НСР_{0,05}$ / Р, %		7,45 / 0,50	

Максимальный прирост урожайности зеленой массы получен от доз мелиорантов, рассчитанных по 1,5 Нг: от 6,9 т/га доломитовой муки – +66,9 ц/га; от 8,6 т/га дефеката – +97,0 ц/га; от 6,1 т/га карбидной извести – +98,9 ц/га.

На второй год действия разных доз действия доломитовой муки, дефеката, карбидной извести при возделывании ярового ячменя наибольший рост урожайности зерна также обеспечили дозы известковых мелиорантов, рассчитанные по 1,5 Нг – 10,1–10,5 ц/га (таблица 3).

***Таблица 3** – Урожайность зерна ячменя при известковании среднекислой дерново-подзолистой супесчаной почвы, 2-й год действия*

№	Варианты опыта	Урожайность зерна ячменя, ц/га	Прибавка от извести, ц/га	Окупаемость 1 кг NPK кг зерна	Окупаемость 1 т мелиоранта кг зерна
1	Контроль (без удобрений)	19,1	–	–	–
2	$N_{60}P_{60}K_{60}$ – фон	23,1	–	2,2	–
3	Фон + доломитовая мука 2,3 т/га (0,5 Нг)	25,5	6,4	3,6	105,4
4	Фон + доломитовая мука 4,6 т/га (1,0 Нг)	27,9	8,8	4,9	105,0
5	Фон + доломитовая мука 6,9 т/га (1,5 Нг)	29,6	**10,5**	**5,8**	**93,8**
6	Фон + доломитовая мука 9,2 т/га (2,0 Нг)	29,1	10,0	5,6	65,7
7	Фон + дефекат 2,9 т/га (0,5 Нг)	25,5	6,4	3,6	82,8
8	Фон + дефекат 5,7 т/га (1,0 Нг)	28,2	9,1	5,0	89,0
10	Фон + дефекат 11,4 т/га (2,0 Нг)	28,8	9,7	5,4	49,7
11	Фон + карбидная известь 2,0 т/га (0,5 Нг)	25,7	6,6	3,7	130,0
12	Фон + карбидная известь 4,0 т/га (1,0 Нг)	28,0	8,9	4,9	121,8
13	Фон + карбидная известь 6,1 т/га (1,5 Нг)	29,2	**10,1**	**5,6**	**100,5**
14	Фон + карбидная известь 8,1 т/га (2,0 Нг)	28,8	9,7	5,4	70,0
$НСР_{0,05}$ / Р, %		0,46 / 0,55			

Результаты исследований также показали, что на контроле без внесения удобрений за счет плодородия среднекислой дерново-подзолистой супесчаной почвы формируется урожайность зерна ячменя 19,1 ц/га. Применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ увеличило урожайность зерна ярового ячменя на 4,0 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 2,2 кг зерна.

Известкование почвы различными дозами мелиорантов повышало отдачу от минеральных удобрений в 1,6–2,5 раза. Так, доломитовая мука на второй год действия обеспечила рост окупаемости 1 кг NPK от 2,2 кг до 3,6–5,8 кг зерна в зависимости от дозы. Максимальная окупаемость 1 т доломитовой муки – 105,4 и 105,0 кг зерна, получены от доз внесения, рассчитанных по 0,5 и 1,0 Нг (2,3 и 4,6 т/га) соответственно.

Аналогичный эффект от минеральных удобрений наблюдался при известковании среднекислой супесчаной почвы дефекатом и карбидной известью. Наибольшую окупаемость 1 т извести урожаем зерна ячменя (100,5–130,0 кг) обеспечили дозы карбидной извести 2,0–6,1 т/га.

Таким образом, известкование среднекислой дерново-подзолистой супесчаной почвы с pH_{KCL} 4,63 доломитовой мукой, дефекатом, карбидной известью в дозах, рассчитанных по 0,5, 1,0, 1,5 Нг, является эффективным приемом повышения урожайности кукурузы и ярового ячменя. Этот прием обеспечивает в первый год действия извести прирост урожайности зеленой массы кукурузы на 5,8–21,0 %. На второй год действия известковых мелиорантов окупаемость минеральных удобрений зерном ячменя увеличилась в 1,6–2,5 раза.

Согласно инструкции о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель республики, оптимальная кислотность дерново-подзолистых супесчаных почв в зерно-травяно-пропашных севооборотах с кукурузой составляет pH 5,6–6,0. Если перед известкованием исходная кислотность супесчаной почвы опытного участка характеризовалась как среднекислая (pH_{KCL} 4,63), то известкование почвы под кукурузу отходами промышленности на второй год действия достоверно изменило обменную кислотность почвы на 0,48–2,37 ед. pH (таблица 4).

***Таблица 4** – Динамика обменной кислотности почвы (pH $_{KCL}$) под влиянием известковых мелиорантов*

№	Варианты опыта	pH KCL	Сдвиг pH		Расход $CaCO_3$ для сдвига pH на 0,1 ед.
		осень 2017 г.	всего на 2-й год	от 1 т д.в. $CaCO_3$	
1	Контроль (без удобрений)	4,63	–	–	–
2	Ил очистных сооружений 50 т/га или $N_{60}P_{60}K_{60}$ – фон	4,49	–	–	–
3	Фон + доломитовая мука 2,3 т/га (0,5 Hг)	5,11	0,48	0,22	0,46
4	Фон + доломитовая мука 4,6 т/га (1,0 Hг)	**5,59**	**0,96**	**0,22**	**0,46**
5	Фон + доломитовая мука 6,9 т/га (1,5 Hг)	6,07	1,44	0,22	0,46
6	Фон + доломитовая мука 9,2 т/га (2,0 Hг)	6,45	1,82	0,21	0,48
7	Фон + дефекат 2,9 т/га (0,5 Hг)	5,11	0,48	0,22	0,46
8	Фон + дефекат 5,7 т/га (1,0 Hг)	5,46	0,83	0,19	0,53
9	Фон + дефекат 8,6 т/га (1,5 Hг)	**5,81**	**1,18**	**0,18**	**0,56**
10	Фон + дефекат 11,4 т/га (2,0 Hг)	6,17	1,54	0,18	0,57
11	Фон + карбидная известь 2,0 т/га (0,5 Hг)	5,40	0,77	0,35	0,29
12	Фон + карбидная известь 4,0 т/га (1,0 Hг)	**5,94**	**1,31**	**0,30**	**0,34**
13	Фон + карбидная известь 6,1 т/га (1,5 Hг)	6,51	1,88	0,28	0,35
14	Фон + карбидная известь 8,1 т/га (2,0 Hг)	7,00	2,37	0,27	0,37
$НСР_{0,05}$ / P, %		0,30 / 2,14		–	

Наибольшее влияние на сдвиг показателя обменной кислотности (pH $_{KCL}$) дерново-подзолистой супесчаной почвы оказала карбидная известь, наименьший – дефекат.

Более высокий расход $CaCO_3$ при использовании доломитовой муки и дефеката для сдвига pH на 0,1 ед. объясняется формой содержащегося в них кальция, которая требует более длительного взаимодействия с почвой, чем в случае с карбидной известью.

Таким образом, для достижения оптимальной кислотности pH 5,6–6,0 на среднекислой дерново-подзолистой супесчаной почве достаточно доз доломитовой муки и карбидной извести, рассчитанных, исходя из 1,0 Hг, соответственно 4,6 и 4,0 т/га. Дозы дефеката лучше рассчитывать, исходя из 1,5 Hг.

Заключение. Исследования показали, что новый известковый мелиорант на основе карбидной извести не уступает по эффективности снижения кислотности супесчаной почвы дорогостоящей доломитовой муке. Известкование среднекислой дерново-подзолистой супесчаной почвы с pH $_{KCL}$ 4,63 доломитовой мукой, дефекатом, карбидной известью в дозах, рассчитанных по 0,5, 1,0, 1,5 Hг, является агрономически эффективным приемом повышения урожайности кукурузы и ярового ячменя. Этот прием обеспечивает в первый год действия извести прирост урожайности зеленой массы кукурузы на 5,8–21,0 %. На второй год действия известковых мелиорантов окупаемость минеральных удобрений зерном ячменя увеличивается в 1,6–2,5 раза.

Список использованных источников

1. Satishur, V. A. Hinweis auf ein neues kalkverbesserungsmittel auf der Basis von Karbidkalk zum Kalken von mittel sauren Soden-Podsol-Boden / V. A. Satishur. – London (United Kingdom): Sciencia Scripts and OmniScriptum S. R. L publishing group, 2025. – 81 s. (ISBN: 978-620-8-43073-3).

AGRONOMIC EFFICIENCY OF USING LAND RECLAMATION AGENTS FROM INDUSTRIAL WASTE

V. A. Satischur, A. N. Lizkevich. A. A. Bryl, T. I. Makarenko

Studies have shown that the new lime ameliorant based on carbide lime is not inferior in efficiency of reducing acidity of sandy loam soil to expensive dolomite flour. Liming of medium-acid sod-podzolic sandy loam soil with pH KCL 4.63 with dolomite flour, defecate, carbide lime in doses calculated at 0.5, 1.0, 1.5 Hg is an effective method of increasing the yield of corn and spring barley. This method provides an increase in the yield of green mass of corn by 5.8–21% in the first year of action of lime ameliorants. In the second year of action of lime ameliorants, the payback of mineral fertilizers by barley grain increased by 1.6–2.5 times.

УДК 633:71:631.86

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА КАЧЕСТВО РАССАДЫ ТАБАКА ОБЫКНОВЕННОГО СОРТА БЕЛОРУССКИЙ СИГАРНЫЙ

В. А. Сатишур[1], Б. В. Шелюто[2]

[1]Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси, аг. Тулово, Беларусь
[2]Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь

Наибольший выход рассады табака обыкновенного сорта Белорусский сигарный 838–839 шт./м^2 получен от применения удобрений на основе гуминовых кислот Фитогумина и Гумилэнда в дозе 1,5 л/га (0,5 в фазу «входы» + 0,5 в фазу «крестик» + 0,5 в фазу «ушки»). Дальнейшее увеличение дозы внесения удобрений до 2,0 л/га не сопровождалось достоверным увеличением выхода стандартной рассады.

Ключевые слова: табак обыкновенный, удобрения на основе гуминовых кислот, рассада.

Введение. В период потепления климата в Беларуси наблюдается тенденция увеличения суммы положительных температур, что актуализирует внедрение в производство новых теплолюбивых культур, таких как арбузы, виноград и табак обыкновенный. Табак обыкновенный (*Nicotiana tabacum L.*) – ценная техническая культура, которая возделывается с целью получения табачного сырья. Табак является одной из древнейших культур, возделываемых человеком. Первыми, кто выращивал табак, были американские индейцы. Родиной большинства видов табака являются южноамериканские страны: Перу, Чили, Аргентина, Бразилия. Европейцы познакомились с обычаем курения в 1492 г. Первыми распространителями табака были торговцы и моряки. Первоначально табак был ввезен в Испанию и Португалию и разводился в садах как декоративное растение. Постепенно он распространился по всей Европе. Продвижению табака в Европе способствовал французский посланник при португальском дворе дипломат Жан Никот де Виллемэйн (1530–1600 гг.). Находясь в Португалии, он впервые узнал о табаке, заинтересовался им, проводил эксперименты с этим растением. В честь французского дипломата активное вещество табака было названо «никотин», а в систематике растений появился род Nicotiana. В Россию табак попал двумя путями: с запада – из Европы и с востока – из Китая. Англичане завезли табак в 1553 г. в период царствования Ивана Грозного; и хотя со стороны царя и церкви существовал запрет, в России употребление табака быстро распространилось. В значительной мере этому способствовал царь Петр 1, который издал указ о свободной торговле табаком. В 1580 г. английский аристократ сэр Рейли создал первую табачную плантацию в Ирландии, а позже – несколько плантаций на колониальных американских территориях. Одну из них он назвал Виржиния, что в последствии дало имя самому распространенному сортотипу табака; позже на территории Америки возникли и другие плантации. Из высушенных листьев изготавливают сигареты, сигары и др. При производстве табачного сырья сочетаются следующие процессы: выращивание растений, уборка и доработка листьев в сырье.

Табак обыкновенный чрезвычайно пластичен, количество и качество урожая в значительной степени варьирует под влиянием почвенно-климатических условий. До настоящего времени считалось, что вырастить качественное табачное сырье в почвенно-климатических условиях Беларуси невозможно. В 2015 г. отечественными учеными были созданы среднеспелые сорта табака обыкновенного «Белорусский сигаретный» и «Белорусский сигарный». Отечественные сорта способны формировать высокую урожайность сухого табачного сырья 22,0–25,0 ц/га в агроклиматических условиях Республики Беларусь, которая обеспечивается следующими показателями: высотой растений 180–200 см, длиной листа в среднем ярусе табака 50 см и количеством технических годных листьев на одном растении 22 шт. С 2016 г. белорусские сорта табака обыкновенного районированы для промышленного возделывания в Брестской, Гомельской и Гродненской областях. В 2024 г. сорта были районированы для возделывания в Витебской, Могилевской и Минской областях [1].

Для формирования оптимальных биометрических параметров растений актуальное значение в настоящее время приобретает управление посевами многих сельскохозяйственных культур с помощью регуляторов роста растений. Регуляторы роста растений – это физиологически активные вещества, оказывающие положительное воздействие на рост и развитие растений. Рострегулирующие природные и синтетические химические вещества, применяемые для обработки растений, проявляют свое влияние через изменение эндогенного уровня природных гормонов, что позволяет снизить рост и развитие в желаемом направлении. Экзогенные регуляторы роста действуют на растения избирательно, но, обладая высокой ак-

тивностью, влияют на весь сложный комплекс обмена веществ. Использование их в растениеводстве обеспечивает получение экологически безопасной продукции, так как такие препараты применяются в сверхмалых дозах и быстро разлагаются в растительных тканях. В качестве регуляторов роста растений широко используются гуминовые препараты – гуматы. Эти вещества составляют специфическую группу высокомолекулярных темноокрашенных веществ, образующихся в процессе разложения органических остатков в почве путем синтезирования из продуктов распада отмерших растительных и животных тканей, то есть в процессе их гумификации [2].

Цель исследований – изучение эффективности применения удобрений на основе гуминовых кислот в качестве регулятора роста растений рассады табака обыкновенного сорта Белорусский сигарный.

Объекты и методы исследований. Исследования по применению удобрений на основе гуминовых кислот проводили в марте-апреле 2025 г. в пленочной теплице РУП «Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси» в Витебском районе, Витебской области (№ ГР20241857). Питательная смесь подготовлена из торфа и дерново-подзолистой супесчаной почвы с добавлением $N_{32}P_{32}K_{32}$. Учетная площадь делянки – 1 м^2, повторность четырехкратная. Норма высева табака обыкновенного 1000 шт./м^2. В опыте использованы удобрения на основе гуминовых кислот: Фитогумин (ОДО «Агросемпродукт») и Гумилэнд (ООО «Гумилэнд»).

Фитогумин, Ж – органоминеральное жидкое гуминовое удобрение, полученное из вытяжки низинного торфа и сапропеля для применения в качестве натурального питания и стимулирования роста и развития сельскохозяйственных растений. Массовая доля гуминовых веществ не менее 40 г/л (в т.ч. гуминовых кислот не менее 40 г/л, фульвовых кислот не менее 15 г/л). Содержание макроэлементов: N – 1,4 г/л, P_2O_5 – 0,7 г/л, K_2O – 9,8 г/л. Содержание микроэлементов: B – 0,07 мг/л, Mg – 80 мг/л, Ca – 544 мг/л. Mn – 2,9 мг/л, Fe – 529 мг/л, Cu – 1,05 мг/л, Zn – 0,09 мг/л.

Гумилэнд, Ж – жидкое гуминовое удобрение. Массовая доля гуминовых веществ не менее 20 г/л (в т.ч. гуминовых кислот не менее 10 г/л, фульвовых кислот не менее 10 г/л). Содержание макроэлементов: N – 2,0 г/л, P_2O_5 – 0,3 г/л, K_2O – 1,0 г/л.

Статистическую обработку данных осуществляли по методике полевого опыта Б. А. Доспехова (1985) [3].

Изучали действие удобрений: Фитогумин и Гумилэнд в дозах 0,5 л/га (в фазу «входы»), 1,0 л/га (0,5 в фазу «входы» + 0,5 в фазу «крестик»), 1,5 л/га (0,5 в фазу «входы» + 0,5 в фазу «крестик» + 0,5 в фазу «ушки»), 2,0 л/га (0,5 в фазу «входы» + 0,5 в фазу «крестик» + 0,5 в фазу «ушки» + 0,5 в фазу «готовая к высадке рассада»). Схема опыта представлена в таблице 1. Морфологический анализ растений был проведен на 45 день после посева рассады табака обыкновенного согласно Методическому руководству [2].

Результаты. Установлено, что применение удобрений на основе гуминовых кислот оказало достоверное влияние на увеличение: количества листьев рассады табака на 0,8–2,0 шт., длины рассады до точки роста на 2,0–5,1 см (таблица 1).

***Таблица 1** – Влияние применения удобрений на основе гуминовых кислот на качество рассады табака сорта Белорусский сигарный*

№	Вариант	Количество листьев, шт.		Длина рассады до точки роста, см	
1	Питательная смесь слоем 10 см + $N_{32}P_{32}K_{32}$ + 45 л H_2O /м^2 – Фон	5,0	–	10,1	–
2	Фон + Фитогумин, 0,5 л/га	5,8	0,8	12,2	2,0
3	Фон + Фитогумин, 1,0 л/га	6,0	1,0	13,6	3,5
4	**Фон + Фитогумин, 1,5 л/га**	**7,0**	**2,0**	**14,6**	**4,5**
5	Фон + Фитогумин, 2,0 л/га	6,3	1,3	14,1	3,9
6	Фон + Гумилэнд, 0,5 л/га	6,0	1,0	12,4	2,3
7	Фон + Гумилэнд, 1,0 л/га	6,0	1,0	13,8	3,6
8	**Фон + Гумилэнд, 1,5 л/га**	**7,0**	**2,0**	**15,3**	**5,1**
9	Фон + Гумилэнд, 2,0 л/га	6,0	1,0	14,3	4,2
$НСР_{05}$		0,50		1,26	

Применение удобрений на основе гуминовых кислот оказало достоверное влияние на увеличение: длины рассады табака до конца вытянутых листьев на 2,3–8,3 см, диаметра стебля у корневой шейки на 0,4–2,1 мм (таблица 2).

Таблица 2 *– Влияние применения удобрений на основе гуминовых кислот на качество рассады табака сорта Белорусский сигарный*

№	Вариант	Длина рассады до конца вытянутых листьев, см		Диаметр стебля у корневой шейки, мм	
1	Питательная смесь слоем 10 см + $N_{32}P_{32}K_{32}$ + 45 л H_2O /м^2 – Фон	18,1	–	3,7	–
2	Фон + Фитогумин, 0,5 л/га	20,4	2,3	4,3	0,6
3	Фон + Фитогумин, 1,0 л/га	24,6	6,5	4,7	1,0
4	**Фон + Фитогумин, 1,5 л/га**	**26,4**	**8,3**	**5,6**	**1,9**
5	Фон + Фитогумин, 2,0 л/га	24,4	6,2	5,0	1,3
6	Фон + Гумилэнд, 0,5 л/га	20,9	2,8	4,1	0,4
7	Фон + Гумилэнд, 1,0 л/га	23,3	5,1	4,4	0,7
8	**Фон + Гумилэнд, 1,5 л/га**	**25,8**	**7,6**	**5,8**	**2,1**
9	Фон + Гумилэнд, 2,0 л/га	24,8	6,7	5,0	1,4
$НСР_{05}$		1,40		0,28	

Применение удобрений на основе гуминовых кислот увеличило сырую массу стеблей 25 растений табака на 7,7–44,9 г, сырую массу корней 25 растений табака на 0,6–2,4 г (таблица 3).

Таблица 3 *– Влияние применения удобрений на основе гуминовых кислот на качество рассады табака сорта Белорусский сигарный*

№	Вариант	Сырая масса стеблей 25 растений, г		Сырая масса корней 25 растений, г	
1	Питательная смесь слоем 10 см + $N_{32}P_{32}K_{32}$ + 45 л H_2O /м^2 – Фон	120	–	5,1	–
2	Фон + Фитогумин, 0,5 л/га	130	10,4	5,5	0,4
3	Фон + Фитогумин, 1,0 л/га	143	23,4	6,5	1,4
4	**Фон + Фитогумин, 1,5 л/га**	**156**	**36,4**	**7,5**	**2,4**
5	Фон + Фитогумин, 2,0 л/га	150	29,9	6,7	1,6
6	Фон + Гумилэнд, 0,5 л/га	128	7,7	5,7	0,6
7	Фон + Гумилэнд, 1,0 л/га	150	30,4	6,5	1,4
8	**Фон + Гумилэнд, 1,5 л/га**	**165**	**44,9**	**7,3**	**2,2**
9	Фон + Гумилэнд, 2,0 л/га	152	31,7	6,3	1,2
$НСР_{05}$		7,83		0,61	

Применение удобрений на основе гуминовых кислот увеличило выход стандартной рассады табака обыкновенного сорта Белорусский сигарный на 64–220 шт./м^2, эффективности выращивания рассады табака обыкновенного на 10,0–35,0 % (таблица 4).

Таблица 4 *– Влияние применения удобрений на основе гуминовых кислот на качество рассады табака сорта Белорусский сигарный*

№	Вариант	Выход стандартной рассады, шт./м^2		Эффективность, %	
1	Питательная смесь слоем 10 см + $N_{32}P_{32}K_{32}$ + 45 л H_2O /м^2 – Фон	625	–	100	–
2	Фон + Фитогумин, 0,5 л/га	696	71	111	+11
3	Фон + Фитогумин, 1,0 л/га	767	142	123	+23
4	**Фон + Фитогумин, 1,5 л/га**	**838**	**213**	**134**	**+34**
5	Фон + Фитогумин, 2,0 л/га	845	220	135	+35
6	Фон + Гумилэнд, 0,5 л/га	689	64	110	+10

Продолжение таблицы 4

7	Фон + Гумилэнд, 1,0 л/га	771	146	123	+23
8	**Фон + Гумилэнд, 1,5 л/га**	**839**	**213**	**134**	**+34**
9	Фон + Гумилэнд, 2,0 л/га	840	215	134	+34
$НСР_{05}$		44,83			

Заключение. Таким образом, наибольший выход рассады табака обыкновенного сорта Белорусский сигарный 838–839 шт./м^2 получен от применения удобрений на основе гуминовых кислот Фитогумина и Гумилэнда в дозе 1,5 л/га (0,5 в фазу «входы» + 0,5 в фазу «крестик» + 0,5 в фазу «ушки»), дальнейшее увеличение дозы внесения удобрений до 2,0 л/га не сопровождалось достоверным увеличением выхода стандартной рассады.

Список использованных источников

1. Сатишур, В. А. Состояние и перспективы возделывания табака в Полесском регионе / В. А. Сатишур, В. П. Писклов, К. А. Николайчик // Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья» / НАН Беларуси: редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Том 2. – Минск : Белорусская наука, 2016. – С. 51–55.

2. Плотникова, Т. В. Методическое руководство по изучению эффективности применения регуляторов роста растений при проращивании семян табака / Т. В. Плотникова, С. Н. Алёхин, В. А. Саломатин // Всерос. науч.-исслед. ин-т табака, махорки и табач. изделий. – Краснодар : Просвещение-Юг, 2013. – 29 с.

3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

INFLUENCE OF FERTILIZERS BASED ON HUMIC ACIDS ON THE QUALITY OF TOBACCO SEEDLINGS OF THE COMMON VARIETY BELARUSIAN CIGARNY

V. A. Satischur, B. V. Shelyuto

The highest yield of seedlings of the common tobacco variety Belorussky cigarny 838–839 pcs/m2 was obtained by using fertilizers based on humic acids Fitogumina and Gumiland at a dose of 1.5 l/ha (0.5 in the “entrances” phase + 0.5 in the “cross” phase + 0.5 in the “ears” phase), a further increase in the dose of fertilizer application to 2.0 l/ha was not accompanied by a reliable increase in the yield of standard seedlings.

УДК 631.8:631.445.2

СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПРИ РЕГУЛЯРНОМ ВНЕСЕНИИ ВЫСОКИХ ДОЗ ЖИДКОГО НАВОЗА И ПОМЕТА

Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун
Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

В статье представлены результаты исследований по влиянию длительного применения свиных навозных стоков, жидкого навоза КРС и помета на агрохимические показатели почв, их санитарное состояние, ферментативную активность, фитотоксичность, содержание загрязняющих веществ и качество сельскохозяйственных культур на них произрастающих.

Ключевые слова: жидкий навоз, помет, навозные стоки, дозы внесения, качество почв.

Введение. В Республике Беларусь на начало 2025 г. насчитывалось 4,1 миллиона голов крупного рогатого скота, 2,2 миллиона свиней и 51,4 миллиона птицы [1]. В сельскохозяйственных организациях в основном сосредоточено 98,2 % крупного рогатого скота, 92,6 % птицы и 91,4 % свиней, которые размещаются на 78 комплексах по откорму КРС, 120 свинокомплексах и 103 птицефабриках. Внедрение на животноводческих предприятиях технологии бесподстилочного содержания животных способствует ежегодному выходу более 12 млн тонн жидкого навоза и навозных стоков (без учета технологической воды). Главным способом утилизации этих отходов в подавляющем большинстве случаев является использование их в качестве органических удобрений. При соблюдении рекомендуемых доз и технологии внесения жидкий навоз, помет и стоки являются эффективным способом улучшения плодородия почв и повышения продуктивности культур [2–4]. Проблемой для сельскохозяйственных организаций, имеющих в наличии животноводческие комплексы и птицефабрики, является недостаток навозохранилищ; некоторые хозяйства не имеют достаточных площадей сельскохозяйственных земель для экологически безопасной утилизации жидкого навоза и ограничены наличием технических средств. Кроме того, в силу субъективных и объективных причин в условиях реального производства свиноводческие стоки, жидкие навоз и помет в основном вносят в радиусе 5–6 км от животноводческих комплексов, соответственно нагрузка на 1 га пахотных земель в отдельных сельскохозяйственных организациях составляет 500 тонн и более. При нарушении технологий производства и применения бесподстилочный навоз, особенно навоз свинокомплексов, может представлять опасность в экологическом отношении [5–7]. Согласно данным экологической комиссии Европейского Совета, свыше 80 % аммиака, загрязняющего атмосферный воздух, поступает именно из жидких органических удобрений. В связи с этим эффективному, экологически безопасному использованию в земледелии бесподстилочного навоза необходимо уделять особое внимание.

Цель исследований – установить влияние длительного применения свиных навозных стоков, жидкого навоза КРС и помета на агрохимические показатели почв, их санитарное состояние, ферментативную активность, фитотоксичность, содержание загрязняющих веществ и качество сельскохозяйственных культур на них произрастающих.

Методика и объекты исследования. Объектом исследований были дерново-подзолистые почвы вблизи животноводческих комплексов и птицефабрик, а также сельскохозяйственные культуры на них произрастающие. Исследования проводили с 2014 по 2020 г. На всех почвах для отбора растительных и почвенных образцов без нагрузки жидкого навоза КРС, свиных стоков и птичьего помета и при их внесении выбирали участки, расположенные, по возможности, недалеко друг от друга, в сходных условиях рельефа и в пределах того же типа почв. Анализ почвенных и растительных образцов, а также органических удобрений выполняли в соответствии с общепринятыми методиками.

Результаты исследований. В процессе проведения исследований установили, что в виде аммонийных соединений в жидком навозе КРС находится 48 % азота, стоках свиней – 63 %, помете – 41 %, содержание нитратов не превышает 0,3 %. Из тяжелых металлов во всех исследуемых видах навоза преобладали Fe, Zn, Mn и Cu. В целом, отобранные в хозяйствах республики жидкий навоз КРС, стоки свиней и птичий помет соответствовали требованиям ГОСТ 33830–2016.

Постоянное внесение жидкого навоза КРС и стоков свиней в течение длительного периода способствовало подщелачиванию почв на 0,21–1,72 ед., увеличению в разы содержания подвижных форм калия и фосфора в большей степени в пахотном слое, в меньшей на глубине 80–100 см. Содержание нитратов в почве превышало ПДК только при отборе проб в начальный период после внесения, через три месяца после внесения нитраты были практически в норме.

Содержание гумуса в обследуемых почвах увеличилось на 0,23–1,51 %. Учитывая объемы применяемых органических удобрений, проведенные расчеты показывают, что при дозе внесения стоков свиней 500–600 т/га в течение 20 лет прирост в содержании гумуса должен составить около 2,5 %, а фактически его содержание в обследуемых почвах, хотя и увеличилось, но только в средем на 0,53 %. Это обусловлено высокой степенью минерализации поступающего в почву жидкого навоза.

Улучшение сбалансированности процессов гумификации и минерализации выявлено в хозяйствах, где свиные стоки и помет на пахотные почвы вносят один раз в три года: при среднегодовой дозе птичьего помета ≈ 17–20 т/га и стоков свиней ≈ 120–150 т/га.

Определение санитарно-бактериологических показателей почвы показало, что в начальный период после внесения в почвах повышается уровень общей микробной контаминации и термофилов. Тем не менее, в соответствии с оценочной шкалой почвы по этим показателям относятся к тем же категориям, что и почвы без внесения жидкого навоза – «загрязненные» и «слабо загрязненные». Через три месяца и более после внесения свиных стоков и помета отмечено заметное снижение общего микробного числа и термофильных бактерий; т.е. для почв характерно самоочищение.

По гельминтологическому анализу почвы, прилегающие к животноводческим комплексам и птицефабрикам, могут быть охарактеризованы как чистые (полное отсутствие яиц гельминтов).

Определение фитотоксичного действия дерново-подзолистых почв после внесения высоких доз жидкого навоза и помета на параметры роста и развития тест-культур (яровой ячмень, озимая пшеница, кукуруза) показало, что семена яровых и озимых зерновых культур менее устойчивы к фитотоксичности почвы по сравнению с кукурузой. Для снижения фитотоксичного действия внесение жидкого навоза и помета следует прекращать за 1–1,5 месяца до посева сельскохозяйственных культур.

Установлено, что регулярные нагрузки жидкого навоза практически не влияли на содержание Cd, Pb, Ni, Co и Cr в дерново-подзолистых почвах, что обусловлено довольно низким их содержанием в применяемых удобрениях и, как следствие, небольшим ежегодным поступлением в почвы. Отмечено повышение в почве Zn, Cu, Mn и Fe. При этом оценка агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв вблизи животноводческих комплексов свидетельствует об отсутствии их загрязнения тяжелыми металлами; превышения установленных нормативов ПДК не обнаружено.

Таким образом, обследованные почвы пахотных земель, на которые длительное время вносят жидкий навоз КРС и стоки свиней, в целом отличаются благоприятной обстановкой по содержанию тяжелых металлов. Однако тенденции, отмеченные в отношении меди, цинка, марганца и железа, со временем могут привести к загрязнению ими почв (таблица 1).

Таблица 1 *– Параметры среднегодового прироста содержания подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах при регулярном внесении жидких побочных продуктов животноводства на протяжении 20–30 лет*

Среднегодовая доза жидкого навоза, т/га в год	Fe	Cu	Zn	Mn
	Среднегодовой прирост, %			
100–200	0,6	0,5	0,9	0,7
300–400	2,0	3,0	3,5	2,0
500–600	3,5	6,0	9,0	3,5
900–1000	8,5	9,0	15,0	6,0

Установлено, что в растениях, произрастающих вблизи животноводческих комплексов, нитраты превышали ПДК в зеленой массе кукурузы, многолетних трав и соломе при внесении высоких доз навоза. Учитывая все вышеизложенные факторы, разработаны допустимые дозы жидкого навоза под сельскохозяйственные культуры (таблица 2).

***Таблица 2** – Максимальные дозы внесения жидкого навоза под сельскохозяйственные культуры*

Культура	Максимальная доза, т/га	Сроки внесения
Кукуруза: на зерно	500–600	Летне-весеннее внесение, но не позднее, чем за 1–1,5 месяца до посева
на зеленую массу	300	Осенью под основную обработку почвы
Многолетние злаковые травы*	150	Под 1-й укос – до начала активной вегетации трав, под 2-й и 3-й – в первые 7 дней после скашивания
Озимые зерновые культуры	250	Не позже, чем за 3–4 недели до посева под основную обработку почвы
Яровые зерновые культуры	150	Осенне-весеннее внесение, но не позднее, чем за 1–1,5 месяца до посева

Примечание: * Более высокие их дозы приводят к ухудшению качества зеленой массы, возможно образование корки на поверхности, которая ухудшает газообмен корнеобитаемого слоя и задерживает развитие растений. Исключается внесение свиного жидкого навоза на пастбищах из-за низкой поедаемости в последующем травы скотом.

При регулярном внесении больших объемов жидких органических удобрений не следует дополнительно вносить минеральные удобрения перед основной или предпосевной обработкой почвы. Как правило, вся потребность возделываемых культур в элементах питания обеспечивается за счет внесения жидкого навоза. Необоснованное применение минеральных удобрений способствует удорожанию продукции и снижению показателей качества сельскохозяйственных культур; при необходимости они могут быть использованы только для подкормок.

При использовании высоких доз жидкого навоза и помета необходим постоянный мониторинг за экологическим состоянием почвы, контроль качества растительной продукции и грунтовых вод.

Список использованных источников

1. Беларусь в цифрах. Статистический справочник / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2025. – С. 38.

2. Барановский, И. Эффективность жидкого навоза на дерново-подзолистых почвах / И. Барановский, А. Павлоцкий // Главный агроном. – 2010. – № 10. – С. 7–9.

3. Использование животноводческих стоков в качестве органических удобрений / В. Н. Самыкин, В. Д. Соловиченко, А. А. Потрясаев // Ресурсосберегающие технологии использования органических удобрений в земледелии: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. / ВНИИПТИОУ; ред. кол.: А. И. Еськов, С. М. Лукин, И. В. Русакова. – Владимир, 2009. – С. 229–234.

4. Агроэкономическая эффективность жидкого навоза КРС и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Т. М. Серая [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2014. – № 4 (№ 95). – С. 39–42.

5. Обоснования эффективного экологически безопасного регулярного интенсивного применения бесподстилочного навоза в агроценозах с бессменным возделыванием многолетних трав / С. И. Тарасов [и др.] // Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / РАСХН, ВНИИПТИОУ; ред. кол.: А. И. Еськов, С. М. Лукин, С. И. Тарасов. – Владимир, 2006. – С. 261–275.

6. Влияние удобрений на миграцию макроэлементов по профилю почвы. Сообщение 2. Влияние высоких доз бесподстилочного навоза на миграцию нитратов / В. А. Васильев [и др.] // Агрохимия. – 1981. – № 5. – С. 29–34.

7. Варюшкина, Н. М. Отрицательное экологическое воздействие удобрений в системе почва – растение – промывные воды / Н. М. Варюшкина // Экологические проблемы накопления нитратов в окружающей среде: тезисы докл. Всесоюзной конф., Пущино, 10–13 окт. 1989 г. / Науч. центр биологических исследований АН СССР в Пущине. – Пущино, 1989. – С. 13–14.

THE CONDITION OF SOD-PODZOLIC SOILS WITH REGULAR APPLICATION OF HIGH DOSES OF LIQUID MANURE AND MANURE

T. M. Seraya, E. N. Bogatyreva, T. M. Kirdun

The article presents the results of studies on the effect of prolonged use of pig manure, liquid cattle manure and manure on agrochemical parameters of soils, their sanitary condition, enzymatic activity, phytotoxicity, the content of pollutants and the quality of crops growing on them.

УДК 619:616.99

ВЛИЯНИЕ РЕПЕЛЛЕНТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ЭТИЛ БУТИЛАЦЕТИЛАМИНОПРОПИОНАТА НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КРОЛИКОВ

Н. Ю. Щемелева, В. П. Василькова, И. А. Белькевич, Т. Д. Погуляева
Институт экспериментальной ветеринарии имени С. Н. Вышелесского, г. Минск, Беларусь

В статье представлены результаты исследования воздействия репеллентного средства на основе этил бутилацетиламинопропионата (IR3535) на гематологические и биохимические показатели крови кроликов. Проведённые доклинические испытания показали отсутствие негативного влияния препарата на организм животных. Все изученные параметры оставались в пределах физиологической нормы, что подтверждает безопасность разработанного средства для дальнейшего применения в ветеринарии.

Ключевые слова: репелент, кролики, гематологичесие показатели, биохимические показатели.

Введение. В Республике Беларусь животноводство является активно развивающейся отраслью, характеризующейся динамическим увеличением поголовья. На сегодняшнем этапе наряду с увеличением производства сельскохозяйственной продукции требуется также получение ее высокого качества. Поэтому перед ветеринарной наукой стоят задачи по разработке средств и способов сохранения продуктивности животного и получения экологически чистой продукции. Для этого отрабатываются необходимые критерии, как для создания ветеринарных препаратов, которые соответствовали бы мировым тенденциям, так и для разработки эффективных и доступных ветеринарных мероприятий в ценовом, а также и в технологическом плане, которые удовлетворяли бы потребности отечественных сельскохозяйственных предприятий.

В последнее десятилетие для животноводческих хозяйств стала актуальной проблема нападения кровососущих насекомых (иксодовые клещи, гнус); мух коровниц (*Musca automnalis*), мух-жигалок и др. в связи со значимым увеличением популяции данных эктопаразитов.

Е. И. Бычковой с соавторами проведено изучение видового разнообразия и распространения кровососущих членистоногих (иксодовых клещей, кровососущих комаров и мошек) в населенных пунктах различной категории на территории Гомельской области Беларуси, указывающее на значимое разнообразие и прирост численности кровососущих насекомых за 2023 г. В связи с тем, что за последние 20 лет температура воздуха в Беларуси возросла в среднем от 0,5 до 1,2 ^{0}С, это привело к увеличению биотопов, благоприятных для выплода гнуса, клещей и значительно увеличило их численность [1].

Наши исследования, проведенные в рамках задания 3.6 НИР 5 «Теоретически обосновать и разработать экологически приемлемую систему профилактики анаплазмоза крупного рогатого скота» Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», позволили установить ситуацию по значительному паразитированию клещей иксодид на крупном рогатом скоте и степени их инфицированности анаплазмами, а также провести скрининг и подбор средств, обладающих потенциальными свойствами для конструирования экологически приемлемого репеллентного средства широкого спектра действия.

Сегодня в качестве основы для акарицидных препаратов обычно применяют синтетические, химически модифицированные аналоги пиретринов – пиретроиды. Такие соединения, особенно второго и третьего поколения, имеют высокую противоклещевую и инсектицидную активность. При этом их главным недостатком является высокая токсичность по отношению к нецелевым организмам, т.е. пестициды убивают не только клещей, но и множество полезных насекомых (пчел, муравьев, божьих коровок), высокотоксичны для рыб, а в высоких дозах могут нанести вред здоровью животных и человека, обладают биокумуляцией.

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. [2], в животноводстве страны планируется масштабный переход на энергосберегающие и экологически безопасные технологии производства с внедрением современных методов селекции, ДНК-технологий, принципиально новых ветеринарных препаратов, интеллектуальных систем кормления и диагностики заболеваний и на этой основе обеспечение дальнейшего увеличения объемов производства и экспорта за счет существенного роста продуктивности животных.

В связи с этим нами была рассмотрена экологически приемлемая субстанция – этил бутилацетиламинопропионат (инсекторепеллент 3535, IR3535) – химическое вещество, структурно похожее на природную аминокислоту В-аланин. Вещество исследовано на безопасность и эффективность,

одобрено для применения в качестве репеллентного средства детям от трёх месяцев, а также беременным женщинам (европейские исследования). Не является токсичным для пчел и рыб; биоразлагаемо [3, 4]. Данное соединение представляет интерес для ветеринарии. Имеется российский репеллентный шампунь на основе данного соединения для применения животным-компаньонам и лошадям («Doctor VIC»).

В Республике Беларусь отечественные ветеринарные репеллентные препараты на основе данной субстанции отсутствуют.

В отделе паразитологии РУП «Институт экспериментальной ветеринарии им. С. Н. Вышелесского» в рамках выполнения задания 3.56 «Разработать и внедрить систему защиты крупного рогатого скота от эктопаразитов: гнуса, клещей, зоофильных мух» подпрограммы «Агропромкомплекс – инновационное развитие» ГНТП «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии», 2021–2026 гг., сконструирован образец ветеринарного репеллентного средства, содержащего в качестве действующего вещества этил бутилацетиламинопропионат.

Известно, что разработки в области создания новых ветеринарных препаратов и средств отличаются не только современными технологиями, но и новыми методологическими подходами к их тестированию. Сейчас невозможно внедрить в практику препарат с любым видом специфической активности без детального изучения особенностей его влияния на животных и их продуктивность. В связи с этим роль доклинических исследований трудно переоценить. Они направлены, прежде всего, на обеспечение безопасности дальнейшего применения новых средств в ветеринарной практике.

Цель исследования – проведение токсикологической оценки лабораторного образца репеллентного средства в доклинических испытаниях на лабораторных животных.

Материалы и методы. Изучение влияния экспериментального образца ветеринарного препарата на организм кроликов провели в клиническом подостром опыте. Для этого было сформировано 3 группы кроликов – 2 опытные и 1 контрольная по три головы в каждой. Кроликам 1 группы методом опрыскивания применили препарат в дозе 10 мл/гол. (предполагаемая терапевтическая доза), 2 группы – в дозе 30 мл/гол один раз в день в течение трех дней подряд. Кроликам третьей группы препарат не применяли, они служили контролем. Исследование проб крови проводили до начала применения препарата и через 3 и 7 дней после последней дозы препарата. Определяли содержание гемоглобина, в т.ч. цветной показатель, гематокрита, форменных элементов крови, лимфоцитов, гранулоцитов и моноцитов на гематологическом анализаторе Medonic CA-620.

Гепатотоксическое воздействие образца препарата оценивали по изменениям биохимических показателей основных патологических синдромов, наблюдающихся при поражениях печени: цитолиза – по активности в сыворотке аминотрансфераз (АЛТ, АСТ, ЛДГ); нарушения динамики желчи – по уровню в сыворотке крови щелочной фосфатазы, содержанию билирубина, синтезирующей функции печени – по уровню общего белка и альбуминов. Также исследовали признаки поражения почек по изменениям показателей мочевины и креатинина. Содержание общего белка, альбуминов, активность ферментов печени, динамику мочевины и креатина определяли с использованием наборов «Cormey» на биохимическом анализаторе «Dialab».

Весь полученный цифровой материал подвергли статистической обработке с помощью программ статистического анализа Excel, Statistica 6.0 с определением t-критерия Стьюдента.

Результаты исследований. Из анализа полученных результатов по динамике количества эритроцитов, уровня гемоглобина, цветного показателя, лимфоцитов и моноцитов у кроликов всех опытных групп достоверных изменений по отношению к аналогичным показателям животных контрольной группы не прослеживалось, полученные результаты соответствовали физиологической норме (таблица 1). Содержание лейкоцитов у кроликов 2 группы до применения препарата составило $12,2\pm0,65\times10^9$, что на 20,79 % ($P < 0,05$) выше аналогичных показателей крови группы контроля. Количество гранулоцитов у кроликов 1 группы до применения препарата составило 28,6±5,99 %, что на 42,45 % ($P < 0,05$) ниже показателей 3 группы животных.

Таблица 1 *– Гематологические показатели кроликов*

Дни исследований	Группы исследований			Группы исследований		
	1	2	3	1	2	3
	Эритроциты,×10^{12}/л , (референтные значения 5,1–7,6)			Гемоглобин, г/л, (референтные значения 100–150)		
До применения	5,46±0,38	5,7±0,62	5,86±0,64	102,66±4,97	103,66±5,54	109,0±7,57
Через 7дней	6,26±1,00	6,33±0,72	7,06±0,60	106,0±4,72	100,6±3,17	102,0±4,72
	Гематокрит, л/л, (0,3–0,4)			Цветной показатель,(0,86–1)		
До применения	0,350±0,002	0,345±0,002	0,365±0,02	0,87±0,05	0,67±0,12	0,87±0,04
Через 7дней	0,363±0,002	0,350±0,02	0,370±0,009	0,89±0,01	0,90±0,03	0,89±0,05
	Лейкоциты, ×10^{9}, (5,2–12,5)			Лимфоциты, % ,(30,0-85,0)		
До применения	11,23±0,88	12,2±0,65*	10,1±0,40	65,9±16,98	63,4±9,02	67,36±12,26
Через 7дней	11,9±0,30	12,2±0,15	12,25±0,17	63,16±9,30	71,76±3,61	81,0±1,11
	Гранулоциты, %, (17–52)			Моноциты, %,(0–4)		
До применения	28,6±5,99*	48,2±5,18	49,7±1,12	3,33±0,88	3,33±0,88	3,66±0,33
Через 7дней	49,03±1,09	44,13±2,77	45,83±5,0	3,33±0,33	3,66±0,33	2,66±0,33

Все вышеперечисленные показатели крови кроликов соответствуют физиологической норме, в результате чего можно заключить, что препарат не оказывает отрицательного воздействия на организм кроликов.

Содержание общего белка, альбумина, билирубина, глюкозы, холестерина, мочевины, активности ферментов, а также уровень микро- и макроэлементов в сыворотке крови кроликов (таблицы 2–3) не претерпевали статистически достоверных изменений и их уровни на протяжении всего периода наблюдений находились в пределах физиологической нормы.

Таблица 2 *– Биохимические показатели сыворотки крови кроликов до применения препарата*

Показатели / референтные значения	Группы исследований		
	1	2	3
Общий белок, г/л, (норма 60–82)	61,76±1,52	66,07±6,18	63,29±2,15
Альбумин, г/л, (27–50)	38,66±4,64	31,1±2,57	29,33±0,77
Амилаза, ед/л, (82–343)	154,66±15,96	167,0±15,71	148,66±2,02
ЛДГ, ед/л, (27–101)	86,66±10,10	76,66±14,90	87,0±18,14
Щелочная фосфотаза, ед/л, (70–145)	134,0±7,63	129,66±13.53	112,33±10,17
Креатинин, мкмоль/л, (44–159)	89,73±3,35	74,66±13,51	80,7±4,63
Билирубин общий, мкмоль/л, (0–13)	9,94±1,94	9,0±1,88	9,46±0,74
Холестерин, ммоль/л, (5,30–8,60)	5,68±1,63	5,99±0,06	7,24±0,58
Глюкоза, ммоль/л, (4,16–8,06)	5,28±0,35	5,17±0,43	5,89±0,74
Мочевина, ммоль/л, (5,30–8,60)	4,40±0,51	7,65±0,45	5,73±0,96
Макро и микроэлементы			
Кальций, ммоль/л,(2,1–2,6)	2,33±0,17	2,12±0,01	2,62±0,13
Хлор, ммоль/л, (101–113)	107,66±2,02	103,0±1,0	105,0±4,50
Фосфор, ммоль/л, (2,6–3,9)	2,53±015	2,93±0,08	2,66±0,14
Калий, ммоль/л, (5,9–7)	5,7±0,15	6,43±0,28	5,76±0,40
Железо, мкг/дл, (17,9–25)	23,86±1,95	20,66±0,49	21,56±2,01

Таблица 3 *– Биохимические показатели сыворотки крови кроликов через 7 дней после последней дозы препарата*

Показатели / референтные значения	Группы исследований		
	1	2	3
Общий белок, г/л, (норма 60–82)	70,56±5,03	67,36±1,56	70,0±3,14
Альбумин, г/л, (27–50	43,7±4,29	36,53±5,20	34,56±4,32
Амилаза, ед/л, (82–343)	156,33±5,20	158,33±3,52	158,0±6,35
ЛДГ, ед/л, (27–101)	98,93±1,72	94,76±4,59	92,8±3,30
Щелочная фосфотаза, ед/л, (70–145)	133,0±4,16	142,33±3,71	131,33±14,76
Креатинин, мкмоль/л, (44–159)	78,46±2,28	83,7±3,24	88,43±6,42

Продолжение таблицы 3

Билирубин общий, мкмоль/л, (0–13)	9,13±1,63	8,63±0,93	7,9±0,72
Холестерин, ммоль/л, (5,30–8,60)	6,6±0,56	5,93±0,49	6,36±0,87
Глюкоза, ммоль/л, (4,16–8,06)	6,83±0,66	6,13±0,63	7,03±0,77
Мочевина, ммоль/л, (5,30–8,60)	6,96±0,71	6,34±0,10	6,23±0,24
Макро- и микроэлементы			
Кальций, ммоль/л, (2,1–2,6)	2,3±0,11	2,43±0,06	2,16±0,12
Хлор, ммоль/л, (101–113)	101,33±0,33	107,66±2,40	104,6±2,72
Фосфор, ммоль/л, (2,6–3,9)	2,9±0,17	3,43±0,03	3,36±0,08
Калий, ммоль/л, (5,9–7)	5,93±0,08	6,0±0,32	6,8±0,20
Железо, мкг/дл, (17,9–25)	20,73±4,13	24,03±1,60	23,06±1,56

Таким образом, разработанный образец препарата в дозах 10 и 30 мл/гол не оказывает отрицательного влияния на изученные гематологические и биохимические показатели крови у кроликов.

Заключение. При применении репеллентного препарата, имеющего в своей основе субстанцию этил бутилацетиламинопропионат, гематологические показатели кроликов не выходили за границы физиологической нормы, а биохимические показатели у опытных животных коррелировали с таковыми у контрольных кроликов и соответствовали физиологической норме. В результате чего можно сделать вывод о том, что препарат не оказывает токсического воздействия на организм подопытных животных.

Список использованных источников

1. Бычкова, Е. И. Кровососущие членистоногие (Acari: Ixodidae; Diptera: Culicidae, Simuliidae) в населенных пунктах различной категории на территории Гомельской области Беларуси / Е. И. Бычкова [и др.] // Экология и животный мир. – 2024. – № 1. – С. 21–27.

2. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https: //economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf. – Дата доступа : 27.09.2022.

3. Репелленты на основе ir3535 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://annamama.ru/repellenty-na-osnove-ir3535-voprosy-ekspertu/. – Дата доступа : 15.05.2025.

4. Экология [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://e–ecolog.ru/crc/77.99.23.2.У.218.7.04. /. – Дата доступа : 25.06.2025.

ENVIRONMENTALLY ACCEPTABLE REPELLENT IN VETERINARY SCIENCE

N. Yu. Shchemialiova, V. P. Vasilkova, I. A. Belkevich, T. D. Pogulyaeva

The article presents the results of a study on the effects of a repellent containing ethyl-butylacetylaminopropionate (IR3535) on hematological and biochemical blood parameters in rabbits. All tested parameters remained within physiological norms, confirming the safety of the developed repellent for further veterinary use.

УДК 631.459.3+332.2

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕГИОНА БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

В. М. Яцухно, С. С. Бачила
Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

В статье освещены особенности и масштабы проявления одного из наиболее опасных видов деградации земель – дефляции (ветровой эрозии) почв пахотных земель Белорусского Полесья. Усилению развития дефляции во многом способствуют негативные последствия изменения климата в регионе. Впервые сделана попытка определить стоимость ущерба, наносимого дефляцией почв аграрному сектору, с использованием синтезирующего показателя кадастровой оценки земель – нормативного чистого дохода, а также выполнить группировку 40 административных районов Белорусского Полесья по размерам указанного ущерба.

Ключевые слова: дефляция почв, эколого-экономическая оценка, стоимость ущерба, экосистемные услуги почв.

Введение. Среди наиболее опасных вызовов и угроз, отрицательно влияющих на состояние природной среды, продовольственную безопасность и экологическое благополучие отдельных регионов, находится деградация пахотных земель, сопровождающаяся снижением, нередко потерей, плодородия и экологических функций слагающих их почв [1]. К одному из усиливающихся видов деградации, получившей развитие и распространение на пахотных землях Беларуси, относится дефляция (ветровая эрозия) почв, обусловленная интенсификацией земледелия, игнорированием агротехнологических регламентов при его осуществлении, а также нарастающими негативными последствиями изменения климата, такими как проявление засух и засушливых явлений, усиления скоростей ветра, проявление пыльных бурь и др.

Наиболее уязвимым к процессам дефляции является регион Белорусского Полесья, в котором в структуре пахотных земель преобладают легкие по гранулометрическому составу песчаные и рыхлосупесчаные почвы, доля которых составляет свыше 43,0 %. В последние годы в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси в рамках научных исследований выполнен ряд разработок, направленных на установление диагностических критериев оценки противодефляционной устойчивости и определение отдельных свойств таких почв [2]. Однако остается недостаточно изученной проблема эколого-экономической оценки, включая стоимостное ее выражение, ущерба, наносимого дефляцией почв пахотных земель при возделывании на них сельскохозяйственных культур. В предлагаемой статье сделана попытка с использованием материалов кадастровой оценки пахотных земель выполнить расчет потерь нормативного чистого дохода при недоборе сельскохозяйственной продукции на пахотных землях, подверженных дефляции.

Материалы и методика. В качестве исходного материала исследований служили данные II тура кадастровой оценки пахотных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств Беларуси, результаты которой анализировались на уровне 40 административных районов Белорусского Полесья. Последние включали в себя 16 административных районов Брестской области, 21 – Гомельской области, 2 – Минской области и 1 административный район Могилевской области. В качестве показателей для выполнения эколого-экономической оценки ущерба, наносимого дефляцией почвам пахотных земель, использовались: 1) площадь дефлированных земель, га; 2) баллы плодородия недефлированных и дефлированных почв; 3) поправочные коэффициенты для дефлированных почв; 4) уменьшения величины балла дефлированных почв; 5) цена 1 балла, руб./га; 6) уменьшение нормативного чистого дохода, руб./га; 7) общая сумма нормативного чистого дохода недополученного на дефлированных почвах пахотных земель региона. Расчетным способом определялась нормативная урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур, ц/га, в зависимости от величины балла плодородия почв, а также устанавливались нормативные затраты в расчете на единицу продукции культур, руб./ц. Путем деления затрат на балл плодородия почв определялась цена 1 балла, исходя из соотношения возделываемых сельскохозяйственных культур в каждом административном районе. В результате умножения полученной величины недополученного нормативного чистого дохода, руб./га, на площадь дефлированных земель, га, устанавливалась общая его сумма для каждого административного района и региона в целом. Таким образом, величина ущерба, нанесенного в результате проявления дефляции на

почвах пахотных земель Белорусского Полесья, устанавливалась с применением нормативно-расчетного метода определения нормативного чистого дохода, выступающего в качестве синтезирующего показателя кадастровой оценки сельскохозяйственных земель [3].

Результаты исследований. Развитие дефляционных процессов на почвах пахотных земель Белорусского Полесья в последние несколько десятилетий является ежегодным неблагоприятным явлением. Чаще они вызываются ветрами, обладающими необходимой критической скоростью, достаточной для отрыва от поверхности почвенных частиц от 1,0 до 0,25 мм и менее. Для легких минеральных почв это ветра со скоростью 5–6 м/с, а для торфяных – 8–9 м/с. Интенсивность дефляции в значительной степени предопределяется такими внешними факторами, как климатические условия, проявление засух и засушливых явлений, отсутствие растительного покрова на открытых земельных массивах, участившийся воздушный перенос почвенных частиц в результате действия ураганных и штормовых ветров, распыление почв в результате их агротехнологической обработки. Наибольшие потери почв в результате дефляции отмечены в апреле-мае – около 40 %, июне – 20–25 %, сентябре – 4 % от общей суммы готовых потерь [4].

В настоящее время в Белорусском Полесье общая площадь с разной степенью дефлированных почв составляет 33,92 тыс. га, или 2,2 % от общей площади пахотных земель. При этом следует помнить, что около 1,0 млн га таких земель сложены дефляционноопасными почвами, которые при условии несоблюдения защитных мероприятий могут быть подвергнуты деградации под влиянием ветровой эрозии [5]. Поэтому с целью повышения внимания и осознанности землепользователей существующей угрозы и упущенной выгоды, обусловленной дефляцией почв, важное значение приобретают сведения об эколого-экономической оценке ущерба, наносимого дефляцией почв, который выражен в стоимостных показателях (таблица).

Как следует из таблицы, в регионе Белорусского Полесья наблюдается существенное межрайонное различие в распространении площадей дефлированных почв. Так, максимальная их площадь отмечается в Рогачевском районе Гомельской области – 4 799,5 га и Пружанском районе Брестской области – 3 643,4 га, удельный вес которых в составе пахотных земель составляет соответственно – 6,8 % и 6,1 %. Минимальными площадями дефлированных почв характеризуются пахотные земли Добрушского района Гомельской области – 100,0 га и Солигорского района Минской области – 102,0 га, доля которых составляет соответственно 0,1 %. Отмечены некоторые различия в величинах балла плодородия почв не подверженных дефляции. Он колеблется от 35,3 балла в Барановичском районе до 25,4 балла в Петриковском районе. Приведенные сведения о поправочных коэффициентах для дефлированных почв свидетельствует о преобладании слабодефлированных почв в регионе, пахотный горизонт ($A_п$) которых разрушен не более половины, частично распахивается гумусовый горизонт (A_1), а подпахотным является элювиально-иллювиальный горизонт (A_2B) [2].

Величина поправочного коэффициента для дефлированных почв колеблется от 0,875 до 0,925 и зависит от соотношения возделываемых сельскохозяйственных культур (зерновых, зернобобовых, рапс, пропашных, лен, многолетних трав) [3].

Таблица *– Размер ущерба, наносимый дефляцией почв пахотных земель административных районов Белорусского Полесья*

Административные районы	Площадь дефлированных земель	Балл плодородия недефлированных почв	Балл плодородия дефлированных почв	Поправочный коэффициент для дефлированных почв	Уменьшение величины балла плодородия дефлированных почв	Цена 1 балла, руб./га	Уменьшение чистого дохода растениеводческой продукции, руб./га	Сумма чистого дохода, не полученного на дефлированных почвах, руб.
Брестская область								
Барановичский	790,6	38,7	35,3	0,912	3,4	24,90	84,66	66932,21
Березовский	463,9	35,6	32,6	0,917	3,0	20,61	61,02	28307,24
Брестский	910,8	37,9	34,9	0,92	3,0	22,38	67,14	61151,15
Ганцевичский	159,7	29,5	27,1	0,918	2,4	12,03	28,87	4610,85
Дрогичинский	303,1	32,8	30,2	0,921	2,6	18,72	48,66	14752,47
Жабинковский	707,9	34,9	37,0	0,917	2,9	20,55	59,61	42187,29

Продолжение таблицы

Ивановский	810,6	31,8	29,3	0,922	2,5	16,50	41,25	33437,25
Ивацевичский	1406,3	34,5	31,7	0,918	2,8	19,08	53,43	75130,17
Каменецкий	1354,5	37,5	34,4	0,917	3,1	24,60	76,26	103234,17
Кобринский	426,9	32,9	30,0	0,913	2,9	17,25	50,04	21355,68
Лунинецкий	299,7	28,4	26,2	0,922	2,2	9,75	21,45	6428,58
Ляховичский	383,8	38,2	35,1	0,916	3,1	23,73	73,56	28233,48
Малоритский	216,4	29,2	26,8	0,918	2,4	11,76	28,23	6107,67
Пинский	457,5	32,4	29,7	0,918	2,7	15,00	40,50	18528,79
Пружанский	3643,4	35,0	32,0	0,913	3,0	19,44	58,32	212483,10
Столинский	415,4	35,8	32,8	0,917	3,0	16,68	50,04	20786,61
Всего по обл.	12750,5	35,2	31,3	0,916	2,9	18,60	53,94	743726,58
Гомельская область								
Брагинский	402,7	30,2	27,9	0,924	2,3	13,23	30,42	12253,77
Буда-Кошелевский	2250,0	30,8	28,5	0,924	2,3	15,90	36,57	82282,50
Ветковский	1165,7	32,0	29,5	0,924	2,5	18,66	46,65	54379,20
Гомельский	1191,9	32,3	29,8	0,922	2,5	14,85	37,14	44299,28
Добрушский	90,0	34,5	31,8	0,922	2,7	21,48	57,99	5219,64
Ельский	121,1	30,0	27,7	0,923	2,3	14,82	34,08	4127,82
Житковичский	229,2	34,3	31,7	0,925	2,6	17,16	44,61	10225,98
Жлобинский	2560,8	31,5	29,1	0,925	2,4	17,76	42,63	109151,55
Калинковичский	1232,2	29,7	27,4	0,924	2,3	15,00	34,50	42510,90
Кормянский	1383,2	33,4	30,8	0,922	2,6	20,22	52,56	72717,60
Лельчицкий	335,0	30,3	27,8	0,916	2,5	11,28	28,20	9447,00
Лоевский	531,8	28,5	26,3	0,924	2,2	13,77	30,30	16110,36
Мозырский	234,7	30,1	27,8	0,923	2,3	11,55	26,58	6234,81
Наровлянский	9,5	32,2	28,2	0,875	4,0	10,83	43,32	411,54
Октябрьский	596,6	31,1	28,8	0,925	2,3	16,38	37,68	22476,31
Петриковский	343,5	27,5	25,4	0,922	2,1	9,57	20,10	6903,30
Речицкий	1201,8	32,1	29,7	0,925	2,4	16,41	38,73	46552,92
Рогачевский	4799,5	30,6	28,3	0,925	2,3	17,19	39,54	189757,83
Светлогорский	1846,4	29,0	26,8	0,925	2,2	12,66	27,84	51425,94
Хойникский	100,5	34,3	31,7	0,925	2,6	18,96	49,29	4954,26
Чечерский	214,7	33,0	30,5	0,925	2,5	18,30	45,75	9822,54
Всего по обл.	20840,8	31,2	28,8	0,924	2,4	15,93	38,22	801215,70
Любанский (Минская обл.)	18,0	34,8	32,1	0,922	2,7	21,42	57,84	1041,00
Солигорский (Минская обл.)	102,0	35,7	33,0	0,925	2,7	19,89	53,70	5477,70
Глусский (Могилевская обл.)	209,7	32,1	29,7	0,925	2,4	14,01	33,63	7050,96
Итого по региону Белорусское Полесье	**33 921,0**	**33,7**	**30,4**	**0,922**	**3,3**	**17,31**	**47,22**	**1558585,94**

Путем деления нормативных затрат (руб./га) на балл плодородия почв устанавливалась цена балла, которая в разрезе административных районов, при средней ее величине 17,31 руб./га по региону, различалась от 9,57 руб./га в Петриковском районе до 24,90 руб./га в Барановичском районе. Зная величину уменьшения балла бонитета плодородия почв в результате их деградации, путем ее умножения на размер недополученного чистого дохода растениеводческой продукции (руб./га), устанавливалась общая сумма снижения чистого дохода на дефлированных почвах пахотных земель. Так, общий ее размер по региону Белорусского Полесья ежегодно составляет 1 558,58 тыс. руб., в том числе на пахотных землях Брестской области – 743,73 тыс. руб., Гомельской области – 801,21 тыс. руб. Максимальный размер недополученного чистого дохода при возделывании сельскохозяйственных культур на дефлированных почвах отмечен в Пружанском районе – 212,48 тыс. руб., минимальный – 411,54 руб. – в Наровлянском районе, в котором площадь дефлированных почв составляет всего 9,5 га. Группировка административных районов Белорусского Полесья по данному показателю иллюстрируется на рисунке.

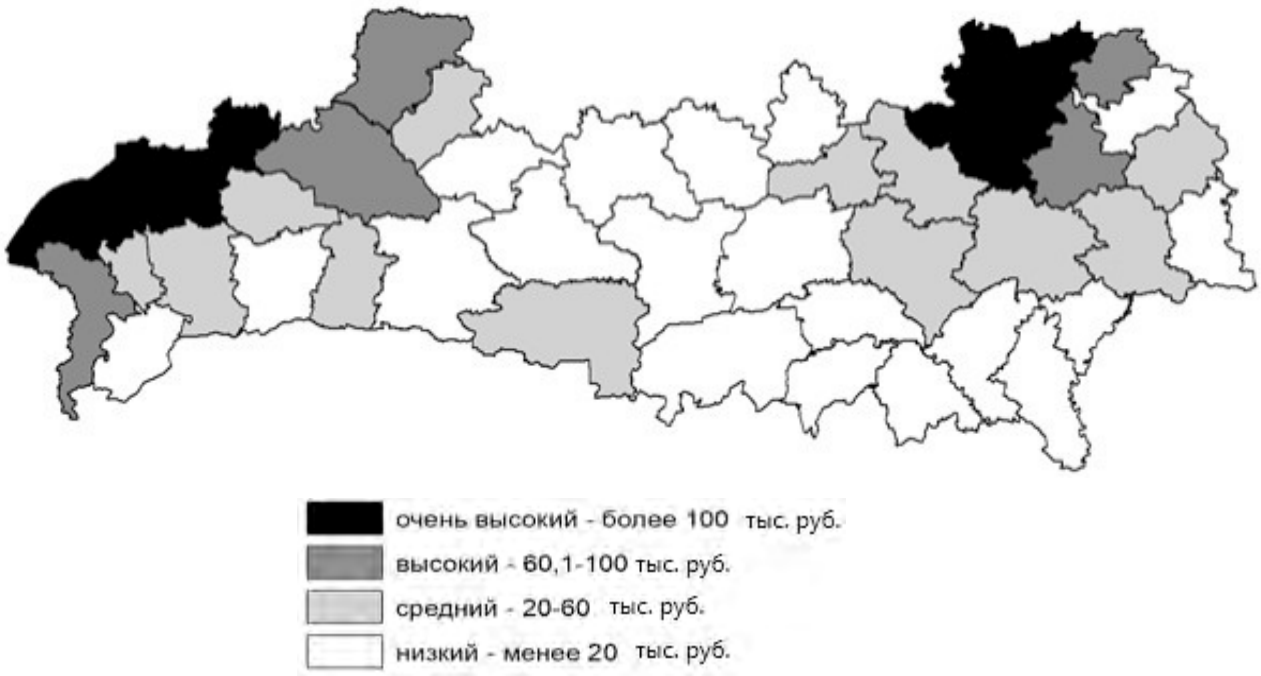


***Рисунок** – Размер ежегодного ущерба, наносимого дефляцией почв пахотным землям административных районов Белорусского Полесья, тыс. руб.*

Заключение. Выполненная эколого-экономическая оценка, включая стоимостное ее выражение, показала, что проявление дефляции (ветровой эрозии) на почвах пахотных земель региона Белорусского Полесья является существенным негативным фактором, снижающим эффективность использования таких земель. В настоящее время общая площадь разной степени дефлированных почв в регионе составляет около 34,0 тыс. га или 41,0 % от общей площади дефлированных почв республики (82,7 тыс. га). Учитывая высокую уязвимость почв и почвенного покрова сельскохозяйственных земель к проявлению процессов их дефляции и низкую их противодефляционную устойчивость, к числу упредительных мер, направленных на сдерживание территориального расширения их площади, относится разработка защитных агротехнических, организационно-территориальных и оптимизационных мероприятий по предотвращению дефляции почв в регионе. В первую очередь в таких мероприятиях нуждаются пахотные земли с очень высоким и высоким размером ущерба, наносимого дефляцией слагающих их почв, расположенных в Пружанском, Каменецком, Брестском, Ивацевичском, Барановичском, Буда-Кошелевском, Жлобинском, Кормянском, Рогачевском административных районах.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках НИР «Разработать и внедрить методические рекомендации оценки экосистемных услуг и агроландшафтов при обосновании территориально-организационных мероприятий для их устойчивого использования и охраны» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограмма 1 «Природные ресурсы и их рациональное использование», 2021–2025 гг.

Список использованных источников

1. Деградация земель, опустынивание и устойчивое землепользование: концепции и термины / Под ред. Г. С. Куста. – М. : изд-во «МАКСпресс», 2024. – 208 с.

2. Цыбулько, Н. Н. Дефлированные почвы: диагностика, критерии и распространение на территории Беларуси / Н. Н. Цыбулько, В. Б. Цырибко, Е. В. Алексейчик // Веснік Брэсцкага універсітэта. Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – № 1. – 2024. – С. 77–83.

3. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Под ред. Г. М. Мороза и В. В. Лапы. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.

4. Цыбулько, Н. Н. Эрозионная деградация почв Беларуси / Н. Н. Цыбулько, В. Б. Цырибко [и др.] // Земледелие и защита растений. – № 2 (117). – 2018. – С. 19–26.

5. Мельник, В. И. Оценка увлажнения почв сельскохозяйственных земель Белорусского Полесья и их уязвимость к засухам в условиях изменения климата / В. И. Мельник, В. М. Яцухно // Актуальные проблемы наук о Земле. Использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды. Сб. матер. V Междунар. науч.-практич. конф. Часть 1. – Брест : БрГУ им. А. С. Пушкина, 2021. – С. 195–197.

ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF DAMAGE CAUSED BY SOIL DEFLATION OF ARABLE LANDS IN THE BELARUSIAN POLESIE REGION

V. M. Yatsukhno, S. S. Bachila

The article highlights the features and scale of one of the most dangerous types of land degradation – deflation (wind erosion) of soils of arable lands of the Belarusian Polesie. The negative effects of climate change in the region greatly contribute to the development of deflation. For the first time, an attempt has been made to determine the cost of damage caused by soil deflation to the agricultural sector using the synthesizing indicator of the cadastral valuation of lands – the normative net income, as well as to group 40 administrative districts of the Belarusian Polesie.

ЭКАЛОГІЯ

УДК 574.42:574.474(476.7)

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОРНИТОКОМПЛЕКСОВ БЕРЕЗОВЫХ ЛЕСОВ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ СУКЦЕССИИ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ БЕЛАРУСИ

И. В. Абрамова

Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

Прослежено изменение таксономической структуры орнитокомплексов в процессе восстановительной сукцессии (6 стадий, 1–80 лет) на месте вырубки березовых лесов в юго-западной Беларуси. В орнитокомплексах на разных стадиях сукцессии представлены 11 отрядов, 26 семейств и 55 видов. На всех стадиях сукцессии доминируют воробьинообразные (64,6–100,0% количества видов, 84,4–100,0% суммарного обилия).

Ключевые слова: сукцессия, население птиц, таксономическая структура, бородавчатоберезовые леса, Беларусь.

Птицы являются ключевым элементом биоразнообразия лесов, т.к. они выполняют разнообразные и важные экологические функции, включая распространение плодов и семян, контроль численности насекомых-вредителей и экосистемную инженерию [1]. Для эксплуатационных лесов характерны значительные пространственно-временны́е изменения фитоценозов и сообществ животных. Работы [2–6 и др.], посвященные сменам орнитокомплексов в ходе вторичной сукцессии лесов, свидетельствуют об изменении основных показателей биоразнообразия (видового богатства, обилия и др.), смене видов-ценозообразователей, усложнении структуры сообщества. В данной работе рассматривается лишь один аспект – соотношение основных таксономических групп класса птицы в сообществах, формирующихся на разных стадиях восстановительной сукцессии березовых лесов.

Цель работы – установление таксономической структуры орнитокомплексов березовых лесов в процессе демутационной сукцессии в юго-западной Беларуси.

Материалы и методы. Сбор материалов для данной работы проводился в 1996–2017 гг. в бородавчатоберезовых лесах в Брестском, Малоритском и Ивацевичском лесхозах. При изучении орнитокомплексов закладывались маршруты в экосистемах, находящихся на разных стадиях сукцессионного ряда. Первые три стадии сукцессии (до 20 лет) были прослежены на одних и тех же площадках, последние три стадии – на участках с однотипными условиями, отличающихся только возрастом березовых фитоценозов. Применяли общепринятые методы [7, 8]. Учет птиц в экосистемах на каждой стадии сукцессии проводили не менее 10 раз с 15.05 по 30.06 в ясную погоду. Названия таксонов приведены в соответствии с единым глобальным таксономическим списком «AviList» [9]. Расчеты проводились при помощи программных пакетов Excel (Microsoft, 2010) и PAST 4.03. В сборе материалов для данной работы оказывал помощь зоолог В. Е. Гайдук, за что автор выражает ему искреннюю благодарность.

Результаты. На разных стадиях сукцессии березового леса выявлено 55 видов птиц, относящихся к одиннадцати отрядам [6]. В ходе сукцессии видовое богатство птиц увеличивается от 9 видов (на стадии травянистой растительности лугового типа) до 48 видов (в спелом березовом лесу). Суммарное обилие населения птиц имеет минимальное значение на первой стадии (76,6±4,63 особей/км^2), несколько выше – на второй стадии (120,4±4,40 особей/км^2), затем резко возрастает, достигая максимума в спелом березовом лесу (1030,1±28,08 особей/км^2).

Таксономическое богатство (число семейств и видов) увеличивается с возрастом основной лесо-образующей породы. Основной вклад в видовое богатство на всех шести стадиях сукцессии вносят представители отряда воробьинообразные (Passeriformes); они определяют основной фон и составляют ядро населения птиц (таблица 1). Доля воробьинообразных в орнитокомплексах на разных стадиях сукцессии составляет 64,6–100,0 % общего количества видов и 84,4–100,0 % суммарного обилия (максимум на стадии возраста 10–20 лет). Доминирование птиц данного отряда характерно для всех лесных экосистем Беларуси.

Таблица 1 *– Распределение видов птиц в сообществах на разных стадиях восстановительной сукцессии березового леса по отрядам и семействам*

Отряд, семейство	Возраст сукцессии (лет)					
	1–3	4–9	10–20	30–40	50–60	70–80
	ВМ1	ВМ2	ВМ3	ВМ4	ВМ5	ВМ6
Курообразные						
Фазановые	2	2				
Ястребообразные						
Ястребиные				1	2	2
Соколообразные						
Соколиные					1	1
Козодоеобразные						
Настоящие козодои				1	1	1
Журавлеобразные						
Пастушковые	1	1				
Ржанкообразные						
Бекасовые					1	1
Голубеобразные						
Голубиные				2	3	3
Кукушкообразные						
Кукушковые				1	1	1
Совообразные						
Совиные				1	2	2
Дятлообразные						
Дятловые				1	6	6
Воробьинообразные						
Трясогузковые	3	3	2	1	1	1
Мухоловковые	1	3	5	5	5	5
Вьюрковые		2	3	2	2	2
Жаворонковые	1	1	1	1	1	1
Сорокопутовые		1	1	1	1	1
Овсянковые	1	1	1	1	1	1
Дроздовые		2	3	3	3	3
Славковые		3	3	3	3	3
Пеночковые			3	3	3	3
Камышовковые			1	1	1	1
Пищуховые				1	1	1
Поползневые				1	1	1
Скворцовые				1	1	1
Синицевые			1	3	3	3
Иволговые				1	1	1
Врановые				3	3	3
Количество видов	9	19	24	38	48	48
Количество семейств	6	10	11	22	24	24
Количество отрядов	3	3	1	7	9	9

Отряды ястребообразные (Accipitriformes), совообразные (Strigiformes) и курообразные (Galliformes) представлены двумя видами, голубеобразные (Columbiformes) – тремя видами, дятлообразные (Piciformes) – шестью видами. Пять отрядов представлены одним видом.

Интересным представляется распределение птиц в орнитокомплексах по отдельным семействам. Всего в эксплуатационных березовых лесах региона были зарегистрированы виды, относящиеся к 26 семействам. Десять отрядов из одиннадцати представлены одним семейством, и только отряд воробьинообразные – шестнадцатью семействами (61,5 %). Из воробьинообразных наибольшим разнообразием характеризуются мухоловковые (6 видов), тремя видами представлены вьюрковые, врановые, славковые, пеночковые и синицевые. Большинство этих видов связано с древесно-кустарниковыми насаждениями.

Начальные стадии сукцессии характеризуются присутствием ограниченного числа семейств воробьинообразных, преимущественно населяющих открытые и опушечные биотопы (жаворонковые, овсянковые, трясогузковые и др.). В лесных культурах возраста 10–20 лет растет число лесных видов, увеличивается роль семейств, ассоциированных с древесным ярусом (дроздовые, славковые, вьюрковые и др.). В приспевающих и спелых березовых лесах наблюдается максимальное разнообразие семейств воробьинообразных и появление видов, требующих развитого полога и наличия специализированных экологических ниш, например, дуплистых деревьев (мухоловковые, пеночковые, синицевые, пищуховые и др.).

Кластеризация орнитокомплексов, сформированных в ходе демутационной сукцессии березовых лесов, проведена по характеристикам разнообразия населения (видовому богатству и плотности населения) и позволяет выделить 3 кластера (рисунок 1). Для построения дендрограммы использовали программу PAST 4.03; применяли метод невзвешенного парно-группового кластерного анализа с арифметическим усреднением (UPGMA). В качестве меры сходства использовали индекс Моррисита (соответствует индексу Чекановского-Съеренсена).

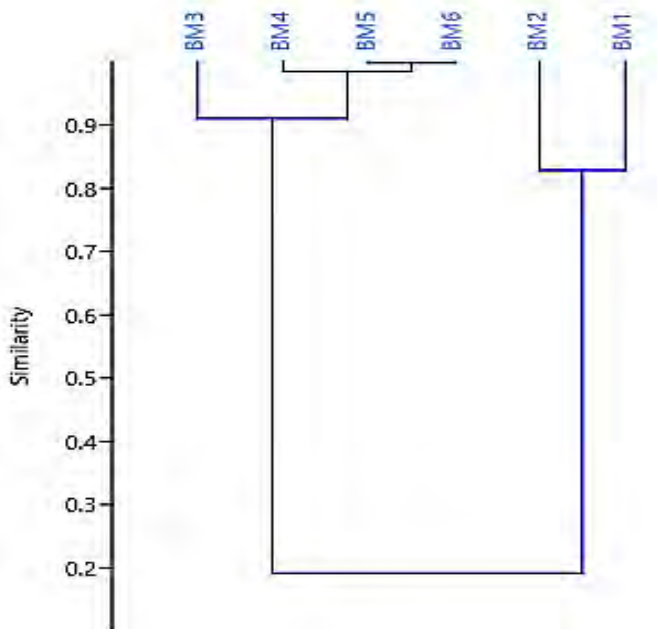


***Рисунок 1** – Дендрограмма сходства орнитокомплексов березовых лесов, формирующихся на разных стадиях сукцессии. По оси ординат отложены дистанции сходства. BM1–BM6 – стадии сукцессии (см. таблицу 1)*

Большим сходством по составу и численности видов птиц характеризуются орнитокомплексы на первых двух стадиях сукцессии. В один кластер, но на более высоком уровне, объединяются сообщества, которые формируются в молодых лесах на третьей и четвертой стадиях сукцессии. Орнитокомплексы приспевающих и спелых березовых лесов (третий кластер) имеют существенные отличия по составу и численности видов птиц по сравнению с первыми четырьмя стадиями сукцессии.

Заключение. Таксономический анализ показывает, что восстановительные сукцессионные процессы формируют закономерное увеличение разнообразия как по отрядам, так и по семействам птиц. Наиболее выраженная таксономическая дифференциация наблюдается в приспевающих и спелых березовых лесах, что подчеркивает роль характеристик древостоя в поддержании биоразнообразия орнитофауны.

Список использованных источников

1. Sekercioglu, C. H. Increasing awareness of avian ecological function / C. H. Sekercioglu // Trends Ecol. Evol. – 2006. – Vol. 21. – P. 464–471.

2. From mixtures to monocultures: Bird assemblage responses along a production forest conifer–broadleaf gradient // Forest Ecology and Management. – 2021. – Vol. 494 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : //doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119299.

3. Кассал, Б. Ю. Распределение птиц в сукцессии березового леса / Б. Ю. Кассал // Байкальский зоологический журнал. – 2023. – № 1 (33). – С. 77–82.

4. Левых, А. Ю. Структура и факторы формирования разнообразия птиц лесных местообитаний Российского Приишимья / А. Ю. Левых, С. Л. Болдырев // Самарский научный вестник. – 2018. – Т. 7, № 2 (23). – С. 81–87.

5. Преображенская, Е. С. Экология воробьиных птиц Приветлужья / Е. С. Преображенская. – М. : КМК Scientific Press Ltd, 1998. – 200 с.

6. Абрамова, И. В. Сукцессия орнитофауны березовых лесов в юго-западной Беларуси / И. В. Абрамова // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2019. – № 1. – С. 5–12.

7. Равкин, Ю. С. К методике учета птиц лесных ландшафтов / Ю. С. Равкин // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. – Новосибирск, 1967. – С. 66–75.

8. Бибби, К. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц / К. Бибби, М. Джонс, С. Мардсен. – М. : Союз охраны птиц, 2000. – 186 с.

9. AviList Core Team. 2025. AviList : The Global Avian Checklist, v2025 : [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа : https://doi.org/10.2173/avilist.v2025. – Дата доступа : 15.07.2025.

TAXONOMIC STRUCTURE OF BIRDS COMMUNITIES OF BIRCH FORESTS AT DIFFERENT STAGES OF SUCCESSION IN THE SOUTH-WESTERN BELARUS

I. V. Abramova

The article traces changes in the taxonomic structure of the bird communities during the secondary succession of birch forest (6 stages, spanning 1–80 years) in the southwest of Belarus. In the bird communities across different successional stages, 11 orders, 26 families, and 55 species are represented. At all stages of succession, Passeriformes dominate, comprising 64.6–100.0% of the species richness and 84.4–100.0% of the total abundance.

УДК 628.3

АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОСТАВА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

А. Н. Ажгиревич, Н. Ф. Терлецкая, А. С. Антонюк

Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

В статье обоснована необходимость эффективной организации аналитического контроля состава осадков сточных вод. Для рационального использования данных отходов актуальным является установление перечня контролируемых показателей и периодичности контроля, а также разработка соответствующей нормативно-правовой документации.

Ключевые слова: осадки сточных вод, утилизация, аналитический контроль, мониторинг, периодичность контроля, контролируемые показатели.

Введение. Одной из приоритетных задач жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь является утилизации осадков сточных вод (ОСВ). Ежегодно на очистных сооружениях республики образуется около 2,1 млн тонн осадков очистки сточных вод, которые в основном размещаются на объектах хранения и захоронения. Данный способ обращения с ОСВ вызывает ряд негативных последствий: бактериальное загрязнение близлежащих территорий, поступление тяжелых металлов (ТМ) в почву и подземные воды, отчуждение ценных в хозяйственном отношении земель [1, 2, 3, 4, 5]. Так, на очистных сооружениях города Гомеля общая площадь иловых площадок составляет около 18 га [6], Гродно – около 20 га. Следует также отметить, что в настоящее время большинство иловых площадок переполнено, а обустройство новых связано с большими затратами [5, 7]. Кроме того, при обезвоживании ОСВ происходит окисление органических соединений, сопровождающееся выделением неприятных запахов, что влияет на качество жизни людей, проживающих на близлежащей территории [4]. Таким образом, накопление значительного количества ОСВ на объектах хранения актуализирует вопрос возврата в хозяйственный оборот как ОСВ, так и занятых под ними площадей.

Как известно, ОСВ специфичны по составу, свойствам, воздействию на окружающую среду, что обусловлено, прежде всего, качеством поступающих на очистку сточных вод и способом их обработки [8, 9]. Состав ОСВ коммунальных очистных сооружений крупных городов с развитой промышленностью и малых населенных пунктов, где производство в основном представлено предприятиями по переработке сельскохозяйственной продукции, существенно отличается. Следовательно, принятие решений о дальнейших оптимальных и безопасных направлениях использования ОСВ должно быть основано на данных об их составе.

Цель работы – обоснование необходимости эффективной организации аналитического контроля ОСВ для решения проблемы их рационального использования.

Основная часть. Оценка мирового опыта показала, что применяются различные подходы в организации аналитического контроля состава ОСВ.

В США обращение с ОСВ регулируется «Стандартами по использованию и удалению осадков сточных вод» [10], в которых установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) для ТМ (As, Cd, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se, Zn) и предельные величины кумулятивной (суммарной) нагрузки за год для этих элементов при использовании ОСВ на землях сельскохозяйственного назначения и лесного фонда, площадках общественного пользования, рекультивируемых землях, газонах, приусадебных участках. Кроме того, приведена классификация по критерию опасности, в соответствии с которой ОСВ могут дифференцированно применяться в зависимости от уровня содержания загрязняющих веществ. В США также используется определение «exceptional quality biosolids», то есть «обработанные осадки исключительного качества», что означает фактически «чистые» и безопасные для применения в окружающей среде без ограничений. Что касается периодичности аналитического контроля, то в США она привязана к объемам накопленных ОСВ: до 290 т – 1 раз в год, 290–1500 т – ежеквартально, 1500–15000 т – 1 раз в 2 месяца, более 15000 т – ежемесячно. Частота аналитического контроля при соблюдении ряда условий может быть сокращена только после двухлетнего периода мониторинга ОСВ по ряду показателей.

В США действуют десятки государственных и частных инициатив и программ, направленных на внедрение систем экологического менеджмента и мероприятий по предотвращению загрязнения окружающей среды при обращении с ОСВ, а также повышению эффективности управления отходами. Это способствует поддержанию надлежащих практик аналитического контроля на высоком уровне, а также научным изысканиям в данной области.

Основные правовые нормы Европейского Союза (ЕС), касающиеся применения ОСВ в качестве удобрений, содержатся в Директиве Совета ЕС № 86/278/ЕЕС. В данном документе установлены требования к ОСВ, используемым в сельском хозяйстве, определены правила отбора проб и лабораторного анализа, а также ПДК для шести химических элементов (Cd, Cu, Hg, Ni, Pb и Zn) [11, 12]. Многие ученые и практики признают данный документ устаревшим и нуждающимся в обновлении [13], так как перечень параметров, которые он регулирует, требует пересмотра, в частности, с учетом наличия в составе ОСВ иных загрязняющих веществ.

Большинство стран ЕС для ОСВ, применяемых в сельском хозяйстве, установило более низкие пределы допустимых концентраций для ТМ (кроме Zn) по сравнению с Директивой 86/278/ЕЕС [12, 14], расширило их перечень, а также установило ПДК для целого ряда органических веществ-загрязнителей и патогенных микроорганизмов.

Аналитический контроль состава ОСВ в странах ЕС в обязательном порядке осуществляется только по перечню показателей, указанных в Директиве Совета Европы 86/278/ЕЕС, и выполняется, как правило, операторами очистных сооружений (или переработчиками, например – компостными заводами), отчеты предоставляются в органы экологического надзора. Система периодического контроля состава ОСВ, подобно действующей в США, в ЕС пока отсутствует.

В Российской Федерации требования к свойствам ОСВ при использовании их в качестве удобрений установлены в ГОСТ Р 17.4.3.07–2001. В соответствии с данным стандартом, к числу нормируемых относятся агрохимические (массовая доля органического вещества, реакция среды, массовая доля общего азота, массовая доля общего фосфора), санитарно-бактериологические (бактерии группы кишечной палочки, патогенные микроорганизмы) и санитарно-паразитологические (яйца гельминтов и цисты кишечных патогенных простейших) показатели, а также валовое содержание химических элементов (Pb, Cd, Ni, Cr, Zn, Cu, Hg, As). Требования к ОСВ при их использовании для рекультивации нарушенных земель содержатся в ГОСТ Р 54534–2011, в соответствии с которым кроме показателей, установленных в ГОСТ Р 17.4.3.07–2001, нормируются также химическое и биохимическое потребление кислорода, содержание жизнеспособных личинок и куколок синантропных мух.

В Республике Беларусь в настоящее время ОСВ не являются объектами обязательного аналитического контроля. Как следствие, не известны состав и свойства как вновь образующихся, так и свыше 14 млн тонн ОСВ, депонированных на объектах хранения, включая иловые площадки, на которых осадки находятся на протяжении нескольких десятков лет.

Согласно Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г., целью государственной политики в сфере обращения с отходами является максимальное уменьшение объемов их образования во всех секторах экономики, предотвращение негативного воздействия на окружающую среду и здоровье граждан, а также наиболее полное вовлечение в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья. При этом делается акцент на необходимости формирования «всесторонней, актуальной, достоверной, совместимой со странами ЕАЭС информационной базы, содержащей сведения об объемах образования отходов (по видам) и обращении с ними, состоянии инфраструктуры в данной сфере, доступных технологических решениях по использованию или обезвреживанию отходов и другие данные» [15]. По нашему мнению, применительно к ОСВ такая информационная база должна включать детальные данные об их составе по унифицированному перечню основных показателей.

Системные работы по оценке состава образующихся и накопленных ОСВ проводятся нами с 2021 г. совместно с Институтом жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси в рамках Государственной программы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021–2025 годы». На основе результатов проведенных исследований создана информационно-аналитическая база данных «Ресурсный потенциал ОСВ коммунальных очистных сооружений городов Беларуси», которая на данный момент включает информацию об агрохимическом составе (кислотность, содержание азота, фосфора, калия), содержании химических элементов (Pb, Cd, As, Hg, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Cr, Vo, Se), санитарно-паразитологических (наличие яиц и личинок гельминтов, цист кишечных патогенных простейших) и санитарно-бактериологических (бактерии группы кишечной палочки, энтерококки) показателях ОСВ очистных сооружений 12 городов Республики Беларусь (Гродно, Слонима, Лиды, Барановичей, Березы, Бобруйска, Борисова, Жлобина, Речицы, Новополоцка, Витебска, Бреста). Работы в данном направлении продолжаются – идет наполнение и совершенствование данного информационного ресурса. Кроме того, разработаны «Методические рекомендации по отбору проб осадков сточных вод», в которых установлен единый подход к отбору и подготовке проб ОСВ [16].

Дискуссионным вопросом является периодичность аналитического контроля состава ОСВ. Прежде всего, следует разделить контролируемые показатели на группы: консервативные, величина которых практически не изменяется на протяжении многих лет, динамичные, стабилизирующиеся с течением времени на уровне допустимой концентрации либо ниже ее, а также вновь появляющиеся в связи с изменением качества поступающих на очистку сточных вод, технологий очистки и других факторов. Кроме того, степень опасности того или иного показателя неодинакова, следовательно, при организации аналитического контроля необходимо выделять среди них приоритетные, второстепенные, а также взаимозависимые. Все эти вопросы требуют широкого обсуждения специалистами различного профиля с целью выработки консенсуса, базирующегося на объективных научных данных. Кроме того, необходимо учитывать и экономический фактор: периодичность аналитических испытаний ОСВ должна быть разумно оправдана с учетом стоимости лабораторных анализов и затрат на отбор образцов.

Лимитирующим фактором в обращении с ОСВ является отсутствие нормативных правовых актов, устанавливающих требования к составу данных отходов в зависимости от направления использования. Следовательно, внедрение аналитического контроля в практику потребует принятия новых нормативных правовых актов, дополнения ряда статей и положений экологического законодательства, разработки методических рекомендаций, выделения материальных ресурсов, обеспечения кадровой поддержки. Однако продолжение работ в данном направлении, начиная с изучения состава ОСВ по наиболее важным показателям, а также проведение их инвентаризации на страновом уровне, является необходимым для последующего эколого-безопасного использования данных отходов.

Заключение. Обоснование и выбор направлений использования ОСВ должно основываться на данных об их составе по установленному перечню показателей. В связи с этим в настоящее время актуальными являются разработка подходов по организации аналитического контроля состава данных отходов и принятие соответствующих нормативно-правовых актов.

Список использованных источников

1. Гуринович, А. Д. Получение удобрений из осадков сточных вод / А. Д. Гуринович, М. О. Макей // Экономика строительного комплекса и городского хозяйства : материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 5–8 дек. 2017 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: О. С. Голубова [и др.]. – Минск, 2018. – С. 102–107.

2. Ануфриев, В. Н. Оценка перспектив утилизации осадков сточных вод для получения биотоплива на основе выращивания древесных энергетических культур / В. Н. Ануфриев, О. И. Родько, П. Н. Захарко // Природопользование и экологические риски : материалы науч.-пр. конф., Минск, 5 июня 2019 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: И. В. Войтов (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – С. 84–88.

3. Флюрик, Е. А. Фитотестирование осадков сточных вод / Е. А. Флюрик, А. А. Масехнович // Природные ресурсы. – 2022. – № 1. – С. 38–43.

4. Комарова, Е. В. Разработка рекомендаций по устранению неприятных запахов с площадок складирования осадка / Е. В. Комарова // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы междунар. науч.-пр. конф., Гомель, 22 марта 2023 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т транспорта ; Е. Ф. Кудина (отв. ред.) [и др.]. – Гомель, 2023. – С. 72–75.

5. Лавринович, А. А. Оценка эффективности работы очистных сооружений г. Жлобина / А. А. Лавринович // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы междунар. науч.-пр. конф., Гомель, 22 марта 2023 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т транспорта ; Е. Ф. Кудина (отв. ред.) [и др.]. – Гомель, 2023. – С. 75–77.

6. Жуков, Ю. В. Варианты утилизации осадков сточных вод города / Ю. В. Жуков // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы междунар. науч.-пр. конф., Гомель, 22 марта 2022 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т транспорта ; Е. Ф. Кудина (отв. ред.) [и др.]. – Гомель, 2022. – С. 69–72.

7. Марцуль, В. Н. Выбор направлений использования осадков городских сточных вод / В. Н. Марцуль, А. В. Дернович // Нефтегазохимия – 2024 : материалы VII междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтепереработке, Минск, 13–15 нояб. 2024 г. / Белорус. гос. технолог. ун-т. – Минск, 2024. – С. 180–183.

8. Васбиева, М. Т. Влияние длительного применения осадков сточных вод в качестве удобрения на продуктивность зернотравяного севооборота и качество сельскохозяйственных культур / М. Т. Васбиева // Агрохимия. – 2016. – № 1. – С. 44–51.

9. Емельяненко, Н. В. Осадки сточных вод: проблемы и возможности их использования в сельском хозяйстве / Н. В. Емельяненко, Т. М. Германович // Почвоведение и агрохимия. – 2024. – № 1. – С. 108–114.

10. 40 CFR Part 503 – Standards for the use or disposal of sewage sludge [Electronic resource]. – Mode of access : https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/part-503. – Date of access : 08.07.2025.

11. Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture // Official Journal of the European Communities. – 1986. – Vol. 181. – P. 6–12.

12. Опыт стран европейского союза в защите земель от воздействия сточных вод и безопасного применения осадка / Н. А. Головачева [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 7. – С. 43–50.

13. Sewage sludge use in farming – evaluation [Electronic resource]. – Mode of access : https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12328-Sewage-sludge-use-in-farming-evaluation_en. – Date of access : 07.07.2025.

14. Марцуль, В. Н. Нормативно-правовое регулирование обращения с осадками очистных сооружений / В. Н. Марцуль // Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения : материалы междунар. конф., посвященной 145-летию УП «Минскводоканал», Минск, 13–14 февр. 2019 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. технолог. ун-т. – Минск, 2019. – Ч. 2. – С. 195–200.

15. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года : одобр. Президиумом Совета Министров Респ. Беларусь 2 мая 2017 г. – Минск, 2017. – 148 с.

16. Методические рекомендации по отбору проб осадков сточных вод / Ин-т жилищно-коммунального хоз-ва НАН Беларуси, Полесский аграрно-экологический ин-т НАН Беларуси. – Минск, 2024. – 14 с.

ANALYTICAL CONTROL OF THE COMPOSITION OF SEWAGE SLUDGE

A. N. Azhgirevich, N. F. Tsiarletskaya, A. S. Antoniuk

The article substantiates the need for effective organization of analytical control of the composition of sewage sludge. For the rational use of these wastes, it is important to establish a list of controlled indicators and monitoring frequency, as well as to develop relevant regulatory documentation.

УДК 57.044

ВЛИЯНИЕ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА И 2-МОНОСАЛИЦИЛАТА 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА НА КОЛЕУС БЛЮМЕ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ИЗ СЕМЯН

И. В. Бульская

Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

В статье представлены результаты сравнения влияния двух выбранных брассиностероидов (24-эпикастастерона и его конъюгата – 2-моносалицилата 24-эпикастастерона) на рост и развитие растений колеуса, выращенных из семян, методом внекорневой обработки и методом опрыскивания. Исследование проведено на двух сортах колеуса Блюме – Вечерняя Заря и Мозаика.

Ключевые слова: колеус, брассиностероиды, хлорофилл, фотосинтез.

Ведение. Брассиностероиды представляют собой уникальный класс стероидных растительных гормонов, обладающих весьма широкой функциональной активностью. Исследования на разнообразных растительных объектах подтверждают наличие у этих гормонов ростстимулирующих свойств, их участие в защитных механизмах при воздействии стресс-факторов, а также регуляторных свойств по отношению к другим гормонам; имеются сведения об участии брассиностероидов в регуляции работы фотосинтетического аппарата [1, 2, 3]. С точки зрения практического применения важными свойствами этих гормонов как экологически безопасных средств регуляции роста растений является то, что они могут применяться в крайне низких дозах и способны улучшить рост сельскохозяйственных или декоративных культур без использования традиционных химических удобрений, в том числе в неблагоприятных климатических условиях [4].

Несмотря на активное исследование свойств брассиностероидов в последние годы, актуальным остается вопрос их воздействия на отдельные виды растений, а также разработка унифицированных рекомендаций по их применению для сельскохозяйственных или декоративных культур.

Цель исследования – изучить эффективность применения названных гормонов при выращивании колеуса Блюме из семян. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

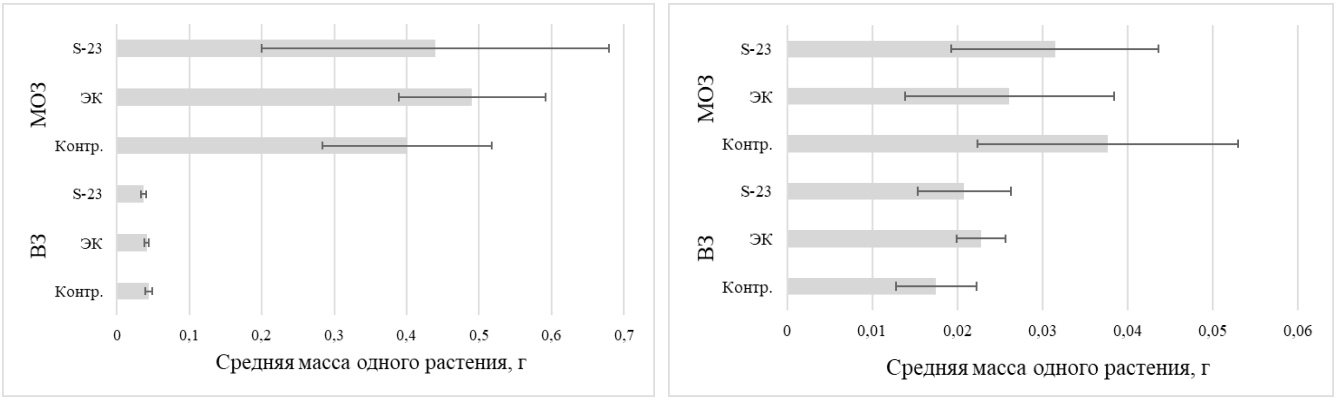
– изучить влияние эпикастастерона и его на колеус Блюме методом предпосевной обработки;

– изучить влияние эпикастастерона и его на колеус Блюме методом опрыскивания;

– сравнить эффективность названных методов и выбранных гормонов.

Материалы и методы. В качестве объекта были выбраны семена колеуса Блюме двух сортов – Вечерняя заря (ВЗ) и Мозаика (МОЗ). Колеус Блюме (*Plectranthus scutellarioides*, или *Coleus blumeii*) является популярным в озеленении растением благодаря своим декоративным свойствам и богатому разнообразию окрасок. Для проведения исследования были выбраны 24-эпикастастерон (ЭК) и его конъюгата – 2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23). Оптимальные концентрации гормонов были определены на предыдущих этапах исследования [5]: для сорта Мозаика ЭК 10^{-10} М, S23 10^{-9} М; для сорта Вечерняя заря ЭК 10^{-10} М, S23 10^{-11} М. Для предпосевной обработки семена замачивались в растворах гормонов в течение 5 часов. Для контрольного опыта семена замачивались в дистиллированной воде. Для опыта с опрыскиванием растения обрабатывались названными гормонами дважды с промежутком в 1 неделю на стадии 2–3 настоящих листьев. В контрольном опыте растения опрыскивались дистиллированной водой. Во всех вариантах вегетационного опыта семена высевались в горшки, заполненные универсальным грунтом, расставлялись в климатизированном помещении в случайном порядке и перемещались по схеме для создания равных условий. У собранных растений определяли массу побега и содержание хлорофиллов по стандартной методике [6]. Пигментная система растения играет ключевую роль в эффективном функционировании фотосинтетического аппарата, поэтому содержание пигментов может быть использовано для оценки потенциальной продуктивности растений [7, 8].

Результаты и их обсуждение. Результаты измерения средней массы одного растения представлены на рисунке 1. При предпосевной обработке семян наблюдалось снижение средней массы растений для сорта ВЗ (на 5,7 % для ЭК и 14,9 % для S23); для сорта МОЗ средняя масса увеличивалась на 22,3 % для ЭК и 9,6 % для S23 по сравнению с контролем.

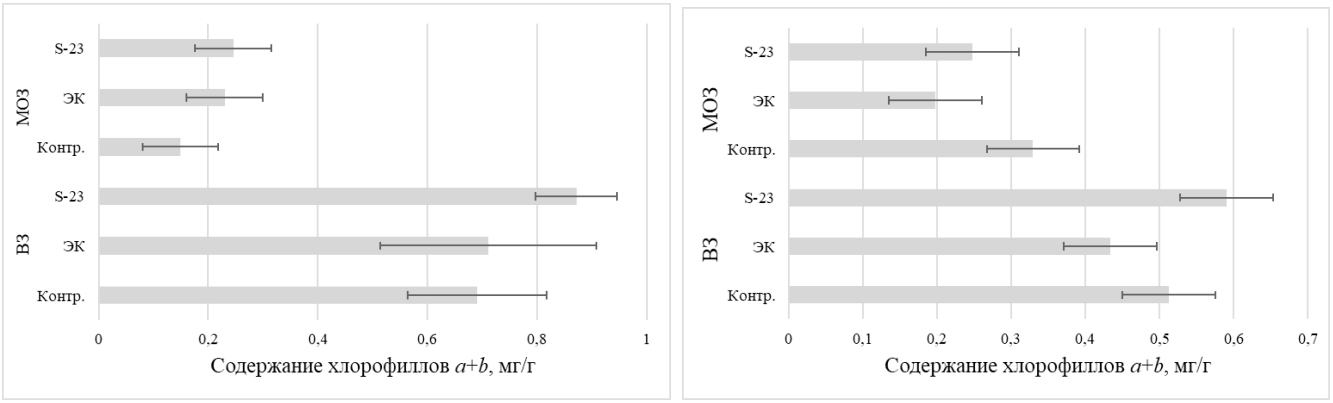


А Б

***Рисунок 1** – Средняя масса одного растения при предпосевной обработке семян (А) и опрыскивании растений (Б)*

При опрыскивании молодых растений наблюдалась обратная тенденция – средняя масса растений увеличивалась при обработке гормонами растений сорта ВЗ на 30,1 % для ЭК, 18,8 % для S23; при обработке растений сорта МОЗ наблюдалось уменьшение средней массы одного растения (на 30,6 и 16,5 % соответственно).

Суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* приведено на рисунке 2. Как видно из рисунка, при предпосевной обработке наблюдается увеличение содержания хлорофиллов для обоих исследованных сортов, причем более значительное в случае применения S23 (на 26,2 % для ВЗ и 65 % для МОЗ). При опрыскивании семян аналогичный результат получен при обработке S23 растений сорта ВЗ, а для растений сорта МОЗ содержание хлорофиллов несущественно снижается. Опрыскивание ЭК привело к снижению суммарного содержания хлорофиллов *a* и *b* у растений обоих сортов (на 15,4 % для ВЗ и на 40,1 % для МОЗ).

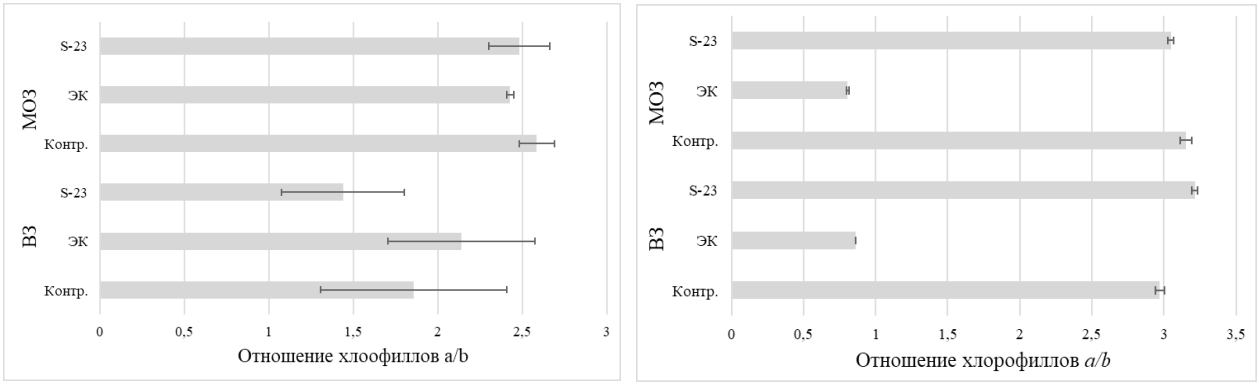


А Б

***Рисунок 2** – Среднее содержание хлорофиллов при предпосевной обработке семян (А) и опрыскивании растений (Б)*

Повышение содержания хлорофиллов в листьях может свидетельствовать об увеличении фотосинтетической активности растений. В литературе имеются данные, что влияние брассиностероидов на интенсивность фотосинтеза может быть связано с их влиянием на гормональный баланс в растении, а именно увеличение содержания цитокининов, которые увеличивают интенсивность фотосинтеза [1, 3, 10].

На рисунке 3 приведены результаты расчетов соотношения содержания хлорофиллов *a* и *b*. Предпосевная обработка семян колеуса мало сказалась на данном показателе, за исключением опыта с сортом ВЗ и S23: отмечается снижение соотношения на 22,6 % по сравнению с контролем. Интересно отметить, что данное снижение наблюдается на фоне роста суммарного содержания хлорофиллов *a* и *b*, что может косвенно указывать на разрушение хлорофилла *a*.



А Б

***Рисунок 3** – Отношение содержания хлорофиллов a и b при предпосевной обработке семян (А) и опрыскивании растений (Б)*

При опрыскивании растений колеуса выявлено существенное снижение соотношения хлорофиллов при обработке ЭК (на 70,9 % для ВЗ и на 74,4 % для МОЗ). Изменение содержания или соотношения хлорофиллов можно объяснить нарушением биосинтеза или разрушением пигмента.

Выводы. По результатам исследования можно заключить, что предпосевная обработка колеуса растворами ЭК и S23 является недостаточно эффективной, хотя и вызывает некоторые положительные эффекты. Опрыскивание растений колеуса на ранних стадиях роста (2–3 настоящих листа) при выращивании из семян также показало невысокую эффективность, а по сравнению с предпосевной обработкой вызвало большее число отрицательных ответов у растений. Существенных различий между двумя исследованными гормонами при применении метода предпосевной обработки не выявлено, а при применении метода опрыскивания более эффективным оказался S23, в то время как ЭК характеризуется угнетающим действием. В дальнейшем целесообразно исследовать перспективы применения данных гормонов на более поздних этапах роста либо при выращивании методом черенкования, более распространенного в практике массового озеленения.

Список использованных источников

1. Пузина, Т. И. Интенсивность фотосинтеза и транспорт ассимилятов у *Solanum tuberosum* под действием 24-эпибрассинолида / Т. И. Пузина, И. Ю. Макеева // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Том 57. – С. 113–121.

2. Brassinosteroid-regulated plant growth and development and gene expression in soybean / W. Yin, N. Dong, M. Niu, [et al]. // The Crop Journal. – 2019. – Vol. 7(3). – P. 411–418.

3. Влияние 24-эпибрассинолида на гормональный статус растений пшеницы при действии хлорида натрия / А. М. Авальбаев, Р. А. Юлдашев, Р. А. Фатхутдинова, [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2010. – Том 46, № 1. – С. 109–112.

4. Bajguz, A. Review. Metabolism of brassinosteroids in plants / A. Bajguz // Plant Physiology and Biochemistry. – 2007. – № 45. – P. 95–107.

5. Бульская, И. В. Оценка влияния 24-эпикастастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры Колеуса Блюме на ранних этапах роста / И. В. Бульская // Веснік Брэсцкага універсітэта. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 15–23

6. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М. : Академия, 2006. – 256 с.

7. Оценка действия комплексных стимуляторов роста на ряд физиологических показателей и продуктивность люпина белого / Т. В. Яговенко, Н. М. Зайцева, Н. В. Грибушенкова, [и др.] // Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». – 2025. – № 2 (54). – С. 79–89.

8. Калинина, А. В. Состав и содержание пигментов фотосинтеза в листьях проростков озимой мягкой пшеницы / А. В. Калинина, С. В. Лящева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – № 2 (20). – С. 286–290.

9. Müller, M. Hormonal impact on photosynthesis and photoprotection in plants / M. Müller, S. Munné-Bosch // Plant Physiology. – 2021. – Vol. 185(4). – P. 1500–1522.

EFFECT OF 24-EPICASTASTERONE AND 2-MONOSALICYLATE 24-EPICASTASTERONE ON COLEUS BLUMEI GROWN FROM SEEDS

I. V. Bulskaya

The article presents the results of comparison of the effect of two selected brassinosteroids (24-epicastasterone and its conjugate – 2-monosalicylate 24-epicastasterone) on the growth and development of coleus plants grown from seeds, by pre-sowing and by spraying. The study was conducted on two varieties of coleus Blume – Vechernyaya Zarya and Mosaic.

УДК 581.9

ОЦЕНКА ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ УРБАНОФЛОРЫ ГОРОДА ПИНСКА И ЕЕ ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

М. М. Вабищевич

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

В статье приведены результаты таксономического анализа урбанофлоры города Пинска, включающей 275 видов из 179 родов и 61 семейства аборигенной фракции, 428 видов имеют адвентивное происхождение. Из них только 302 вида (193 рода, 49 семейств) спонтанно произрастают в городских условиях, а оставшиеся 126 видов (89 родов) известны исключительно в культуре. Полученные семейственные и родовые спектры позволяют охарактеризовать типологические особенности урбанофлоры Пинска и служат основой для дальнейших эколого-ботанических исследований данной территории.

Ключевые слова: *трансформация флоры, аборигенная фракция, адвентивная фракция, городская среда.*

Введение. Возрастающие масштабы и темпы урбанизации в современном мире делают ее важнейшей проблемой XXI века, приобретающей глобальный характер. Способствуя ускорению научно-технического прогресса, урбанизация имеет ряд негативных сторон, острейшая из которых – деградация окружающей среды, в том числе и растительного покрова. В связи с этим возникает серьезная необходимость улучшения многих параметров урбанизированной среды [1]. В совокупности с ярко выраженной тенденцией к неуклонному росту численности городского населения в общей демографической структуре (в Республике Беларусь почти 79 % населения проживает в условиях городской среды) значимость данной проблемы продолжает стремительно возрастать. Для ее решения необходима координация усилий специалистов из различных областей науки, при этом значимая роль должна отводиться и ботаникам.

Урбанофлора, как совокупность растительных видов, произрастающих в городской среде, является важным компонентом городской экосистемы. Она выполняет множество функций, таких как очистка воздуха, регулирование микроклимата, создание эстетического облика города и обеспечение биоразнообразия [2]. Следует отметить, что флорогенез в пределах урбанизированных территорий в значительной степени носит спонтанный характер и определяется множеством внешних факторов. Видовое богатство как интродуцированных, так и аборигенных растений демонстрирует выраженную корреляцию с такими параметрами, как климатические особенности региона, площадь населенного пункта и численность его населения [3]. Совокупное влияние этих факторов обусловливает высокое таксономическое разнообразие урбанофлоры, которое нередко превышает аналогичные показатели для природных флор территорий сопоставимых размеров.

Данная статья посвящена таксономическому анализу урбанофлоры города Пинска. Целью исследования является выявление особенностей ее видового разнообразия и таксономического состава.

Методика и объекты исследования. Город Пинск, общей площадью 50,48 км^2, расположен в центральной части Белорусского Полесья. Гидрографическая сеть региона формируется за счет реки Припять и ее левого притока – реки Пины. Рельеф местности обусловлен широким распространением аллювиальных отложений, приуроченных к поймам данных водотоков, вдоль русел которых наблюдаются обширные участки пойменных лугов и заболоченных территорий, играющих значительную роль в формировании локальной флоры. Климат Пинска классифицируется как переходный от морского к умеренно континентальному, характеризующийся сравнительно теплым и продолжительным летом, а также умеренно мягкой зимой. Средняя суточная температура января – -5,4 °С, а июля – около 19 °С. Годовое количество осадков в среднем достигает 600 мм. Продолжительность вегетационного периода составляет приблизительно 201 сутки. Преобладающими типами почв в северной части города являются дерново-подзолистые слабоглееватые почвы, сформированные на супесчаных и песчаных отложениях, в то время как на юге преобладают торфяно-болотные аллювиальные почвы.

Для установления современного видового состава урбанофлоры города Пинска были использованы результаты собственных флористических исследований, выполненных маршрутным методом в пределах городской территории в течение 2025 г. Эти данные были дополнены сведениями, заимствованными из специализированной научной литературы, материалами с портала iNaturalist.org [5], а также гербарны-

ми образцами из коллекций ведущих ботанических учреждений (LE, LW, MSK, MSKH, MSKU, MW). Распределение таксонов осуществлялось на уровне порядков, семейств, родов и видов, при этом семейства дополнительно сгруппированы по отделам и классам в соответствии с международной таксономической системой Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV).

С целью обеспечения комплексного учета флористического разнообразия города Пинска в общий список включены также виды растений, культивируемые в условиях открытого грунта. Однако, в соответствии с подходом Б. А. Юрцева, при проведении общего анализа флоры эти виды рассматривались отдельно как культурный компонент, поскольку смешение аборигенных, адвентивных и культивируемых видов может существенно исказить исторически и экологически обусловленные соотношения в местной флоре [6].

Результаты и их обсуждение. Полученные данные показывают, что флора сосудистых растений города Пинска насчитывает 703 вида, которые относятся к 397 родам, 94 семействам и 44 порядкам. В этот список включены все дикорастущие, дичающие и выращиваемые в открытом грунте растения. Аборигенная фракция флоры составляет 275 видов из 179 родов и 61 семейства. В свою очередь, 428 видов имеют адвентивное происхождение. Из них только 302 вида (193 рода, 49 семейств) спонтанно произрастают в городских условиях, а оставшиеся 126 видов (89 родов) известны исключительно в культуре.

Анализируя приведенные сведения, необходимо отметить достаточно высокую репрезентативность флоры города Пинска (703 спонтанно произрастающих вида из 1520 или 46,2 %) в сравнении с территорией Припятского Полесья (площадью 20 тыс. км^2), в пределах которого он находится. Представленность аборигенной фракции составляет 31,25 % (275 видов из 880), а адвентивной – 47,19 % (302 вида из 640).

Данные таблицы 1 демонстрируют, что, как и в естественных флорах умеренных широт, в городской флоре преобладают покрытосеменные (98,15 %) двудольные (75,53 %) растения. Высшие споровые растения из отделов *Lycopodiophyta*, *Equisetophyta* и *Polypodiophyta* демонстрируют крайне низкую видовую представленность – 0,14 %, 0,28 % и 0,57 % соответственно. Сокращение разнообразия споровых растений на урбанизированных территориях свидетельствует, в частности, о преобладании более южных флористических элементов в городской флоре, а в общем плане иллюстрирует затухание процесса видообразования в этих таксонах, что отражает современное состояние эволюции растительного мира [7].

Таблица 1 *– Состав крупных таксономических групп флоры города Пинска*

Отдел, класс	Количество видов	% от общего количества
Lycopodiophyta	1	0,14
Equisetophyta	2	0,28
Polypodiophyta	4	0,57
Pinophyta	10	1,42
Magnoliophyta, в т.ч.:	690	98,15
Magnoliopsida	531	75,53
Liliopsida	159	22,62
Всего	703	100

Однако, по сравнению с флорой Беларуси [8], в пределах города Пинска наблюдается более полное представительство отдела *Pinophyta* (1,42 %), где кроме апофитных (*Pinus sylvestris*, *Juniperus communis*) происходит пополнение его видового богатства за счет культивируемых видов из семейств *Pinaceae*, *Cupressaceae* и *Taxaceae,* широко используемых в городском озеленении. Рассмотрение головной части спектра ведущих по числу видов семейств аборигенной фракции (рисунок 1) показывает, что характерной ее особенностью являются бореально-температные черты, типичные для флор Голарктического флористического царства [9]. Об этом свидетельствует высокая видовая насыщенность семейств *Poaceae* (38 видов), *Asteraceae* (25), *Caryophyllaceae* (17), *Fabaceae* (12), *Ranunculaceae* (12) и некоторых других. Остальные семейства флоры города представлены единичными видами. Среди них отмечены представители таких семейств, как *Butomaceae*, *Cannabaceae*, *Ceratophyllaceae*, *Aristolochiaceae*, *Araceae*, *Balsaminaceae*, *Lythraceae*, *Juncaginaceae*, *Celastraceae*, *Urticaceae*, *Fagaceae* и др.

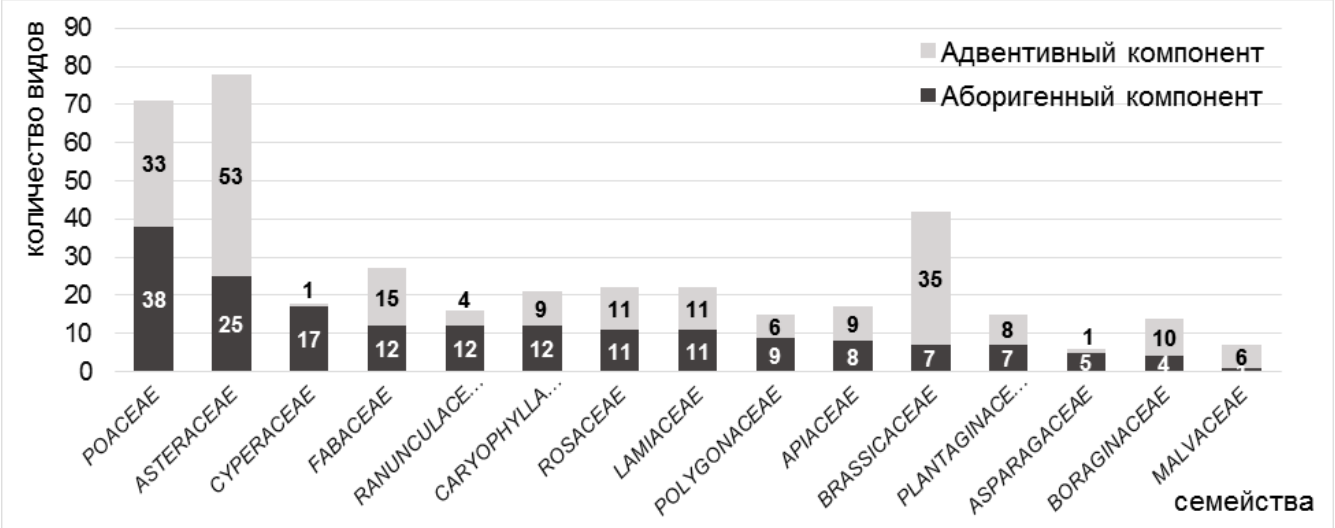


Рисунок 1 *– Спектр ведущих по числу видов семейств аборигенной и адвентивной фракции урбанофлоры города Пинска*

В родово-видом спектре (таблица 2) наибольшее разнообразие отмечено в гидрофильных элементах флоры, что подтверждается высокими позициями родов *Potamogeton* (9), *Juncus* (7), *Salix* (5). Также о бореально-температных чертах исследуемой флоры свидетельствует наличие типичных бореальных родов *Poa* (7), *Carex* (6), *Festuca* (3), *Sparganium* (3) и других. Нахождение в голове спектра родов *Trifolium* (6) и *Veronica* (4), наоборот, указывает на связь аборигенной флоры города с южной частью Европы (Средиземноморьем). Наличие вышеперечисленных бореальных и средиземноморских родов подчеркивает переходное положение исследуемой территории между северными и среднеевропейскими флористическими зонами.

Таблица 2 *– Спектр полиморфных родов флоры города Пинска*

Ранг	Аборигенная фракция			Адвентивная фракция			Культурная фракция		
	род	кол-во	%	род	кол-во	%	род	кол-во	%
1	*Potamogeton*	9	5,03	*Bromus*	6	3,11	*Allium*	7	7,86
2	*Poa*	7	3,91	*Papaver*	5	2,59	*Prunus*	6	6,74
3	*Juncus*	7	3,91	*Vicia*	5	2,59	*Clematis*	6	6,74
4	*Ranunculus*	7	3,91	*Artemisia*	5	2,59	*Tulipa*	4	4,49
5	*Trifolium*	6	3,35	*Atriplex*	5	2,59	*Berberis*	3	3,37
6	*Carex*	6	3,35	*Amaranthus*	5	2,59	*Lilium*	3	3,37
7	*Rumex*	6	3,35	*Sisymbrium*	5	2,59	*Narcissus*	3	3,37
8	*Salix*	5	2,79	*Eragrostis*	4	2,07	*Crocus*	3	3,37
9	*Veronica*	4	2,23	*Setaria*	4	2,07	*Hosta*	2	2,25
10	*Galium*	4	2,23	*Malva*	4	2,07	*Juniperus*	2	2,25
11	*Persicaria*	3	1,68	*Potentilla*	4	2,07	*Muscari*	2	2,25
12	*Agrostis*	3	1,68	*Silene*	3	1,55	*Tagetes*	2	2,25
13	*Festuca*	3	1,68	*Lolium*	3	1,55	*Iris*	2	2,25
14	*Cerastium*	3	1,68	*Solanum*	3	1,55	*Fritillaria*	2	2,25
15	*Sparganium*	3	1,68	*Veronica*	3	1,55	*Delphinium*	2	2,25
Всего		76	42,46		64	33,16		49	55,06

Адвентивный компонент флоры (рисунок 1) характеризуется теми же ведущими семействами, разница заключается лишь в их видовом богатстве и, соответственно, положении в спектре. К особенностям данной фракции флоры относится также более высокая представленность теплолюбивых семейств *Brassicaceae* (35), *Amaranthaceae* (24), *Boraginaceae* (10) и *Polygonaceae* (6), большинство представителей которых являются сорными и рудеральными растениями чужеродного происхождения.

Среди спонтанно произрастающих чужеродных таксонов не выявлено родов с явным доминированием по видовому составу. Наибольшее разнообразие демонстрирует европейский род *Bromus*, включающий 6 видов. Значительную роль в сложении городского фиторазнообразия также играют роды *Eragrostis*, *Malva*, *Panicum*, *Papaver*, *Plantago*, *Silene*, *Veronica*, *Lolium* и другие, представленные преимущественно сорными и рудеральными видами ирано-туранского и средиземноморского происхождения.

Характерные черты таксономического спектра культурной фракции флоры заключаются в том, что на ведущих позициях находятся такие семейства, как *Amaryllidaceae* (11), *Liliaceae* Juss. (9), *Iridaceae* (5), *Crassulaceae* (2) и некоторые другие, представители которых в Беларуси представлены в основном культивируемыми растениями.

Заключение. Таким образом, по тройке ведущих семейств урбанофлору Пинска можно отнести к *Cyperaceae*-типу. В целом, в городской экосистеме количество аборигенных видов постепенно сокращается вследствие трансформации природной геосреды в урбанизированную. Однако за счет адвентивного компонента флоры (428 видов, или 60,88 %) сохраняется общее видовое разнообразие, поддерживающее ее динамическое равновесие. Репрезентативность всех рассматриваемых семейств в условиях урбанизации в целом согласуется с их экологическими предпочтениями: значение термоксерофильных семейств (*Fabaceae*, *Amaranthaceae*, *Apiaceae*) и семейств, тяготеющих к экстремальным условиям обитания (*Asteraceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae*, *Rosaceae*), в городской флоре возрастает. В то же время роль гигрофильных и термофобных семейств (*Caryophyllaceae*, *Onagraceae*) падает. Отдельные показатели, не согласующиеся с общей тенденцией, можно объяснить или значительным процентом одичавших интродуцентов из данных семейств (например, *Lamiaceae*), или малым числом видов, «теряющихся» на фоне других крупных семейств.

Список использованных источников

1. Ильминских, Н. Г. Обзор работ по флоре растительности городов / Н. Г. Ильминских // Географический вестник. – 2011. – № 1. – С. 49–65.

2. Султангазина, Г. Ж. Таксономический анализ урбанофлоры города Костанай / Г. Ж. Султангазина, С. В. Оджахвердиева // Вестник КГПИ. – 2024. – № 4(76). – С. 79–84.

3. Урбанофлористика в России: современное состояние и перспективы / А. С. Третьякова, О. Г. Баранова, С. А. Сенатор [и др.] // Turczaninowia. – 2021. – Т. 24, № 1. – С. 125–144.

4. Нацыянальны атлас Беларусі / Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэсп. Беларусь. – Мінск : Белкартаграфія, 2002. – 292 с.

5. Flora of Pinsk // A Community for Naturalists [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.inaturalist.org/projects/flora-of-pinsk. – Дата доступа : 01.08.2025.

6. Мялик, А. Н. Видовое разнообразие и особенности таксономического состава флоры Припятского Полесья / А. Н. Мялик // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2022. – № 2. – С. 29–39.

7. Лукаш, О. В. Флора судинних рослин Східного Полісся: історія дослідження : конспект / О. В. Лукаш. – Київ : Фітосоціоцентр, 2008. – 436 с.

8. Козловская, Н. В. Флора Белоруссии, закономерности ее формирования, научные основы использования и охраны / Н. В. Козловская. – Минск : Наука и техника, 1978. – 128 с.

9. Толмачев, А. И. Введение в географию растений / А. И. Толмачев. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 244 с.

10. Мялик, А. Н. Современная структура и тенденции антропогенной трансформации флоры Припятского Полесья : автореф. дис. … канд. биол. наук : 03.02.01 / А. Н. Мялик ; Ин-т эксперим. бот. им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск, 2022. – 31 с.

ASSESSMENT OF SPECIES DIVERSITY OF THE URBAN FLORA OF THE CITY OF PINSK AND ITS TAXONOMIC ANALYSIS

M. M. Vabishchevich

The article presents the results of taxonomic analysis of the urban flora of the city of Pinsk, including 275 species from 179 genera and 61 families of the aboriginal fraction, 428 species are of adventive origin. Of these, only 302 species (193 genera, 49 families) spontaneously grow in urban conditions, and the remaining 126 species (89 genera) are known exclusively in culture. The obtained family and generic spectra allow us to characterize the typological features of the urban flora of Pinsk and serve as a basis for further ecological and botanical studies of this territory.

УДК 628.4.04

СОСТАВ И СВОЙСТВА ОРГАНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ КОМПОСТИРОВАНИЯ

А. Н. Гапонюк[1], А. С. Антонюк[1], Н. Ф. Терлецкая[1], Е. А. Брыль[1], И. Г. Марзан[1], Е. Ю. Мацука[2]

[1]Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2]КУМОП ЖКХ «Барановичское городское ЖКХ», г. Барановичи, Беларусь

В статье анализируются физико-химические показатели органогенных отходов в контексте возможности их применения для компостирования.

Ключевые слова: органогенные отходы, компостирование, элементы питания.

Введение. Проблема отходов является острейшей экологической проблемой современности. Согласно Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 г., важным направлением деятельности при обращении с отходами является рациональное использование природных ресурсов путем предотвращения их образования и максимального возможного извлечения компонентов, содержащихся в отходах, вовлечение их в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья, что имеет важное экологическое, экономическое и энергосберегающее значение [1, 2].

Данная стратегия предусматривает следующие приоритетные направления при обращении с различными видами отходов:

– использование вторичных материальных ресурсов;
– получение RDF-топлива;
– компостирование.

По данным Республиканского научно-исследовательского унитарного предприятия «БелНИЦ «Экология», в Беларуси в 2024 г. образовалось более 59 млн т отходов разных видов. Из них отходов производства – 55,6 млн т, твердых коммунальных отходов (ТКО) – 4,3 млн т, из которых около 15 % по массе – это биологические отходы, пригодные для компостирования.

Исходя из состава и свойств определенных видов отходов, для их утилизации могут применяться соответствующие технологии переработки с получением полезной продукции и ее дальнейшим применением в различных отраслях народного хозяйства. Интерес к отходам, как ко вторичному материальному ресурсу с многокомпонентным составом органической природы, предопределен их сродством органическому веществу почвы.

В мировой практике по обращению ТКО вторым по распространенности после сжигания является метод компостирования, при котором происходит биохимическое разложение органической фракции отходов. Получаемый компост рекомендуется использовать как органическую составляющую при разработке почвогрунтов и рекультивантов [3]. Согласно [1], к 2035 г. уровень использования органической части ТКО должен составить 23 %, а в натуральном выражении – не менее 535 тыс. т.

Остатки растений в виде опавшей листвы, травы, плодов не являются источниками загрязнения окружающей среды, поскольку они могут многократно включаться в биотический круговорот [4]. В процессе компостирования максимально сохраняются биогенные элементы (в первую очередь азот), повышается их доступность для растений, погибают патогенные микроорганизмы, яйца и личинки гельминтов, семена сорных растений. В качестве сырья для производства компоста могут использоваться любые отходы растительного происхождения: трава, сено, пищевые отходы (кожура овощей и фруктов, кофейная гуща, чай и др.), солома, фрукты, кукурузные початки, листья, сучья и ветви, сорняки, кора, корни, измельченная древесина, опилки. При этом для компостирования нельзя использовать мясные и молочные отходы, рыбу, пищевой жир, угли, кости, растительные материалы, обработанные пестицидами, части растений, пораженные грибными, бактериальными или вирусными заболеваниями. Кроме того, сырье, используемое для приготовления компоста, не должно содержать отходы нерастительного происхождения, в т.ч. неподдающиеся биологическому разложению (пластмассу, стекло, металл и др.) [4].

Необходимо отметить, что поступающие на полигоны ТКО содержат в себе около 35–40 % органики. В городском жилищно-коммунальном хозяйстве при проведении ежегодных сезонных работ по уходу за зелеными насаждениями образуется большое количество растительных остатков, в том числе опавшей листвы и скошенной травы, которые могут быть использованы в качестве ценнейших природных органических удобрений за счет высокого содержания в растительных клетках минеральных компонентов.

Цель исследований – установить состав и свойства органогенных отходов для определения возможности их компостирования с получением полезной продукции – субстратов питательных в качестве модификаторов почв при озеленении городских территорий.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований являлись неопасные отходы Коммунального унитарного многоотраслевого предприятия жилищно-коммунального хозяйства «Барановичское городское жилищно-коммунальное хозяйство» (КУМОП ЖКХ «Барановичское городское ЖКХ»), пригодные для компостирования:

– растительные отходы от уборки городских территорий, садов, парков, мест погребения и иных озелененных территорий;

– измельченные древесные отходы – сучья, ветви, вершины;

– щепа после дробления отходов древесины (негодная на топливо).

Аналитические исследования отходов проводились в аккредитованных лабораториях Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси.

Результаты. КУМОП ЖКХ «Барановичское городское ЖКХ» в результате раздельного сбора коммунальных отходов выделены и накоплены имеющиеся для утилизации путем компостирования исходные компоненты – органогенные отходы в свежем виде, а также после длительного хранения с различной степенью разложения: листва, растительность после ухода за газонными насаждениями, щепа дробленая, негодная на топливо. Для оценки состава отходов и определения свойств, важных для получения качественных питательных субстратов в процессе компостирования, проведен их комплексный химический анализ (таблица 1).

При оценке полученных данных установлено, что кислотность (pH_{KCl}) в исследуемых отходах изменялась от 5,2 до 8,2 ед. pH. Отмечено, что в отходах после длительного хранения кислотность изменяется в сторону щелочной среды (7,6–8,2 ед. pH).

Содержание общего азота, фосфора и калия существенно отличалось по видам исследуемых органогенных отходов. Так, в листве после длительного хранения в процессе разложения содержание азота снижается (0,8 % в сухом веществе), а в щепе наоборот – увеличивается (3,2 % в сухом веществе). Содержание азота в исходных компонентах необходимо для расчета соотношения C/N в процессе компостирования. Среди исследуемых отходов источниками азота при компостировании, с наибольшим его содержанием, будут являться растительность (смесь скошенной газонной травы и листвы) и щепа. Аналогичная ситуация наблюдается и по содержанию фосфора и калия в листве и щепе. Отмечено, что по наличию ценных удобрительных веществ исследуемые отходы соответствуют требованиям нормативных документов и могут быть применены в качестве субстратов для компостирования.

***Таблица 1** – Химический состав исходных компонентов – органогенных отходов для компостирования*

Вариант	Кислотность, pH в KCl, ед.	Массовая доля общего азота, %	Массовая доля фосфора, %	Массовая доля калия, %
Листва свежая	5,2	0,95[1] / 1,09	0,31 / 0,35	0,76 / 0,87
Листва перегнившая[2]	7,8	0,51 / 0,84	0,17 / 0,28	0,20 / 0,33
Растительность[3]	5,9	1,33 / 1,51	0,32 / 0,36	0,37 / 0,42
Щепа свежая	6,3	1,09 / 2,0	0,19 / 0,35	0,26 / 0,48
Щепа перегнившая	8,2	1,28 / 3,22	0,44 / 1,11	0,43 / 1,08
Щепа полуперегнившая[4]	7,6	1,00 / 2,35	0,33 / 0,78	0,27 / 0,63
Норматив по ГОСТ 34102–2017 [5]	5,5 – 8,0	не менее 0,3	не менее 0,2	не менее 0,3
Норматив по ГОСТ 33830–2016 [6]	6,0 – 8,5	не менее 0,3	не менее 0,2	не менее 0,2

Примечание: 1 – в числителе – содержание элемента на естественную влажность, в знаменателе – содержание элемента в сухом веществе; 2 – степень разложения компонента 100 %; 3 – компонент «Растительность» включает скошенную газонную траву и листву, убранные в летний период; 4 – степень разложения компонента 50 %.

Полученные данные анализа физическо-химических свойств органогенных отходов представлены в таблице 2. Влажность исходных компонентов изменялась от 12,46 % до 60,25 %, причем видно, что в компонентах длительного хранения влажность существенно выше, чем в сухих свежих компонентах.

Наибольшее содержание органического вещества отмечено в листве (40,47 %), растительности (43,58 %) и щепе (47,0 %). По данному показателю установлено соотношение C/N, исходя из полученных данных по содержанию азота и углерода в органическом веществе.

Содержание органического углерода служит показателем обеспеченности грунта органическим веществом и энергией, необходимыми для функционирования биологической фазы и обеспечивающих устойчивость субстрата к неблагоприятным факторам. Содержание азота показывает степень разложения органических остатков в грунтах и определяет их агрохимическую ценность.

***Таблица 2** – Физическо-химические свойства органогенных отходов для компостирования и соотношение C/N*

Исходный компонент	Влажность, %	Сухое вещество, %	Зольность, %	Органическое вещество в расчете на С, %	C/N
Листва свежая	12,46	87,54	19,06	40,47	37
Листва перегнившая	39,4	60,6	69,93	15,03	18
Растительность	11,67	88,33	12,84	43,58	29
Щепа свежая	45,52	54,48	6,00	47,0	24
Щепа перегнившая	60,25	39,75	67,56	16,22	5
Щепа полуперегнившая	57,53	42,47	45,4	27,3	12

Результаты исследований свидетельствуют, что источниками углерода в большей степени являются листва и растительность.

Заключение. Органогенные отходы КУМОП ЖКХ «Барановичское городское ЖКХ» по своему составу и свойствам обладают высокой удобрительной ценностью как источники азота, фосфора, калия и в полной мере пригодны для компостирования с получением субстратов (грунтов питательных) в качестве модификаторов почв для озеленения городских территорий.

Список использованных источников

1. Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 28.07.2017 г. № 567 // Официальный интернет-сайт Совета Министров Респ. Беларусь. – Режим доступа : http://www.government.by/upload/docs/filea1a9a20a06fc7fe5.PDF. – Дата доступа : 10.03.2025.

2. Стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь (в редакции Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 26 июня 2020 года № 373 [Электронный ресурс]: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 26 июня 2020 года № 373 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Дата доступа : 10.03.2025.

3. Багданос, В. В. Возможное применение наилучших доступных технологий на полигонах ТКО / В. В. Багданос, И. О. Тихонова // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017: Сб. статей по материалам науч.-пр. конф. с международным участием / г. Севастополь (11–15 сентября 2017 г.). – Севастополь, 2017. – С. 123–125.

4. Дубовец, Д. Л. Компостирование растительных отходов / Д. Л. Дубовец // Экология на предприятии, 2020. – № 2(104).

5. ГОСТ 34102–2017 Удобрения органические на основе органогенных отходов растениеводства и предприятий, перерабатывающих растениеводческую продукцию. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2017. – 11 с.

6. ГОСТ 33830–2016 Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2016. – 11 с.

COMPOSITION AND PROPERTIES OF ORGANOGENIC WASTE FROM HOUSING AND MUNICIPAL SERVICES ENTERPRISES AND PROSPECTS FOR THEIR USE FOR COMPOSTING

A. N. Gaponyuk, A. S. Antonyuk, N. F. Terletskaya, A. A. Bryl, I. G. Marzan, E. Yu. Matsuka

The article analyzes the physical and chemical properties of organogenic waste with a view to the possibility of their use for composting.

УДК 581.1

НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ АНТИОКСИДАНТЫ ГОЛОСЕМЕННЫХ В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТАХ

С. В. Горелова[1], К. И. Чаадаева[1], А. П. Колбас[2,3]

[1] Тульский государственный педагогический университет имени Л. Н. Толстого, г. Тула, Россия
[2] Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[3] Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Изучено содержание компонентов антиоксидантной системы (АОС) – низкомолекулярных антиоксидантов аскорбиновой кислоты (АК), глутатиона (GSH) и каротиноидов у пяти видов голосеменных интродуцентов в условиях интенсивного техногенного загрязнения. Показано, что на почвах санитарно-защитных зон автомагистралей в июле содержание АК в хвое голосеменных варьирует от 0,28 до 1,15 мг/г, содержание GSH – от 0,55 до 1,54 мг/г, содержание каротиноидов – от 0,10 до 0,20 мг/г. Наиболее приспособленной к стрессовым условиям городских экосистем системой низкомолекулярных антиоксидантов является сосна горная.

Ключевые слова: низкомолекулярные антиоксиданты, голосеменные, урболандшафты.

Введение. Зеленые растения играют важнейшую роль в экосистеме города: помимо поглощения углекислого газа, выработки кислорода и образования органического вещества в процессе фотосинтеза, они играют средообразующую роль, образуя зеленые островки отдыха, регулируя водный, ветровой и тепловой режим. Обладают способностью поглощать из почвы токсичные соединения и аккумулировать их в многолетних органах. Многие из них, в частности, голосеменные, являются источниками фитонцидов, снижающих содержание патогенной микрофлоры в атмосферном воздухе. Хвойные растения используются для создания ландшафтных композиций и изучение их жизненности, выживаемости и физиолого-биохимических процессов при адаптации к загрязнению среды поллютантами, является важным шагом к определению набора наиболее устойчивых видов и сортов для городского строительства.

Под влиянием развития промышленного производства, его усиленной работы, высокой нагрузки автотранспортной эмиссии меняются геохимические характеристики городских ландшафтов, на которых формируются особые типы почв – хемоземы, мало пригодные для роста и развития растений, часто содержащие высокие концентрации токсичных элементов, которые влияют на физиолого-биохимические процессы в растениях и приводят к развитию окислительного стресса [1–7]. Как следствие снижается жизненность особей, что проявляется в развитии некрозов и хлорозов, появлении сухих ветвей в кроне, раннем отмирании листьев у цветковых растений и хвои у голосеменных, нарушении фотосинтетических процессов, вследствие чего снижается первичная продукция урбоэкосистем [1].

Предотвращение нарушений метаболизма, связанных с окислительным повреждением жизненно важных компонентов клеток и целых органов, возможно благодаря наличию в растениях системы антиоксидантной защиты (АОС), особое место в которой занимают низкомолекулярные антиоксиданты: аскорбиновая кислота (АК), глутатион (GSH), токоферол, каротиноиды, фенольные соединения.

Аскорбиновая кислота – уникальное полифункциональное соединение. Обладая способностью обратимо окисляться и восстанавливаться, она принимает участие в важнейших энергетических процессах растительной клетки – фотосинтезе и дыхании [8]. Регулирует процессы роста, развития, водный обмен за счет стимуляции ферментативной активности [9]. АК является признанным антиоксидантом, благодаря способности донировать электроны и атомы водорода, используемые для восстановления перекиси водорода и других свободнорадикальных продуктов [10]. Одним из проявлений активного иммунитета растений является нормальное или повышенное образование в них АК [9]. В ранее проведенных исследованиях установлено, что выработка АК древесными растениям в городской среде может увеличиваться у одних видов и угнетаться у других [3, 4, 6]. Пул восстановленной аскорбиновой кислоты зависит от присутствия других низкомолекулярных антиоксидантов. Одним из них является глутатион. GSH способен связывать и нейтрализовать токсичные вещества, такие как тяжелые металлы, пестициды и другие химические соединения. В связке с АК глутатион образует аскорбат-глутатионовую систему. В ходе окислительного стресса количество окисленного глутатиона резко увеличивается и вслед за этим активируется синтез его восстановленных форм. Вместе с АК он восстанавливает токсероксильные радикалы, перекись водорода, обезвреживает вторичные метаболиты окислительного обмена.

Уровень восстановленных АК и GSH не только определяет антиоксидантный статус растения, позволяя ему бороться с окислительным стрессом и выживать в урбоэкосистеме в условиях загрязнения воздуха и почв токсичными элементами, но и может являться маркерным признаком степени загрязнения среды.

Материалы и методы. Изучение содержания низкомолекулярных антиоксидантов в хвое голосеменных проводилось в одном из промышленных центров РФ – городе Тула, характеризующемся высоким уровнем промышленного загрязнения вследствие того, что на его территории расположено большое количество предприятий металлургической, металлоперерабатывающей, машиностроительной, химической, топливно-энергетической и оборонной промышленности. Почвы города характеризуются загрязнением такими элементами, как Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb. Аномально высокие значения относительно средних по РФ и миру выявлены для Fe. За последние 10 лет концентрация токсичных элементов в почве г. Тула увеличилась более чем в 2 раза: средний показатель суммарного загрязнения почв города Zc=39,4. 27 % почв города характеризуются умеренно-опасным, 19 % – опасным и чрезвычайно опасным уровнями загрязнения. Полиэлементным загрязнением характеризуются около 40 % изученных городских почв [11].

Объектами исследования стали 5 видов отдела Голосеменные (Gimnospermae) двух ботанических семейств, наиболее распространенные в модельной урбоэкосистеме:

• Сосновые (Pinaceae): ель обыкновенная *Picea abies;* интродуценты – ель колючая *Picea pungens Glauca*, сосна горная *Pinus mugo;*

• Кипарисовые (Cupressaceae): можжевельник скальный *Juniperus scopulorum Skyrocket*, туя западная *Thuja occidentalis var. Smaragd, var. Globosa, var. Aureospicata.*

Пробоотбор растительного материала для биохимических исследований проводился в первой декаде июля на пике физиологической активности в относительно жаркую неделю (28–35 ^{0}C) в санитарно-защитной зоне двух основных магистралей города – на улице Советская и проспекте Ленина. Контрольные образцы отбирались в условно чистой зоне – Центральном парке культуры и отдыха (ЦП), где превышения ПДК и ОДК по основным элементам-загрязнителям в почве не обнаружено.

Для биохимических исследований отбирались ветви с 1–2-летней хвоей. Определение содержания АК, глутатиона и каротиноидов вели в день пробоотбора на свежем растительном материале. Определение каротиноидов проводилось спектрофотометрически в спиртовой вытяжке (96 % спирт) с использованием кювет толщиной 1 см. Расчет содержания каротиноидов в растительном материале проводился по формулам (Lichtentaller et al.) [12]. Содержание АК и глутатиона определяли стандартными методами – титриметрическим методом с 2,6-дихлорфенолиндофенолом (2,6-ДХФИФ) и йодометрией [13].

Результаты и обсуждение. Анализ содержания низкомолекулярных антиоксидантов в 5 видах голосеменных растений показал, что содержание АК в условиях контрольной зоны – центрального парка в разных сортах туи западной варьирует от 0,53 до 0,65 мг/г сырой массы. При этом в посадках санитарно-защитной зоны содержание АК в хвое и молодых побегах туи западной снижается до 0,30–0,49 мг/г сырой массы у таких сортов, как *Smaragd* и *Aureospicata* (таблица 1). У туи западной сорт *Globosa* содержание АК в хвое на загрязненных почвах увеличивалось на 16 % по сравнению с контролем. Такая же тенденция выявлена для сосны горной: содержание АК в ее хвое увеличивалось в СЗЗ автомагистрали, загрязненной Mn и Zn на 17 %. У остальных исследованных видов интродуцентов – можжевельника скального и ели колючей – содержание АК уменьшалось в загрязненной СЗЗ автодорог по сравнению с контрольной зоной на 36 и 50 % соответственно. При этом в целом у ели колючей в условно чистой зоне ЦПКиО содержание АК было выше, чем у ели обыкновенной на 50 %, а содержание АК в хвое в условиях техногенного загрязнения приравнивалось к содержанию в ели обыкновенной. Такой исходно высокий уровень АК у интродуцента – ели колючей – по сравнению с адвентивным видом (елью обыкновенной) позволяет сдерживать окислительный стресс даже при падении уровня содержания антиоксиданта. Существенного изменения уровня АК у ели обыкновенной в условиях техногенного загрязнения не выявлено (таблица 1).

Содержание глутатиона у туи западной в условно чистой зоне варьирует в пределах 1,15–1,31 мг/г и так же как АК снижается у двух сортов *Smaragd* и *Aureospicata* в условиях интенсивного техногенного загрязнения СЗЗ автомагистрали до 0,55–0,92 мг/г – на 20–52 % (таблица 1). Судя по убыванию содержания низкомолекулярных антиоксидантов в достаточно устойчивом и имеющем хорошую жизненность сорте туи западной Смарагд, наиболее загрязненной является точка пробоотбора ул. Советская. У сорта туи западной *Globosa* и сосны горной наблюдается та же тенденция, что с АК: содержание GSH несколько увеличивается при техногенном загрязнении почв, при этом увеличение незначительно у туи западной шаровидной (до 5 %) и значительно у сосны горной – до 115 %. В хвое ели колючей и в хвое и побегах можжевельника скального содержание GSH меньше в условиях интенсивного техногенного загрязнения на 16 и 32 % соответственно. У синантропного вида ели обыкновенной содержание GSH в условиях СЗЗ автомагистрали.

В целом, содержание АК в хвое исследованных голосеменных сопоставимо с ее содержанием у лиственных пород [4], которое варьирует от 0,12 до 0,75 мг/кг в условно чистой зоне. Однако ниже, чем у

молодых лиственных растений в городском озеленении в СЗЗ автомагистралей, которое согласно нашим исследованиям варьирует от 1,2 до 2,5 мг/г.

Полученные значения содержания АК в хвое ели обыкновенной города Тулы в несколько раз ниже, чем значения, полученные для Московского региона – 7,3–7,6 мг/г [14]. Возможно, такая разница в полученных результатах связана с примененной в исследовании авторов менее точной методики определения – йодометрии, либо обусловлено сильным загрязнением модельной урбоэкосистемы г. Тулы.

Каротиноиды – фотосинтетические пигменты, компоненты светособирающих комплексов растений, которые в связи с особенностями своей структуры (наличие двух β-иононовых колец и сопряженных σ-π-связи) не только участвуют в поглощении света в световой фазе фотосинтеза, но и защищают молекулы хлорофилла от активных форм кислорода. Кроме того, играют защитную роль как антиоксиданты в липидной фазе мембран [15]. Являясь источником витамина А, каротиноиды участвуют в защите сетчатки глаза от деструкции. Кроме того, показано, что они обладают антиканцерогенными, антимутагенными, иммуномодулирующими, антиоксидантными свойствами и могут быть использованы для снижения токсичности базовой терапии и повышения эффективности лечения при онкозаболеваниях [16].

Изучение содержания каротиноидов в хвое голосеменных техногенно загрязненной урбоэкосистемы г. Тулы показало, что их количество в июле варьирует от 0,1 до 0,2 мг/г и повышается в условиях техногенного загрязнения почв у таких видов, как туя западная var. *Globosa* и *Smaragd* от 17 до 23 %, у туи *Smaragd* до 38 %, у туи *Globosa* (таблица 1). При этом содержание каротиноидов у имеющей желтоокрашенные концы побегов туи западной *Aureospicata* ниже, чем у зеленоокрашенных сортов от 1,5 до 3 раз и снижается в условиях СЗЗ автомагистралей по сравнению с условно чистой зоной на 42 %.

У двух исследованных видов голосеменных – ели колючей и сосны горной – количество каротиноидов существенно не изменяется при полиэлементном загрязнении почв (таблица). У можжевельника скального, ели обыкновенной содержание каротиноидов возрастает в СЗЗ автомагистрали по сравнению с УЧЗ центрального парка на 6 и 42 % соответственно. Таким образом, у большинства изученных видов и сортов, за исключением туи западной *Aureospicata,* сосны горной и ели колючей, каротиноиды являются защитными компонентами антиоксидантной системы в условиях техногенного загрязнения.

***Таблица** – Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в хвое голосеменных в условиях интенсивного техногенного загрязнения*

Вид/сорт	Точка пробоотбора	С АК, мг/г	С GSH мг/г	С кар., мг/г
Туя западная *Globosa*	ЦП	0,54	1,31	0,098
	Советская	0,63	1,38	0,136
Туя западная *Smaragd*	ЦП	0,53	1,15	0,159
	пр. Ленина	0,44	0,92	0,187
	Советская	0,30	0,55	0,197
Туя западная *Aureospicata*	ЦП	0,65	1,24	0,100
	Советская	0,39	0,62	0,058
Сосна горная	ЦП	0,28	0,23	0,140
	пр. Ленина	0,33	0,49	0,142
Можжевельник скальный *Skyrocket*	ЦП	0,71	1,34	0,188
	Советская	0,45	0,90	0,199
Ель обыкновенная	ЦП	0,53	1,11	0,132
	пр. Ленина	0,54	1,50	0,190
Ель колючая	ЦП	1,15	1,54	0,177
	пр. Ленина	0,58	1,29	0,172

Исходя из полученных данных, можно заключить, что наиболее совершенной системой низкомолекулярных антиоксидантов из всех изученных голосеменных отличается сосна горная, что обусловливает ее высокую витальность в санитарно-защитной зоне автомагистралей урбоэкосистем. Несмотря на то, что туя западная *Smaragd*, ель колючая *Glauca* и можжевельник скальный *Skyrocket* имеют хорошую жизнен-

ность, ресурсы антиоксидантной системы этих видов исчерпываются при полиэлементном загрязнений почв и могут привести к выпадению особей из зеленых насаждений с течением времени. Туя западная *Aureospicata* является наименее приспособленным к техногенно загрязненным ландшафтам сортом.

Список использованных источников

1. Бухарина, И. Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И. Л. Бухарина, Т. М. Поварницина, К. Е. Ведерников // Монография. – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.

2. Черненькова, Т. В. Реакция лесной растительности на промышленные загрязнения / Т. В. Черненькова. – М. : Наука, 2002. – 191 с.

3. Горелова, С. В. Низкомолекулярные антиоксиданты: аскорбиновая кислота и глутатион в листьях кустарников в условиях полиметаллического загрязнения / С. В. Горелова, А. Ю. Харихонов, Е. В. Меньшикова // Биология – наука XXI века, Пущино (21–26 апреля 2013): Сборник тезисов. – С. 520–521.

4. Гарифзянов, А. Р. Сравнительный анализ активности компонентов антиоксидантной системы древесных растений в условиях техногенного стресса / А. Р. Гарифзянов, С. В. Горелова, В. В. Иванищев, Е. Н. Музафаров // Известия ТулГУ. Естественные науки. Вып. 1. – Тула : изд-во ТулГУ, 2009. – С. 166–179.

5. Гарифзянов, А. Р. Роль низкомолекулярных антиоксидантов в устойчивости древесных растений в техногенно загрязненной среде / А. Р. Гарифзянов, С. В. Горелова, В. В. Иванищев // Аграрная Россия. Спец. вып.: материалы междунар. научно.-практ. конф. «Актуальные проблемы дендрологии и адаптации растений». – М. : Лесная промышленность, 2009. – С. 116–118.

6. Майдебура, И. С. Уровень аскорбиновой кислоты древесных растений как тест на загрязнение воздушной среды / Г. Н. Чупахина, И. С. Майдебура // Наука и образование 2005: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Мурманск, 614 апреля 2005 г.). – Мурманск : МГТУ, 2005. – Ч. 5. – С. 277–280.

7. Майдебура, И. С. Влияние загрязнения воздушного бассейна города Калининграда на анатомоморфологические и биохимические показатели древесных растений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / И. С. Майдебура. – Калининград : Изд-во Российского государственного университета им. Иммануила Канта, 2006. – 23 с.

8. Arrigoni, O. Ascorbate System and Plant Development / O. Arrigoni // J. Bioenerg. – Biomembr, 1994. – V. 26. – P. 407–419.

9. Чупахина, Г. Н. Система аскорбиновой кислоты растений / Г. Н. Чупахина. – Калининград : Калининградский государственный университет, 1997. – С. 135–150.

10. Полесская, О. Г. Растительная клетка и активные формы кислорода / О. Г. Полесская. – М., 2007. – 144 с.

11. Горбунов, А. В. Мониторинг аккумуляции и распределения токсичных элементов в почвах г. Тулы 2013–2019 годы / А. В. Горбунов, С. В. Горелова, С. М. Ляпунов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 2. – С. 3–13.

12. Горелова, С. В. Лабораторные работы по дисциплине «Физиология растений»: учеб.-методическое пособие / С. В. Горелова, Е. М. Волкова. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2021. – 117 с.

13. Физиологические и биохимические методы анализа растений: практикум / Калининград. ун-т; Авт-сост. Г. Н. Чупахина. – Калининград, 2009. – С. 22–23.

14. Лебедева, Д. Д. Перспективы использования хвойных растений Московского региона в качестве биобезопасного источника аскорбиновой кислоты / Д. Д. Лебедева, Н. А. Трусов, Е. В. Соломонова, Т. Д. Ноздрина, Т. П. Меер // Вестник Курской государственной с/х академии. – 2018. – С. 31–35.

15. Маслова, Т. Г. Функции каротиноидов в листьях высших растений / Т. Г. Маслова, Е. Ф. Марковская, Н. Н. Слемнев // Журнал общей биологии. – 2020. – Т. 81. – № 4. – С. 297–310.

16. Шашкина, М. Я. Роль каротиноидов в профилактике наиболее распространенных заболеваний / М. Я. Шашкина, П. Н. Шашкин, А. В. Сергеев // Лекарственная терапия. – 2010. – Т. 9. – № 1. – С. 77–86.

LOW MOLECULAR WEIGHT ANTIOXIDANTS OF GYMNOSEMAE IN TECHNOGENICALLY POLLUTED URBAN LANDSCAPES

S. V. Gorelova, K. I. Chaadaeva, A.P. Kolbas

The content of antioxidant system (AOS) components – low-molecular antioxidants ascorbic acid (AA), glutathione (GSH) and carotenoids in five introduced gymnospermae species under conditions of intensive technogenic pollution was studied. It was shown that in July, on the soils of sanitary protection zones of highways, the AA content in the needles gymnospermae varied from 0.28 to 1.15 mg/g, the GSH content – from 0.55 to 1.54 mg/g, and the carotenoids content – from 0.10 to 0.20 mg/g. Mountain pine has the best adapted low-molecular antioxidants system to stressful conditions of urban ecosystems.

УДК 574.2:316.6

ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ ПОВЕДЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ)

Г. З. Гуцева[1], Н. В. Телицына[2]

[1]Институт радиобиологии НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь
[2]Средняя школа № 194 г. Минска имени В. С. Гризодубовой, г. Минск, Беларусь

В статье представлена оценка самосохранительного поведения населения районов, загрязненных радионуклидами в результате катастрофы на ЧАЭС, в условиях воздействия излучений различной природы, проведенная на основе анализа результатов социологических исследований.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, неионизирующее излучение, поведенческие практики, респонденты.

Введение. Интенсивное развитие электротехники, радио, телевидения, сотовой связи, использование электромагнитных полей различных частот приводит к значительному увеличению уровней неионизирующего (электромагнитного) излучения. По оценкам экспертов, за последние 10–15 лет уровень электромагнитных полей в наших квартирах увеличился в 5–6 раз. Кроме того, в республике около миллиона жителей живут в условиях радиационного загрязнения окружающей среды в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС и подвергаются действию ионизирующего (радиационного) излучения. Радиационная катастрофа и требования безопасности внесли существенные коррективы в привычный образ и уклад жизни людей, передающийся из поколения в поколение в рамках семейных традиций и повседневно-бытовых практик. Одним из наиболее пострадавших регионов в результате катастрофы на ЧАЭС является регион Белорусского Полесья, жители которого в настоящее время подвергаются действию как ионизирующего, так и неионизирующего излучений.

Излучения окружают нас повсюду, однако они не фиксируются органами чувств человека, чем усугубляется опасность их воздействия. Последствия загрязнения территорий радионуклидами, а также интенсивное развитие информационных технологий обусловливают все более широкое распространение несамосохранительного поведения населения в социальном пространстве в целом и хозяйственной жизни в частности, в особенности это касается подрастающего поколения. В условиях увеличивающейся лучевой нагрузки важно формировать и совершенствовать экологическую культуру поведения населения в целях минимизации рисков воздействия излучений различной природы на здоровье человека; эту работу необходимо проводить, начиная со школьной скамьи.

Цель работы – проанализировать и оценить по результатам проведенных социологических исследований поведенческие практики населения в условиях воздействия ионизирующего и неионизирующего излучений.

Объекты и методы исследования. Социологический опрос был проведен в феврале-марте 2022 г. среди различных групп населения Гомельской области, проживающего на загрязненной радионуклидами территории (N = 590, Δ = ± 4,0 % при доверительной вероятности 95,0 %).

Для эмпирико-социологического анализа использовались сводные материалы-таблицы линейного распределения с результатами социологического опроса респондентов.

Объектом исследования являлись различные социально-демографические группы населения, выделенные по типу населенного пункта, возрасту, уровню образования и виду занятости.

Результаты и обсуждение. Поведенческие практики населения могут рассматриваться в разных контекстах; мы взяли за основу «самосохранительное поведение», рассматривая его как систему действий и отношений, направленных на сохранение здоровья человека.

Учитывая полученные результаты социологического исследования и на основании операциональной схемы эмпирических показателей и индикаторов, нами были определены критерии оценки самосохранительного поведения населения, проживающего на территориях, загрязненных радионуклидами, к условиям воздействия излучений различной природы:

ионизирующее излучение

• Проявление интереса населения к актуальной радиационной обстановке и динамике ее изменения в регионе своего проживания.

• Проявление интереса населения к информации о новых достижениях в науке и технике, использование которых позволяет повысить качество жизни людей.

• Отношение населения к введению в образовательный процесс курса лекций по вопросам воздействия ионизирующего и неионизирующего излучений.

• Соблюдение населением правил безопасного проживания в условиях радиационного загрязнения.

неионизирующее излучение

• Отношение населения к новым товарам или услугам, которые основаны на технических новшествах (достижения физики, радиоэлектроники, информационных технологий и т.д.).

• Соблюдение населением правил эксплуатации электро-, радио- и IT-товаров, направленных на сохранение здоровья пользователей.

• Отношение населения к возможностям использования неионизирующего излучения для сохранения здоровья или лечения, а также к загару в солярии.

• Соблюдение населением правил технической безопасности в повседневной жизни.

По критерию проявления интереса населения к информации об актуальной радиационной обстановке в регионе своего проживания респондентам предлагалось ответить на вопросы: «Насколько хорошо Вы информированы об актуальной радиационной обстановке в вашем населенном пункте?» и «Насколько хорошо Вы информированы о динамике изменения уровня радиации на территории Республики Беларусь?». Полученные в результате анализа ответов населения данные относительно информации об актуальной радиационной обстановке (31 % – частично и 66 % – информацией не владеют) и информации о динамике изменения уровня радиации (71 % – частично и 16 % – информацией не владеют) свидетельствуют о незначительном проявлении интереса населения к радиационной обстановке.

Что касается проявления интереса населения загрязненных радионуклидами регионов к информации о новых достижениях в науке и технике, использование которых позволяет повысить качество жизни людей, и к введению в образовательный процесс курса лекций по вопросам воздействия излучений, то большая часть опрошенных не имеет определенной позиции по данным вопросам и считает, что наука и технологии делают нашу жизнь проще, более комфортной и здоровой, однако могут быть и непредвиденные побочные эффекты, а более 50 % респондентов ответили, что не нуждаются в информации о воздействиях различных видов излучений на здоровье человека.

Для оценки уровня знаний населением правил безопасного проживания в условиях радиационного загрязнения и соблюдения их респондентам также предлагалось ответить на ряд вопросов; необходимо было выбрать один из вариантов ответа: полностью; частично; информацией не владею; хотелось бы больше узнать об этом (рисунок).

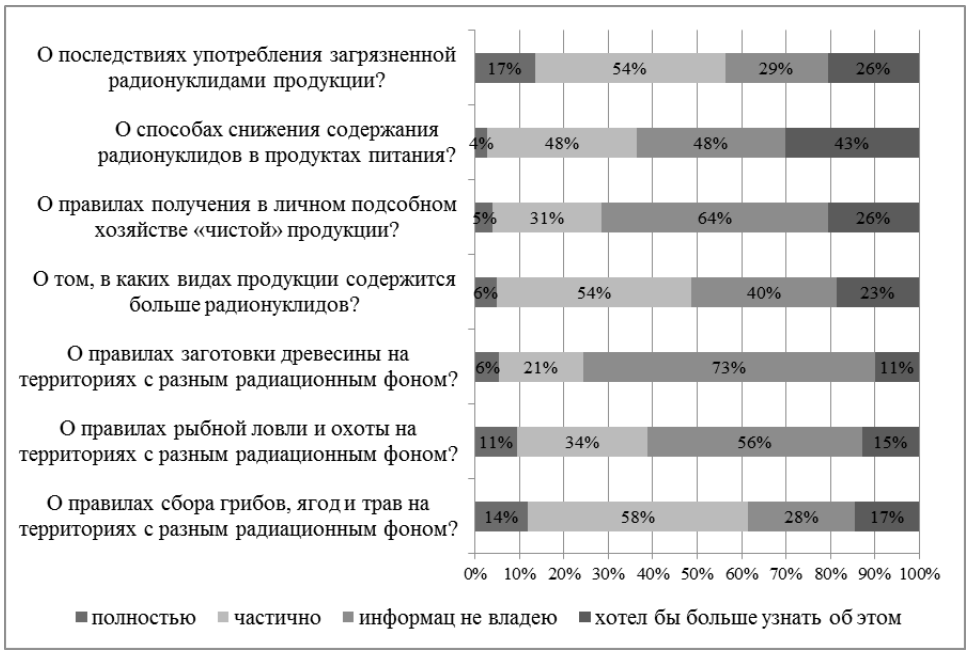


***Рисунок** – Распределение ответов респондентов, проживающих на загрязненных радионуклидами территориях, относительно правил безопасного проживания в условиях радиационного загрязнения*

Анализируя полученные результаты, можно утверждать, что большинство респондентов, проживающих на загрязненных радионуклидами территориях, либо частично владеют информацией о правилах безопасного проживания в условиях радиационного загрязнения (21–58 %), либо вообще не владеют такой информацией (29–64 %) и, соответственно, слабо соблюдают правила безопасного проживания в условиях радиационного загрязнения. Выявленный низкий уровень осведомлённости указывает на необходимость системного подхода к информированию населения по данному вопросу. Особое значение приобретает интеграция вопросов радиационной безопасности в образовательные программы, начиная со школьного возраста. Это позволит учащимся не только получать теоретические знания, но и развивать практические навыки оценки рисков в повседневной жизни.

Для анализа отношения населения к условиям воздействия неионизирующего (электромагнитного) излучения в соответствии с выделенными критериями оценки было предложено ответить на вопрос: «В последнее время происходит стремительное развитие сетей сотовых связей (GSM, 3G, LTE и 5G). Как Вы относитесь к данным технологиям?». Респондентам предлагалось выбрать один из вариантов ответа: ничего не знаю по данной теме; знаю о данных технологиях, но мнение свое еще не составил(а); знаю о данных технологиях и меня беспокоит их возможное негативное влияние на здоровье людей; знаю о данных технологиях, но считаю, что беспокойство об их возможном негативном влиянии на здоровье людей совершенно необоснованно. Анализ полученных результатов свидетельствует, что большинство респондентов ничего не знают по данной теме (35 %), либо знают о данных технологиях, но мнение свое еще не составили (42 % опрошенных). Данный факт говорит о низком уровне беспокойства подавляющего большинства населения относительно вреда для здоровья неионизирующего (электромагнитного) излучения. Такое противоречие между потенциальными рисками и низкой обеспокоенностью подчеркивает важность образовательных инициатив. Включение вопросов электромагнитной безопасности в школьные курсы могло бы развить у учащихся критическое мышление и способность отличать научные данные от распространённых мифов.

Для оценки поведенческих практик населения относительно соблюдения правил эксплуатации электро-, радио- и IT-товаров, направленных на сохранение здоровья пользователей, респондентам было предложено ответить на вопрос: «Соблюдаете ли Вы рекомендуемые правила эксплуатации электро-, радиоприборов (смартфоны, компьютеры, планшеты, радио и др.)?». В результате 40 % опрошенных ответили: «да, обязательно соблюдаю все правила (время работы, безопасное расстояние и т.д.)», 51 % – «соблюдаю только тогда, когда это представляется возможным и удобным для меня» и 8 % – «никогда не соблюдаю, даже не обращаю на эти правила особого внимания», что говорит о заботе населения о собственной безопасности.

Для анализа поведенческих практик населения относительно использования неионизирующего излучения для сохранения здоровья или лечения, а также к загару в солярии, респондентам было предложено ответить на вопрос: «Как Вы считаете, полезны ли для сохранения здоровья и лечения следующие процедуры: физиопроцедуры (электрофорез, магнито-терапия, световое лечение и т.д.) в медицинском учреждении; физиопроцедуры (электрофорез, магнито-терапия, световое лечение и т.д.) в домашних условиях; солярий в медицинских учреждениях, домах отдыха; солярий в салонах красоты?». Опрашиваемым предлагались варианты ответа: «однозначно да», «скорее да», «скорее нет», «однозначно нет», «затрудняюсь ответить».

Полученные результаты свидетельствуют о доверии населения к проведению физиопроцедур (электрофорез, магнито-терапия, световое лечение и т.д.) как в медицинских учреждениях, так и в домашних условиях. Что касается пользы солярия, то большинство (79 %) опрошенных жителей загрязненных радионуклидами регионов либо дали отрицательный ответ, либо затруднялись с ответом.

Для оценки соблюдения населением правил технической безопасности в повседневной жизни было предложено ответить на вопросы: «Оцените, насколько Вы согласны с каждым из этих утверждений?»:

– Всегда необходимо читать правила безопасной эксплуатации электро- и радиоприборов и соблюдать их?

– Для установки антенн (спутниковых, ТВ и др.) дома/на даче надо всегда приглашать профильных специалистов?

– Мобильный телефон нельзя постоянно носить близко к телу (в кармане, на шнурке и т.п.)?

– Оставлять мобильный телефон на ночь на расстоянии вытянутой руки, в том числе для его зарядки, безопасно для здоровья?

– Заряжать автомобильные аккумуляторы в жилом помещении, в котором находятся люди, опасно для здоровья?

– Необходимо отключать приборы передачи данных (Wi-Fi и др.) на ночь?

– Детей необходимо как можно дольше ограждать от использования различных высокотехнологичных устройств (телефонов, планшетов и др.)?

– Детям надо как можно раньше давать возможность пользоваться высокотехнологичными устройствами, тогда они быстрее развиваются и вырастают умными?

– Очень полезно для здоровья проводить свой отпуск и выходные вдали от интернета, телевизора, компьютера?

– Использование в повседневной жизни электро- и радиотоваров безопасно и без соблюдения каких-либо правил?

– В вопросах технической безопасности можно ориентироваться на мнение большинства?

Респондентам предлагалось выбрать один из вариантов ответа: «согласен», «скорее согласен», «скорее не согласен», «не согласен», «затрудняюсь ответить».

В результате анализа полученных результатов выявлено, что основная масса (82 %) опрошенных жителей загрязненных радионуклидами территорий знают и предпочитают соблюдать основные правила технической безопасности в повседневной жизни. Полученные результаты показывают, что решение выявленных проблем требует комплексного подхода. Системное образование подрастающего поколения через учебные модули по радиационной и электромагнитной безопасности могло бы обеспечить формирование у учащихся не только знаний, но и важных компетенций XXI века, таких как экологическое мышление и медиаграмотность.

Заключение. Таким образом, можно предположить, что значительная часть населения пострадавшей от катастрофы на ЧАЭС территории Гомельской области перенасыщена не всегда компетентной и обоснованной информацией о негативном влиянии на здоровье человека ионизирующего (радиационного) излучения, которая породила «чернобыльские мифы» и вызвала у части населения радиофобию. Это может являться причиной того, что, несмотря на слабое знание и частичное соблюдение правил безопасного проживания в условиях радиационного загрязнения, половина опрошенного населения не хотела бы получать больше информации по вопросам воздействия различных видов излучений на здоровье человека.

Проведенное исследование показало, что большинство населения воспринимает неионизирующее (электромагнитное) излучение как потенциально опасное, однако при этом мало угрожающее их здоровью.

Выявленные проблемы, связанные с безопасными моделями поведения в условиях имеющихся излучений, а также нехватка информации о рисках несоблюдения безопасных практик снижения влияния излучений, говорят о том, что в настоящее время актуальной потребностью является проведение информационно-просветительской работы в данном направлении, которая должна ориентироваться на максимально широкий охват населения и начинаться с раннего возраста.

Важность интеграции данной темы в образовательные программы обусловлена необходимостью формирования функциональной грамотности учащихся, которая включает не только базовые знания о радиационной безопасности, но и способность применять эти знания в повседневной жизни. Включение вопросов безопасного поведения в условиях излучения в школьные курсы (например, химия, биология, география, физика) поможет учащимся: критически оценивать риски, связанные с различными источниками излучения; принимать осознанные решения для минимизации вредного воздействия; распознавать дезинформацию и опираться на научно обоснованные данные. Таким образом, просвещение в этой области способствует не только личной безопасности, но и развитию навыков XXI века, таких как экологическое мышление, медиаграмотность и ответственное отношение к здоровью.

ON THE ECOLOGICAL CULTURE OF BEHAVIOR OF THE POPULATION IN THE CONDITIONS OF INTENSIVE DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGIES (BASED ON THE RESULTS OF A SOCIOLOGICAL RESEARCH)

G. Z. Gutseva, N. V. Tsialitsyna

The article presents an assessment of the self-preservation behavior of the population of areas contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl disaster, to the conditions of exposure to radiation of various natures, carried out on the basis of an analysis of the results of sociological studies.

УДК 598.2 : 911.37

ИЗМЕНЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА ПТИЦ В УРБАНИЗИРОВАННОМ ЛАНДШАФТЕ БРЕСТА

В. Т. Демянчик, В. П. Рабчук, В. В. Демянчик
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Характеризуются виды птиц, которые за последние 15 лет впервые зарегистрированы на зимовке, миграциях, гнездовании и летовании, а также исчезнувшие ранее на гнездовании на современной территории г. Бреста.

Ключевые слова: орнитокомплекс, динамика численности, статусы, регионально новые виды, Брест.

Введение. Интенсивное изучение птиц урбанизированных территорий достаточно наглядно проявляется в разных регионах Беларуси и зарубежья [1–4 и др.]. Из числа наиболее полных современных публикаций по видовому составу городской орнитофауны близких регионов известны обзоры по птицам урбанизированных ландшафтов европейской части России [3, 5, 6 и др.]. В Беларуси для городов, исключая Брест, опубликованных полных сводок книжного формата по изменениям орнитофауны пока нет [1, 2, 7–9].

Брест расположен на юго-западе Беларуси и относится к крупным городам страны. По занимаемой площади Брест – самый большой в Белорусском Полесье и второй (после Минска) в Беларуси, простирается на 146 км^2, имеет 345 тыс. жителей. В Бресте представлено значительное многообразие урбанистических, аграрных, лесных экосистем, вплоть до «заповедных территорий» (русло и прирусловая зона р. Западный Буг в полосе государственной границы). По результатам республиканского конкурса по благоустройству столицы и областных центров Брест в 2021, 2022, 2024 гг. занимал первое или одно из первых мест.

Цель – оценить качественные изменения видового состава птиц в урбанизированном ландшафте города Бреста в последние два десятилетия и за более ранний период.

Материал и методы. При проведении оценки видового состава и численности птиц на постоянных площадках наблюдений (ППН) и учетных маршрутах (УМ) использовались методы, рекомендованные в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь и в литературных источниках [10, 11 и др.]. В их числе: метод маршрутно-точечных транссект на дневных и ночных маршрутах; картирование местообитаний; регистрация и абсолютный учет особей в крупных скоплениях техническими средствами и др. Более подробно методы исследований изложены в недавно изданных 3 монографических публикациях по орнитофауне города Бреста [7–9].

Регулярные учеты гнездящихся птиц, прежде всего методом картирования, проведены в феврале–июне 2010–2015 гг. на 7 научных стационарах, где были сконцентрированы и основные 14 ППН и УМ.

Для общих абсолютных оценок принята прогрессирующая шкала численности по числу пар, особей, колоний и т. д. по семи статусам (категориям). При оценке численности и динамики в масштабах города и конкретных РПР приводились статусы на основании оценок по состоянию на 2016 – июль 2025 г.

Для сравнения проводились исследования в пригородной зоне г. Бреста и других местах юго-западной части Беларуси.

Результаты и обсуждение. Типичные урбанистические экосистемы (промзоны, многоэтажная застройка, транспортные магистрали и т. п.) в городе занимают сравнительно небольшие площади. Напротив, градостроительный фон урбанизированного ландшафта Бреста в настоящее время определяют водно-зеленый диаметр и зеленые зоны по периметру городской черты. Трансформационные градостроительные процессы последних 60 лет привели к существенному увеличению площадей и протяженности водных объектов, что оказывает значительное позитивное влияние на структуру и динамику птиц Бреста.

В ходе наших исследований в 2015–2024 гг. и первой половине 2025 г. было зарегистрировано 275 видов птиц, обитающих на современной территории города Бреста.

За последние 15 лет (2010 – июнь 2025 г.) впервые для Бреста зарегистрированы следующие виды птиц на зимовках:

1) серощекая поганка (*Podiceps grisegena)*
2) красношейная поганка (*Podiceps auritus)*
3) черношейная поганка (*Podiceps nigricollis)*
4) малый баклан (*Microcarbo pygmaeus)*
(и впервые для Бреста)
5) большая белая цапля (*Casmerodius albus)*
6) малая выпь (*Ixobrychus minutus)*
7) длинноносый крохаль (*Mergus serrator)*
8) мандаринка (*Aix galericulata)*
9) серая утка (*Mareca strepera)*
10) широконоска (*Spatula clypeata)*
11) красноносый нырок (*Netta rufina)*
(и впервые для Бреста)
12) синьга (*Melanitta nigra)* (и впервые для Бреста)
13) курганник (*Buteo rufinus)* (и впервые для Бреста)
14) полевой лунь (*Circus cyaneus)*
15) беркут (*Aquila chrysaetos)*
(и впервые для Бреста)
16) сапсан (*Falco peregrinus)*
17) водяной пастушок (*Rallus aquaticus)*
18) серый журавль (*Grus grus или Grus communis)*
(устойчивая зимовка)
19) камышница (*Gallinula chloropus)*
20) хохотунья (*Larus cachinnans)*
21) средиземноморская чайка (*Larus michahellis*)
(и впервые для Бреста)
22) седой дятел (*Picus canus*)
23) трехпалый дятел (*Picoides tridactylus*) (1998 гг.)
24) красноголовый королек (*Regulus ignicapillus*)
(и впервые для Бреста)
25) оляпка (*Cinclus cinclus*) (и впервые для Бреста)
26) крапивник (*Troglodytes troglodytes*) (1980-е гг.)
27) зарянка (*Erithacus rubecula*) (середина 1980-х гг.)
28) горихвостка-чернушка (*Phoenicurus ochruros*)
29) белобровик (*Turdus iliacus*)
30) певчий дрозд (*Turdus philomelos*)
31) деряба (*Turdus viscivorus*)
32) усатая синица (*Panurus biarmicus*)
(конец 1990-х гг.)
33) белая лазоревка (*Cyanistes cyanus*)
(и впервые для Бреста)
34) короткопалая пищуха (*Certhia brachydactyla*)
(и впервые для Бреста)
35) обыкновенный ремез (*Remiz pendulinus*)
(2000-е гг.)
36) черноголовый сорокопут (*Lanius minor*)
37) зяблик (*Fringilla coelebs*)
38) вьюрок (*Fringilla montifringilla*)
39) горная коноплянка (*Linaria flavirostris*)
(и впервые для Бреста)
40) пепельная чечетка (*Acanthis hornemanni* или *Carduelis hornemanni*) (начало 1990-х гг. и впервые для Бреста)
41) обыкновенный щур (*Pinicola enucleator*)
(2005 г. и впервые для Бреста)
42) пуночка (*Plectrophenax nivalis*)
(и впервые для Бреста)
43) тростниковая овсянка (*Schoeniclus schoeniclus*).

Как следует из вышеприведенного списка, за сравнительно небольшой срок состав зимующих птиц пополнился 37 видами. Еще 6 видов птиц появились на зимовке несколько ранее. Одна из наиболее вероятных причин такого явления – климатические изменения.

Среди регионально новых зимующих видов птиц в Бресте установлены прежде всего представители водно-болотного комплекса – 21 вид, т. е. 58 % от числа новых зимующих птиц после 2005 г.

В 2010–2025 гг. на территории города Бреста впервые отмечены на миграциях:

1) обыкновенная кваква (*Nycticorax nycticorax*)
2) малая белая цапля (*Egretta garzetta*)
(и впервые для Бреста)
3) рыжая цапля (*Ardea purpurea*)
(и впервые для Бреста)
4) обыкновенная колпица (*Platalea leucorodia*)
(и впервые для Бреста)
5) белощекая казарка (*Branta lecopsis*)
(и впервые для Бреста)
6) пискулька (*Anser erythropus*)
(и впервые для Бреста)
7) огарь (*Tadorna ferruginea*)
8) красноносый нырок (*Netta rufina*)
9) красный коршун (*Milvus milvus*)
(и впервые для Бреста)
10) степной лунь (*Circus macrourus*)
(и впервые для Бреста)
11) черный гриф (*Aegypius monachus*) (и впервые для Бреста)
12) большой подорлик (*Clanga clanga*)
13) ходулочник (*Himantopus himantopus*)
(и впервые для Бреста)
14) тулес (*Pluvialis sqatarola*)
15) песчанка (*Calidris alba*) (и впервые для Бреста)
16) кулик-воробей (*Calidris minuta*)
(и впервые для Бреста)
17) белохвостый песочник (*Calidris temminckii*)
(и впервые для Бреста)
18) краснозобик (*Calidris ferruginea*)
(и впервые для Бреста)
19) чернозобик (*Calidris alpina*)
(и впервые для Бреста)
20) грязовик (*Limicola falcinellus*)
(и впервые для Бреста)
21) поручейник (*Tringa stagnatilis*)
(и впервые для Бреста)
22) мородунка (*Xenus cinereus*)
(и впервые для Бреста)

23) большой улит (*Tringa nebularia*) (и впервые для Бреста)
24) круглоносый плавунчик (*Phalaropus lobatus*) (и впервые для Бреста)
25) средний поморник (*Stercorarius pomarinus*) (и впервые для Бреста)
26) короткохвостый поморник (*Stercorarius parasiticus*) (и впервые для Бреста)
27) черноголовый хохотун (*Larus ichthyaetus*) (и впервые для Бреста)
28) тонкоклювая чайка (*Chroicocephalus genei*) (и впервые для Бреста)
29) черноголовая чайка (*Ichthyaetus melanocephalus*) (и впервые для Бреста)
30) делаверская чайка (*Larus delawarensis*) (и впервые для Бреста)
31) чеграва (*Hydroprogne caspia*) (и впервые для Бреста)
32) чайконосая крачка (*Gelochelidon nilotica*) (и впервые для Бреста)
33) воробьиный сыч (*Glaucidium passerinum*) (и впервые для Бреста)
34) бородатая неясыть (*Strix nebulosa*) (и впервые для Бреста)
35) мохноногий сыч (*Aegolius funereus*) (и впервые для Бреста)
36) белобрюхий стриж (*Tachymarptis melba*) (и впервые для Бреста)
37) золотистая щурка (*Merops apiaster*) (и впервые для Бреста)
38) желтоголовая трясогузка (*Motacilla citreola*) (и впервые для Бреста)
39) черноголовый чекан (*Saxicola torquatus*) (и впервые для Бреста)
40) дрозд Науманна (*Turdus naumanni*) (1997 г. и впервые для Бреста)
41) зеленая пеночка (*Phylloscopus trochiloides*) (и впервые для Бреста)
42) красноголовый королек (*Regulus ignicapilla*) (1993 г. и впервые для Бреста)
43) усатая синица (*Panurus biarmicus*) (2001 г. и впервые для Бреста)
44) белая лазоревка (*Cyanistes cyanus*) (впервые для Бреста в гнездовой сезон)
45) кедровка (*Nucifraga caryocatactes*) (и впервые для Бреста)
46) горная коноплянка (*Linaria flavirostris*) (и впервые для Бреста).

Таким образом, на миграциях за последние 15 лет впервые зарегистрированы в Бресте 45 видов.

В списке летующих пар (или взрослых особей) без признаков гнездования в 2010–2025 гг. впервые для Бреста отмечены:

1) лебедь-кликун (*Cygnus cygnus*)
2) фифи (*Tringa glareola*)
3) чернозобик (*Calidris alpina*)
4) турухтан (*Philomachus pugnax*)
5) клуша (*Larus fuscus*)
6) вьюрок (*Fringilla montifringilla*).

В списке вероятно гнездящихся видов впервые для Бреста за 2010–2025 гг. отмечены:

1) серый гусь (*Anser anser*)
2) свиязь (*Mareca penelope*)
3) обыкновенный гоголь (*Bucephala clangula*)
4) большой крохаль (*Mergus merganser*)
5) чеглок (*Falco subbuteo*)
6) серый журавль (*Grus grus или Grus communis*)
7) воробьиный сыч (*Glaucidium passerinum*)
8) зеленая пеночка (*Phylloscopus trochiloides*)
9) красноголовый королек (*Regulus ignicapillus*)
10) белая лазоревка (*Cyanistes cyanus*).

За период 2010–2025 гг. на гнездовании в Бресте впервые отмечены следующие виды птиц:

1) обыкновенный осоед (*Pernis apivorus*)
2) обыкновенный канюк (*Buteo buteo*) (в черте Бреста)
3) тетеревятник (*Accipiter gentilis*) (в зеленых насаждениях общего пользования в черте Бреста)
4) сирийский дятел (*Dendrocopos syriacus*) (1991 г.)
5) желтоголовая трясогузка (*Motacilla citreola*)
6) варакушка (*Luscinia svecica*) (середина 1990 гг.)
7) черноголовый чекан (*Saxicola rubicola*)
8) камышевка садовая (*Acrocephalus dumetorum*)
9) желтоголовый королек (*Regulus regulus*)
10) московка (*Periparus ater*)
11) чиж (*Spinus spinus*)
12) садовая овсянка (*Emberiza hortulana*)

За период 2010–2025 гг. и в более ранние годы на гнездовании в Бресте исчезли следующие виды птиц:

1) черношейная поганка (*Podiceps nigricollis*)
2) широконоска (*Spatula clypeata*)
3) белоглазый нырок (*Aythya nyroca*)
4) галстучник (*Charadrius hiaticula*)
5) большой кроншнеп (*Numenius arquata*) (после 2013 г.)
6) дупель (*Gallinago media*) (после 1990 гг.)
7) малая чайка (*Hydrocoloeus minutus*)
8) малая крачка (*Sterna albifrons*)
9) белощекая крачка (*Chlidonias hybrida*)
10) черная крачка (*Chlidonias niger*)
11) белокрылая крачка (*Chlidonias leucopterus*)

12) обыкновенная горлица (*Streptopelia turtur*)
13) садовая камышевка (*Acrocephalus dumetorum*)
14) вертлявая камышевка (*Acrocephalus paludicola*) (1990 гг.)
15) мухоловка-пеструшка (*Ficedula hypoleuca*)
16) сорокопут чернолобый (*Lanius minor*) (после 2006 г.).

После 2009 г. на зимовках, по нашим данным, в Бресте не отмечались ранее единично регистрируемые виды: краснозобая гагара (*Gavia stellata*), малый лебедь (*Cygnus columbianus*), черная казарка (*Branta bernicla*).

В ближайшие годы предстоит уточнить статус пребывания или подтвердить факт обитания в природе Бреста следующего ряда вероятно гнездящихся видов птиц:

1) стрепета *(Tetrax tetrax)*
2) черного аиста *(Ciconia nigra)*
3) мускусной утки *(Cairina moschata)*
4) европейского тювика *(Tachyspiza brevipes)*
5) малого подорлика *(Clanga pomarina)*
6) рябчика *(Bonasa bonasa)*
7) тетерева *(Lyrurus tetrix)*
8) коростеля *(Crex crex)*
9) среднего кроншнепа *(Numenius phaeopus)*
10) фифи *(Tringa glareola)*
11) сизого голубя *(Columba livia)* «дикой формы»
12) белобровика *(Turdus iliacus)*
13) многоголосой пересмешки *(Mimus polyglottos)*

Таким образом, из зарегистрированных 275 видов птиц на территории современного города Бреста за последние 15 лет впервые на зимовках отмечены 37 видов, впервые на миграциях были отмечены 45 видов птиц. За данное время на гнездовании в Бресте впервые отмечены 11 видов птиц. За период 2010–2025 гг. и в более ранние годы (после 1990–2009 гг.) на гнездовании в Бресте исчезли 16 видов птиц.

Список использованных источников

1. Бурко, Л. Д. Позвоночные животные Беларуси : учеб. пособие / Л. Д. Бурко, В. В. Гричик. – Минск : БГУ, 2013. – 391 с.

2. Кусенков, А. Н. Видовой состав и охранный статус птиц водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий / А. Н. Кусенков, З. А. Горошко // Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси : сб. ст. XI зоол. Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к десятилетию основания ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» / ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» ; редкол.: О. И. Бородин [и др.]. – Минск, 2017. – Т. 1. – С. 243–251.

3. Мальчевский, А. С. Птицы Ленинградской области и сопредельных территорий : в 2 т. / А. С. Мальчевский, Ю. Б. Пукинский. – Л. : Ленингр. ун-т, 1983. – Т. 2 : О воробьиных птицах Ленинградской области. – 504 с.

4. Самусенко, Э. Г. Колонии озерных чаек в городской черте Минска / Э. Г. Самусенко // Птицы и урбанизированный ландшафт: сб. кратких сообщений / Ин-т зоологии и паразитологии АН ЛитССР [и др.]. – Каунас, 1984. – С. 123–124.

5. Птицы городов России / Н. И. Асоскова [и др.] ; под ред. В. М. Храброго. – Санкт–Петербург ; М. : Т-во науч. изд. КМК, 2012. – 513 с.

6. Птицы Москвы: 2010 год, квадрат за квадратом : тр. Программы «Птицы Москвы и Подмосковья» / ред.: М. В. Калякин, О. В. Волцит. – М. : Зоологический музей МГУ, 2011. – Т. 7. – 286 с.

7. Птицы Бреста: Общие сведения / В. Т. Демянчик [и др.]. – Брест : БрГУ, 2022. – 210 с.

8. Птицы Бреста: Неворобьинообразные : монография / В. В. Демянчик [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – 270 с.

9. Птицы Бреста: Воробьинообразные. Общая оценка : монография / В. Т. Демянчик [и др.] ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Полес. аграр.-экол. ин-т НАН Беларуси. – Брест : БрГУ, 2023. – 325 с.

10. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики: результаты наблюдений, 2008 / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, гл. информ.-аналит. центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь, Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «БелНИЦ «Экология»; под ред. С. И. Кузьмина, С. П. Уточкиной. – Минск : РУП «БелНИЦ «Экология», 2009. – 340 с.

11. Бибби, К. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц / К. Бибби, М. Джонс, С. Марсден. – М. : Союз охраны птиц России, 2000. – 186 с.

CHANGES IN THE SPECIES COMPOSITION OF BIRDS IN THE URBANIZED LANDSCAPE OF BREST

V. T. Dziamianchyk, V. P. Rabchuk, V. V. Dziamianchyk

Describes bird species, that have been recorded for the first time in the last 15 years during wintering, migration, nesting, and summering, as well as species that have previously disappeared from nesting in the modern territory of Brest.

УДК [598.2+502.74] : 911.37

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ОХРАНЯЕМЫХ ВИДОВ ОРНИТОФАУНЫ БРЕСТА

В. Т. Демянчик, В. П. Рабчук, В. В. Демянчик
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Анализируются авторские сведения по исследованиям охраняемых видов птиц и приводится общая оценка их численности и динамики за 1977–2025 гг. на городских землях г. Бреста в современных границах.

Ключевые слова: Красная книга, охраняемые виды птиц, динамика численности, Брест.

Введение. Охраняемые виды птиц и в целом региональные орнитофауны, включая городские земли, традиционно изучаются в разных регионах Беларуси и зарубежья. В настоящее время в Беларуси для городов, исключая Брест – один из наиболее полно изученных в фаунистическом отношении, опубликованных полных топографических сводок (книг) по орнитофауне и экологической структуре охраняемых видов птиц нет [1–3]. В последние десятилетия к охраняемым видам животных, на сохранение которых предусмотрены специальные мероприятия и правовые нормы ответственности землепользователей, относятся представители фауны, включенные в Красную книгу Республики Беларусь. В Красную книгу Республики Беларусь 4-го издания (2015 г.) было включено 70 видов птиц. В 5-е издание (2025 г.) включен 71 вид птиц (1 вид исключен, а 2 новых вида добавлены) [4, 5]. В связи с тем, что до 2025 г. актуальной являлась Красная книга Республики Беларусь 4-го издания (2015 г.), основная часть работ была проведена с учетом данных этого источника.

Цель – обобщение авторских сведений по исследованиям охраняемых (включенных в 4-е и 5-е издания Красной книги Республики Беларусь) видов птиц и общая оценка их численности за 1977–2025 гг. на городских землях г. Бреста в современных границах.

Материал и методы. В ходе изучения структуры орнитофауны на постоянных площадках наблюдений (ППН) и учетных маршрутах (УМ) использовались методы, рекомендованные в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь и в литературных источниках [6–8 и др.]. Специальным объектом исследований служили представители орнитофауны, обитающие на городских землях и включенные в 4-е и 5-е издания Красной книги Республики Беларусь [4, 5].

Интенсивные регулярные учеты гнездящихся птиц проведены в феврале–июне 2010–2015 гг. на 7-ми научных стационарах, выделенных в разных частях города Бреста. Границы города за период исследований почти не менялись. Стационары исследования на территории г. Бреста были выбраны с учетом концентрации основных 14 ППН и УМ.

При подсчете относительной численности и общих абсолютных оценок принята прогрессирующая шкала значений в зависимости от вида птиц: по числу пар, особей, колоний и т. д., по 7 статусам (категориям): единичный: 1–4 пары, особей, колоний; очень редкий: 5–10 соответственно; редкий: 11–30 соответственно; малочисленный: 31–90 соответственно; обычный: 91–200 соответственно; многочисленный: 201–400 соответственно; массовый, очень многочисленный: свыше 400 соответственно.

При оценке численности и ее динамики в масштабах города и конкретных расчетно-планировочных районов приводится статус на основании оценок по состоянию на 2015 – июль 2025 г. Статус «Исчезнувший» указан для видов, не зарегистрированных в течение трех и более сезонов подряд. «Сильное увеличение (снижение)» – обозначает изменение численности на 33 % и больше, «слабое увеличение (снижение)» – соответственно на менее чем 33 %.

Тренд численности оценивался в ходе обобщения данных, собранных за годы исследований [3].

Результаты и обсуждение. В ходе проведенного исследования нами было установлено обитание 66 охраняемых видов птиц на территории г. Бреста в современных его границах. Приводится общая оценка их численности за 1977–2025 гг. (таблица).

В таблице собраны данные по составу и динамике относительной численности охраняемых птиц на городских землях Бреста за последние 15 лет, а также показаны и более ранние регистрации для очень редких охраняемых видов птиц.

Наибольшим количеством охраняемых видов птиц характеризуется отряд Ржанкообразные (14 видов), на втором месте отряды Воробьинообразные и Ястребообразные, на которых приходится по 9 видов, на третьем месте отряды Гусеобразные и Совообразные, где приходится по 6 видов птиц (таблица).

Относительно многовидовым комплексом отличается отряд Соколообразные – 5 видов птиц (таблица). На отряды Гагарообразные, Поганкообразные, Пеликанообразные, Аистообразные, Журавлеобразные, Ракшеобразные, Дятлообразные приходится по 1–3 вида птиц, что связано с их малочисленным видовым составом в Беларуси и Бресте включительно.

***Таблица** – Видовой состав и динамика относительной численности охраняемых видов птиц г. Бреста в 2010–2025 гг. (по Красной книге Республики Беларусь 2015 г. и Постановлению Минприроды 2025 г.) [4, 5]*

№ п/п	Виды птиц	Гнездящиеся	Мигрирующие	Зимующие
1	Гагара чернозобая *Gavia arctica*	ед. (л)	ед. +	ед. +
2	Поганка серощекая *Podiceps grisegena*	1980–1990 гг. ед. (л)	ед. +	ед.
3	Выпь большая *Botaurus stellaris*	ор. – – (г)	об. –	ед. 0
4	Выпь малая *Ixobrychus minutus*	ред. + (г)	ред.	ед.
5	Кваква *Nycticorax nycticorax*	ед. (л)	мал. +	
6	Аист черный *Ciconia nigra*	ед. (вг)	ед. +	
7	Пискулька *Anser eruthropus*		ед. +	
8	Шилохвость *Anas acuta*		ед. –	ед.
9	Нырок белоглазый *Aythya nyroca*	1991 г. ед. (г)	ед. – –	ед.
10	Луток *Megrellus albellus*		ед. + +	ед. + +
11	Крохаль большой*Mergus merganser*	ед. + (вг) ред. (л) +	мал. +	мал. +
12	Крохаль длинноносый *Mergus serrator*		ед.	
13	Коршун черный *Milvus migrans*		ед. +	
14	Коршун красный *Milvus milvus*		ед. +	
15	Орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla*	ед. (л)	ед. +	ед. + +
16	Змееяд *Circaetus gallicus*		ед. +	
17	Лунь полевой *Circus cyaneus*		ед. 0	ед.
18	Подорлик малый *Aquila pomarina*		ор. + +	
19	Подорлик большой *Aquila clanga*		ед. +	
20	Беркут *Aquila chrysaetos*		ед.	ед.
21	Скопа *Pandion haliaetus*	ед. (л)	ед.	
22	Пустельга обыкновенная *Falco tinnunculus*	мал. + (г)	мал. +	ред. +
23	Кобчик *Falco vespertinus*		ед. +	
24	Дербник *Falco columbarius*		ед. –	ед. –
25	Чеглок *Falco subbuteo*	ед. + (вг)	р. +	
26	Сапсан *Falco peregrinus*	ед. + (л)	ед. +	ед. +
27	Погоныш малый *Zapornia parva*	ед. + (г)	ед. +	
28	Коростель *Crex crex*	ед. – – (г)	ед. – –	
29	Журавль серый *Grus grus*	ед. + (вг)	об. + +	ед. +
30	Кулик-сорока *Haematopus ostralegus*	ед. (л)	ед. +	
31	Галстучник *Charadrius hiaticula*	ед. (л) до 2005 г. ед. (г)	ед.	
32	Ржанка золотистая *Pluvialis apricaria*		ор.	
33	Турухтан *Philomachus pugnax*	ед. (л)	ор. – –	
34	Гаршнеп *Lymnocryptes minimus*		ед.	ед. +
35	Дупель *Gallinago media*	до 1990 г. ед. (г)	ед.	
36	Веретенник большой *Limosa limosa*	ред. – – (г)	мал.	
37	Кроншнеп большой *Numenius arquata*	до 2004 г. ед. (г)	ед.	
38	Поручейник *Tringa stagnatilis*		ед. + +	

Продолжение таблицы

39	Улит большой *Tringa nebularia*		ед. + +	
40	Мородунка *Xenus cinereus*		ед.	
41	Чайка малая *Hydrocoloeus minutus*	ед. – – (г)	ед.	
42	Чайка сизая *Larus canus*	ед. (г); ор. + + (л)	мн. +	ор. +
43	Крачка малая *Sterna albifrons*	ед. – – (г)	ред. –	
44	Горлица обыкновенная *Streptopelia turtur*	ед. – – (г)	ед.	
45	Сипуха обыкновенная *Tyto alba*	ед. (л)	ед. –	ед. –
46	Филин *Bubo bubo*	ед. (вг)	ед. +	ед. +
47	Сыч воробьиный *Glaucidium passerinum*	ед. + (вг)	ед. + +	ед.
48	Сыч домовый *Athene noctua*	ед. – (г)	ед. –	ед. –
49	Неясыть бородатая *Strix nebulosa*		ед.	
50	Сова болотная *Asio flammeus*	ед. (вг)	ед. –	ед. – –
51	Сыч мохноногий *Aegolius funereus*		ед. +	
52	Зимородок обыкновенный *Alcedo atthis*	ред. – (г)	мал. –	ред. –
53	Щурка золотистая *Merops apiaster*		ед.	
54	Сизоворонка *Coracias garrulus*		ед. –	
55	Дятел зеленый *Picus viridis*	ред. – – (г)	мал. – –	ед.
56	Дятел белоспинный *Dendrocopos leucotos*	ед. – – (г)	ед. –	ед. –
57	Дятел трехпалый *Picoides tridactylus*		ед.	ед.
58	Жаворонок хохлатый *Galerida cristata*	ед. – – (г)	ред. –	ед. – –
59	Конек полевой *Anthus campestris*	ед. 0 (г)	ед. 0	
60	Мухоловка-белошейка *Ficedula albicollis*	ед. 0 (г)	ед. 0	
61	Камышевка вертлявая *Acrocephalus paludicola*	до 1990 гг. ед. (г)	ед. 0	
62	Синица усатая *Panurus biarmicus*	ед. – (г)	ед. –	ед. –
63	Лазоревка белая *Cyanistes cyanus*	ед. – (вг)	ед. – –	ед. – –
64	Сорокопут чернолобый *Lanius minor*	до 2006 г. ед. (г)	ед. 0	
65	Овсянка садовая *Emberiza hortulana*	ед. – (г)	ед. –	
66	Просянка обыкновенная *Miliaria calandra*	ед. – (г)	ед. –	ед. – –

Примечание: ед. – единично; ор. – очень редкий; ред. – редкий; мал. – малочисленный; об. – обычный; мн. – многочисленный; мас. – массовый, очень многочисленный; «+ +» – сильное увеличение; «+» – слабое увеличение; «0» – флуктуации или стабильная численность; «–» – слабое снижение; «– –» – сильное снижение; (г) – гнездящиеся; (вг) – вероятно гнездящиеся; (л) – летующие: зарегистрированные в середине гнездового периода, характерного для конкретного вида, но без признаков гнездования.

По признаку приуроченности к наиболее типичным местообитаниям охраняемые виды птиц, обитающие в Бресте, встречались во всех шести орнитокомплексах или экотопах: лесном, древесно-кустарниковом, околоводно-болотном, прибрежно-водном, сухих открытых пространств, синантропном. В орнитофауне Бреста охраняемые виды птиц околоводно-болотного и лесного орнитокомплексов по видовому многообразию гнездящихся представителей занимали доминирующее положение.

Современная структура гнездящихся, мигрирующих и зимующих представителей охраняемых видов птиц Бреста (по статусам численности), приведенная в таблице, где наиболее многовидовой группой среди птиц оказались виды, численность которых исчислялась единичными регистрациями (50 видов на гнездовании и миграциях), самой маловидовой – группа редких (4 вида на гнездовании и миграциях) по численности видов.

Наибольшая концентрация видов и сравнительно высокие показатели обилия охраняемых птиц отмечалась на ППН и УМ по руслу, террасе и пойменным стациям левобережья р. Мухавец и р. Лесная, а также – правобережье р. Западный Буг.

Как видно из рисунка, в общей динамике относительной численности охраняемых видов птиц характерна нестабильная ситуация, где для большинства видов присущи существенные изменения численности. Однако наибольшее число охраняемых видов птиц в общем спектре динамических процессов современной орнитофауны Бреста составила группа, где численность флуктуировала или была стабильна (18 видов птиц), а также группа, где численность снижалась (17 видов).

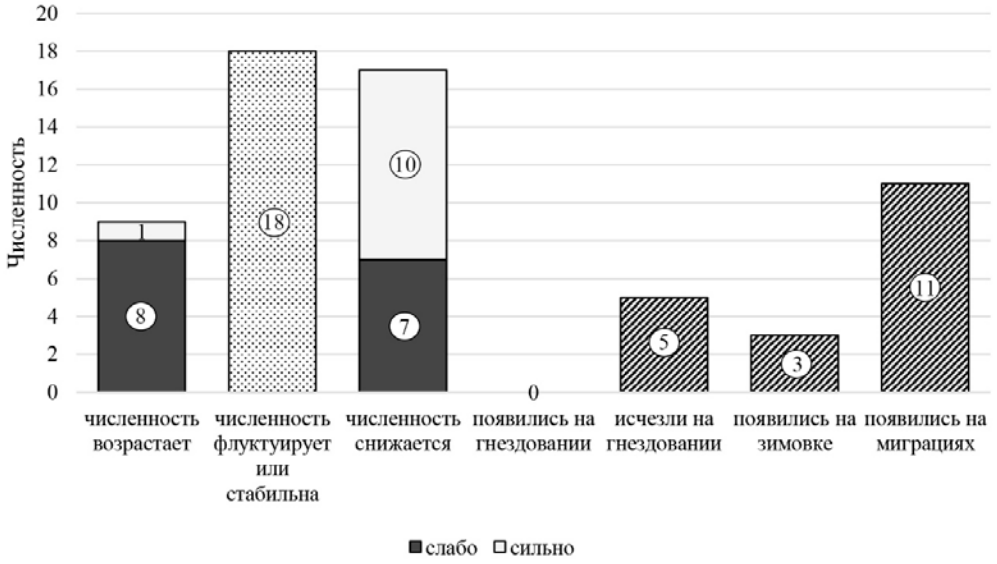


***Рисунок** – Оценка динамики относительной численности гнездящихся, мигрирующих и зимующих охраняемых видов птиц Бреста за 2010–2025 гг.*

Таким образом, в ходе наших исследований было установлено обитание на территории г. Бреста 66 охраняемых видов птиц. Среди них: 44 охраняемых вида птиц гнездящиеся (5 видов за время наблюдений исчезли на гнездовании), все 66 – мигрирующие, 30 – зимующие. Появились на зимовке 3 новых охраняемых вида, а на миграциях – 11.

Список использованных источников

1. Птицы Бреста: Общие сведения / В. Т. Демянчик [и др.]. – Брест : БрГУ, 2022. – 210 с.

2. Птицы Бреста: Неворобьинообразные : монография / В. В. Демянчик [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – 270 с.

3. Птицы Бреста: Воробьинообразные. Общая оценка : монография / В. Т. Демянчик [и др.] ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Полес. аграр.-экол. ин-т НАН Беларуси. – Брест : БрГУ, 2023. – 325 с.

4. Красная книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / М-во природ. рес. и охраны окр. среды Респ. Беларусь [и др.] ; редкол.: И. М. Качановский (гл. ред.) [и др.]. – 4-е изд. – Минск : БелЭн, 2015. – 317 с.

5. О редких и находящихся под угрозой исчезновения видах диких животных и дикорастущих растений, включаемых в Красную книгу Республики Беларусь [Электронный ресурс] : Постановление Министерства природых ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 14 марта 2025 г. № 10. – Режим доступа : https://etalonline.by/document. – Дата доступа : 07.07.2025.

6. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики: результаты наблюдений, 2008 / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, гл. информ.-аналит. центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь, Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «БелНИЦ «Экология»; под ред. С. И. Кузьмина, С. П. Уточкиной. – Минск : РУП «БелНИЦ «Экология», 2009. – 340 с.

7. Бибби, К. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц / К. Бибби, М. Джонс, С. Марсден. – М. : Союз охраны птиц России, 2000. – 186 с.

8. Никифоров, М. Е. Региональные списки видов птиц и иммиграционный орнитофауногенез / М. Е. Никифоров, И. Э. Самусенко // Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси : сб. ст. XI зоол. Междунар. науч-практ. конф., приуроч. к десятилетию основания ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», Минск 1–3 нояб. 2017 г. : в 2 т. / ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» ; редкол.: О. И. Бородин [и др.]. – Мн., 2017. – Т. 1. – С. 275–293.

LONG-TERM DYNAMICS OF PROTECTED SPECIES OF BREST AVIFAUNA

V. T. Dziamianchyk, V. P. Rabchuk, V. V. Dziamianchyk

This article summarizes the author's research of protected bird species and provides an overall assessment of their numbers in Brest within its current boundaries from 1977 to 2025.

УДК 598.2 : 911.37

ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ОРНИТОКОМПЛЕКСА КРУПНОГО ГОРОДА

В. Т. Демянчик, В. П. Рабчук, Д. А. Кунаховец, В. В. Демянчик
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Рассматривается общая оценка динамики орнитофауны на уровне таксономических отрядов за 1977–2025 гг. городских земель г. Бреста в современных границах. За этот период в Бресте установлено 275 видов птиц.

Ключевые слова: орнитокомплекс, динамика численности, Брест.

Введение. Птицы урбанизированных территорий достаточно интенсивно изучаются в разных регионах Беларуси и зарубежья [1–4 и др.]. Среди наиболее полных современных публикаций по городской орнитофауне близких регионов известны обзоры по птицам городов Восточной Европы [3, 5–9 и др.]. На сегодняшний день в Беларуси, за исключением Бреста (одного из наиболее климатически благоприятных для фауны белорусских городов), полных опубликованных сводок (книг) по орнитофауне городов пока нет.

Брест – крупный город страны. По площади – самый большой в Белорусском Полесье и второй (после Минска) в Беларуси, простирается на 146 км^2, имеет 345 тыс. жителей. Характеризуется обширной мозаикой урбанистических, аграрных, лесных экосистем, вплоть до «заповедных территорий» (русло и прирусловая зона р. Западный Буг в полосе государственной границы). По результатам республиканского конкурса по благоустройству столицы и областных центров Брест в 2021 и 2022 г. занимал первое место.

Цель – обобщение авторских сведений по исследованиям орнитофауны и общая оценка динамики орнитофауны на уровне таксономических отрядов за 1977–2025 гг. городских земель г. Бреста в современных границах.

Материал и методы. Для оценки видового состава и численности птиц на постоянных площадках наблюдений (ППН) и учетных маршрутах (УМ) использовались методы, рекомендованные в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь и в литературных источниках [10; 11 и др.]. В их числе: метод маршрутно-точечных транссект на дневных и ночных маршрутах; картирование гнезд и скоплений; регистрация и абсолютный учет особей в крупных скоплениях; сбор и анализ ощипов, поедей и погадок хищных животных; сбор и изучение погибших особей под ЛЭП, на дорогах и в случайных местах.

Наиболее интенсивные регулярные учеты гнездящихся птиц, прежде всего методом картирования, проведены в феврале–июне 2010–2015 гг. на 7 научных стационарах. На стационарах были сконцентрированы и основные 14 ППН и УМ.

Для общих абсолютных оценок принята прогрессирующая шкала численности по числу пар, особей, колоний и т. д. по семи статусам (категориям):

– единичный: 1–4 пары, особей, колоний;
– очень редкий: 5–10 соответственно;
– редкий: 11–30 соответственно;
– малочисленный: 31–90 соответственно;
– обычный: 91–200 соответственно;
– многочисленный: 201–400 соответственно;
– массовый, очень многочисленный: свыше 400 соответственно.

При оценке численности и ее динамики в масштабах города и конкретных расчетно-планировочных районов приводится статус на основании оценок по состоянию на 2016 – июль 2025 г. Статус «Исчезнувший» присвоен видам, не зарегистрированным в течение трех и более сезонов подряд. «Сильное увеличение (снижение)» обозначает изменение численности на 33 % и больше, «слабое увеличение (снижение)» – соответственно менее чем на 33 %.

Результаты и обсуждение. В ходе наших исследований было зарегистрировано 275 видов птиц, обитающих на городских землях г. Бреста в современных его границах. Общая оценка видового состава и динамики численности на уровне таксономических отрядов приводится в таблице.

В таблице в трех последних столбцах указано число видов с конкретным трендом. Например, для Поганкообразных: среди 3-х гнездящихся видов отмечен один со слабым снижением и один – с сильным снижением численности. По некоторым отрядам динамика численности установлена не для всех видов птиц.

В таблице собраны данные по составу и динамике относительной численности птиц на городских землях Бреста за последние 15 лет. За этот период, без учета более ранних регистраций, в Бресте уста-

новлено всего 275 видов, гнездящихся видов – 173, вероятно гнездящихся – 13. В общем числе представителей орнитокомплекса мигрирующие виды – 273, зимующие виды (отмеченные в зимние месяцы) – 145. За период 1980–2023 гг. в Бресте учтено 156 гнездящихся и 149 зимующих видов птиц.

***Таблица** – Распределение по отрядам числа видов и динамики численности птиц города Бреста в 2010–2025 гг.*

№ п/п	Отряды	Число видов / охраняемых видов	Гнездящиеся и летующие / число видов (тренд)	Мигрирующие / число видов (тренд)	Зимующие / число видов (тренд)
1	Гагарообразные (Gaviiformes)	2 / 1	2 / 1 (+)	2 / 1 (+)	1 / 1 (+)
2	Поганкообразные (Podicipediformes)	5 / 1	3 / 1 (–), 1 (– –)	5 / 2 (+ +), 1 (0)	5 / 1 (+), 2 (–)
3	Олушеобразные (Suliformes)	2 / 0	1 / 1	2 / 1 (+)	2 / (+ +)
4	Пеликанообразные (Pelecaniformes)	8 / 3	5 / 3 (+ +), 1 (– –)	8 / 4 (+), 1 (–)	4 / 2 (+), 1 (0)
5	Аистообразные (Ciconiiformes)	2 / 1	2 / 1 (+)	2 / 1 (+ +), 1 (+)	1 / 0
6	Гусеобразные (Anseriformes)	33 / 6	15 / 1 (+ +), 3 (+), 2 (–), 3 (– –), 2 (0)	33 / 4 (+ +), 11 (+), 2 (–), 2 (– –), 4 (0)	27 / 3 (+ +), 7 (+), 4 (0)
7	Ястребообразные (Accipitriformes)	19 / 9	8 / 3 (+), 1 (– –), 1 (0)	19 / 3 (+ +), 5 (+), 1 (–), 2 (– –), 2 (0)	9 / 2 (+ +), 1 (+), 1 (0)
8	Соколообразные (Falconiformes)	5 / 5	3 / 3 (+)	5 / 4 (+), 1 (–)	3 / 2 (+), 1 (–)
9	Курообразные (Galliformes)	4 / 0	4 / 1 (–), 2 (0)	4 / 1 (+ +), 1 (–), 1 (0)	4 / 1 (–), 1 (0)
10	Журавлеобразные (Gruiformes)	7 / 3	7 / 2 (+ +), 2 (–), 3 (– –)	7 / 3 (+ +), 1 (+), 3 (– –)	4 / 2 (+ +), 2 (+)
11	Ржанкообразные (Charadriiformes)	52 / 14	25 / 6 (+), 9 (– –)	52 / 6 (+ +), 9 (+), 7 (–), 1 (– –), 1 (0)	12 / 6 (+)
12	Голубеобразные (Columbiformes)	5 / 0	5 / 1 (+ +), 1 (+), 2 (– –)	5 / 1 (+)	3 / 1 (+), 1 (– –)
13	Кукушкообразные (Cuculiformes)	1 / 0	1 / 1 (– –)	1 / 0	–
14	Совообразные (Strigiformes)	9 / 6	7 / 2 (+), 1 (–), 1 (0)	9 / 1 (+ +), 1 (+), 2 (–), 1 (0)	7 / 1 (+), 3 (–), 1 (– –), 1 (0)
15	Козодоеобразные (Caprimulgiformes)	1 / 0	1 / 1 (+ +)	1 / 1 (+ +)	–
16	Стрижеобразные или длиннокрылые (Apodiformes)	2 / 0	1 / 1 (+)	2 / 1 (+)	–
17	Ракшеобразные (Coraciiformes)	3 / 3	1 / 1 (–)	3 / 2 (–)	1 / 1 (–)
18	Птицы-носороги (Bucerotiformes)	1 / 0	1 / 1 (+)	1 / 0	
19	Дятлообразные (Piciformes)	10 / 3	9 / 2 (+ +), 4 (+), 1 (–), 3 (– –)	10 / 1 (+ +), 4 (+), 2 (–), 2 (– –)	9 / 1 (+ +), 3 (+), 1 (–), 1 (– –)
20	Воробьинообразные (Passeriformes)	104 / 9	86 / 8 (+ +), 24 (+), 22 (–), 24 (– –), 6 (0)	102 / 10 (+ +), 22 (+), 17 (–), 28 (– –), 18 (0)	52 / 6 (+ +), 12 (+), 8 (–), 15 (– –), 6 (0)

Примечание: «+ +» – сильное увеличение; «+» – слабое увеличение; «0» – флуктуации или стабильная численность; «–» – слабое снижение; «– –» – сильное снижение.

После 1950 г. в Беларуси на зимовках отмечено 163 вида птиц [12]. Таким образом, после 1980 г. в Бресте отмечено 91 % (149 видов) от общенационального списка этой группы.

На рисунке представлена оценка динамики относительной численности гнездящихся видов птиц Бреста за 2010–2025 гг. В графической форме современная динамическая структура представителей гнездящейся орнитофауны Бреста (по статусам численности) показана на рисунке 1, где наиболее «многовидовой» группой среди птиц оказались виды, численность которых снижалась, а самой «маловидовой» – группа видов относительно стабильных по динамике численности.

Как видно из рисунка и таблицы, для общей динамики птиц характерна нестабильная ситуация, при которой для большинства видов присущи существенные изменения численности. При этом наблюдалось преобладание числа видов, численность которых снижалась (78 видов, рисунок). Наибольшее число видов птиц в общем диапазоне (сильно – слабо) динамических процессов современной орнитофауны Бреста составила группа, где численность слабо увеличивалась (52 вида), а также группа, где численность сильно снижалась (49 видов птиц). За период 2010–2025 гг. в черте Бреста установлено появление на гнездовании 10 видов и прекращение гнездования 14 видов птиц, что в целом свидетельствует о некотором преобладании отрицательных явлений в структуре гнездящейся орнитофауны Бреста. Однако большое число зарегистрированных регионально новых видов на зимовке и миграциях отражает и определяет положительные изменения видового состава птиц Бреста. Орнитофаунистический позитив обеспечивался не только за счет естественных природных причин, но и благодаря целому ряду разумных экологических решений градостроительства и общественных мероприятий по защите птиц.

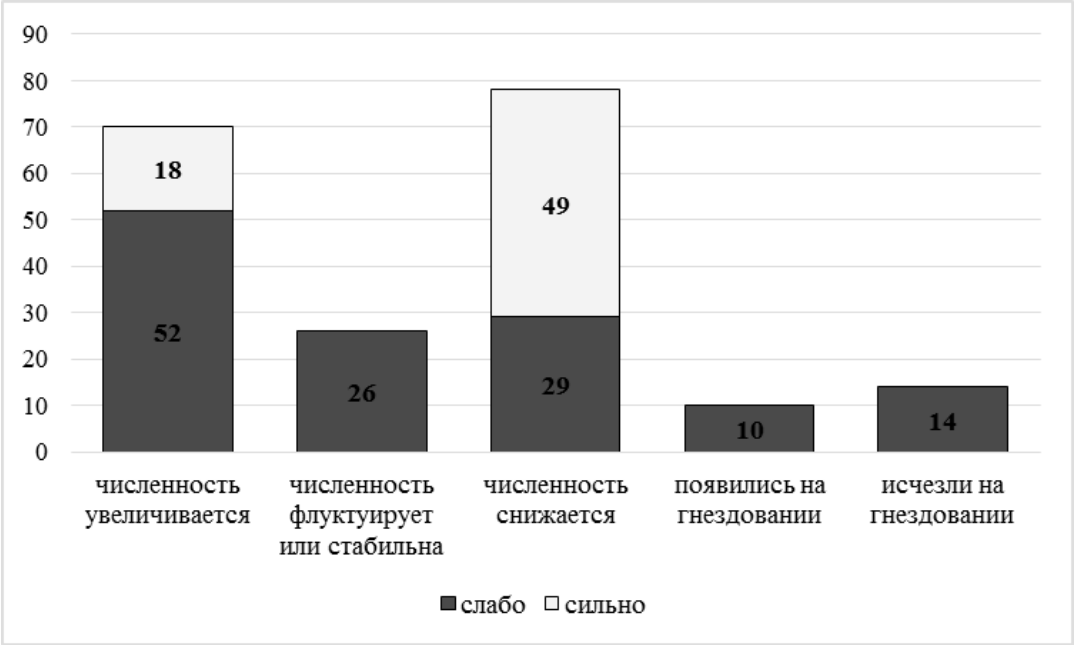


***Рисунок 1** – Оценка динамики относительной численности гнездящихся видов птиц Бреста за 2010–2025 гг.*

По признаку приуроченности к наиболее типичным местообитаниям виды птиц, обитающие в Беларуси, разделяют на шесть орнитокомплексов, или экотопов: лесной, древесно-кустарниковый, околоводно-болотный, прибрежно-водный, сухих открытых пространств и синантропный [13, 14]. В Бресте обитали представители всех шести орнито-комплексов.

В орнитофауне Бреста птицы лесного орнитокомплекса по видовому многообразию гнездящихся представителей занимали доминирующее положение. Среди них были и массовые виды-флагманы: большая синица (*Parus major*) и обыкновенная лазоревка (*Cyanistes caeruleus*). По видовому многообразию виды околоводно-болотного и прибрежно-водного комплексов доминировали, основу их видового состава представляли мигрирующие и зимующие птицы. Древесно-кустарниковый комплекс и комплекс сухих открытых пространств, как и в целом для Беларуси, были представлены незначительным числом видов. Как показали учеты численности, на стационарах доминирующее положение по численности гнездящихся пар занимали представители синантропного комплекса, среди которых были и пять из семи массовых ви-

дов-флагманов: сизый голубь (*Columba livia*), домовый воробей (*Passer domesticus*), горихвостка-чернушка (*Phoenicurus ochruros*), полевой воробей (*Passer montanus*) и городская ласточка (*Delichon urbica*). В числе массовых видов преобладали представители Воробьинообразных.

Таким образом, в ходе наших исследований было установлено обитание на территории г. Бреста 275 видов птиц, принадлежащих к 20 отрядам. Среди них 186 видов – гнездящиеся, 273 – мигрирующие и 145 – зимующие. В динамике численности для 52 видов установлено слабое увеличение, для 18 видов – сильное увеличение численности. Слабое снижение наблюдалось у 29 видов, сильное снижение – у 49 видов птиц. Впервые появились на гнездовании за последние 15 лет 10 новых видов птиц, а 14 видов за это время исчезли.

Список использованных источников

1. Бурко, Л. Д. Позвоночные животные Беларуси : учеб. пособие / Л. Д. Бурко, В. В. Гричик. – Минск : БГУ, 2013. – 391 с.

2. Кусенков, А. Н. Видовой состав и охранный статус птиц водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий / А. Н. Кусенков, З. А. Горошко // Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси : сб. ст. XI зоол. Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к десятилетию основания ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» / ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» ; редкол.: О. И. Бородин [и др.]. – Минск, 2017. – Т. 1. – С. 243–251.

3. Мальчевский, А. С. Птицы Ленинградской области и сопредельных территорий : в 2 т. / А. С. Мальчевский, Ю. Б. Пукинский. – Л. : Ленингр. ун-т, 1983. – Т. 2 : О воробьиных птицах Ленинградской области. – 504 с.

4. Самусенко, Э. Г. Колонии озерных чаек в городской черте Минска / Э. Г. Самусенко // Птицы и урбанизированный ландшафт: сб. кратких сообщений / Ин-т зоологии и паразитологии АН ЛитССР [и др.]. – Каунас, 1984. – С. 123–124.

5. Птицы городов России / Н. И. Асоскова [и др.] ; под ред. В. М. Храброго. – Санкт-Петербург ; М. : Т-во науч. изд. КМК, 2012. – 513 с.

6 Птицы Москвы: 2010 год, квадрат за квадратом : тр. Программы «Птицы Москвы и Подмосковья» / ред.: М. В. Калякин, О. В. Волцит. – М. : Зоологический музей МГУ, 2011. – Т. 7. – 286 с.

7. Птицы Бреста: Общие сведения / В. Т. Демянчик [и др.]. – Брест : БрГУ, 2022. – 210 с.

8. Птицы Бреста: Неворобьинообразные : монография / В. В. Демянчик [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – 270 с.

9. Птицы Бреста: Воробьинообразные. Общая оценка : монография / В. Т. Демянчик [и др.] ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Полес. аграр.-экол. ин-т НАН Беларуси. – Брест : БрГУ, 2023. – 325 с.

10. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики: результаты наблюдений, 2008 / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, гл. информ.-аналит. центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь, Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «БелНИЦ «Экология»; под ред. С. И. Кузьмина, С. П. Уточкиной. – Минск : РУП «БелНИЦ «Экология», 2009. – 340 с.

11. Бибби, К. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц / К. Бибби, М. Джонс, С. Марсден. – М. : Союз охраны птиц России, 2000. – 186 с.

12. Никифоров, М. Е. Региональные списки видов птиц и иммиграционный орнитофауногенез / М. Е. Никифоров, И. Э. Самусенко // Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси : сб. ст. XI зоол. Междунар. науч-практ. конф., приуроч. к десятилетию основания ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», Минск 1–3 нояб. 2017 г. : в 2 т. / ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» ; редкол.: О. И. Бородин [и др.]. – Мн., 2017. – Т. 1. – С. 275–293.

13. Биологическое разнообразие животного мира Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / М. Е. Никифоров [и др.] ; под ред. М. Е. Никифорова. – Минск : Белорусская наука, 2022. – 408 с.

14. Животный мир в зоне аварии Чернобыльской АЭС / Е. И. Анисимова [и др.] ; под общ. ред. Л. М. Сущени, М. М. Пикулика, А. Е. Пленина. – Минск : Наука и техника, 1995. – 263 с.

ASSESSMENT OF LONG-TERM DYNAMICS OF THE AVIAN COMPLEX IN A LARGE CITY

V. T. Dziamianchyk, V. P. Rabchuk, D. A. Kunakhavets, V. V. Dziamianchyk

The article provides a general assessment of the dynamics of the ornithofauna at the level of taxonomic orders for the period 1977–2025 in the urban areas of Brest within its current borders. During this period, 275 bird species were recorded in Brest.

УДК: 631.4:502/504

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОТХОДОВ САХАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ЦЕНТРАЛЬНОЕ ЧЕРНОЗЕМЬЕ)

И. В. Замотаев[1], О. В. Кайданова[1], С. Б. Суслова[1], Р. Г. Грачева[1], Д. Н. Котюн[2], Н. С. Мергелов[1], Ю. В. Конопляникова[1], А. В. Почикалов[1]

[1]Институт географии РАН, Москва, Россия, zamotaev@igras.ru
[2]Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

Изучены особенности состава и свойств отходов промышленного производства сахара (сточные воды, дефекат), значимых для их потенциального использования в сельском хозяйстве, прежде всего, в растениеводстве, в черноземной зоне на основе спектра современных инструментальных методов.

Ключевые слова: поля фильтрации, сточные воды, дефекат, агроэкологические показатели, тяжелые металлы, сканирующая электронная микроскопия, рамановская спектроскопия.

Введение. Черноземная зона является важнейшим земледельческим регионом России. В современной структуре природопользования сохранение плодородия сельскохозяйственных земель, восстановление нарушенных и деградированных почв, рациональное обращение с отходами производства и других сфер хозяйственной деятельности являются одними из актуальных эколого-экономических проблем. В настоящее время вследствие массовой распашки и интенсивного использования угодий значительная часть сельскохозяйственных земель региона подвержена плоскостной и линейной эрозии, потере почвенного органического вещества и питательных элементов, подкислению и загрязнению пестицидами и тяжелыми металлами.

Центрально-Черноземный экономический район занимает лидирующее место в сахарном подкомплексе Российской Федерации – на него приходится половина российских свеклосахарных посевов, сбора сахарной свеклы и более половины произведенного сахара. На его территории накопилось большое количество отходов и вторичных ресурсов сахарного производства, которые на большинстве предприятий не используются и выводятся на очистные сооружения (пруды-накопители, поля фильтрации), промышленные площадки и отвалы. По некоторым оценкам [1] в 2022 г. в Черноземье было произведено 2,9 млн т сахара, соответственно – около 16 млн т жома, 1 млн т мелассы, 600 тыс. т боя и хвостиков, 2,4 млн т дефеката, 3 млн т транспортерно-моечного осадка, 300 тыс. т известнякового отсева, 70 млн т сточных вод. В Курской области было выпущено 422 тыс. т сахара, а вместе с ним – 2,4 млн т жома, 150 тыс. т мелассы, 90 тыс. т боя и хвостиков, 350 тыс. т дефеката, 440 тыс. т моечного осадка, 40 тыс. т известнякового отсева и 10 млн т сточных вод. Между тем, отходы свеклосахарного производства являются не только полезным сырьем для многих отраслей хозяйства, но могут использоваться для восстановления и поддержания почвенного плодородия, их переработка может служить как экологическим целям, так и приносить сахарной отрасли дополнительную прибыль. Однако в настоящее время существенная часть этих ценных ресурсов утилизируется экстенсивным и неэффективным способом, принося значительный вред окружающей среде.

Цель статьи – рассмотрение агроэкологических показателей отходов сахарной промышленности с использованием комплекса инструментальных методов (электронной микроскопии, энергодисперсионного рентгеновского микроанализа, атомной абсорбции, рамановской спектроскопии).

Объекты и методы. Исследования проводились в пределах полей фильтрации (ПФ) Льговского сахарного завода, расположенных в лесостепной зоне. Территория ПФ площадью 175 га занимает водораздельную поверхность рек Бык и Опока. В качестве фоновой почвы был рассмотрен чернозем миграционно-мицелярный (чернозем типичный [2]) на карбонатных лессовидных суглинках (Курская биосферная станция (КБС), Медвенский район); согласно международной классификации WRB [3] – Haplic Chernozem. Образцы для исследования были отобраны в августе 2020 г. и июне 2023 г.

Содержание химических элементов в сточных водах и дефекате определялись в лабораториях ИГ РАН, а также в РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева. Субмикроскопические исследования и точечное зондирование дефеката проводили с использованием сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6610LV (Япония) с приставкой для энергодисперсионного рентгеновского микрозондового анализа Oxford INCA Energy, рамановские спектры получали на микроспектрометре Renishaw inVia Reflex в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГ РАН. Для определения содержаний

валовых форм тяжелых металлов в дефекате использовались метод атомной абсорбции (спектрометр «Квант–2МТ») и рентгенфлуоресцентный анализ (спектроскан МАКС-GVM).

Результаты. Состав техногенных потоков, поступающих на ПФ, представляет собой смесь производственных сточных вод, дефеката и транспортерно-моечного осадка [4]. Согласно ранее полученным данным [5], содержание твердых взвешенных веществ (72 мг/дм^3), карбонатов (229 мг/дм^3), фосфора фосфатов (1030 мг/дм^3), аммиака и аммонийного-иона (4,972 мг/дм^3) в отработанных сточных водах Льговского сахарного завода превышают принятые нормативные показатели для сточных вод сахарных заводов [6]. Биохимическое потребление кислорода ($БПК_5$) в стоках, равное 586 мгO_2/дм^3, более чем в 10 раз превышает норматив (не более 50 мг O_2/дм^3) для сахарной промышленности [7]. Характерный гнилостный запах сточных вод, значения $БПК_5$ свидетельствуют о том, что в отработанных сточных водах содержится большое количество растворенных органических соединений. Химическое потребление кислорода, являющееся одним из наиболее информативных показателей антропогенного загрязнения вод органическими соединениями, составляет 619 мг/дм^3, что в 2,5 раза больше нормативной величины. Несмотря на существенное обеззараживание производственных вод, проводимое на заводе, в стоках фиксируется значительное количество бактерий. Об этом свидетельствует общее микробное число (при 37 °С равное 1600–4000 КОЕ/мл), в 16–40 раз превышающее нормативы для питьевой воды [7].

Исследование содержаний химических элементов в производственных сточных водах показало, что на ПФ поступают Fe, Mn, Ca, Zn, Sr, содержание которых заметно превышают нормативные значения (таблица 1).

Таблица 1 *– Общее содержание химических элементов (мг/дм^3) в производственных сточных водах Льговского сахарного завода*

Элементы	Fe	Mn	Ca	Zn	Cu	Sr	Cd
Содержание (отбор 2021 г.)	**7,8**	**1,7**	**229**	**0,024**	0,002	**0,5**	0,001
Нормативы [8]	0–5	0–1	0–180	0,010	0,005	0,4	0,005

В результате взаимодействия извести (известкового молока) с несахарами на стадии очистки сока образуется фильтрационный осадок – дефекат. Дефекат Льговского сахарного завода имеет преимущественно белесую или бледно-палевую окраску с отдельными темно-серыми участками, бурно вскипает от HCl. Внутри ореховатых агрегатов техногенного материала наблюдается пропитка органическим веществом. Исследования, проведенные с использованием сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного рентгеновского микрозондового анализа, показали, что микроструктурную основу дефеката составляют преимущественно блочные и таблитчатые кристаллы карбоната кальция сечением 1–2 мкм. В элементном составе материала дефеката, содержащего кальцит, присутствуют примеси Mg (до 0,5 % по массе), Si (до 0,6 %), Al (до 0,3 %) и S (до 0,5 %). Состав и доля примесей в материале дефеката в целом отражают их содержание в исходной породе – известняке. Используется низкомагнезиальный известняк (до 1,5 % Mg) с суммарным фоновым содержанием Si и Al менее 1 %. Устойчивая примесь серы в дефекате отражает технологический процесс сульфитации фильтрационного осадка.

Рамановские спектры дефеката (пики на 279, 712 и 1086 см$^{-1}$) указывают на присутствие в нем карбоната кальция (рисунок). Однако в спектрах наблюдается небольшое «красное смещение», т.е. уменьшение значений волнового числа для пиков каждой колебательной моды по сравнению со значениями для исходного известняка, что связано с условиями кристаллизации кальцита при образовании дефеката. Слабый пик на 419 см$^{-1}$, очевидно, связан с примесями Si-содержащих компонентов.

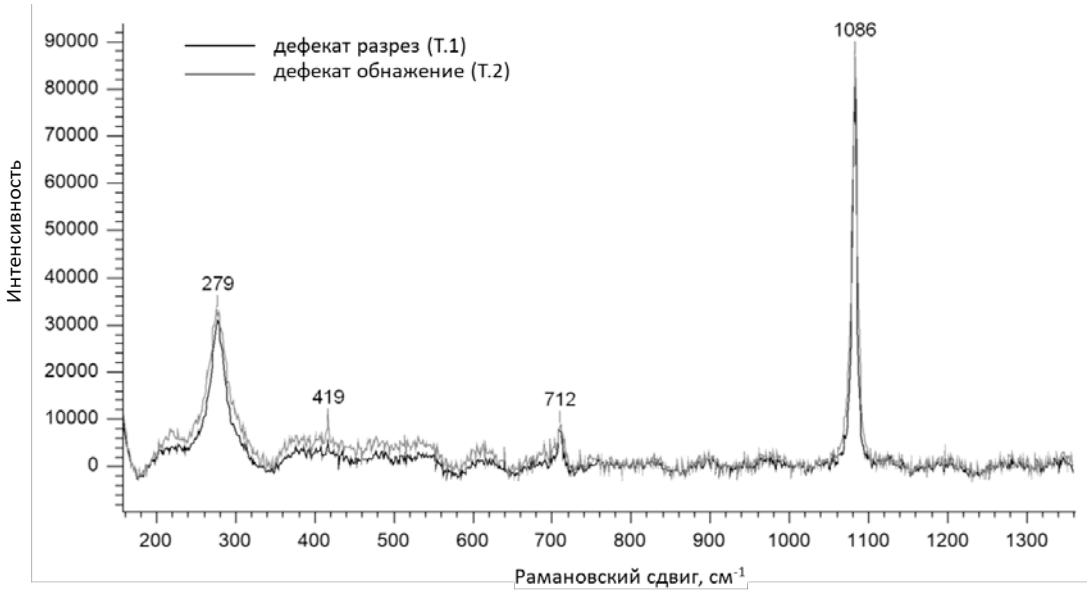


***Рисунок** – Рамановские спектры дефеката с отвала на ПФ Льговского сахарного завода*

По нашим и литературным данным [9], дефекат Льговского сахарного завода (при относительной влажности 50 %) имеет pH=11,1; удельную электроводимость 0,27 мСм/см; содержит 76,4 % $CaCO_3$; 7,5 % органического вещества; 0,4–0,6 % азота; 0,2–1,3 % фосфора (P_2O_5); 0,2–0,4 % калия (K_2O); 0,1–0,3 % серы, а также микроэлементы (таблица 2). Исследования показали, что содержание Sr в дефекате в 3 раза выше по сравнению с фоновыми почвами, что связано, по-видимому, с наличием этого элемента в известняке, используемом в сахарном производстве. Повышенное содержание Sr в известняке определяется присутствием в нем Sr-содержащих минералов: арагонита или целестина. По сравнению с фоновой почвой в дефекате отмечается также несколько повышенное содержание Zn и Cd. Повышенные содержания микроэлементов в дефекате могут быть связаны как с содержанием в исходном известняке, так и, как показали специальные исследования в Белорусском Полесье [10], с технологическими процессами использования сырья в сахарном производстве. В то же время проведенный нами анализ дефеката Льговского сахарного завода, а также литературные данные [9] по этому производству свидетельствуют о пониженном содержании в дефекате Mn, Co, Ni, Cu, Zn, V по сравнению с фоновой почвой (таблица 2). Между тем эти микроэлементы являются необходимыми компонентами для роста и развития сельскохозяйственных культур.

***Таблица 2** – Содержание микроэлементов (мг/кг) в дефекате Льговского сахарного завода и черноземе миграционно-мицелярном КБС*

Mn	Sr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd	V	Cr
Дефекат [9]									
286	н/д*	8,1	15,6	10,9	23,0	7,0	0,28	н/д	н/д
Дефекат Льговского сахарного завода, отбор 2023 г.									
375	277,8	3,5	6,7	17,9	69,7	3,8	0,32	12,5	48,5
Чернозем миграционно-мицелярный									
464	90,0	7,9	26,6	22,2	42,2	18,0	0,15	57,3	46,4

Примечание: *н/д – нет данных.

Заключение. Использование спектра современных инструментальных методов позволило детально изучить минеральный и химический состав отходов сахарной промышленности, отводимых на поля фильтрации Льговского сахарного завода в черноземной зоне. Содержание фосфатов, карбонатов, Fe, Mn, Ca, Zn, Sr в производственных сточных водах заметно превышает нормативные значения. Рамановские спектры показали, что карбонатное вещество дефеката состоит в основном из кальцита, но с небольшой модификацией в его химической структуре. Дефекат является источником микроэлементов и, прежде всего, Sr, в то же время в нем отмечается пониженное содержание Mn, Co, Ni, Cu, Zn, V по сравнению с фоновой почвой. С точки зрения экологической безопасности содержание всех исследованных микроэле-

ментов в отходах не превышает ориентировочно допустимых концентраций. В целом дефекат может быть использован для местного растениеводства при оптимизации содержания органического вещества, NPK и необходимых микроэлементов, прежде всего, Cu и Zn. Имеющиеся публикации по использованию отходов сахарной промышленности с высоким содержанием карбонатов показывают, что наиболее эффективным для уменьшения почвенной кислотности и повышения плодородия почв оказывается внесение дефеката не «в чистом виде», а в сочетании с минеральными удобрениями на пахотных дерново-подзолистых и серых лесных почвах, с органическими на черноземных, удобрительно-мелиорирующих смесей и компостов на его основе [1, 11].

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0010 (полевые работы, морфологические и аналитические исследования), а также темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0007 «Оценка содержания тяжелых металлов в сточных водах и дефекате».

Список использованных источников

1. Почвообразование, биота и эмиссия парниковых газов в техногенных ландшафтах: поля фильтрации сахарной промышленности в Центральном Черноземье / отв. ред. И. В. Замотаев, Р. Г. Грачева, С. В. Горячкин. – М. : ГЕОС, 2024. – 187 с.

2. Классификация и диагностика почв СССР. – М. : Колос, 1977. – 224 с.

3. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. – Mode of access : https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf. – Date of access : 27.01.2025.

4. Свеклосахарное производство. Краткое пособие для работников сахарных заводов. – Курск : РНИИСП, 2003. – 59 с.

5. Zamotaev, I. V. Soil formation on sugar industry waste in the Central Chernozemic Zone / I. V. Zamotaev, R. G. Gracheva, Y. V. Konoplianikova [et al.] // Eurasian Soil Sc. – 2023. – Vol. 56. – No. 11. – P. 1784–1802.

6. Руководство по охране окружающей среды, здоровья и труда для сахарной промышленности, 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2000/2007-sugar-manufacturing-ehs-guidelines-ru.pdf. – Дата доступа : 26.03.2025.

7. Mikheev, P. Microbial features of newly-formed soils of disposal fields from sugar refineries / P. Mikheev, I. Zamotaev, N. Telnova // E3S Web Conf. Actual Problems of Ecology and Environmental Management (APEEM). 2021. Vol. 265. 03009. doi: 10.1051/e3sconf/202126503009.

8. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значении» от 13 декабря 2016 года № 552. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docs.cntd.ru/document/420389120. – Дата доступа : 14.03.2025.

9. Пузанова, Л. Н. Агроэкологическая оценка и сельскохозяйственное использование субстрата очистных сооружений свеклосахарных заводов: на примере ОАО «Сахарный комбинат «Льговский». Автореф. дис. … канд. с-х. наук. – Курск, 2009. – 19 с.

10. Михальчук, Н. В. Особенности качественного состава многотоннажных отходов сахарного производства в контексте перспектив их оптимального использования / Н. В. Михальчук, М. М. Дашкевич, С. Н. Михальчук, О. А. Галуц // Актуальные научно-техн. и эколог. проблемы сохранения среды обитания: сб. статей Междунар. научно-практ. конф. 23–25 апреля 2014 г. – Ч. 3. – С. 196–203.

11. Zamotaev, I. V. Formation and transformation of soils in the areas of sugar industry waste disposal: a review / I. V. Zamotaev, R. G. Gracheva, P. V. Mikheev [et al.] // Eurasian Soil Sc. – 2022. – Vol. 55. – No. 8. – P. 1005–1015. doi: 10.1134/S1064229322080154.

AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF SUGAR INDUSTRY WASTE (CENTRAL CHERNOZEMIC REGION)

I. V. Zamotaev, O. V. Kaidanova, S. B. Suslova, R. G. Gracheva, D. N. Kotyun, N. S. Mergelov, Yu. V. Konoplyanikova, A. V. Pochikalov

The composition and and properties of wastewater and filter sludge, significant for their potential use in agriculture, primarily in crop production, in infiltration fields of the sugar industry in the chernozemic region – were studied using a range of contemporary instrumental methods.

УДК 630*165.3

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ОБЪЕКТАХ СОХРАНЕНИЯ ГЕНОФОНДА ПОЛЕССКОГО ЛЕСОСЕМЕННОГО РАЙОНА

С. И. Ивановская, Д. И. Каган, В. Е. Падутов
Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь

На основе метода изоферментного анализа установлено, что в Полесском лесосеменном районе древостои объектов сохранения генофонда сосны обыкновенной (плюсовые лесные насаждения, лесные генетические резерваты, ООПТ) характеризуются более высоким генетическим потенциалом по сравнению с сосняками лесов хозяйственного использования. В разрезе типов леса наибольший запас генетического разнообразия выявлен у сосняков черничных.

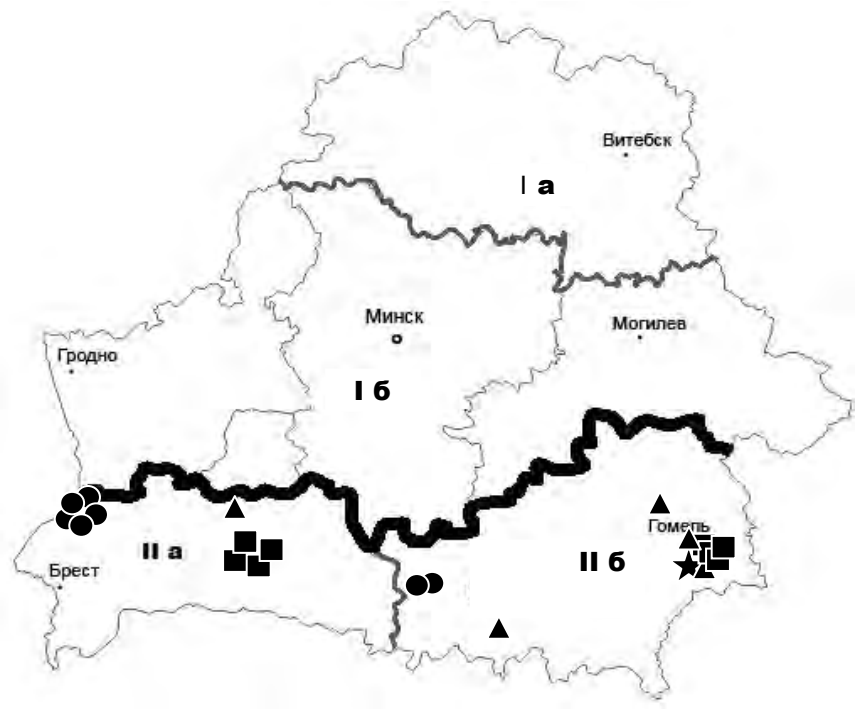
Ключевые слова: сосна обыкновенная, генетическое разнообразие, молекулярно-генетический анализ, изоферменты.

Введение. В основе генетического разнообразия лежит способность живых организмов адаптироваться к изменениям окружающей среды через естественный отбор при помощи генетической изменчивости [1]. Геном каждого вида содержит тысячи генов, комбинации которых различаются от одного региона к другому, от популяции к популяции. Популяции с низким уровнем генетической изменчивости более восприимчивы к заболеваниям, загрязнению, изменению климата, разрушениям местообитаний вследствие человеческой деятельности или воздействия других негативных факторов [1]. При сохранении генетических ресурсов, по мнению большинства исследователей, главная цель – сохранить как можно больше генетической изменчивости, которая найдена у изучаемого вида [1, 2]. Популяционно-генетические исследования лесных древесных растений, проводимые в различных странах, показывают, что в основу сохранения генофонда и генетического улучшения лесов должны быть положены закономерности внутривидовой изменчивости и дифференциации природных популяций [3–5].

Цель работы – определение уровня генетического разнообразия насаждений сосны обыкновенной различной степени защитности из Полесского лесосеменного района [6], включая древостои особо охраняемых природных территорий (ООПТ), лесных генетических резерватов, плюсовых лесных насаждений и лесов хозяйственного использования.

Материалы и методы. Материал для исследований природных популяций был собран в 21 насаждениях сосны обыкновенной, произрастающих в Брестском (II а) и Гомельском подрайонах (II б) Полесского лесосеменного района, включая древостои лесов хозяйственного использования (8 шт.), плюсовых лесных насаждений (5 шт.), лесных генетических резерватов (1 шт.), особо охраняемых природных территорий (7 шт.). Месторасположение исследованных древостоев сосны обыкновенной представлено на рисунке 1. В среднем было проанализировано около 100 деревьев из каждого насаждения.

Исследования проводили на основе метода изоферментного анализа. В качестве экспериментального материала использовались ткани почек. Для гомогенизации и выделения ферментов применялся экстрагирующий буфер для вегетативных тканей [7]. Электрофоретическое фракционирование изоферментов проводили в 13–14% крахмальном геле, с использованием трех буферных систем: трис-ЭДТА-боратная, pH 8,6; трис-цитратная, pH 6,2; трис-цитрат/NaOH-боратная, pH 8,65 [8], с модификациями. Гистохимическое окрашивание ферментов производилось по стандартным методикам, описанным в ряде руководств [7, 8]. Каждое дерево исследовалось по 11 ген-ферментным системам. Анализ проводили на основе 20 изоферментных локусов.



граница лесосеменных районов; граница лесосеменных подрайонов;
■ – леса хозяйственного использования; ● – ООПТ;
▲ – плюсовые лесные насаждения; ★ – лесные генетические резерваты

***Рисунок 1** – Месторасположение исследованных древостоев сосны обыкновенной*

В данной работе был использован ряд статистических показателей, описывающих уровень генетической изменчивости популяций [8].

Достоверность различий показателей средней гетерозиготности определялась на основании коэффициента Стьюдента:

$$t = \frac{H_1 - H_2}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}},$$

где H – средняя гетерозиготность, S – ошибка средней гетерозиготности [9].

Результаты и обсуждение. В ходе проведения генетического анализа были установлены генотипы всех проанализированных деревьев по 20 изоферментным генам и рассчитаны аллельные частоты для всех исследованных насаждений сосны обыкновенной.

Аллельные частоты, полученные для проанализированных древостоев Полесского лесосеменного района, имеют сходные значения (как внутри отдельных категорий защитности, так и между насаждениями разных категорий) и различия между ними не превышают 20 %, за исключением отдельных насаждений по локусам Dia-1 и Aat-3, где различия в аллельных частотах достигают 30 %. Следует отметить, что выявленные различия в аллельных частотах между исследованными насаждениями находились в пределах, характерных для географически связанных популяций сосны обыкновенной [10, 11].

На основании полученных генотипов и аллельных частот были рассчитаны значения основных параметров генетической изменчивости – полиморфности (P_{95} и P_{99}), среднего числа аллелей на локус (A и $A_{1\%}$), а также ожидаемой (H_e) и наблюдаемой (H_o) гетерозиготностей, которые представлены в таблице 1.

Как видно, доля полиморфных локусов по 95 % критерию (P95) варьирует от 55 до 65 %, по 99 % критерию (P99) этот показатель выше и находится в пределах от 75 до 90 %. Наибольшее количество полиморфных генов у деревьев сосны обыкновенной как Полесского лесосеменного района, так и по Беларуси в целом характерно для насаждений ООПТ (P99 = 0,90).

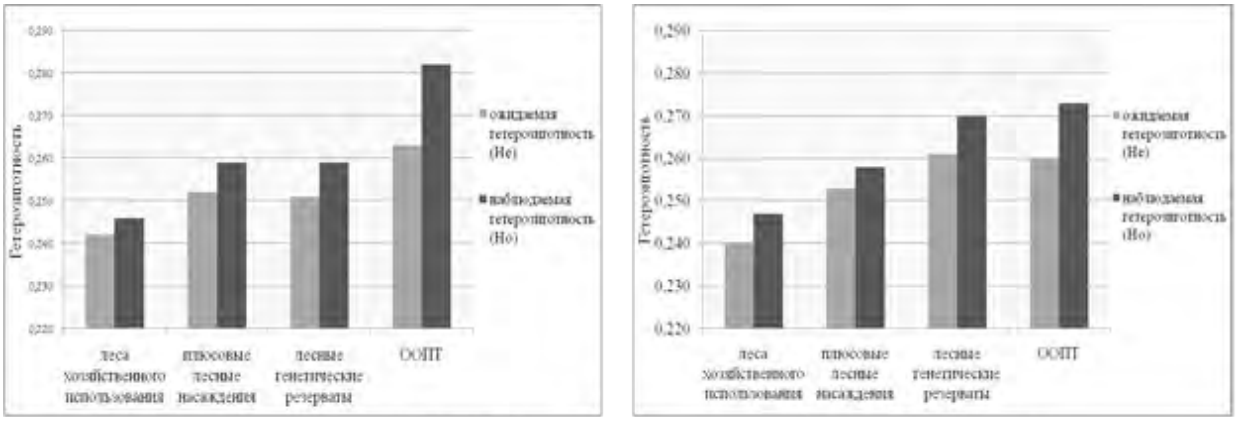
Таблица 1 *– Значения основных показателей генетической изменчивости древостоев сосны обыкновенной в объектах сохранения генофонда и лесах хозяйственного использования*

Древостои	Доля полиморфных локусов		Число аллелей на локус		Средняя гетерозиготность*	
	P_{95}	P_{99}	A>0%	A>1%	ожидаемая H_e	наблюдаемая H_o
ООПТ						
Полесский лесосеменной район	0,65	0,90	3,15	2,40	0,263±0,005***	0,282±0,005***
В целом по Беларуси	0,65	0,90	3,35	2,45	0,260±0,003***	0,273±0,003***
Лесные генетические резерваты						
Полесский лесосеменной район	0,55	0,80	2,70	2,25	0,251±0,008	0,259±0,008
В целом по Беларуси	0,60	0,95	3,35	2,35	0,261±0,006***	0,270±0,006***
Плюсовые лесные насаждения						
Полесский лесосеменной район	0,65	0,85	3,05	2,45	0,252±0,005**	0,259±0,005***
В целом по Беларуси	0,65	0,80	3,40	2,35	0,253±0,003***	0,258±0,003***
Леса хозяйственного использования						
Полесский лесосеменной район	0,60	0,85	3,55	2,40	0,242±0,002	0,246±0,002
В целом по Беларуси	0,60	0,80	3,60	2,35	0,240±0,002	0,247±0,002

Примечание: * – значения показателей приведены с ошибкой среднего; ** – достоверно превышают значение показателя для лесов хозяйственного использования по 95 % критерию; *** – достоверно превышают значение показателя для лесов хозяйственного использования по 99 % критерию.

Максимальное количество аллельного разнообразия в насаждениях Полесского лесосеменного района и по Беларуси в целом выявлено в древостоях лесов хозяйственного использования (3,55 и 3,60 соответственно), что вполне закономерно, поскольку данный показатель в большой степени зависит от размеров выборки и ее распределения по ареалу произрастания. Анализ полученных значений ожидаемой гетерозиготности H_e (основной параметр уровня генетического разнообразия, который не зависит от размеров выборки) и наблюдаемой гетерозиготности H_o показал, что наибольшие значения обоих параметров характерны для сосняков ООПТ как Полесского лесосеменного района, так и Беларуси в целом (H_e равно 0,263 и 0,260 соответственно, H_o – 0,282 и 0,273 соответственно), наименьшие значения средней ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности были выявлены для насаждений лесов хозяйственного использования (H_e равно 0,242 и 0,240 соответственно, H_o – 0,248 и 0,247 соответственно). Полученные результаты отображены также на рисунке 2.

Необходимо отметить, что прослеживается отрицательная зависимость между величиной показателя средней гетерозиготности и интенсивностью проводимых лесохозяйственных мероприятий в ряду «леса хозяйственного использования → плюсовые лесные насаждения → лесные генетические резерваты → древостои ООПТ». При этом значения показателей H_e и H_o насаждений ООПТ и плюсовых лесных насаждений для Полесского лесосеменного района достоверно ($P<0,05$) превышают таковые в насаждениях лесов хозяйственного использования (таблица 1).



Полесский лесосеменной район Беларусь в целом

***Рисунок 2** – Величина средней гетерозиготности в насаждениях сосны обыкновенной различной категории защитности*

Таким образом, можно сделать вывод о том, что антропогенное воздействие оказывает отрицательное влияние на уровень генетической изменчивости сосновых древостоев.

Оценку генетического разнообразия насаждений лесов хозяйственного использования сосны обыкновенной проводили с учетом долевого участия различных типов сосновых лесов (типов лесорастительных условий) в лесном фонде Беларуси, что дало возможность определить и сравнить уровень генетической изменчивости различных типов леса. Для проведения сравнительного анализа были изучены сосняки мшистые, черничные и вересковые, которые на территории Беларуси относятся к наиболее встречающимся типам сосновых лесов (таблица 2).

***Таблица 2** – Значения основных показателей генетической изменчивости сосны обыкновенной из разных типов сосновых лесов хозяйственного использования Полесского лесосеменного района*

Древостои	Доля полиморфных локусов		Число аллелей на локус		Средняя гетерозиготность*	
	P_{95}	P_{99}	A>0%	A>1%	H_e	H_o
Сосняки черничные	0,55	0,80	2,90	2,25	0,245±0,007	0,262±0,007
Сосняки мшистые	0,65	0,90	3,40	2,55	0,245±0,005	0,246±0,005
Сосняки вересковые	0,55	0,75	2,85	2,15	0,224±0,007	0,228±0,007
Лес хозяйственного использования в целом	0,60	0,85	3,55	2,40	0,242±0,002	0,246±0,002

Примечание: * – значения показателей приведены с ошибкой среднего.

Как следует из таблицы 2, доля полиморфных локусов по 95 % критерию (P_{95}) варьирует от 55 до 65 %, по 99 % критерию (P_{99}) этот показатель выше и находится в пределах от 75 до 90 %. Анализ значений средней ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности показал, что различия между показателями гетерозиготности отдельных насаждений достигают 4–5 %. Исходя из полученных значений ожидаемой гетерозиготности H_e и наблюдаемой гетерозиготности H_o, установлено, что наибольшие значения уровня генетического полиморфизма характерны для сосняков черничных (H_e=24,5 %, H_o=26,2 %). Исследованные сосняки мшистые из Полесского лесосеменного района имеют наибольший уровень аллельного разнообразия (A=3,40). Наименьшие значения всех изученных показателей были выявлены в сосняках вересковых.

Заключение. В ходе проведенного молекулярно-генетического анализа выявлено, что в Полесском лесосеменном районе древостои объектов сохранения генофонда сосны обыкновенной (плюсовые лесные насаждения, лесные генетические резерваты, ООПТ) характеризуются более высоким генетическим потенциалом, по сравнению с сосняками лесов хозяйственного использования. Наибольшим запасом генетического разнообразия в разрезе типов леса обладают сосняки черничные.

Список использованных источников

1. Айала, Ф. Современная генетика: в 3 т. / Ф. Айала, Дж. Кайгер. – М. : Мир, 1988. – Т. 3. – 336 с.
2. Кимура, М. Молекулярная эволюция: теория нейтральности / М. Кимура. – М. : Мир, 1985. – 396 с.
3. Алтухов, Ю. П. Генетика популяций и сохранение биоразнообразия / Ю. П. Алтухов // Соросовский образов. журнал. – 1995. – № 1. – С. 32–43.
4. Алтухов, Ю. П. Генетические процессы в популяциях / Ю. П. Алтухов. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2003. – 431 с.
5. Милютин, Л. И. Генетико-эволюционные основы устойчивости лесных экосистем / Л. И. Милютин // Лесоведение. – 2003. – № 1. – С. 16–20.
6. Требования к семеноводству лесных растений / утв. Приказом Мин-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь от 30.12.2019 № 318. – 92 с.
7. Cheliak, W. M. Techniques for starch gel electrophoresis of enzymes from forest tree species / W. M. Cheliak, J. A. Pitel // Petawawa National Forestry Institute, 1984. – 49 p.
8. Гончаренко, Г. Г. Руководство по исследованию хвойных видов методом электрофоретического анализа изоферментов / Г. Г. Гончаренко, В. Е. Падутов, В. В. Потенко. – Гомель : Полеспечать, 1989. – 164 с.
9. Плохинский, Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. – М. : МГУ, 1970. – 367 с.
10. Гончаренко, Г. Г. Исследование генетической структуры и уровня дифференциации у *Pinus sylvestris* L. в центральных и краевых популяциях Восточной Европы и Сибири / Г. Г. Гончаренко, А. Е. Силин, В. Е. Падутов // Генетика. – 1993. – Т. 29, № 12. – С. 2019–2038.
11. Падутов, В. Е. Генетические ресурсы сосны и ели в Беларуси / В. Е. Падутов. – Гомель : ИЛ НАНБ, 2001. – 144 с.

GENETIC POTENTIAL OF STANDS OF SCOTCH PINE IN THE OBJECTS OF CONSERVATION OF GENE POOL OF THE POLESIAN FOREST SEED DISTRICT

S. I. Ivanovskaya, D. I. Kagan, V. E. Padutov

Based on the isoenzyme analysis method, it was established that in the Polesian forest seed district the stands of the objects of conservation of gene pool of Scots pine (plus forest stands, forest genetic reserves, specially protected natural areas) are characterized by a higher genetic potential, compared to pine forests of economic use. In terms of forest types, the greatest reserve of genetic diversity was found in blueberry pine forests.

УДК 577.13:634.11

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ПЛОДОВ *MALUS DOMESTICA* ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОПРЕПАРАТОВ

М. О. Кайдалова[1,2], Н. Ю. Колбас[1,2]

[1]Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2]Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

В статье представлены данные об антиоксидантной активности плодов Malus domestica сортов Имант и Глостер, полученные по методу ABTS и FRAP, и указано изменение параметров при использовании в качестве биологических средств защиты растений Битоксибациллина, Профита и Энтолека. Отклик биохимических параметров плодов на обработку биопрепаратами был сортоспецифичным, а также различался в экзо- и мезокарпии.

Ключевые слова: *Malus domestica, антиоксидантная активность, биопрепараты, органическая продукция, плоды, сорта*.

Введение. *Malus domestica* (Suckow) Borkh. (яблоня домашняя) – одна из наиболее адаптивных плодовых культур, используемая в сельском хозяйстве. Плоды яблони обладают высокой урожайностью, транспортабельностью и хорошей зимостойкостью, содержат в себе полезные вещества, оказывающие положительное влияние на здоровье человека, вследствие чего эта культура получила широкое распространение [1]. Одними из них являются вещества полифенольной природы, обладающие антиоксидантной активностью (АОА) и помогающие бороться с активными формами кислорода и азота, возникающими при воздействии различного рода стрессов и принимающими участие при возникновении ряда воспалительных заболеваний. Плоды яблони имеют средний уровень содержания антиоксидантов (после клюквы) по сравнению с такими фруктами, как лимон, земляника, персик, красный виноград и др. [2]. Содержание и состав антиоксидантов зависит от сорта, а в самих плодах распределяется неравномерно. Так, у *M. domestica* большее количество полифенолов находится в эндокарпии, меньшее – в мезокарпии [3].

В настоящее время основным источником получения плодов яблони являются агросады и фермерские хозяйства, где для борьбы с болезнями, насекомыми-вредителями используются пестициды различной направленности воздействия, а для получения большего количества урожая применяются минеральные удобрения, что приводят к загрязнению не только окружающей среды, но и к снижению качества получаемой продукции, что впоследствии негативно влияет на здоровье и качество жизни потребителя. Поэтому в последнее время все большую популярность приобретает органическое земледелие, при котором для защиты растений используются препараты органического происхождения, при этом окружающей среде не наносится вред и получаемая продукция экологически безопасна [4]. На сегодняшний день исследования по органическому земледелию проводятся во всем мире, а в таких странах как Япония, США, Австралия и др. – на государственном уровне, как и в Республике Беларусь, где в 2012 г. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 639 был принят «План выполнения Мероприятий по организации выпуска продукции органического земледелия», а в ноябре 2019 г. вступил в силу Закон Республики Беларусь «О производстве и обращении органической продукции» [5].

Цель исследования – оценить влияние биопрепаратов (Энтолек, Профит, Битоксибациллин) на АОА плодов *M. domestica* сортов Глостер и Имант при разных стратегиях обработки в условиях перехода к органическому земледелию.

Материалы и методы. Полевой эксперимент осуществлялся в 2024 г. на территории питомника ОАО «Агро-сад Рассвет» (аг. Вистычи, Брестский р-н, Брестская обл.) и ОАО «Остромечево» (аг. Остромечево, Брестский р-н, Брестская обл.) на протяжении вегетационного сезона. В качестве биопрепаратов использовались препараты: Битоксибациллин (действующий компонент – споры Bacillus thuringiensis var. thuringiensis; производитель – Сиббиофарм, РФ), Профит (М+Б) (споры энтомопатогенных грибов Metarhizium, Beauveria; ООО «Профит-Гарден», РБ) и Энтолек (споры энтомопатогенного гриба Lecanicillium lecanii и энтомоцидные метаболиты; РУПП «Защита растений», РБ) – биологические препараты, направленные на улучшение состояния почв и борьбу с вредителями и болезнями. Обработку растений начинали до появления на растениях листьев. Так же было оценено воздействие препаратов, использующихся при конвенционном выращивании. Для выявления эффективности препаратов использовались образцы, собранные с растений без обработок.

Анализировали полученные плоды, которые разделяли на экзо- и мезокарпий, удаляли семенную камеру (далее не использовали), лиофилизировали, а затем измельчали. Биологически активные вещества экстрагировали 70 % этанолом в пропорции 1 г на 10 мл и настаивали 14 дней при температуре 4 ºС без доступа света при периодическом перемешивании.

Для оценки общей АОА применяли 2 методики, которые в настоящее время широко используются в биохимических исследованиях *in vitro* и позволяют выявить антиоксидантное действие как гидрофильных, так и липофильных антиоксидантов. Оценку АОА по методу *ABTS* (от англ. – 2,2'-азино-*бис* (3-этилбензтиазолин)-6-сульфоновая кислота) проводили согласно методике, описанной в работе S. Dudonné с соавт. (2009) [6]. В качестве стандарта использовали тролокс (6-гидрокси – 2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновая кислота). АОА исследуемых плодов выражали в микромоль тролокс-эквивалента в пересчете на г лиофилизированных плодов (мкмоль ТЭ/ г).

АОА по методу *FRAP* (от англ. *Ferric Reducing Antioxidant Power* – железовосстанавливающая антиоксидантная мощность) определяли согласно методике [6] и выражали в микромоль Fe^{+2} в пересчете на г лиофилизированных плодов (мкмоль Fe^{+2}/ г).

Все опыты выполнены в трехкратной повторности. Статистическая обработка результатов проведена с использованием программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждения. В контрольных образцах яблок сорта Имант АОА, оцененная методом *ABTS*, в экзокарпии после лиофилизации составила 27,3±1,51 мкмоль ТЭ/г, что на 21 % больше, чем в мезокарпии (21,6±0,9 мкмоль ТЭ/г). Согласно результатам метода *FRAP,* АОА экзокарпия была 74,4±3,1 мкмоль Fe^{2+}/г, мезокарпия – 59,7±2,1 мкмоль Fe^{2+}/г (рисунок 1). Экзокарпий у этого сорта составляет от 14,6 до 15,8 % от массы сырых плодов.

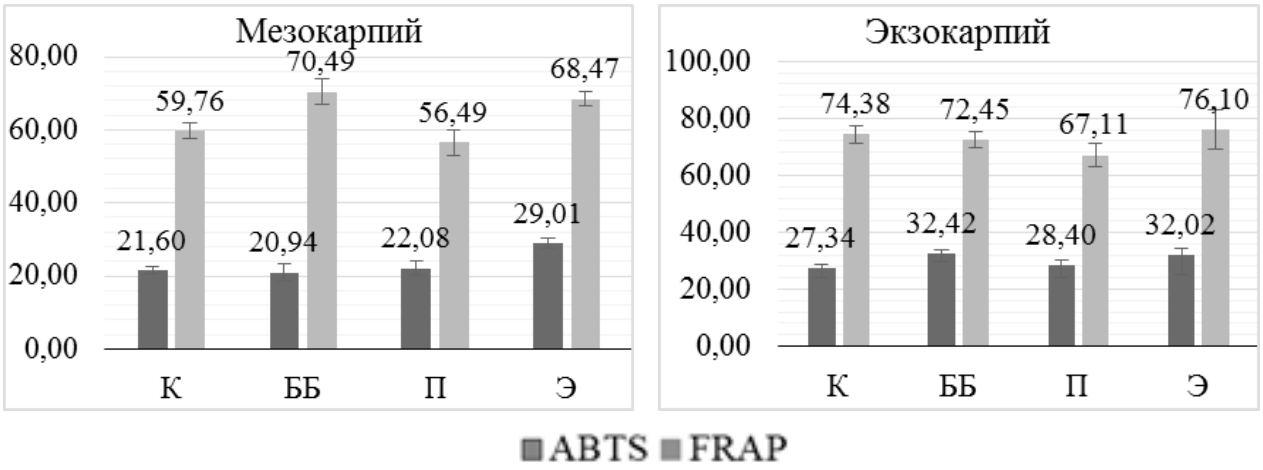


***Рисунок 1** – АОА лиофилизированных плодов Malus domestica (сорт Имант): результаты метода ABTS выражены в мкмоль тролокс эквивалента/г, FRAP – в мкмоль Fe^{2+}/г; К – контроль, ББ – Битоксибациллин, П – Профит, Э – Энтолек*

При обработке яблонь сорта Имант Энтолеком отмечено увеличение АОА как в мезо- (на 17,1 % по данным *ABTS*), так и в экзокарпии (34,3 % – *ABTS* и 14,6 % – *FRAP*) плодов; при обработке Битоксибациллином отмечено повышение АОА экзокарпия согласно методу *ABTS* (18,6 %) и мезокарпия согласно методу *FRAP* (18,0 %). Обработка Профитом существенно не повлияла на их АОА.

АОА мезокарпия контрольного образца яблок сорта Глостер, оцененная методом *ABTS,* была на 77 % больше, чем в сорте Имант (рисунок 2), показатель же, оцененный методом *FRAP,* был сопоставим (59 мкмоль Fe^{2+}/г). В экзокарпии АОА, оцененная по обоим методам, как и у сорта Глостер, была выше, чем в мезокарпии. По методу *ABTS* АОА составила *35,23*±9,7 мкмоль ТЭ/г (на 28,85 % меньше, чем в сорте Имант), по *FRAP* – на 16 % меньше, чем в сорте Имант.

Обработка растений всеми препаратами привела к повышению АОА и мезо-, и экзокарпия, согласно методу *FRAP* (рисунок 2). В экзокарпии наибольшее влияние из выбранных нами препаратов оказала обработка Битоксибациллином (+62 %), чуть меньшее положительное воздействие оказал препарат Профит (+41 %), наименьшее, но также существенное влияние оказала обработка Энтолеком (+21 %). В мезокарпии наблюдается схожее с экзокарпием воздействие обработок на показатель: Битоксибациллин повышает на 64 %, Энтолек – на 22 %, Профит – на 42 %.

Пестициды, используемые при конвенционном выращивании сорта Глостер, оказали наибольшее воздействие на показатель АОА, оцененной по методу *FRAP:* на 81–85 % больше, чем в контроле.

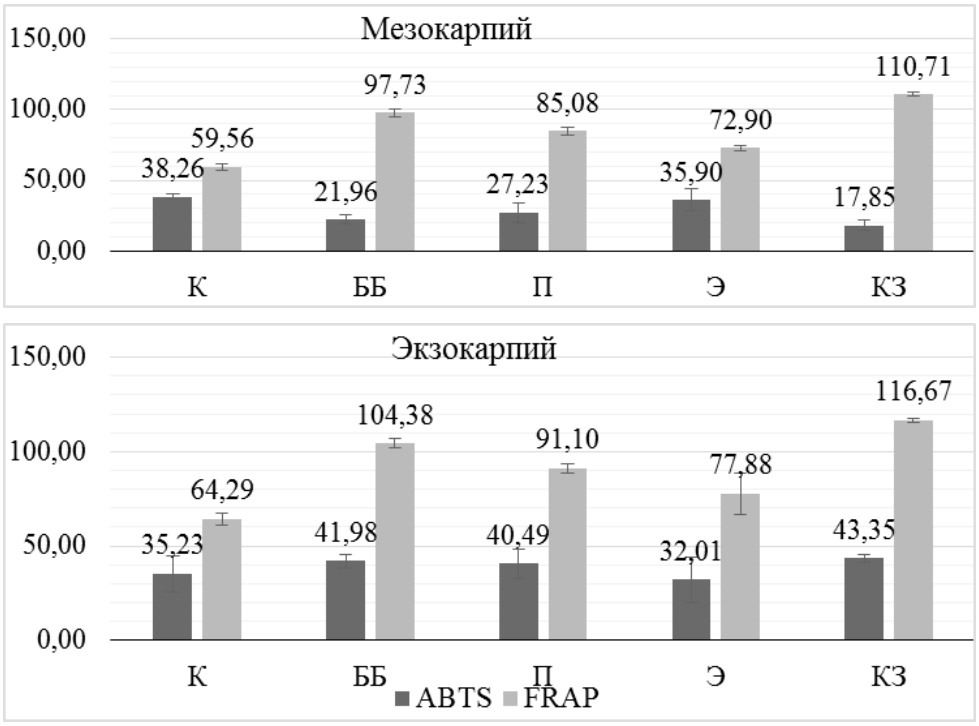


***Рисунок 2** – АОА лиофилизированных плодов Malus domestica (сорт Глостер): результаты метода ABTS выражены в мкмоль тролокс эквивалента/г, FRAP – в мкмоль Fe^{2+}/г; К –контроль, ББ – Битоксибациллин, П – Профит, Э – Энтолек, КЗ – конвенционное выращивание*

В отношении АОА, согласно методу *ABTS,* обработка всеми препаратами привела к её снижению в мезокапии яблок. Незначительное негативное воздействие оказала обработка Энтолеком. Битоксибациллин, Профит и препараты, используемые при конвенционном выращивании, оказали более сильное воздействие: -29 %, -43 %, -53 % соответственно. На экзокарпий обработка Энтолеком оказало схожее влияние, что и в мезокарпии. Остальные же препараты, наоборот, привели к повышению АОА на 14–23 % по отношению к контролю.

Согласно литературным данным [7, 8], при органическом производстве отмечается статистически значимое увеличение АОА поверхностных тканей плода (экзодермы) сортов Florina, Topaz и Crown Prince Rudolf. При этом эффект от органического культивирования менее заметен в мякоти плодов, чем в их поверхностных тканях, что связано с физиологической ролью последних как физического и химического барьера от воздействия патогенов.

Заключение. Таким образом, в ходе исследования было выявлено, что для обоих сортов наиболее эффективным будет применение препарата Битоксибациллин, так как его использование оказало наибольшее положительное воздействие на АОА и в мезокарпии, и в энокарпии при оценке ее методом *FRAP.* Для сорта Имант также эффективным будет применение препарата Энтолек. Для Глостера же эффективным будет использование препарата Профит. В оценке влияния биопрепаратов на АОА плодов метод *FRAP* был более эффективным, чем *ABTS*.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ-Брест 2024 № Х24Б-005.

Список использованных источников

1. Дулов, М. И. Биохимический состав и производство яблок в странах мира / М. И. Дулов // Наукосфера, 2022. – № 2–1. – С. 90–96.

2. Колбас, Н. Ю. Антоциановый комплекс и антиоксидантная активность плодов некоторых представителей семейства Розоцветные (Rosaceae Juss.) : монография / Н. Ю. Колбас; науч. ред. В. Н. Решетников. – Брест : БрГУ, 2019. – 173 с.

3. Systematic review of phenolic compounds in apple fruits: compositions, distribution, absorption, metabolism, and processing stability / S. Feng, J. Yi, X. Li [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2021. – Vol. 69, N 1. – P. 7–27.

4. Органическое земледелие с нуля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://soz.bio/osnovy-organicheskogo-zemledeliya/. – Дата доступа : 07.07.2025.

5. О производстве и обращении органической продукции [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 9 ноя. 2018 г. № 144–З.

6. Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD and ORAC Assays / S. Dudonné [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2009. − Vol. 57, № 5. – P. 1768–1774.

7. Polyphenol levels and free radical scavenging activities of four apple cultivars from integrated and organic farming in different Italian areas / L. Lamperi [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2008. – Vol. 56, Is. 15. – P. 6536–6546.

8. Radical scavenging activities of peels and pulps from cv. Golden delicious apples as related to their phenolic composition / F. Chinnici, A. Bendini, A. Gaiani, C. Riponi // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52, Is. 15. – P. 4684–4689.

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF MALUS DOMESTICA FRUITS USING BIOLOGICAL PRODUCTS

M. O. Kaydalova, N. Y. Kolbas

The article presents data on the antioxidant activity of Malus domestica fruits of the Imant and Gloster varieties, obtained using the ABTS and FRAP methods, and indicates the change in parameters when using Bitoxibacillin, Profit and Entolek as biological plant protection products. The response of the biochemical parameters of the fruits to treatment with biopreparations was variety-specific and also differed in the exo- and mesocarp.

УДК 628.38: 631.812

ИССЛЕДОВАНИЕ УДОБРИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА ПЕРЕРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В. О. Китиков, И. И. Полоз, А. И. Чухольский
Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты двухлетних полевых исследований, направленных на обоснование технологии переработки осадков сточных вод и органической части твёрдых коммунальных отходов в органическое удобрение «ОрганикЗем». Установлено статистически значимое повышение урожайности озимой пшеницы и редьки масличной, а также улучшение характеристик зерна озимой пшеницы.

Ключевые слова: технология, органическое удобрение, «ОрганикЗем», осадки сточных вод, компост, озимая пшеница, редька масличная, урожайность, качество продукции.

Введение. Преобразование отходов из источника загрязнения в ценный ресурс – одна из ключевых задач устойчивого экологического развития. Осадки сточных вод (ОСВ) и органическая часть твердых коммунальных отходов (ОТКО) представляют собой значительный по объему источник органического вещества и элементов питания, потенциально пригодных для использования в сельском хозяйстве. Однако традиционные методы утилизации данных отходов, такие как депонирование на объектах хранения и захоронение, не только не решают проблему, но и создают дополнительные экологические риски.

В связи с этим разработка и внедрение технологий переработки ОСВ и ОТКО в органические удобрения является перспективным направлением, позволяющим решить одновременно две задачи: снизить негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить сельское хозяйство ценными органическими ресурсами.

Цель комплексного исследования состоит в разработке технологии переработки ОСВ и ОТКО, обосновании технологических процессов и оборудования, а также испытании удобрения с использованием агрономических методов. В рамках двухлетних полевых экспериментов было изучено влияние «ОрганикЗем» на урожайность озимой пшеницы и редьки масличной в сравнении с контрольным вариантом (без удобрений) и эталонным удобрением (подстилочный навоз). Данное исследование является продолжением работы, результаты первого года которой были опубликованы ранее [1]. Полученные данные свидетельствуют о высокой агрономической эффективности «ОрганикЗем», что позволяет рассматривать его в качестве перспективной альтернативы традиционным органическим удобрениям.

Материалы и методы. Двухлетние полевые исследования по оценке биологической и хозяйственной эффективности органического удобрения «ОрганикЗем» проводились в 2023–2024 гг. на экспериментальной базе РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси» и в производственных условиях сельскохозяйственных предприятий ОАО «Гастелловское» Минского района и ПРУП «Э/б им. Котовского» Узденского района Минской области. Исследования были направлены на изучение влияния «ОрганикЗем» на урожайность и качество продукции двух сельскохозяйственных культур: озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Элегия и редьки масличной (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis Pers.*) сорта Ника.

Удобрение «ОрганикЗем» представляет собой компост, полученный на основе ОСВ, опилок и листового опада. Характеристика компоста: pH 6,6, содержание органического вещества – 54,31 %, общего азота (N) – 1,81 %, пентоксида дифосфора (P_2O_5) – 1,5 %, оксида калия (K^2O) – 0,75 % (в расчете на сухое вещество).

Испытания с редькой масличной проводились на дерново-подзолистой супесчаной почве со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 2,2 %, pHKCl – 6,10, содержание подвижных форм P_2O_5 – 250 мг/кг, K_2O – 183 мг/кг почвы. Предшественником редьки масличной являлся яровой ячмень. Схема опыта включала следующие варианты: контроль (без внесения удобрений), внесение подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га (эталон) и внесение органического удобрения «ОрганикЗем» в дозе 40 т/га. Органические удобрения вносились разбросным способом под предпосевную культивацию. Посев редьки масличной проводился в конце июля (30.07.2024 г.), норма высева составляла 22 кг/га. Площадь опытной делянки составляла 18 м², размещение делянок на опытном участке было рендомизированным, с четырехкратной повторностью.

Исследования с озимой пшеницей проводились на дерново-подзолистой суглинистой почве, характеризующейся следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 2,6 %, pHKCl – 6,4, содержание подвижных форм P_2O_5 – 709 мг/кг, K_2O – 279 мг/кг почвы. Предшественником озимой пшеницы являлся озимый рапс. Схема опыта включала следующие варианты: контроль (без внесения удобрений), внесение подстилочного навоза КРС в дозе 30 т/га (эталон), внесение органического удобрения «ОрганикЗем» в дозах 30 т/га и 50 т/га. Органические удобрения также вносились разбросным способом под предпосевную культивацию. Посев озимой пшеницы проводился в середине сентября (13.09.2023 г.), норма высева составляла 4,5 млн всхожих семян/га (192 кг/га). Площадь опытной делянки составляла 30 м², размещение делянок на опытном участке было рендомизированным, с четырехкратной повторностью. В период вегетации озимой пшеницы проводились обработки посевов гербицидами и фунгицидами согласно принятой технологии возделывания культуры.

В течение вегетационного периода обеих культур проводились фенологические наблюдения за ростом и развитием растений. Уборка редьки масличной проводилась в начале октября (03.10.2023 г. и 05.09.2024 г.). Уборка озимой пшеницы проводилась в конце июля – начале августа (01.08.2024 г.). Урожайность определялась методом сплошного учета. В растительных образцах редьки масличной определяли содержание азота, фосфора и калия. В зерне озимой пшеницы определяли массу 1000 семян, содержание белка и клейковины. Также проводился расчет кормовой продуктивности зерна.

Полученные данные подвергались статистической обработке с использованием дисперсионного анализа. Достоверность различий между вариантами оценивалась по наименьшей существенной разнице (НСР) при уровне значимости $P < 0,05$.

Результаты и обсуждение. В двухлетних полевых испытаниях установлено положительное влияние органического удобрения «ОрганикЗем» на урожайность зелёной массы редьки масличной. В 2023 г. урожайность зелёной массы редьки масличной в контрольном варианте (без удобрений) составила 204,7 ц/га. Внесение «ОрганикЗем» в дозе 40 т/га обеспечило достоверное повышение урожая на 42,3 ц/га (+21 %) по сравнению с контролем. Результаты были сопоставимы с применением соломистого навоза (40 т/га), использованного в качестве эталона.

В 2024 г. в контрольном варианте урожайность зелёной массы редьки масличной составила 158 ц/га. Применение органического удобрения «ОрганикЗем» в дозе 40 т/га обеспечило достоверное повышение урожая на 54 ц/га (+34 %) (таблица 1). Данный результат также был сопоставим с применением соломистого навоза (40 т/га).

Результаты влияния «ОрганикЗем» на урожайность зелёной массы редьки масличной в 2023–2024 гг. представлены в таблице 1 [2, 3].

Химический анализ зелёной массы редьки масличной показал, что в 2023 г. содержание азота в растительных образцах варьировало в пределах 1,55–1,83 %, фосфора – 0,82–1,01 %, калия – 4,81–5,55 %. В вариантах с применением соломистого навоза отмечено достоверное повышение содержания в растениях всех элементов питания. Эффект от применения испытуемого удобрения «ОрганикЗем» проявился в повышении в растениях содержания фосфора.

Таблица 1 *– Влияние органического удобрения «ОрганикЗем» на урожайность зелёной массы редьки масличной (естественная влажность)*

Вариант	Урожайность (ц/га) 2023	Урожайность (ц/га) 2024	Прибавка к контролю (ц/га) 2023	Прибавка к контролю (ц/га) 2024
Контроль, без удобрений	204,7	158	–	–
Соломистый навоз (компост), 40 т/га – эталон	257,5	226	52,8	68
«ОрганикЗем» (компост), 40 т/га – испытуемое	247,0	212	42,3	54
$НСР_{0·5}$	20,5	19	–	–

В 2024 г. содержание азота в растительных образцах варьировало в пределах 2,13–2,32 %, фосфора – 1,15–1,29 %, калия – 5,42–5,55 %. В растительных образцах, отобранных с делянок с применением испытуемого компоста, отмечено достоверное снижение содержания азота на 0,19% и повышение фосфора на 0,14 %.

Химический состав зелёной массы редьки масличной под влиянием «ОрганикЗем» представлен в таблице 2 [2, 3].

***Таблица 2** – Влияние органического удобрения «ОрганикЗем» на химический состав зелёной массы редьки масличной*

Вариант	N (%) 2023	P_2O_5 (%) 2023	K_2O (%) 2023	N (%) 2024	P_2O_5 (%) 2024	K_2O (%) 2024
Контроль, без удобрений	1,55	0,82	4,81	2,32	1,15	5,42
Соломистый навоз, 40 т/га – эталон	1,83	1,01	5,55	2,16	1,17	5,55
«ОрганикЗем» (компост), 40 т/га – испытуемое	1,60	0,93	5,00	2,13	1,29	5,50
$НСР_{0·5}$	0,09	0,07	0,30	0,11	0,06	0,30

Результаты двухлетних исследований демонстрируют стабильное положительное влияние удобрения «ОрганикЗем» на урожайность редьки масличной, сопоставимое с действием традиционного органического удобрения – соломистого навоза.

В 2024 г. применение органических удобрений оказало существенное влияние на показатели качества зерна озимой пшеницы. Масса 1000 семян в контрольном варианте составила 45,90 г. В варианте с применением «ОрганикЗем» в дозе 50 т/га масса 1000 семян достоверно возросла до 48,92 г, что на 3,02 г больше, чем в контроле, и на 2,38 г больше, чем в варианте с применением эталона (соломистый навоз).

Содержание азота, фосфора и калия в зерне озимой пшеницы также увеличилось в вариантах с внесением органических удобрений. Содержание протеина в зерне в вариантах с применением испытуемого компоста в дозах 30 и 50 т/га составило 11,7–11,8 %, что на 2,2–2,3 % достоверно выше показателей на контроле. Содержание клейковины также увеличилось на 4,9–5,9 % относительно контроля.

Расчет кормовой продуктивности зерна показал, что за счёт применения соломистого навоза (эталона) сбор сырого протеина по отношению к контролю увеличился на 370,9 кг/га. В вариантах с применением органического удобрения «ОрганикЗем» в дозах 30 и 50 т/га сбор сырого протеина относительно варианта без удобрений увеличился на 314,2–350,4 кг/га.

Урожайность зерна озимой пшеницы в контрольном варианте составила 57,6 ц/га. Применение испытуемого компоста ОрганикЗем в дозе 30 т/га обеспечило достоверное повышение урожая на 20,4 ц/га (+35 %), что несколько уступает показателю эталона. При увеличении дозы компоста до 50 т/га урожайность зерна пшеницы возросла и составила 80,9 ц/га, что на уровне эталона.

Влияние «ОрганикЗем» на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в 2024 г. отражено в таблице 3 [4].

***Таблица 3** – Влияние органического удобрения «ОрганикЗем» на урожайность и качество зерна озимой пшеницы (2024 г.)*

Вариант	Урожайность (ц/га)	Масса 1000 семян (г)	Белок (%)	Клейковина (% в сух. в-ве)
Контроль, без удобрений	57,6	45,90	9,5	18,3
Подстилочный навоз КРС, 30 т/га – эталон	80,2	46,54	12,2	25,4
Органическое удобрение «ОрганикЗем» (компост), 30 т/га – испытуемое 1	78,0	44,86	11,7	23,2
Органическое удобрение «ОрганикЗем» (компост), 50 т/га – испытуемое 2	80,9	48,92	11,8	24,2
$НСР_{0·5}$	4,1	2,33	0,6	1,3

Результаты исследований показывают, что применение органического удобрения «ОрганикЗем» положительно влияет на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Увеличение массы 1000 семян, содержания белка и клейковины свидетельствует о повышении питательной ценности зерна.

Заключение. Результаты двухлетних полевых исследований демонстрируют положительное влияние органического удобрения «ОрганикЗем», как продукта технологии переработки ОСВ и ОТКО, на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. Внесение «ОрганикЗем» в посевы редьки масличной обеспечило стабильное увеличение урожайности зелёной массы, в среднем на 27 %, сопоставимое с эффектом от применения традиционного органического удобрения (соломистый навоз). На посевах озимой пшеницы применение «ОрганикЗем» способствовало повышению урожайности зерна, в среднем на

35 %, улучшению показателей его качества (масса 1000 семян увеличилась на 2,38 г, содержание белка увеличилось на 2,2–2,3 %, содержание клейковины увеличилось на 4,9–5,9 %) и увеличению кормовой продуктивности. Полученные результаты служат обоснованием эффективности технологии переработки ОСВ и ОТКО для получения органического удобрения «ОрганикЗем», способного обеспечивать повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и утилизацию органических отходов.

Список использованных источников

1. Китиков, В. О. Результаты испытания удобрения, полученного на основе технологии переработки органической части коммунальных отходов / О. В. Китиков, А. И. Чухольский // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве. – Минск : БГТУ, 2024. – С. 119–124.

2. Мезенцева, Е. Г. Отчет о биологической и хозяйственной эффективности органического удобрения «ОрганикЗем» и качестве урожая при возделывании редьки масличной на зелёную массу на дерново-подзолистых почвах (за 2023 г.) / Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш // Архив РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – 2023. – 3 с.

3. Мезенцева, Е. Г. Отчет о биологической и хозяйственной эффективности органического удобрения «ОрганикЗем» и качестве урожая при возделывании редьки масличной на зелёную массу на дерново-подзолистых почвах (за 2024 г.) / Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш // Архив РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – 2024. – 3 с.

4. Мезенцева, Е. Г. Отчет о биологической и хозяйственной эффективности органического удобрения «ОрганикЗем» и качестве урожая при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах (за 2024 г.) / Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш // Архив РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – 2024. – 5 с.

INVESTIGATION OF THE FERTILIZING PROPERTIES OF THE FINAL PRODUCT OF PROCESSING SEWAGE SLUDGE AND THE ORGANIC PART OF MUNICIPAL SOLID WASTE

V. O. Kitikov, I. I. Poloz, A. I. Chukholsky

The results of two years of field research aimed at developing a technology for processing sewage sludge and organic waste from municipal solid waste into a fertilizer, “OrganikZem”, are presented. The research found a statistically significant increase in the yield of winter wheat and oilseed radish, as well as improvements in the quality of winter wheat grains.

УДК 577.13:634.23

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ ВИШНИ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНТОМОЦИДНЫХ БИОПРЕПАРАТОВ

Н. Ю. Колбас[1,2], О. Н. Франчук[2], А. П. Колбас[1,3], М. О. Кайдалова[1,2], О. В. Синчук[4]
[1] Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2] Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь
[3] Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[4] НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, г. Минск, Беларусь

Представлены данные о влиянии биопрепаратов (Энтолек, Профит, Битоксибациллин) на содержание фенольных соединений (ФС) в листьях вишни обыкновенной (сорта Гриот Белорусский, Жывица, Ласуха и Облачинская). Концентрация ФС в лиофилизированных листьях была 23,67–61,15 мг галловой кислоты на г. Установлены сортовые различия в реакции на обработку биопрепаратами. Наиболее эффективным был Битоксибациллин (повышение содержания ФС в среднем 16 %).

Ключевые слова: Prunus cerasus, биопрепараты, лист, сорт, фенольные соединения.

Введение. Фенольные соединения (ФС) играют ключевую роль в жизнедеятельности растений, выполняя защитные, антиоксидантные и сигнальные функции. Их накопление в различных частях плодово–ягодных культур не только определяет устойчивость растений к биотическому и абиотическому стрессу, но и повышает пищевую ценность продукции [1].

В Республике Беларусь вишня обыкновенная (*Prunus cerasus* L.) является популярной плодовой культурой, выращивается предприятиями различных форм собственности и на частных подворьях. В Государственный реестр 2025 г. включены 9 сортов: Тургеневка, Жывица, Гриот Белорусский, Уйфехертой Фюртош, Ливенская, Ласуха, Несвижская, Конфитюр и Милавица [2, с. 87–88].

Среди основных фитофагов-вредителей *P. cerasus* на территории Республики Беларусь в научной литературе указываются: вишневый слизистый пилильщик (*Caliroa cerasi* Retzius 1783), вишневая тля (*Myzus cerasi* Fabricius, 1775), вишневая муха (*Rhagoletis cerasi* (Linnaeus, 1758)) [3]. Отметим, что благодаря антифидантным свойствам одной из функций ФС в растении является защита от поедания [1]. Повышенное содержание в первую очередь лигнанов, таннинов, пирокатехола, феруловой и хлорогеновой кислот в биохимическом составе листьев делает их малосъедобными для личинок и имаго насекомых. Согласно литературным данным [4; 5; 6], профиль ФС листьев *P. cerasus* включает фенольные (галловая) и гидроксикоричные кислоты (кумароилхинная, кумаровая, хлорогеновая и неохлорогеновая), флоризин (менее 1 %), флавонолы (авикулярин, астрагалин, гиперозид, изокверцитрин, кемпферол, кверцитрин, рейнурин, рутин и др.), флаван-3-олы (преимущественно эпигаллокатехин), а также процианидины (рисунок 1).

Таким образом, при изучении новых агротехнических приемов выращивания *P. cerasus*, при переходе на органическое земледелие, в том числе с использованием биологических средств защиты растений, важно контролировать содержания ФС в листьях.

Цель работы – исследовать динамику ФС в листьях *P. cerasus* при разных стратегиях обработки растений против насекомых-фитофагов.

Объекты и методы исследований. Полевой эксперимент проведен в 2024 г. на территории ОАО «Агро-сад Рассвет» (аг. Вистычи, Брестский р-н) и отдела Агробиология УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина» (г. Брест, ул. Шоссейная 10). В качестве объекта исследования использовали вишню четырех сортов: один сербской селекции – Облачинская (Oblaczynska) и три белорусской – Гриот Белорусский, Жывица и Ласуха. Против насекомых фитофагов применяли 3 биопрепарата: Битоксибациллин (*Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis*, Сиббиофарм, РФ), Профит (изоляты грибов *Metarhizium Beauveria,* ООО «Профит-Гарден», РБ), Энтолек (*Lecanicillium lecanii* (Zimmerm.) Zare & W.Gams, РУПП «Защита растений», РБ). В качестве контроля использовали образцы листьев с деревьев, обработанных водой. Для выявления эффективности биопрепаратов были проанализированы образцы сорта Облачинская конвенционного выращивания (с использованием пестицидов).



***Рисунок 1** – Профиль фенольных соединений листьев P. cerasus [обобщено по 4–6]*

Листья дефинитивных размеров после сбора промывали водой, лиофилизировали, измельчали до частиц диаметром 1 мм и экстрагировали 80 % ацетоном (в пропорции 1 г/100 мл, 48 часов, без доступа света, при температуре 4°С). Определение общего содержания ФС проводили методом Фолина-Чокальтеу [7]. Оптическую плотность измеряли при длине волны 765 нм (спектрофотометр Proscan MC 122, «Проскан специальные инструменты», РБ). В качестве стандарта использовали галловую кислоту в эффективном диапазоне концентраций от 50 до 500 мг/л. Концентрацию фенольных соединений выражали в мг галловой кислоты на г лиофилизированных листьев (мг ГК/г).

Все опыты выполнены в трехкратной повторности. Статистическая обработка результатов проведена с использованием программ Microsoft Excel и R (версия 4.3.1).

Результаты и обсуждение. Содержание ФС в лиофилизированных листьях вишни изученных сортов варьировало от 23,67 до 61,15 мг ГК/г и для контрольных образцов снижалось в последовательности: Ласуха (47,75±3,85) > Облачинская (45,69±3,82) > Жывица (39,55±3,15) > Гриот Белорусский (34,46±3,21, рисунок 2). Полученные данные согласуются с литературными (3,17–29,56 мг ГК/г в зависимости от типа экстракции [4; 5; 6]).

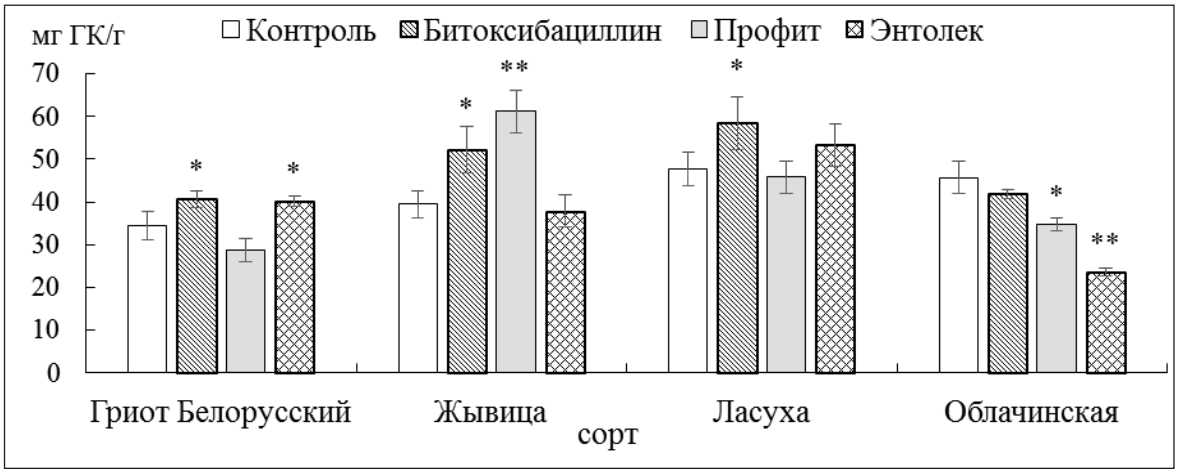


***Рисунок 2** – Содержание фенольных соединений в лиофилизированных листьях P. cerasus: ГК – галловая кислота; * – статистически значимые отличия от контроля в пределах сорта при p<0,05, ** – при p<0,01*

При обработке растений биопрепаратами изменение содержания ФС было сортоспецифичным. В листьях Гриота Белорусского и Жывицы достоверное повышение параметра (относительно контрольных образцов) отмечено при обработке Битоксибациллином (18 % и 32 % соответственно), а также Энтолеком (16,5 %) – у первого сорта и Профитом (54,6 %) – у второго (рисунок 2). У сорта Ласуха усиление накопления ФС в листьях на 22,5 % отмечено только при обработке растений Битоксибациллином. В листьях сорта Облачинская произошло снижение содержания ФС как под действием биопрепаратов (Профит – 24 %, Энтолек – 48 %), так и при использовании пестицидов (42 %) (рисунок 2).

Стоит отметить, что листья вишни более богаты ФС, чем плоды. В нашем исследовании установлена положительная корреляционная связь (R^2 = 0,775, при уровне значимости p <0,01) между содержанием ФС в листьях и плодах вишни сорта Облачинская. Концентрация ФС в лиофилизированных плодах этого сорта варьировала от 8,2 до 10,5 мг ГК/г в зависимости от обработки.

Биосинтез ФС связан с основными метаболическими процессами обмена углеводов, аминокислот, липидов и происходит двумя путями: шикиматным и ацетатно-малонатным (поликетидным). Осуществляется во всех клетках растений, преимущественно в хлоропластах, а также в цитозоле и эндоплазматическом ретикулуме, при этом более активно протекает в молодых тканях. Образующиеся ФС депонируются в вакуолях и клеточных стенках; дальний транспорт этих веществ в растении осуществляется по флоэме. Кофакторами некоторых ферментов биосинтеза ФС выступают ионы металлов (Mn^{2+}, Fe^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+} и др.). Кроме того, в присутствии тяжелых металлов и металлоидов для смягчения их стрессового воздействия на растение происходит усиление биосинтеза ФС [1].

Проведенный нами анализ главных компонент (*PCA*) не выявил достоверной связи между общим количеством ФС в листьях *P. cerasus* и содержанием в почве As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V, Zn (валовое и подвижные формы, метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой). В то же время установлена достоверная отрицательная корреляционная связь (R^2 = -0,505, при p <0,05) между содержанием в листьях Cd (от 0,006 до 0,012 мкг/г) и ФС (рисунок 3).

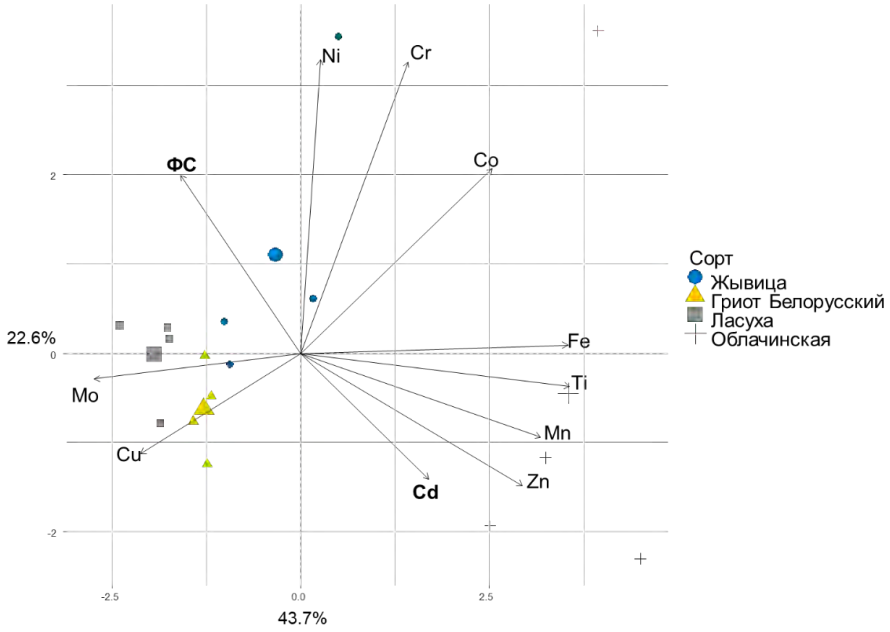


***Рисунок 3** – График зависимости общего содержания фенольных соединений (ФС) и элементного состава листьев P. cerasus в пространстве двух факторов (PCA)*

Проведенное исследование позволило установить достоверные различия в содержании ФС в листьях *P. cerasus* сортов Гриот Белорусский, Жывица, Ласуха и Облачинская, а также сортоспецифичность реакции на обработку биопрепаратами. Наименее отзывчивым на обработку был сорт Облачинская, наиболее – Жывица и Гриот Белорусский. Среди протестированных биопрепаратов наиболее эффективно повышает содержание ФС в листьях *P. cerasus* Битоксибациллин (в среднем 16 %). Энтолек показал положительное влияние на изученный биохимический параметр у сорта Гриот Белорусский и отрицательный у сорта Облачинская. Аналогичная тенденция выявлена для биопрепарата Профит, который повышает содержание ФС в листьях сорта Ласуха и снижает у Облачиской.

Заключение. Полученные результаты позволяют рекомендовать Битоксибациллин для борьбы с насекомыми-фитофагами листьев в вишневых садах, а также обосновывают возможность направленного регулирования метаболизм ФС изученными биопрепаратами в зависимости от сорта *P. cerasus*. Использование таких подходов соответствует принципам устойчивого сельского хозяйства: снизет зависимость от химических пестицидов и минимизирует антропогенную нагрузку на агроэкосистемы.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ-Брест 2024 № Х24Б-005.

Список использованных источников

1. Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review) / N. V. Zagoskina, M. Y. Zubova, T. L. Nechaeva [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2023. – Vol. 24, Is. 18, ID article 13874. – P. 1–25.

2. Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений / Гос. инспекция по испытанию и охране сортов растений; редактор В. А. Бейня; сост.: Т. В. Семашко [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2025. – 300 с.

3. Черная книга инвазивных видов животных Беларуси / В. П. Семенченко [и др.] ; под общ. ред. В. П. Семенченко, С. В. Буги. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 163 с.

4. Variability in the Qualitative and Quantitative Composition of Phenolic Compounds and the *In Vitro* Antioxidant Activity of Sour Cherry (*Prunus cerasus* L.) Leaves / K. Zymonė, M. Liaudanskas, J. Lanauskas [et al.] // Antioxidants (Basel). – 2024. – Vol. 13 (5), N 553. – P. 1–15.

5. Profiling of Polyphenols by LC–QTOF/ESI–MS, Characteristics of Nutritional Compounds and *In Vitro* Effect on Pancreatic Lipase, α–Glucosidase, α–Amylase, Cholinesterase and Cyclooxygenase Activities of Sweet (*Prunus avium*) and Sour (*P. cerasus*) Cherries Leaves and Fruits / A. Wojdyło, P. Nowicka, I. P. Turkiewicz [et al.] // Ind. Crops Prod. – 2021. – Vol. 174, ID article 114214. – P. 1–12.

6. Polyphenolic Extracts of Cherry (*Prunus cerasus* L.) and Blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) Leaves as Natural Preservatives in Meat Products / A. Nowak, A.Czyzowska, M. Efenberger [et al.] // Food Microbiol. – 2016. – Vol. 59. – P. 142–149.

7. Waterhouse, A. L. Determination of Total Phenolics / A. L. Waterhouse // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2002. – 8 p.

SPECIFICATION OF PHENOLIC COMPOUNDS ACCUMULATION IN SOUR CHERRY LEAVES WHEN USING ENTOMOCIDAL BIOLOGICAL PREPARATIONS

N. Y. Kolbas, V. M. Franchuk, A. P. Kolbas, M. O. Kaydalova, A. V. Sinchuk

The data on the effect of biopreparations (Entolek, Profit, Bitoxybacillin) on the phenolic compounds (PC) content in sour cherry leaves (varieties Griot Belorussky, Zhyvitsa, Lasukha and Oblachinskaya) are presented in this article. The PC content in leaves was 23.67–61.15 mg gallic acid per g DW. Varietal differences in the response to treatment with biopreparations were established. Bitoxybacillin was the most effective (average 16% PC content increase).

УДК 579.64:579.69:630*181.351

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ МИКОТРОФНОСТИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СУБСТРАТА МИКОРИЗООБРАЗУЮЩИМИ ГРИБАМИ

А. В. Константинов, С. В. Пантелеев, М. Я. Острикова
Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь

Внесение инокулюмов на основе чистых культур грибов, полученных на листовом опаде, способствовало интенсификации развития микориз у саженцев сосны обыкновенной, при этом степень микотрофности достигала 81,0 %, формировалось до 55,4±7,8 шт. микоризных окончаний на 100 мм корней. Разработанная методика обеспечивает возможность твердофазного культивирования целевого мицелия для подготовки микоризованных субстратов.

Ключевые слова: микориза, инокуляция, степень микотрофности, субстраты.

Введение. Эктомикориза представляет собой устойчивую микробно-растительную ассоциацию между мицелием гриба и тонкими корнями высших сосудистых растений, при этом микотрофность отмечена у большинства хозяйственно ценных древесных пород, произрастающих в бореальной и умеренной зонах [1]. Наиболее значимая роль микориз заключается в участии в обменных процессах в системе «почва-растение», принимая участие в обеспечении растений водой и биогенными элементами, получая взамен органические вещества. Кроме того, следует отметить и фитопротекторные свойства микоризных грибов, которые образуя в подстилке и лесных почвах обильный мицелий участвуют в широком спектре взаимоотношений с почвенными микроорганизмами различных таксономических и трофических групп, формировании микробиома ризосферы [2]. Интенсификация технологий выращивания посадочного материала древесно-кустарниковых растений на современном этапе развития лесопитомнического хозяйства определяет необходимость разработки приемов стимуляции симбиотического взаимодействия корневыми системами с мицелием почвенных грибов на фоне применения специализированных субстратов, удобрений и средств защиты растений [3]. Цель работы состояла в изучении влияния внесения мицелия чистых культур грибов на эффективность формирования микоризы у сеянцев сосны обыкновенной.

Объекты и методы исследований. При проведении экспериментов генетически верифицированные чистые культуры были взяты из коллекции штаммов грибов Института леса НАН Беларуси. Исходный материал нарабатывали на агаризованной питательной среде, содержащей 4 % сусла. Для твердофазного культивирования использовали субстрат на основе листового опада с влажностью около 55 %.

Стерилизацию питательных сред и субстратов осуществляли автоклавированием в течение 20 минут при 0,5 атм (112 °С) и 30 минут при 1,2 атм (120 °С) соответственно. Мицелий вносили в листовой опад, в сосуды объемом 300 мл и помещали в термостат (24 °С). После 30 суток инкубации достигали равномерного обрастания фрагментов субстрата гифами грибов. Семена сосны высевали в стаканы объемом 0,5 л в смесь верхового торфа, перлита и листового опада в соотношении 3:1:1. После 2 месяцев выращивания перенесли посадочный материал с ЗКС в условия в условиях открытого грунта и по достижении им двух лет провели оценку микоризности.

Результаты. Проведенный учет сформированных микоризных образований на корнях сеянцев выявил показатели степени микотрофности (по Весёлкину), которые незначительно варьировали в опытных вариантах с внесением в субстраты мицелия грибов *Macrolepiota procera* и *Morchella importuna* (74,5 и 81,0 % соответственно), а в случае инокуляции *Coprinellus domesticus* и *Lycoperdon pyriforme*: 61,7 % и 68,8 % соответственно, что выше чем у растений контрольной группы (57,4 %), результаты приведены в таблице.

Таблица *– Эффективности формирования микориз на корнях двухлетних сеянцев сосны обыкновенной, выращенных на инокулированном субстрате*

Показатель	Вариант опыта				
	Контроль	*Coprinellus domesticus*	*Morchella importuna*	*Macrolepiota procera*	*Lycoperdon pyriforme*
Степень микотрофности, %	57,4	61,7	81,0	74,5	68,8
Плотность микориз, шт./100 мм	26,3±1,3	27,9±3,8	55,4±7,8	43,9±7,1	44,3±7,9

В результате расчета плотности микориз (по Селиванову) наибольшее значение (55,4±7,8 шт./100 мм) получено при инокуляции Morchella importuna:, а наименьшее (26,3±1,3 шт./100 мм) в контрольном варианте и при культивировании с мицелием Coprinellus domesticus (27,9±3,8 шт./100 мм). В случаях внесения инокулюма Lycoperdon pyriforme и Macrolepiota procera получены сходные значения показателей микотрофности: 41,2±6,2 и 40,4±4,2 шт./100 мм соответственно, что превышало контроль в 1,7 раза, что говорит о высокой активности указанных штаммов в отношении микоризации сеянцев.

Заключение. Таким образом, культивирование в экспериментальных условиях на торфо-перлитном субстрате с добавлением листового опада, содержащего мицелий различных микоризообразующих грибов, способствовало более интенсивному процессу микоризации посадочного материала с закрытой корневой системой (степень микотрофности достигала 81,0 %) и развитию до 55,4±7,8 шт микоризных окончаний на 100 мм корней.

Список использованных источников

1. Никитин, А. Н. Поддержание высокого уровня разнообразия и обилия эктомикоризы, как важный фактор устойчивости бореальных лесов / А. Н. Никитин // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2004. – №. 8. – С. 103–104.

2. Адамов, М. Г. О роли микоризы при интродукции древесных растений (аналитический обзор) / М. Г. Адамов, Р. М. Адамова, Х. М. Гамзатова // Вестник Дагестанского государственного университета. – 2010. – Вып. 1. – С. 92–97.

3. Aleksandrowicz-Trzciska, M. The effect of fungicides on mycorhized and nonmycorhized seedlings of Scots pine. II. The formation of mycorrhizae / M. Aleksandrowicz-Trzciska // Folia forest. pol., 2000. – № 42 – С. 15–25.

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF MYCOTROPHY OF SCOTTS PINE SEEDLINGS WHEN INOCULATING THE SUBSTRATE WITH MYCORRHIZO-FORMING FUNGI

A. V. Konstantinov, S. V. Panteleev, M. Ya. Ostrikova

The introduction of inoculums based on pure cultures of fungi obtained from leaf litter contributed to the intensification of the development of mycorrhizae in Scots pine seedlings, while the degree of mycotrophy reached 81.0%, up to 55.4 ± 7.8 pieces of mycorrhizal endings were formed per 100 mm of roots. The developed technique provides the possibility of solid-phase cultivation of the target mycelium for the preparation of mycorrhized substrates.

УДК 550.461

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД БАССЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ ПО СОДЕРЖАНИЮ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Л. А. Кутаева, О. Е. Чезлова
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

В статье представлены сведения о содержании нефтепродуктов в поверхностных водах малых рек и каналов белорусской части бассейна реки Западный Буг в период с 2022 г. по II квартал 2025 г. Выявлены разовые превышения предельно допустимых концентраций, обусловленные антропогенным воздействием.

Ключевые слова: *бассейн реки Западный Буг, малые реки, нефтепродукты.*

Введение. В силу своих свойств и масштабов использования нефть является одним из наиболее опасных веществ, загрязняющих среду обитания. Нефтепродукты негативно воздействуют на почвенный слой, поверхностные воды и геологическую среду, в том числе и на подземные воды [1].

Содержание нефтепродуктов в поверхностных водах затрудняет все виды водопользования, оказывает негативное влияние на трофические связи и круговороты веществ, загрязняет места обитания многих растений и животных, приводит к ухудшению физических, органолептических и химических свойств воды [2].

В больших количествах нефтепродукты поступают в поверхностные воды при перевозке нефти водным путем, со сточными водами предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, химической, металлургической и других отраслей промышленности, с хозяйственно-бытовыми водами. Некоторые количества углеводородов поступают в воду в результате прижизненных выделений растительными и животными организмами, а также их посмертного разложения [3].

Цель работы – оценка динамики содержания нефтепродуктов в поверхностных водах малых рек и каналов белорусской части бассейна реки Западный Буг.

Материалы и методы исследования. Содержание нефтепродуктов – один из гидрохимических показателей оценки качества поверхностных вод исследуемых водотоков. Отбор проб осуществлялся в соответствии с нормативными документами [4–6] и проводился в фазы гидрологического режима в период с 2022 г. по II квартал 2025 г. Отбирались точечные пробы, характеризующие состав и свойства воды в данном месте в данный момент времени путем однократного отбора требуемого количества воды с целью дальнейшей оценки концентрации нефтепродуктов по отношению к нормативу содержания – предельно допустимой концентрации (ПДК). Информация о пунктах отбора проб поверхностных вод исследуемых водотоков представлена в таблице 1.

Таблица 1 *– Характеристика пунктов отбор проб [7]*

Тип и название водного объекта	Пункт отбора пробы
р. Мухавец	В черте г. Бреста (пункт 1)
	В черте г. Кобрина (пункт 2)
р. Лесная	В черте г. Каменца (пункт 1)
	4 км выше г. Каменца (пункт 2)
р. Пульва	В черте г. Высокое
р. Малорита	В черте г. Малориты
р. Жабинка	В черте г. Жабинки
р. Шевня	В черте г. Кобрина
р. Осиповка	Вблизи н. п. Петровичи (Брестский р-н)
р. Спановка	В черте н. п. Медно (Брестский р-н)
р. Дахловка	Вблизи н. п. Борщи (Кобринский р-н)
р. Лютая	Вблизи н. п. Остромечево (Брестский р-н)
канал Бона	В черте г. Кобрина
канал Кобринка	В черте г. Кобрина

В результате отобрано и проанализировано 98 проб поверхностной воды. Анализ проб осуществлялся на базе аккредитованной лаборатории гидроэкологии и экотехнологий Полесского аграрно-эколо-

гического института НАН Беларуси. Для определения содержания нефтепродуктов использовался флуориметрический метод измерений массовой концентрации нефтепродуктов; он основан на их экстракции гексаном из пробы воды [8].

Результаты и обсуждение. В Республике Беларусь, согласно нормативам качества воды поверхностных водных объектов, для нефти и нефтепродуктов в растворенном и эмульгированном состоянии установлено ПДК – 0,05 мг/дм^3 [9].

Результаты аналитических испытаний по содержанию нефтепродуктов в поверхностной воде водотоков за исследуемый период представлены в таблице 2.

***Таблица 2** – Характеристика качества поверхностных вод по содержанию нефтепродуктов, мг/дм^3*

Объект	Весеннее половодье 2022 г.	Зимняя межень 2022 г.	Весеннее половодье 2023 г.	Летне-осенняя межень 2023 г.	Весеннее половодье 2024 г.	Зимняя межень 2024 г.	Весеннее половодье 2025 г.
р. Мухавец (Брест)	<0,005	<0,005	0,017	**0,072**	0,011	0,033	0,026
р. Мухавец (Кобрин)	0,008	0,029	0,016	<0,005	0,022	0,034	0,022
р. Лесная (Каменец)	<0,005	0,027	0,008	<0,005	0,050	0,042	0,021
р. Лесная (выше Каменца)	0,017	0,017	0,015	0,007	0,008	0,045	0,029
р. Пульва	<0,005	<0,005	0,013	0,005	0,009	0,029	0,037
р. Малорита	<0,005	<0,005	0,010	**0,059**	**0,081**	0,040	0,005
р. Жабинка	0,044	<0,005	0,027	<0,005	0,022	0,040	0,027
р. Шевня	0,048	<0,005	0,024	<0,005	0,038	0,046	0,035
р. Осиповка	0,013	<0,005	0,019	<0,005	0,035	0,038	0,028
р. Спановка	0,010	<0,005	0,014	0,050	0,009	0,025	0,012
р. Дахловка	<0,005	<0,005	0,016	<0,005	0,021	0,022	0,030
р. Лютая	0,020	<0,005	0,034	0,038	0,021	0,038	0,020
канал Бона	<0,005	<0,005	0,020	<0,005	0,034	**0,055**	0,023
канал Кобринка	0,008	<0,005	0,035	<0,005	0,046	**0,066**	**0,055**

Примечание: выделены значения, превышающие ПДК.

Для оценки интенсивности поступления нефтепродуктов в водные объекты построена диаграмма, отражающая содержание загрязнителя в водотоках (рисунок 1). Согласно полученным результатам, за исследуемый период в шести пробах поверхностных вод установлено превышение ПДК. Предположительно, на высокое содержание нефтепродуктов в р. Мухавец (г. Брест) (1,4 × ПДК) в период летне-осенней межени 2023 г. повлияла навигация маломерных и прогулочных судов.

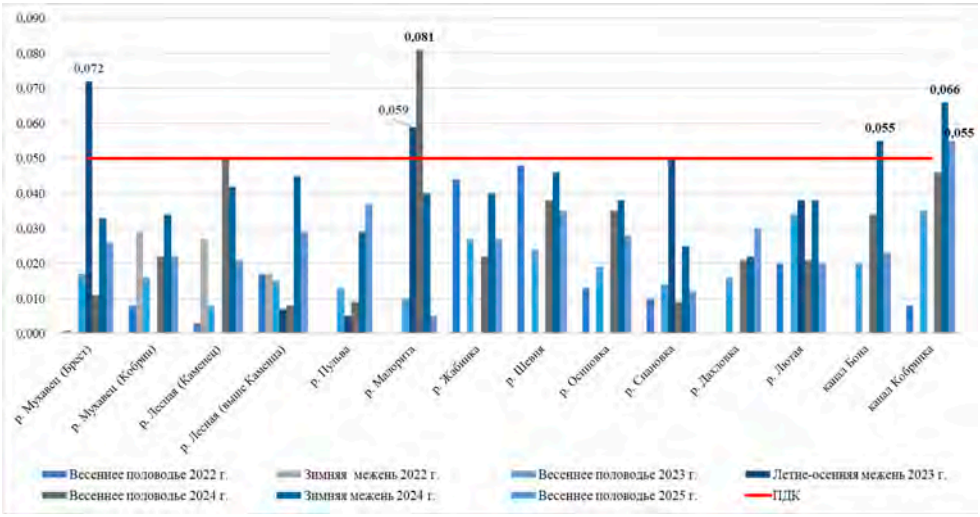


***Рисунок 1** – Концентрация нефтепродуктов в составе поверхностных вод*

Выявленные превышения ПДК в р. Малорите, в периоды летне-осенней межени 2023 г. (1,2 × ПДК) и весеннего половодья 2024 г. (1,6 × ПДК), возможно связаны с ремонтом имеющегося мостового сооружения, а именно скоплением спецтехники, с которой и происходил смыв загрязняющих веществ (рисунок 2).



***Рисунок 2** – Ремонт мостового сооружения через р. Малорита (г. Малорита), 2023 г. [10]*

Превышения концентрации нефтепродуктов отмечены в каналах Бона (зимняя межень 2024 г. – 1,1 × ПДК) и Кобринка (зимняя межень 2024 г. – 1,3 × ПДК; весеннее половодье 2025 г. – 1,1 × ПДК). Вероятно, попадание нефтепродуктов в водотоки связано со смывом загрязняющих веществ с полотна автомобильных дорог и уменьшением водности каналов в данные периоды, что повлияло на их самоочищающую способность.

Заключение. Нефтепродукты, включая нефть, мазут, керосин, масла и их примеси, являются одними из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды, оказывающими негативное влияние на состояние поверхностных вод. Получены данные по содержанию нефтепродуктов в поверхностных водах малых рек и каналов бассейна реки Западный Буг за период с 2022 г. по II квартал 2025 г. В шести пробах выявлено превышение ПДК, обусловленное антропогенным воздействием на исследуемые водотоки.

Список использованных источников

1. Перепелица, Д. М. К вопросу источников поступления нефтепродуктов в поверхностные водные объекты р. Ясыл / Д. М. Перепелица // Антропогенная трансформация природной среды. – Пермь, 2019. – Т. 5. – С. 38–44.

2. Мурсынина, Е. В. Пространственные и сезонные изменения общего содержания нефтепродуктов в поверхностных водах реки Тобол (в пределах Курганской области) / Е. В. Мурсынина // Географический вестник. – Пермь, 2022. – № 4 (63). – С. 90–97.

3. Оценка загрязнения нефтепродуктами поверхностных вод Беларуси / М. А. Богдасаров [и др.] // Природные ресурсы. – Минск, 2016. – № 1. – С. 12–22.

4. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков : ГОСТ 17.1.5.05–85. – Введ. 01.07.86. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 15 с.

5. Вода. Общие требования к отбору проб : ГОСТ 31861–2012. – Введ. 01.01.14. – М. : Стандартинформ, 2013. – 31 с.

6. Вода. Общие требования к отбору проб : СТБ ГОСТ Р 51592–2001. – Введ. 01.11.02. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 42 с.

7. Кутаева, Л. А. Биогенные элементы в малых реках белорусской части бассейна Западного Буга / Л. А. Кутаева, А. А. Волчек // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Хімія, біялогія, навукі аб Зямлі. – Брест, 2024. – № 2. – С. 104–114.

8. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат–02»: ПНД Ф 14.1:2:4.128–98; введ. 07.08.2012. – Москва : ФБУ Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 2012. – 25 с.

9. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов [Электронный ресурс] : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 15 декабря 2023 г., № 15-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа : https://etalonline.by/document/?regnum=W22441063. – Дата доступа : 10.07.2025.

10. Малорита. Малоритский район. Голас часу. Районная газета [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.malorita.by/?p=79768&ysclid=mcysj3dahj34340692. – Дата доступа : 10.07.2025.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF WATER IN THE ZAPADNY BUG RIVER BASIN BY THE CONTENT OF OIL PRODUCTS

L. A. Kutaeva, O. E. Chezlova

The article presents information on the content of petroleum products in the surface waters of small rivers and canals of the Belarusian part of the Zapadny Bug River basin in the period from 2022 to the second quarter of 2025. One-time excesses of maximum permissible concentrations due to anthropogenic impact were identified.

УДК 581.5; 57.084.1

ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *PAULOWNIA* SIEBOLD & ZUCC. ДЛЯ ИНТРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕССКОГО РЕГИОНА

А. В. Левый[1], А. С. Антонюк[1], А. П. Колбас[1], Т. В. Никонович[2]
[1]Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[2] УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки, Беларусь

В статье представлены результаты изучения образцов павловнии, произрастающей в открытом грунте в почвенно-климатических условиях г. Бреста. Выявлена группа экземпляров павловнии, перспективных для интродукции в условиях Полесского региона.

Ключевые слова: интродукция, климатические изменения, морфологические и фенологические параметры, павловния.

Введение. В Республике Беларусь продолжается изменение границ агроклиматических областей: Северная агроклиматическая область практически распалась, а на юге Полесья образовалась более теплая Новая область. Особенностью этих изменений являются частые продолжительные засухи, сопровождающиеся истощением запасов почвенной влаги и нарушением водного баланса растений, что особенно актуально на легких песчаных и супесчаных почвах юга Беларуси. К 2030 г. следует ожидать, что около 55,7 % территории республики будут находиться в рамках данной зоны [1].

В то же время такие климатические изменения способствуют интродукции теплолюбивых растений, в том числе рода *Paulownia* Siebold & Zucc. (далее павловния). Павловния является одним из самых быстрорастущих деревьев в мире. Выделяют семь видов павловнии: *Paulownia catalpifolia* T. Gong ex D.Y. Hong*, P. elongata* S.Y. Hu*, P. fargesii* Franch.*, P. fortunei* (Seem.) Hemsl.*, P. kawakamii* T.Ito*, P. taiwaniana* T.W. Hu & H.J. Chang*, P. tomentosa* Steud.*,* природный ареал которых находится в различных областях Китая. Получены межвидовые гибриды с целью улучшения свойств устойчивости дерева к абиотическим и биотическим факторам: *P.* FTE (*fortunei* + *tomentosa* + *elongata*), *P.* Shan Tong (f*ortunei* + *tomentosa*), *P.* Z-07 (*fortunei* + *tomentosa* + *kawakami*), *P.* 9501 (*tomentosa* + *fortunei*), P clon *in vitro* 112 (*elongata* + *fortunei*). В различных странах мира их выращивают как декоративные деревья или в коммерческих целях для получения лёгкой и прочной древесины, предназначенной для различных целей [2,3].

Кроме того, павловния обладает наибольшей скоростью секвестрации углерода среди древесных пород – около 9 т CO_2-экв. /га в год. Благодаря этому свойству она применяется при выполнении климатических проектов для компенсации выбросов парниковых газов. Некоторые линии павловнии могут быть перспективным средством для фиторемедиации загрязненных и выведенных из хозяйственного оборота земель. Опытные плантации павловнии заложены в Узбекистане, Киргизстане, Казахстане, РФ и др. [4,5].

Вместе с тем возможности интродукции древесных пород имеют специфические ограничения, обусловленные влиянием новых условий произрастания на организм растения. При планировании данных мероприятий необходимо уделять пристальное внимание подбору растений-кандидатов для адаптации на не характерных для них территориях. Особое внимание следует уделить оценке инвазионного потенциала конкретных образцов.

Цель работы – выявление перспективных образцов павловнии, хорошо произрастающих в открытом грунте в почвенно-климатических условиях Брестской области и характеризующихся повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды, а также обладающих низким инвазионным потенциалом.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: сбор данных о фенотипических и физиологических параметрах растений павловнии, произрастающих в городе Бресте в течение нескольких лет и анализ полученной информации.

Методы. В период с апреля 2023 г. и по июль 2025 г. выполнялось изучение деревьев павловнии, произрастающих в г. Бресте на ул. Набережная Франциска Скорины. Известно, что 13 саженцев были высажены 1 июня 2019 г. как часть сада непрерывного цветения в рамках подготовки к празднованию 1000-летия Бреста [6].

У данных растений изучали следующие параметры: период основного цветения, окраска околоцветников, формирование плодов, наличие центрального проводника и складки листовой пластинки в основании листа.

Обилие цветения оценивалось по шкале, предложенной Ж. А. Варданяном: 5 баллов – крона сплошь покрыта цветками; 4 балла – цветками покрыто до 75 % кроны; 3 балла – цветками покрыто до 50 % кроны; 2 балла – цветками покрыто около 25 % кроны; 1 балл – цветками покрыто до 25 % кроны [7].

Также было выполнено измерение таксационных параметров: диаметр ствола (h=1,3м) и высоты деревьев.

Результаты и обсуждение. Установлено, что по истечении шести лет с момента посадки сохранились и продолжают вегетировать 11 деревьев павловнии. На основании полученных данных общее количество изучаемых образцов было разделено на три группы (таблица 1).

Таблица 1 *– Результаты комплексной оценки образцов павловнии*

№ образца	Наличие		Период основного цветения	Окраска околоцветника	Обильность цветения / формирование плодов			Таксационные параметры, июль 2025г.		Группа
	складки листовой пластинки	центрального проводника			2023 г.	2024 г.	2025 г.	диаметр ствола см	высота, м	
1	-	+	апр.	ф	0	1/-	1/–	22	8,03	I
2	-	+	апр.	ф	0	1/-	1/–	29	10,33	
3	-	+	апр.	ф	0	1/-	1/–	27	10,03	
4	-	+	апр.	б–ф	0	1/-	2/–	18	8,79	II
5	-	+	апр.	б–ф	0	1/-	2/–	20	9,92	
6	-	+	апр.	б–ф	0	1/-	2/+	21	9,03	
7	-	+	апр.	б–ф	0	1/-	2/+	24	9,50	
8	-	+	апр.	б–ф	0	1/-	2/+	18	8,19	
9	-	+	апр.	б–ф	0	1/-	2/+	21	8,91	
10	+	-	май	ф	1/–	2/+	2/+	-	4,81	III
11	+	-	май	ф	1/–	2/+	2/+	-	4,78	

Примечание: (+) – наличие признака, (–) – отсутствие признака, (ф) – фиолетовая, (б–ф) – бело-фиолетовая.

Группа I (образцы № 1–3). Растения данной группы характеризуются отсутствием складки листовой пластинки в основании листа (рисунок 1А).



А Б

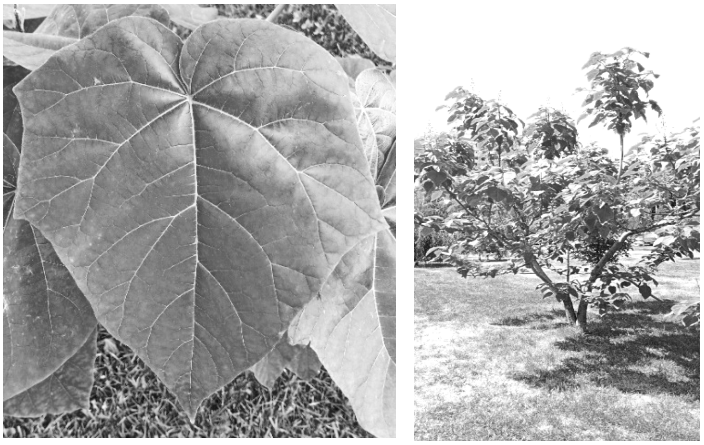
А – отсутствие складки листовой пластинки в основании листа, Б – наличие центрального проводника

***Рисунок 1** – Морфологические признаки образцов павловнии группы I*

Для образцов данной группы характерен овальный тип кроны с наличием центрального проводника (рисунок 1Б). Цветение происходило во второй половине апреля 2024 г. (1 балл) и третьей декаде апреля – первой декаде июня 2025 г. (1 балл), окраска околоцветника – фиолетовая. Образования плодов не наблюдалось. Представители группы I – № 2 и № 3 характеризуются наибольшими значениями показателей диаметр ствола h 1,3 м (июль 2025 г.) – 29 см и 27 см и высота – 10,33 м и 10,03 м соответственно.

Группа II (образцы № 4–9). Растения, отнесенные к данной группе, имеют схожее строение листа и кроны с представителями группы I (отсутствие складки листовой пластинки в основании листа и овальный тип кроны с наличием центрального проводника). Однако во время цветения для них был характерен бело-фиолетовый цвет околоцветника. Значение диаметра ствола h 1,3 м (июль 2025 г.) находилось в диапазоне 18–24 см при высоте от 8,19 м до 9,92 м. У образцов № 6–9 в 2025 г. отмечено образование единичных плодов.

Группа III (образцы № 10 и № 11). Характерной особенностью представителей данной группы является наличие складки листовой пластинки в основании листа (рисунок 2А), а также раскидистый тип кроны без центрального проводника (рисунок 2Б).



А Б

А – наличие складки листовой пластинки в основании листа,
Б – раскидистый тип кроны без центрального проводника

***Рисунок 2** – Морфологические признаки образцов павловнии группы III*

Цветение образцов № 10 и № 11 в 2024 г. (2 балла) началось в первой декаде мая и продолжалось до начала июня. Из-за пониженных дневных и ночных температур весной 2025 г. период цветения данных образцов начался позднее на 7–10 дней и был более продолжительным. Отмечалось обильное формирование плодов как в 2024 г., так и в 2025 г.

Наибольший практический интерес для введения в культуру *in vitro*, микронального размножения, последующей интродукции и создания декоративных насаждений, а также возможного плантационного лесовыращивания в изменяющихся климатических условиях Полесского региона, представляют собой деревья группы I. Они характеризуются наибольшими значениями показателей диаметра ствола и высоты. Наличие у них выраженного центрального проводника является признаком зимостойкости и высокого хозяйственного значения. Отсутствие формирования плодов, а, следовательно, и семян препятствует самостоятельному распространению образцов данной группы, что свидетельствует о их низком инвазионном потенциале. Вероятной причиной их низкой фертильности являются нарушения мейоза, обусловленные возможным гибридным (межвидовым) происхождением.

Заключение. Установлено, что в результате шести лет вегетации в почвенно-климатических условиях г. Бреста сформировались хорошо развитые деревья павловнии, обладающие морфологическим и фенологическим полиморфизмом. Перспективными для введения в культуру *in vitro* являются экземпляры группы I. Для уточнения таксономических границ необходимо осуществление дополнительных молекулярно-генетических и цитологических исследований.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ-Брест 2024 № Х24Б-006.

Список использованных источников

1. Ковалева, О. В. Динамика Новой климатической зоны на территории Беларуси / О. В. Ковалева, А. С. Соколов, А. Ф. Карпенко // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2023. – № 3 (138). – С. 28–32.

2. Интродукция павловнии войлочной (*Paulownia tomentosa* Steud.) и перспективность ее использования в условиях г. Ставрополя / В. И. Кожевников [и др.] // Аграрная наука. – 2024. – № 5. – С. 102–107.

3. Калдыбаева, Ж. Б. Изучение морфологических особенностей Paulownia Siebold & Zucc в интродукции / Ж. Б. Калдыбаева, К. Ш. Алимов // Перспективы развития науки и образования : материалы междунар. (заочной) науч.-пр. конф., Нефтекамск, 26 июля 2023 г. / Науч.-изд. центр «Мир науки» ; под общ. ред. А. И. Вострецова. – Нефтекамск, 2023. – С. 10–21.

4. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России : экспертный доклад / А. Ю. Иванов [и др.]. – М. : Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», 2021. – 120 с.

5. Быстрорастущие посадки как технология для фиторемедиации выведенных из хозяйственного оборота земель и их экосистемные услуги / Е. М. Маслова [и др.] // Научно-агрономический журнал. – 2024. – № 3 (126). – С. 26–33.

6. Гумина, С. В Бресте заложен сад непрерывного цветения [Электронный ресурс] / С. Гумина // Беларусь сегодня. – 3 июня 2019 г. – Режим доступа : https://www.sb.by/articles/v-breste-zalozhen-sad-nepreryvnogo-tsveteniya.html. – Дата доступа : 14.07.2025.

7. Варданян, Ж. А. Методологические аспекты оценки декоративности древесных растений / Ж. А. Варданян // Доклады Национальной академии наук Армении. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 340–349.

SCREENING OF PROMISING PAULOWNIA SIEBOLD & ZUCC. GENOTYPES FOR INTRODUCTION IN THE CHANGING CLIMATIC CONDITIONS OF THE POLESIAN REGION

A. V. Levy, A. S. Antonyuk, A. P. Kolbas, T. V. Nikonovich

The article presents the results of studying paulownia samples growing in open ground in the soil and climatic conditions of Brest. A promising group of paulownia samples characterized by high economic indicators and promising for introduction in the conditions of the Polesie region has been identified.

УДК 57.044

ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН КРЕСС-САЛАТА (*LEPIDIUM SATIVUM*) НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ ПРОРОСТКОВ

С. Н. Лешик, И. В. Бульская
Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

Исследовано влияние предпосевной обработки семян кресс-салата Lepidium sativum 24-эпикастастероном и его производным 2-моносалицилатом 24-эпикастастерона. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования данных брассиностериодов в целях повышения устойчивости растений и их продуктивности.

Ключевые слова: предпосевная обработка, кресс-салат, хлорофилл, каротиноиды, брассиностероиды, биологически активные вещества.

Введение. Фотосинтетический аппарат растений является основным элементом, обеспечивающим не только накопление биомассы, но и устойчивость растительных организмов к различным стрессовым факторам окружающей среды. Хлорофиллы *a* и *b*, а также каротиноиды играют ключевую роль в процессе фотосинтеза [1].

В последние годы всё большее внимание уделяется использованию биологически активных веществ для регуляции роста и развития растений. Среди них особое место занимают брассиностероиды, такие как 24-эпикастастерон (ЭК) и его производные, например, 2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23). Данные брассиностероиды имеют высокую биологическую активность даже в низких концентрациях и способны стимулировать образование хлоропластов, усиливать фотосинтетическую активность и повышать устойчивость растений к различным видам стресса [2].

Известно, что предпосевная обработка семян может оказывать влияние на ранние этапы развития растений, включая прорастание, развитие корневой системы и формирование надземной части. Однако недостаточно изучено влияние этих препаратов на содержание и соотношение фотосинтетических пигментов в начальных стадиях онтогенеза растений. Кресс-салат *Lepidium sativum* представляет собой удобную модельную культуру для таких исследований благодаря быстрому прорастанию и компактности.

Цель работы – изучение влияния предпосевной обработки семян кресс-салата растворами 24-эпикастастерона и его производного 2-моносалицилата 24-эпикастастерона на содержание хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов в листьях проростков кресс-салата.

Задачи:

1. Изучить влияние предпосевной обработки семян кресс-салата *Lepidium sativum* растворами брассиностероидов (ЭК и его производного S23) на содержание хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов в листьях проростков.

2. Сравнить эффективность действия ЭК и S23 на содержание фотосинтетических пигментов.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись семена кресс-салата *Lepidium sativum*. Предпосевная обработка проводилась путем замачивания семян на 5 часов в растворах:

– 24-эпикастастерон (ЭК) – 10^{-8} моль/л

– 2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23) – 10^{-7} моль/л

– контроль – дистиллированная вода (К).

Выбор концентраций обоснован на предыдущих этапах исследования [3]. После обработки семена высаживались в одинаковых условиях. Растения собирались на стадии 2–3 настоящих листьев. Анализ фотосинтетических пигментов проводился спектрофотометрически по стандартной методике с использованием 80 %-го эфира для экстракции. Концентрация хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов рассчитывалась по формулам Лихтенталера [4].

Результаты и их обсуждение. Количественные значения содержания хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов в листьях проростков кресс-салата, подвергшихся воздействию брассиностероидов, показаны на рисунке 1.

Анализ полученных данных показал, что максимальное увеличение содержания хлорофилла *a* наблюдалось при предпосевной обработке семян 24-эпикастастероном и составило в среднем 21,6 % относительно контроля. Содержание хлорофилла *b* также достоверно повысилось – на 19,3 %.

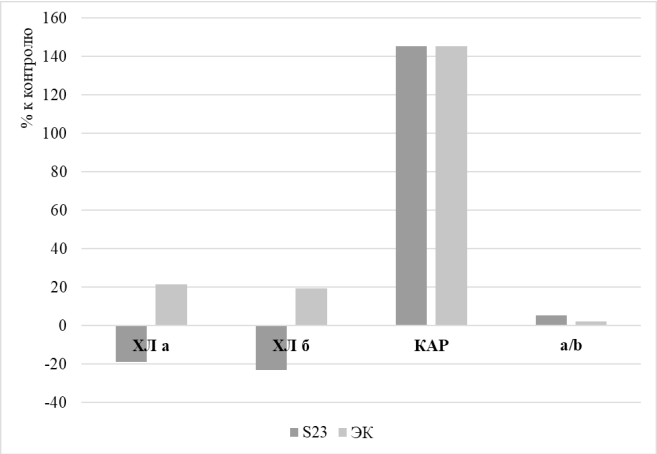


Рисунок 1 *– Влияние 24-эпикастастерона (ЭК) и 2-моносалицилата 24-эпикастастерона (S23) на содержание фотосинтетических пигментов в листьях кресс-салата*

В отличие от ЭК, обработка семян S23 привела к снижению уровня как хлорофилла *a* на 18,6 %, так и хлорофилла *b* на 22,1 %. При этом оба исследуемых вещества способствовали значительному увеличению содержания каротиноидов, которое составило более 143,2 % по сравнению с контролем.

Полученные результаты позволяют предположить различный механизм действия указанных брассиностероидов на формирование фотосинтетического аппарата растений.

Заключение. Проведённое исследование позволило установить, что предпосевная обработка семян кресс-салата брассиностероидами оказывает влияние на функционирование фотосинтетического аппарата растений. Наиболее выраженный эффект был достигнут при применении 24-эпикастастерона, который способствовал увеличению содержания хлорофиллов, что свидетельствует о его положительном влиянии на формирование и функциональную активность хлоропластов, а также каротиноидов.

Другую направленность действия продемонстрировал 2-моносалицилат 24-эпикастастерона: он отрицательно влиял на содержание хлорофиллов, но значительно увеличивал содержание каротиноидов, что указывает на его антиоксидантный эффект и участие в защите растений от оксидативного стресса.

Полученные результаты подтверждают целесообразность использования обоих веществ в качестве стимуляторов роста и развития растений, однако выбор препарата должен зависеть от целей агротехнического воздействия. Необходимыми являются дальнейшие исследования влияния брассиностероидов на кресс-салат для определения доз и способов обработки в полевых условиях.

Список использованных источников

1. Иванов, А. Н. Физиология растений / А. Н. Иванов, Б. С. Петров // Российский журнал прикладной ботаники и агрономии. – 2024. – Т. 71, № 3. – С. 234–240.

2. Хомюк, Я. В. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры Trifolium pratense L. / Я. В. Хомюк, Е. Г. Артемук, Р. П. Литвиновская // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2022. – № 2. – С. 52–62.

3. Лешик, С. Н. Роль брассиностероидов в устойчивости растений к стресс-факторам / С. Н. Лешик // Культурная и дикорастущая флора Белорусского Полесья : электронный сборник материалов Республиканской научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Брест, 14 ноября 2024 г. / Брестский гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Н. В. Шкуратова [и др.]. – Брест : БрГУ, 2024. – С. 87–89.

4. Коробейников, М. А. Методы биохимического анализа растений / М. А. Коробейников. – Москва : Академия, 2023. – 320 с.

INFLUENCE OF PRE-SOWING SEED TREATMENT OF CRESS (*LEPIDIUM SATIVUM*) ON THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN SEEDLINGS

S. N. Leshchik, I. V. Bulskaya

The study investigated the effect of pre-sowing treatment of *Lepidium sativum* (cress) seeds with 24-epicastasterone and its derivative, 2-monosalicilate of 24-epicastasterone. Obtained results show that studied brassinosteroids are promising growth stimulators to enhance plant stress resistance and productivity.

УДК 628.336

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОСАДКАХ СТОЧНЫХ ВОД ГП «ГОМЕЛЬВОДОКАНАЛ»

А. Н. Лицкевич, М. О. Кайдалова, Л. А. Кутаева, И. С. Пашкович, Е. А. Ростова
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Выполненные исследования накопленных осадков сточных вод ГП «Гомельводоканал» свидетельствуют о значительном аккумулировании в них тяжелых металлов. Наибольшими уровнями накопления отличаются цинк и медь.

Ключевые слова: *тяжелые металлы, осадки сточных вод, отходы производства.*

Введение. Во многих странах мира различные виды осадков сточных вод (ОСВ) находят применение в различных сферах, включая сельскохозяйственную. Опубликованные данные свидетельствуют о высокой агротехнической ценности данного вида сырья, его положительном влиянии на структуру, физико-химические, биологические и противоэрозионные свойства почвы [1–3].

Однако утилизация осадков в качестве удобрений весьма ограничена. Главным фактором, сдерживающим сельскохозяйственное использование ОСВ, является наличие в них солей тяжелых металлов (ТМ), обусловленное большим удельным весом производственных сточных вод в городском стоке.

Цель исследования – оценка содержания тяжелых металлов в накопленных осадках сточных вод городских очистных сооружений г. Гомеля.

Материалы и методы исследования. Пробы ОСВ отбирались согласно методическим рекомендациям [4]. Отбор проб проводился в зависимости от толщины слоя и макроструктуры осадка. Отобрано 5 точеных проб из каждой иловой карты. Отобранные пробы размещали и перемешивали на плотной полиэтиленовой пленке, удаляя посторонние включения. Масса одной точечной пробы составляла 0,5 кг, далее формировалась объединенная проба из всех точечных проб иловой карты массой около 2,0 кг.

Исследования проб ОСВ на содержание ТМ проводили в аккредитованной лаборатории биогеохимии Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси. Определение содержания ТМ в ОСВ осуществлялись методом атомно-эмиссионной спектроскопии [5].

Результаты и обсуждение. Фактические данные о содержании валовых форм ТМ и мышьяка в составе ОСВ представлены в таблице.

Для оценки степени накопления тяжелых металлов в составе ОСВ существуют Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004 «Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве», ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 «Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах и требования к их применению» и ГОСТ Р17.4.3.07-2001 «Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений».

Требования ГОСТ Р17.4.3.07-2001 применимы только на территории Российской Федерации и приведены в качестве ориентировочных характеристик ОСВ.

Таблица *– Содержание тяжелых металлов в осадках городских сточных вод г. Гомеля*

№ карты накопителя	Проба	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Zn	Hg	As
Пруд 1	О128	27,18	2,82	36,84	196,06	152,83	1409	0,50	1,68
Пруд 2	О51	36,10	2,24	55,30	183,00	231,00	1466	<0,01	–
Пруд 2	О51	23,30	2,11	39,70	137,00	136,00	839	<0,01	1,23
Пруд 2	О51	20,10	1,71	31,40	77,90	121,00	770	<0,01	1,40
Пруд 2	О51	28,50	2,79	50,90	128,00	240,00	1623	<0,01	2,20
Пруд 2	О51	21,70	1,40	32,80	72,50	145,00	880	<0,01	1,00
Пруд 3	О140	28,17	1,82	35,60	116,25	167,98	1382	0,50	1,91
Пруд 4	О139	14,81	3,32	24,74	97,83	119,46	1032	0,41	1,31
Карта 01	О131	29,25	4,25	42,96	114,78	173,44	1548	0,58	1,91

Продолжение таблицы

Карта 02	О130	34,76	2,76	44,23	152,80	206,56	1659	0,66	2,18
Карта 03	О129	21,82	2,88	41,96	106,93	148,59	1254	0,81	1,31
Карта 04	О132	34,03	4,34	36,08	190,05	207,99	2087	0,49	1,73
Карта 05	О133	30,95	3,81	29,90	114,46	225,16	1733	0,43	1,72
Карта 06	О134	35,36	4,12	44,27	152,08	235,76	1902	0,92	1,89
Карта 07	О135	22,23	2,60	42,26	108,19	148,55	1248	0,47	1,59
Карта 08	О136	33,74	3,11	39,28	128,73	188,95	1612	0,62	1,88
Карта 09	О137	26,94	2,52	39,19	103,58	190,46	1521	0,59	1,79
Карта 10	О138	26,68	2,38	34,92	108,48	161,10	1279	0,51	1,67
Карта 11	О143	37,28	2,69	52,77	202,08	230,15	1671	0,91	1,75
Карта 12	О142	24,01	2,31	46,05	111,44	157,84	1209	0,50	1,70
Карта 13	О141	48,44	4,38	69,59	166,48	297,24	2154	0,94	2,28
Карта 15	О144	46,06	4,73	83,00	167,94	299,22	1963	0,71	2,18
Карта 16	О146	22,60	2,14	31,91	82,64	137,08	1171	0,62	1,66
Карта 17	О147	35,65	2,74	45,24	136,75	192,96	1507	0,76	1,94
Карта 18	О150	32,82	2,83	37,31	144,93	199,61	1570	0,56	1,62
Карта 19	О151	32,65	1,95	36,80	160,10	168,52	1365	0,76	1,67
Карта 20	О149	39,62	3,01	48,92	198,72	238,45	1765	0,66	2,28
Карта 21	О148	45,37	3,86	82,69	184,86	303,59	1887	0,78	2,23
Карта 22	О145	50,83	4,78	103,64	180,48	357,32	2218	1,05	2,39
Новая карта 1	О127	32,18	2,25	41,49	154,63	187,00	1403	0,48	1,40
Новая карта 4	О126	53,40	3,69	66,46	183,12	226,71	2032	0,65	2,31
Новая карта 5	О123	33,47	2,87	36,31	126,80	193,42	1613	1,22	1,82
Новая карта 6	О125	32,74	2,79	36,79	143,53	203,53	1609	0,62	1,75
Новая карта 7	О124	22,48	3,44	36,18	171,69	142,08	1147	0,45	1,58
Новая карта 8	О122	27,90	5,43	39,68	138,60	173,48	1691	0,51	1,60
Новая карта 9	О152	23,98	3,34	30,55	121,77	163,45	1240	0,41	1,56
Среднее		31,59	3,06	45,21	140,70	196,40	1513	0,65	1,77
Максимум		53,40	5,43	103,60	202,00	357,30	2218	1,22	2,39
минимум		14,81	1,40	24,74	72,50	119,40	770	0,41	1,00
ЭкоНиП 17.03.01-001-2021		55,1	1,46	33,3	70,5	43,7	112	2,41	6,26
ГН 2.1.7.12-1-2004		130	2	80	90	132	220	2,1	2
ГОСТ Р17.4.3.07-2001		250	15	200	500	750	1750	7,5	10

Содержание свинца в составе осадков варьируется от 14,81 до 53,4 мг/кг. Усредненный показатель накопления элемента – 31,59 мг/кг, что соответствует ПДК содержания данного элемента в почвах, согласно ГН 2.1.7.12-1-2004.

Усредненный показатель содержания валовых форм кадмия достигает уровня 3,06 мг/кг, что превышает требования ГН 2.1.7.12-1-2004 и ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 для песчаных и супесчаных почв сельскохозяйственного назначения.

Содержание никеля варьируется в диапазоне от 24,74 до 103,64 мг/кг. Среднее значение показателя установлено на уровне 45,21 мг/кг, что превышает требования ГН 2.1.7.12-1-2004 (20 мг/кг) и ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 (33,3 мг/кг) (рисунок 1).

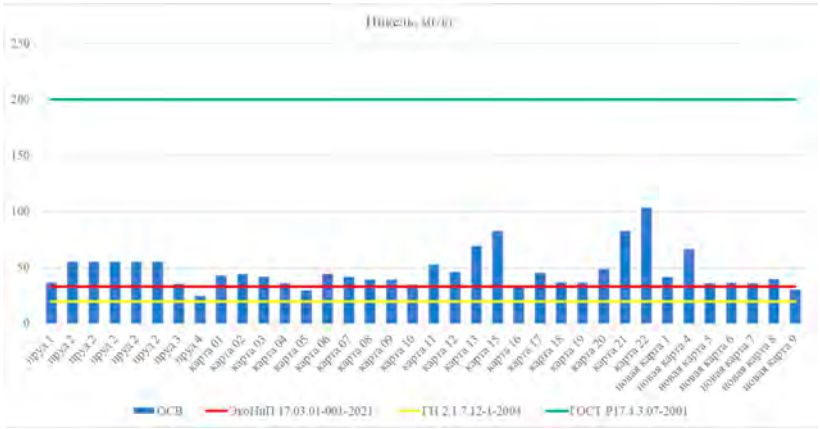


Рисунок 1 *– Содержание никеля в составе осадка городских сточных вод г. Гомеля*

Содержание хрома находится на уровне 140 мг/кг, что превышает требования нормативов содержания хрома для почв ГН 2.1.7.12-1-2004 (100 мг/кг) и ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 (70,5 мг/кг).

Минимальное содержание меди находится на уровне 119,46 мг/кг, что превышает показатели ПДК в соответствии с ГН 2.1.7.12-1-2004 (33 мг/кг) и ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 (43,7 мг/кг) (рисунок 2).

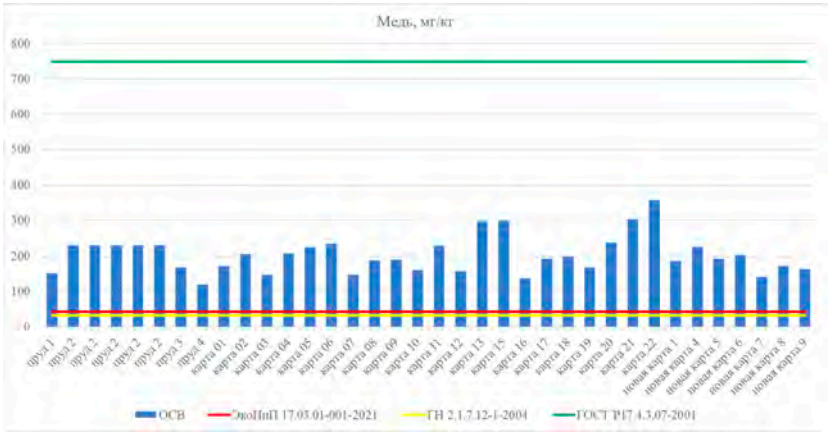


Рисунок 2 *– Содержание меди в составе осадка городских сточных вод г. Гомеля*

Максимальный уровень накопления цинка достигает показателя 2218 мг/кг, значительно превышает нормативные показатели ГН 2.1.7.12-1-2004 и ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 (рисунок 3).

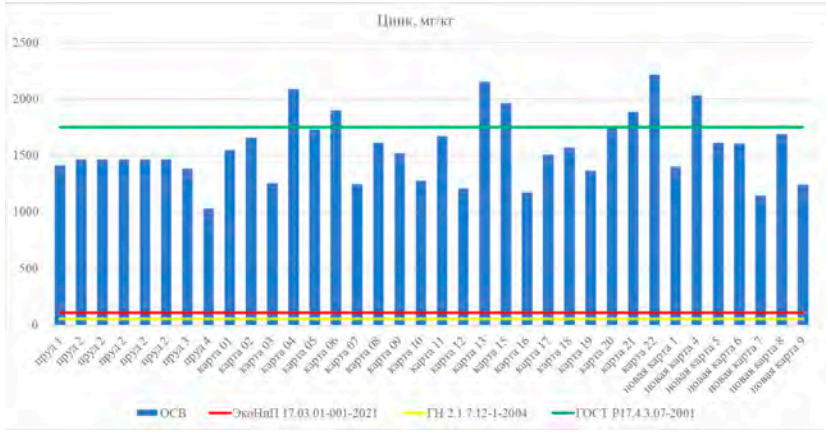


Рисунок 3 *– Содержание цинка в составе осадка городских сточных вод г. Гомеля*

Уровень содержания ртути не превышает требований, установленных для почв сельскохозяйственного назначения. Накопление мышьяка находится на уровне требований ГН 2.1.7.12-1-2004 (2 мг/кг).

Заключение. Отмечено повышенное содержание некоторых из изученных ТМ: цинка, кадмия, меди, никеля и хрома в ОСВ в сравнении с предельно допустимыми концентрациями в почвах. Повышенное содержание ТМ требует применения веществ-модификаторов в целях дальнейшей переработки накопленных ОСВ в органические удобрения.

Список использованных источников

1. Касатиков, В. А. Использование осадков городских сточных вод / В. А. Касатиков // Агрохимический вестник. – Москва, 2013. – № 4. – С. 44–46.

2. Влияние мелиорантов и осадков городских сточных вод на миграцию тяжелых металлов в дерново-подзолистой супесчаной почве / В. А. Касатиков [и др.] // Изв. Тимирязев. с.-х. акад. – 2003. – Вып. 1. – С. 33–40.

3. Лицкевич, А. Н. Исследование качественных и количественных характеристик осадков производственных сточных вод / А. Н. Лицкевич, М. В. Гулькович // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Брест, 23–25 апреля 2014 г. : в 4 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Факультет инженерных систем и экологии ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2014. – Часть 3. – С. 162–167.

4. Методические рекомендации по отбору проб осадков сточных вод / И. И. Полоз [и др.]. – Минск, 2024. – 14 с.

5. Качество почвы. Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием атомно эмиссионной спектрометрии индуктивно связанной плазмы (ИСП–АЭС) = Якасць глебы. Вызначэнне мікраэлементаў у экстрактах глебы з выкарыстаннем атамна-эмісійнай спектраметрыі індуктыўна звязанай плазмы (ІСП-АЭС) : ГОСТ ISO 22036-2014 ; введ. РБ 01.04.17. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2016. – 24 с.

HEAVY METAL CONTENT IN SEWAGE SLUDGE OF THE STATE ENTERPRISE «GOMELVODOKANAL»

A. N. Litskevich, M. O. Kaydalova, L. A. Kutaeva, I. S. Pashkovich, E. A. Rostova

The studies of accumulated wastewater sludge of the State Enterprise «Gomelvodokanal» indicate a significant accumulation of heavy metals. The highest accumulation levels are achieved by zinc and copper.

УДК 628.336

КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. ГОМЕЛЯ

А. Н. Лицкевич, М. О. Кайдалова, Л. А. Кутаева, И. С. Пашкович, Л. И. Чирук, О. Е. Чезлова
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

В результате проведения аналитических испытаний осадка сточных вод городских очистных сооружений г. Гомеля установлено, что содержание удобрительных компонентов в составе ОСВ сопоставимо с содержанием их в подстилочном навозе.

Ключевые слова: *осадки сточных вод, отходы производства, органические удобрения.*

Введение. Проблема утилизации осадка сточных вод (ОСВ) является одной из ключевых в сфере экологии и управлении отходами. Осадки сточных вод образуются в процессе очистки сточных вод на очистных сооружениях и содержат органические и неорганические вещества, тяжелые металлы, патогенные микроорганизмы и другие загрязнители. Неправильная утилизация может привести к загрязнению почвы, воды и воздуха, а также к негативным последствиям для здоровья человека.

Основные проблемы утилизации ОСВ:

1. Высокое содержание загрязнителей: осадки могут содержать тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть), токсичные органические соединения и патогенные микроорганизмы, что делает их опасными для окружающей среды.

2. Большие объемы образования: очистные сооружения производят значительные объемы осадка, что требует больших площадей для его хранения и утилизации.

3. Ограниченные методы утилизации: традиционные методы, такие как захоронение на полигонах или сжигание, имеют свои недостатки. Захоронение приводит к загрязнению почвы, грунтовых вод и может сопровождаться выбросами вредных веществ в атмосферу.

4. Высокая стоимость утилизации: современные методы утилизации, такие как термическая обработка, требуют значительных финансовых затрат.

5. Нормативные ограничения: во многих странах существуют строгие нормативы по утилизации ОСВ, что усложняет процесс и требует разработки новых технологий.

Цель исследования – оценка качественных характеристик осадка сточных вод городских очистных сооружений г. Гомеля.

Материалы и методы исследования. Существующие очистные сооружения канализации КПУП «Гомельводоканал» расположены юго-западнее города в 5 км, в районе д. Уза, в 700 м от автотрассы Речица – Гомель, на правом берегу Мильчанского канала. Участок от шоссе до очистных сооружений представляет собой лесной массив [1].

Осадок, образующийся в процессе очистки сточных вод, подается на иловые площадки первой очереди (рисунок 1) и второй очереди (рисунок 2), где подвергается обезвоживанию в естественных условиях. Иловые карты представляют собой спланированные площадки с дренажем, общей площадью 21 га.

Отбор проб проводился в зависимости от толщины слоя и макроструктуры осадка. Отобрано 5 точеных проб из каждой иловой карты. Отобранные пробы размещали и перемешивали на плотной полиэтиленовой пленке, удаляя посторонние включения. Масса одной точечной пробы составила 0,5 кг, далее формировалась объединенная проба из всех точечных проб иловой карты массой около 2 кг [2].

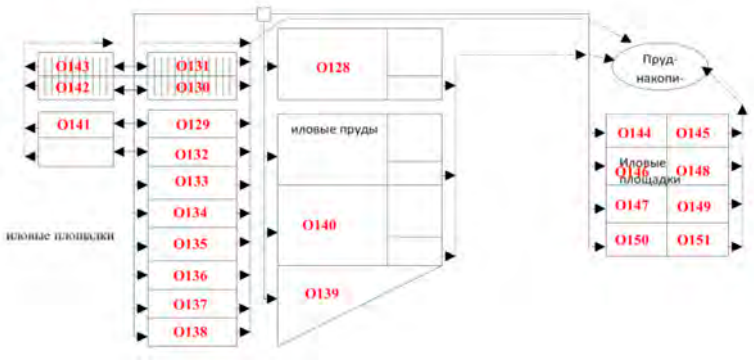


Рисунок 1 *– Схема иловых карт первой очереди очистных сооружения г. Гомеля с указанием номеров проб осадка*

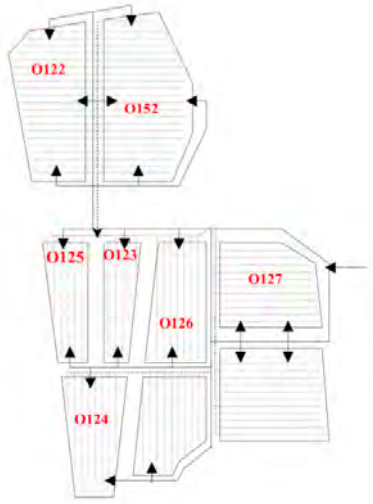


Рисунок 2 *– Схема иловых карт второй очереди очистных сооружения г. Гомеля с указанием номеров проб осадка*

Для оценки качественных характеристик осадков сточных вод использовались стандартные методы выполнения измерений [3–9].

Результаты и обсуждение. Исследования качественного состава ОСВ городских очистных сооружений г. Гомеля проведены лабораторией гидроэкологии и экотехнологий Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси. Результаты аналитических испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 *– Содержание макроэлементов в составе ОСВ г. Гомеля*

Накопитель	Проба	pH	Влажн., %	Орг. в-во, %	Азот, %	$N–NH_3$, %	$N_{общ}$, %	$P_{общ}$, %	$K_{общ}$, %
Пруд 1	О128	7,05	68,49	42,52	2,85	0,02	2,87	0,61	0,23
Пруд 2	О51	7,20	58,60	52,40	–	–	2,77	3,89	0,09
Пруд 2	О51	7,80	72,80	64,90	–	–	2,40	1,05	0,26
Пруд 2	О51	7,90	71,70	64,30	–	–	2,28	1,83	0,23
Пруд 2	О51	6,50	64,80	53,90	–	–	2,61	3,10	0,15
Пруд 2	О51	7,20	75,00	71,20	–	–	2,38	1,74	0,14
Пруд 3	О140	7,26	66,21	48,90	2,23	0,12	2,35	0,74	0,27
Пруд 4	О139	6,35	88,95	75,12	4,98	0,03	5,01	0,82	0,15
Карта 01	О131	7,73	74,56	50,79	1,88	0,36	2,24	0,40	0,19
Карта 02	О130	5,67	54,79	49,74	1,68	0,01	1,69	1,18	0,18
Карта 03	О129	6,50	80,49	70,37	2,92	0,14	3,06	0,64	0,19

Продолжение таблицы 1

Карта 04	О132	7,20	71,72	54,11	2,15	0,18	2,33	5,10	0,32
Карта 05	О133	8,24	69,52	62,38	0,98	0,41	1,39	0,26	0,34
Карта 06	О134	7,63	64,47	53,00	1,68	0,07	1,75	1,78	0,33
Карта 07	О135	8,30	69,44	63,42	1,65	0,35	2,00	0,09	0,42
Карта 08	О136	7,82	65,81	51,16	1,41	0,06	1,47	2,23	0,36
Карта 09	О137	7,80	73,60	58,17	1,13	0,19	1,31	0,59	0,20
Карта 10	О138	8,16	55,60	56,64	1,84	0,19	2,03	1,91	0,42
Карта 11	О143	6,60	61,06	44,68	1,75	0,02	1,77	0,76	0,19
Карта 12	О142	7,24	73,34	65,86	1,49	0,23	1,72	0,90	0,36
Карта 13	О141	8,29	62,01	52,52	1,80	0,10	1,90	2,90	0,37
Карта 15	О144	7,25	61,40	46,17	1,56	0,00	1,57	6,08	0,35
Карта 16	О146	7,95	72,50	60,43	1,49	0,18	1,68	1,65	0,44
Карта 17	О147	7,93	63,91	47,20	1,89	0,09	1,98	0,73	0,49
Карта 18	О150	8,34	73,30	57,09	1,25	0,14	1,39	0,35	0,45
Карта 19	О151	7,70	71,37	45,27	1,49	0,10	1,58	2,17	0,34
Карта 20	О149	7,96	62,17	46,62	1,55	0,07	1,62	2,00	0,41
Карта 21	О148	8,14	73,39	49,91	1,54	0,36	1,91	1,82	0,39
Карта 22	О145	8,03	61,87	48,71	1,32	0,08	1,40	2,24	0,38
Новая карта 1	О127	8,32	85,20	44,47	2,60	0,17	2,77	1,52	0,88
Новая карта 4	О126	8,27	83,50	42,25	2,17	0,03	2,19	0,66	0,39
Новая карта 5	О123	7,76	76,14	50,24	1,93	0,02	1,95	0,95	0,20
Новая карта 6	О125	8,08	84,57	49,72	3,26	0,08	3,34	1,02	0,25
Новая карта 7	О124	7,19	55,32	41,00	1,53	0,00	1,53	1,38	0,24
Новая карта 8	О122	8,11	83,92	58,33	2,31	0,11	2,41	0,84	0,22
Новая карта 9	О152	8,02	81,71	60,61	2,06	0,12	2,19	1,13	0,39
Среднее		*7,60*	*70,37*	*54,28*	*1,95*	*0,13*	*2,13*	*1,58*	*0,31*
Максимум		*8,34*	*88,95*	*75,12*	*4,98*	*0,41*	*5,01*	*6,08*	*0,88*
Минимум		*5,67*	*54,79*	*41,00*	*0,98*	*0,00*	*1,31*	*0,09*	*0,09*

Основные агрохимические свойства ОСВ сравнивались с аналогичными показателями, характерными для подстилочного навоза. Подстилочный навоз представляет собой смесь подстилки, остатков корма, твердых и жидких выделений животных. Качество подстилочного навоза зависит от вида животных, типа кормления, количества и вида подстилки, способов хранения. Средний состав подстилочного навоза приведен в таблице 2.

Таблица 2 *– Средний состав подстилочного навоза [10]*

Накопитель	Влажность, %	Орг. в-во, кг/т (% на сух. в-во)	$N_{общ}$, кг/т (% на сух. в-во)	$P_{общ}$, кг/т (% на сух. в-во)	$K_{общ}$, кг/т (% на сух. в-во)
Соломистый навоз КРС	75	200 (80)	5,0 (2,00)	3,0 (1,20)	6,0 (2,40)
Соломистый навоз свиньи	70	240 (80)	5,0 (1,65)	2,0 (0,65)	6,0 (2,00)
Соломистый навоз лошади	70	220 (73)	6,0 (2,00)	3,0 (1,00)	6,5 (2,15)

Анализ таблиц указывает на сопоставимость содержания удобрительных компонентов в составе ОСВ и в подстилочном навозе. По содержанию азота общего ОСВ превосходит соломистый навоз КРС (рисунок 3).

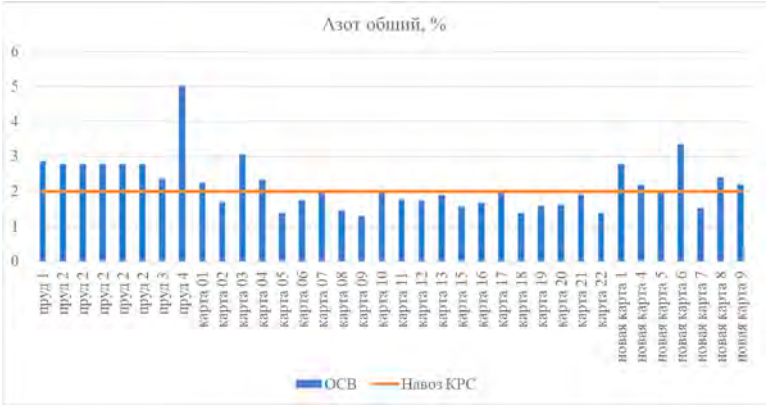


Рисунок 3 *– Содержание общего азота в ОСВ г. Гомеля*

По показателю содержания общего фосфора (рисунок 4) ОСВ значительно превосходит соломистый навоз КРС. Максимальный показатель достигает уровня 6,08 % на сухое вещество, что на 4,88 % превосходит показатель содержания общего фосфора в соломистом навозе КРС.

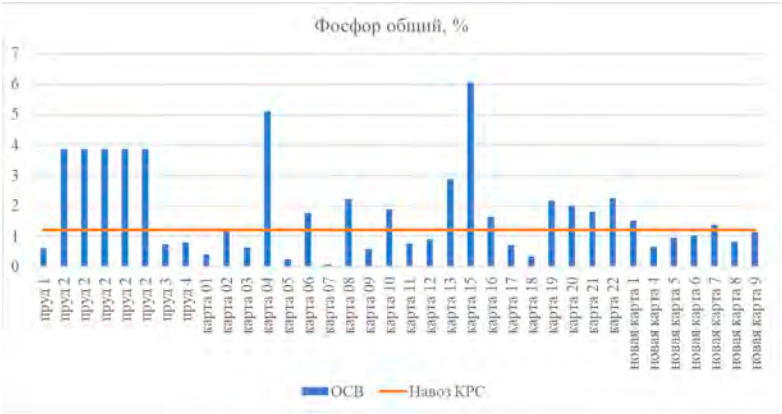


Рисунок 4 *– Содержание общего фосфора в ОСВ г. Гомеля*

Обеспеченность калием общим в ОСВ г. Гомеля наименьшая, в сравнении с соломистым навозом КРС (рисунок 5). Содержание калия в ОСВ не превышает 0,88 %.

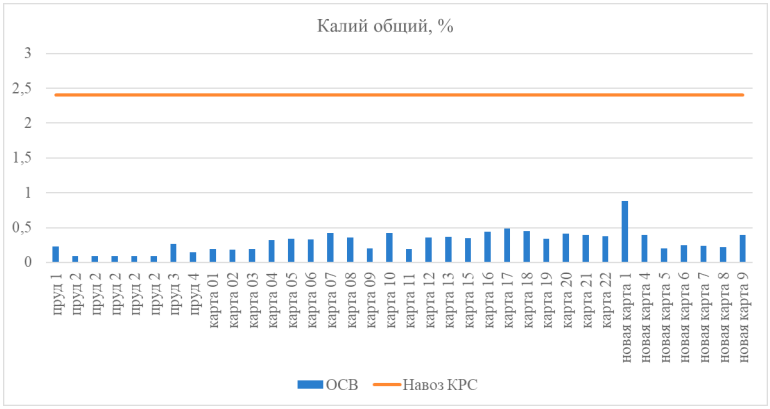


Рисунок 5 *– Содержание общего калия в ОСВ г. Гомеля*

Заключение. Выполнена оценка качественных характеристик накопленного осадка сточных вод г. Гомеля. Установлено, что содержание общего фосфора в ОСВ значительно превосходит соломистый навоз КРС. Максимальный показатель достигает уровня 6,08 % на сухое вещество, что на 4,88 % превос-

ходит показатель содержания общего фосфора в соломистом навозе КРС. Значение калия общего в ОСВ меньше, чем в соломистом навозе КРС, и не превышает 0,88 %.

Список использованных источников

1. Водопользование [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://195.50.7.216:8081/static/files/ОС_Гомельская_область/Гомельводоканал.docx. – Дата доступа : 10.11.2024.

2. Методические рекомендации по отбору проб осадков сточных вод / И. И. Полоз [и др.]. – Минск, 2024. – 14 с.

3. Удобрения органические. Метод определения pH : ГОСТ 27979-88. – Введ. 22.12.88. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 7 с.

4. Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка : ГОСТ 26713-85. – Введ. 19.12.83. – М., 1986. – 3 с.

5. Удобрения органические. Методы определения органического вещества : ГОСТ 27980-88. – Введ. 22.12.88. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 11 с.

6. Удобрения органические. Методы определения общего азота : ГОСТ 26715-85. – Введ. 01.01.87. – М., 1986. – 12 с.

7. Удобрения органические. Методы определения аммонийного азота : ГОСТ 26716-85. – Введ. 01.01.87. – М., 1986. – 8 с.

8. Удобрения органические. Метод определения общего фосфора : ГОСТ 26717-85. – Введ. 01.01.87. – М., 1986. – 6 с.

9. Удобрения органические. Метод определения общего калия : ГОСТ 26718-85. – Введ. 01.01.87. – М., 1986. – 4 с.

10. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. В. В. Лапа. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 390 с.

QUALITY CHARACTERISTICS OF SEWAGE SLUDGE FROM MUNICIPAL TREATMENT FACILITIES OF THE CITY OF GOMEL

A. N. Litskevich, M. O. Kaydalova, L. A. Kutaeva, I. S. Pashkovich, L. I. Chiruk, O. E. Chezlova

As a result of analytical tests of sewage sludge from municipal wastewater treatment plants in the city of Gomel, it was established that the content of fertilizer components in the composition of the sludge is comparable to their content in bedding manure.

УДК 628.32; 550.4

ИСКУССТВЕННЫЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ БАРЬЕР КАК СПОСОБ МИНИМИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ САНИТАРНОЙ ОБРАБОТКИ ОСВ

А. Н. Лицкевич, О. Е. Чезлова, Л. А. Кутаева, М. О. Кайдалова, И. С. Пашкович
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Оценена возможность использования дефеката – отхода сахарного производства – для создания искусственного латерального сорбционно-щелочного геохимического барьера в зоне вылеживания ОСВ для предотвращения распространения загрязняющих агентов.

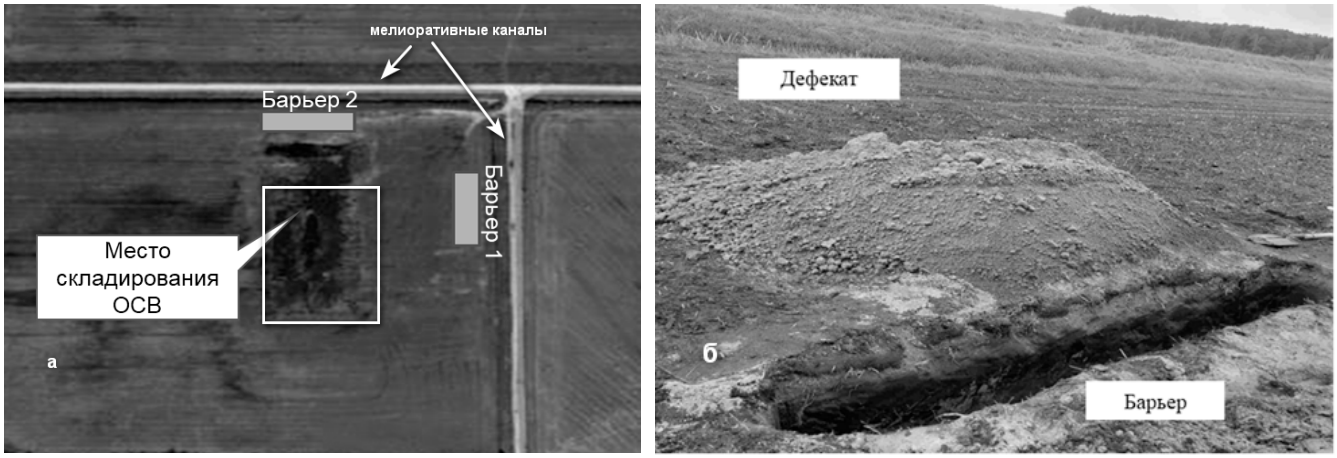
Ключевые слова: осадок сточных вод, искусственный геохимический барьер, латеральная миграция, дефекат, химические показатели почвы, микробиологические показатели почвы.

Введение. Применение геохимических барьеров (ГБ) является одним из перспективных методов защиты природных вод и стоков от загрязнения [1, 2]. По определению А. И. Перельмана, ГБ – это участки земной коры, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация [3]. ГБ выполняют функцию своеобразных «фильтров». При этом возможно использование как существующих природных, так и искусственных ГБ, создаваемых целенаправленно на пути движения техногенных потоков для локализации загрязнения [2, 4]. К преимуществам ГБ можно отнести возможность реализации крупномасштабных проектов очистки воды in situ, отсутствие специального оборудования, относительную дешевизну процесса, применение нескольких типов барьеров для разных поллютантов [5].

Для закладки искусственных ГБ могут использоваться различные материалы и вещества в зависимости от специфики барьеров и экономической целесообразности: природные материалы, отходы, химические реагенты, строительные конструкции и др. [4]. Перспективным направлением является использование отходов производства. При этом наряду с низкой стоимостью отходов решается задача их утилизации. Крупнотоннажным отходом сахарного производства является дефекат – кальцийсодержащий субстрат, в состав которого кроме $CaCO_3$ входит до 15 % органического вещества, 0,7–0,9 % азота, 0,3–1,0 % фосфора и 0,6–1,1 % калия. Известно, что внесение дефеката существенно влияет на качественные показатели почвы: снижается кислотность, оптимизируется реакция почвенного раствора, увеличивается микробиологическая активность, улучшается питательный режим [6]. В связи со свойствами данного материала он может быть использован для создания искусственного сорбционно-щелочного геохимического барьера. На таких барьерах возможно накопление токсичных элементов (Pb, Cd, Hg, As), а также других загрязняющих агентов.

Зона санитарной обработки осадков сточных вод (ОСВ) является источником повышенного риска распространения как химического, так и микробиологического загрязнения, что требует принятия мер защиты окружающей среды. В данной работе представлены результаты пилотного исследования по локализации распространения загрязнений от площадки вылеживания ОСВ с помощью искусственных ГБ.

Материалы и методы исследований. Зона проведения исследования по локализации загрязнений с помощью искусственных ГБ расположена в Малоритском районе Брестской области на территориях, охватывающих окрестности деревни Михалин, а также технического объекта – аэродром «Михалин». Рельеф выбранного участка равнинный. На различном расстоянии от площадки вылеживания ОСВ (100 м и 130 м) заложены два искусственных латеральных сорбционно-щелочных ГБ для выявления их экранирующих свойств (рисунок).



а - локализация искусственых ГБ

б - закладка искусственного ГБ

***Рисунок** – Сооружение искусственных ГБ в пределах опытного участка «аэродром Михалин»*

Горизонтальный ГБ (барьер 1) длиной 3 м и шириной 0,5 м заложен на восток на расстоянии 130 м, а г-образный барьер (барьер 2) длиной 4 м и шириной 0,5 м заложен на север на расстоянии 100 м от эпицентра загрязнения. Глубина закладки барьеров свыше полутора метров (до уровня грунтовых вод).

Основу тела сооруженных барьеров составил дефекат – отход сахарного производства, имеющий в своем составе более 50 % карбоната кальция, что позволяет использовать его в качестве противофильтрационного экрана. Высокая щелочность данного субстрата (свыше 9 ед. pH) предполагает проявление его бактерицидных свойств в отношении бактериального загрязнения грунтовых вод (рисунок б).

После закладки искусственных ГБ проведены исследования почвы, отобранной на расстоянии 1 м до и после барьеров, по химическим (через 2 и 3 месяца) и бактериологическим показателям (через 3 месяца). Дополнительно исследовалась почва контрольного варианта на расстоянии 500 м от эпицентра загрязнения.

Химический анализ почв пахотного горизонта (0–20 см) проводился по стандартным методикам [7–10].

Бактериологическое качество почвы оценивалось по показателям бактерий группы кишечной палочки (БГКП), энтерококкам, общему микробному числу (ОМЧ), а также патогенным микроорганизмам, в т.ч. сальмонеллам. Бактериологические испытания образцов почв проводились по стандартным методикам в лаборатории отдела бактериальных инфекций РУП «Институт экспериментальной ветеринарии имени С. Н. Вышелесского». Из образцов почв готовились серии децимальных разведений в физиологическом растворе и производился посев на элективные и селективные питательные среды для выделения чистой культуры микроорганизмов. Идентификация выделенных штаммов бактерий до рода и вида производилась на анализаторе бактерий Vitek-2 compact.

Погодно-климатические условия в период проведения исследований (июнь–сентябрь 2024 г.) оценены по данным Брестской метеостанции. Весь исследуемый период был теплым – наблюдались положительные отклонения от среднемесячных температур. В трех из четырех месяцев была превышена среднемесячная норма осадков. Влажными были июнь, июль, сентябрь, когда сумма выпавших осадков составила, соответственно, 191, 151, 160 % от нормы. Распределение осадков по периодам отличалось неравномерностью, зачастую наблюдались сильные ливни. Известно, что на процессы латеральной миграции сильно влияет не только объем осадков, но и характер их выпадения, так как сильные ливневые осадки слабо фильтруются в почву и практически не участвует в процессах внутрипочвенной миграции [11].

Результаты и обсуждение. Латеральная миграция протекает как на поверхности почвы с микроручейковым, склоновым стоком, так и с подподстилочными водами в пределах верхних 10–20 см или с более глубоким внутрипочвенным и грунтовым стоком (в толще 0,5–1,5 м) [11]. В данной работе мы оценивали миграцию загрязняющих агентов в пределах пахотного горизонта почвы (0–20 см). Результаты исследований отражены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 *– Химическое состояние почв опытного участка «аэродром «Михалин»*

Показатель	Время после закладки барьера	Почвы опытного участка (считая от эпицентра загрязнения)				
		до барьера 1	после барьера 1	до барьера 2	после барьера 2	контроль
pH солевой вытяжки, ед. pH	2 месяца	6,63	5,75	4,96	6,62	3,86
	3 месяца	6,15	6,63	6,84	5,04	5,00
Массовая доля азота аммония, млн-1	2 месяца	8,90	6,60	менее 5	менее 5	менее 5
	3 месяца	34,80	42,30	28,30	20,70	20,90
Массовая доля азота общего, %	2 месяца	0,07	0,07	0,18	0,09	менее 0,001
	3 месяца	0,07	0,07	0,15	0,08	0,19
Массовая доля подвижных соединений фосфора, млн$^{-1}$	2 месяца	714	579	875	921	713
	3 месяца	498	395	532	560	294
Нитраты, млн$^{-1}$	2 месяца	–	–	–	–	–
	3 месяца	28,70	81,50	37,80	9,80	4,5
Массовая доля органического вещества, %	2 месяца	–	–	–	–	–
	3 месяца	9,01	10,05	4,10	3,16	8,34
Массовая доля подвижных соединений калия, мг/кг	2 месяца	336	382	менее 40	127	менее 40
	3 месяца	–	–	–	–	–

Таблица 2 *– Санитарно-бактериологические показатели почвы в зоне воздействия объектов санитарной обработки ОСВ*

Почва опытного участка	БГКП, КОЕ/г	Энтерококки, КОЕ/г	Общее микробное число, КОЕ/г	Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы, КОЕ/г
До барьера 1	620	не обнаружены	свыше 1000	не обнаружены
После барьера 1	210	не обнаружены	свыше 1000	не обнаружены
До барьера 2	424	не обнаружены	свыше 1000	не обнаружены
После барьера 2	756	не обнаружены	свыше 1000	не обнаружены
Контроль	623	не обнаружены	свыше 1000	не обнаружены

В целом, можно отметить, что в почвах, находящихся в зоне влияния площадки санитарной обработки ОСВ, содержание макроэлементов оказалось выше, чем в почвах контрольного варианта. Такая же особенность наблюдалась в отношении водородного показателя: его значение на одну-две единицы pH выше в почвах, подвергшихся воздействию ОСВ: 4,96–6,63 ед. pH – опытные почвы, 3,86–5,0 ед. pH – контроль (таблица 1).

В отношении экранирующих свойств созданных искусственных ГБ, судя по количеству макроэлементов и микробиоты в почвах, прийти к однозначным выводам не удалось. Однако содержание общего азота

в почвах до и после барьеров (считая от эпицентра загрязнения) либо оставалось на одном уровне, либо снижалось (0,07–0,18 % до барьера, 0,07–0,09 % после барьера). Количество подвижных соединений фосфора в почвах до барьера 1 было выше как через 2 месяца после установки ГБ (714 млн$^{-1}$ – до барьера, 579 млн$^{-1}$ – после), так и через 3 месяца (498 млн$^{-1}$ – до барьера, 395 млн$^{-1}$ – после). В отношении барьера 2 наблюдалась обратная тенденция – происходило незначительное возрастание содержания подвижных соединений фосфора в почве в направлении от «до барьера» к «после барьера». Оценка содержания калия в почвах, проведенная через 2 месяца после установки барьеров, демонстрировала увеличение количества данного макроэлемента в почвах после ГБ по сравнению с его содержанием до барьеров (таблица 1).

Санитарно-бактериологическое состояние почвы опытного участка демонстрировало следующую картину. В случае барьера № 1 наблюдалось снижение количества БГКП в почвах в направлении до и после барьера – 620 и 210 КОЕ/г, соответственно. В отношении барьера № 2 такой зависимости не наблюдалось, напротив, количество БГКП демонстрировало рост (424 КОЕ/г – до барьера, 756 КОЕ/г – после). Энтерококки и патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы, не были обнаружены ни в одной пробе.

Неявные экранирующие свойства установленных искусственных ГБ, вероятнее всего, обусловлены недостаточным размером барьеров. Также необходимо учитывать факт содержания в дефекате значительного количества органического вещества и макроэлементов. Свой вклад могли внести экстремальные погодные условия (сильные ливни), приводящие к активным процессам плоскостной эрозии и переносу вещества.

Заключение. В пилотном эксперименте по локализации распространения загрязнений от площадок санитарной обработки осадков сточных вод с помощью искусственных ГБ, основу которых составил дефекат, в полной мере выявить их экранирующие свойства не удалось в силу небольшого размера барьеров. Необходимо провести дополнительные исследования для определения оптимальных размеров искусственных ГБ, при которых перехватывается основной объем поллютантов.

Список использованных источников

1. Анализ эффективности геохимических барьеров как основа применения природоподобных технологий очистки воды / А. Ю. Опекунов [и др.] // Записки Горного института, 2024. – Т. 267. – С. 343–355.

2. Искусственные геохимические барьеры для решения экологических и технологических задач / Ю. Л. Баюрова [и др.] // Вестник МГТУ, 2013. – № 3. – С. 536–541.

3. Перельман, А. И. Геохимия / А. И. Перельман. – М. : Высшая школа, 1989. – 582 с.

4. Искусственные геохимические барьеры как основа природоохранных технологий при разработке месторождений полезных ископаемых / Н. Г. Максимович [и др.] // Ресурсно-экологические проблемы в XXI веке: инновационное недропользование, энергетика, экологическая безопасность и нанотехнологии: Материалы Междунар. конф. Москва-Алушта, 27 сентября-04 октября 2009 г. – М.: РУДН, 2009. – С. 76–78.

5. Никашина, В. А. Проницаемые геохимические барьеры как способ защиты окружающей среды от загрязнений. Природные сорбенты для решения экологических задач. Математическое моделирование и расчет процессов. Обзор / В. А. Никашина // Сорбционные и хроматографические процессы, 2019. – Т. 19. – № 3. – С. 289–304.

6. Дефекат – перспективное удобрение-мелиорант / В. Д. Муха [и др.] / Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2011. – № 6. – С. 47–49.

7. ГОСТ 26485-85 Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. – Минск, Госстандарт, 1987. – 4 с.

8. ГОСТ 26213-2021 Методы определения органического вещества. Определение органического вещества. – Минск, Госстандарт, 2022. – 7 с.

9. ГОСТ 26107-84 Почвы. Методы определения общего азота. Фотометрический метод «индофеноловой зелени» по ЦИНАО. – Минск, Госстандарт, 1984. – 8 с.

10. ГОСТ 26207-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – Минск, Госстандарт, 1984. – 5 с.

11. Богданова, М. Д. Картографирование условий латеральной миграции химических элементов / М. Д. Богданова // Вестник Московского университета. – Серия 5. География. – 2008. – № 1. – С. 45–50.

ARTIFICIAL GEOCHEMICAL BARRIER AS A WAY TO MINIMIZE POLLUTION IN THE IMPACT ZONE OF WASTE SANITARY TREATMENT FACILITIES

A. N. Litskevich, O. E. Chezlova, L. A. Kutaeva, M. O. Kaydalova, I. S. Pashkovich

The possibility of using defecate – waste from sugar production – to create an artificial lateral sorption-alkaline geochemical barrier in the wastewater sludge storage zone to prevent the spread of pollutants was assessed.

УДК 575.22

ГЕНЕТЫЧНАЯ РАЗНАСТАЙНАСЦЬ ПАПУЛЯЦЫЙ НЕКАТОРЫХ АХОЎВАЕМЫХ ВІДАЎ РАСЛІН БЕЛАРУСКАГА ПАЛЕССЯ

А. М. Мялік, Т. Г. Кулагіна, Н. У. Гудная, У. У. Ціток
Цэнтральны батанічны сад НАН Беларусі, г. Мінск, Беларусь

У артыкуле прадстаўлена параўнальная характарыстыка генетычнай разнастайнасці папуляцый некаторых ахоўваемых відаў раслін Беларускага Палесся. Вынікі даследаванняў паказваюць узаемасувязь паміж эколага-біялагічнымі асаблівасцямі відаў і іх генетычнай разнастайнасцю, што неабходна ўлічваць пры распрацоўцы навукова-абгрунтаваных спосабаў іх захавання з улікам сучасных кліматычных змен.

Ключавыя словы: папуляцыйная генетыка, захаванне біяразнастайнасці, малекулярныя IPBS маркеры, генезіс флоры.

Уводзіны. Абарыгенная флора любой прыроднай тэрыторыі знаходзіцца ў дынамічным стане пад уздзеяннем як прыродных, так і антрапагенных фактараў. Асабліва ярка яны праяўляюцца для флор памежных тэрыторый, якімі з'яўляюцца пераходныя зоны паміж фізіка-геаграфічнымі, геабатанічнымі, кліматычнымі і іншымі раёнамі. Размяшчэннем тэрыторыі Беларускага Палесся на межах геабатанічных падзон грабава-дубова-цёмнахваёвых і шырокалісцева-хваёвых лясоў абумоўлены значны ўдзел у складзе яго флоры памежных відаў, якія адрозніваюцца павышанай уразлівасцю да антрапагенных фактараў і кліматычных змен. Следствам уздзеяння апошніх з'яўляецца скарачэнне колькасці шэрагу відаў раслін, якія ў цяперашні час маюць ахоўны статус і нярэдка патрабуюць неадкладных мер для іх захавання [1]. Даследаванні апошніх гадоў паказваюць, што важным фактарам у захаванні відаў з'яўляецца генетычная разнастайнасць папуляцый, ад якой залежыць іх здольнасць адаптавацца да зменлівых умоў навакольнага асяроддзя. Шэраг даследчыкаў паказваюць на тое, што рэдкія віды раслін часта характарызуюцца нізкім узроўнем генетычнай разнастайнасці, з чым звязана іх уразлівае становішча, якое ўзмацняецца ва ўмовах нарастальнай антрапагеннай нагрузкі [2]. У той жа час віды з генетычна разнастайных папуляцый лепш прыстасаваны да зменлівых умоў навакольнага асяроддзя [3], чым тлумачыцца неабходнасць уліку дадзенага паказчыка пры распрацоўцы навукова-абгрунтаваных дзеянняў па захаванні ўразлівых відаў.

У наш час адным са спосабаў ацэнкі генетычнай разнастайнасці папуляцый раслін з'яўляецца выкарыстанне малекулярных маркераў, якія дазваляюць вызначыць таксама структуру папуляцый, хуткасць аўткросінгу і патоку генаў паміж імі. Пры гэтым сістэмы ДНК маркераў лічацца надзейнымі інструментамі для вызначэння генетычнай разнастайнасці, паколькі яны неабмежаваны па колькасці, дэманструюць высокі палімарфізм і не залежаць ад фактараў навакольнага асяроддзя [4]. Такім чынам, малекулярныя маркеры маюць ключавую ролю ў ацэнцы генетычнай разнастайнасці відаў шляхам параўнання генатыпаў па шэрагу паліморфных локусаў. З улікам вышэйсказанага, мэтай дадзенай працы з'яўляецца ацэнка генетычнай разнастайнасці папуляцый некаторых ахоўваемых відаў раслін Беларускага Палесся з дапамогай малекулярных IPBS маркераў.

Матэрыялы і методыка даследаванняў. У аснову работы пакладзены вынікі экспедыцыйных і лабараторных даследаванняў па вывучэнні сучаснага распаўсюджвання, стану і генетычнай разнастайнасці папуляцый некаторых ахоўваемых відаў раслін палескай флоры. Для параўнання былі выбраны віды розных харалагічных груп, для якіх характэрны розныя эколага-біялагічныя асаблівасці, частата сустракаемасці і, адпаведна, ахоўны статус (табліца 1).

Табліца 1 *– Характарыстыка даследаваных відаў ахоўваемых раслін ва ўмовах Беларускага Палесся*

Назва віду	Ахоўны статус	Харалагічныя асаблівасці	Фітацэнатычная прымеркаванасць	Частата сустракаемасці
Lobelia dortmanna L.	I катэгорыя (знікаючы від)	паўднёвая мяжа арэала	алігатрофныя азёры	адзінкавае месцазнаходжанне
Cephalanthera longifolia (L.) Fritsch	III катэгорыя (уразлівы від)	у межах арэала (лакальная дыз'юнкцыя)	змяшаныя і шырокалісцевыя лясы	рэдка ў заходняй і ўсходняй частках

Працяг табліцы 1

Cypripedium calceolus L.	III катэгорыя (уразлівы від)	у межах арэала	змяшаныя і шырокалісцевыя лясы	рэдка па ўсёй тэрыторыі
Siella erecta (Huds.) M. Pimen	III катэгорыя (уразлівы від)	усходняя мяжа арэала	рачныя старыцы і лясныя ручаі	зрэдку ў заходняй частцы
Salvinia natans L.	IV катэгорыя (патэнцыйна ўразлівы від)	паўночная мяжа арэала	рачныя старыцы і азёры	даволі часта ў паўднёвай частцы
Goodyera repens (L.) R.Br.	прафілактычная ахова (патрабуе ўвагі)	паўднёвая мяжа арэала	хвойныя барэальныя лясы	зрэдку ў паўночнай частцы

Ніжэй (табліца 2) прадстаўлена кароткая характарыстыка вывучаных папуляцый, якая ўключае іх месцазнаходжанне, дакладную геапрывязку і апісанне фітацэноза. Для кожнай папуляцыі пры яе натурным абследаванні выканана ацэнка колькасці і жыццёвасці раслін, а таксама фларыстычнае і геабатанічнае апісанне.

Табліца 2 *– Характарыстыка даследаваных папуляцый ахоўваемых відаў*

Назва папуляцыі	Месцазнаходжанне	Каардынаты	Фітацэноз
***Lobelia dortmanna* L.**			
LD (Белае)	Брэсцкая вобл., Лунінецкі р-н, в. Бостынь, 6,4 км на захад, воз. Белае	52.385524, 26.646170	мелкаводдзе возера
***Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch**			
CL (Медна)	Брэсцкая вобл., Брэсцкі р-н, в. Медна, 3,9 км на ўсход	51.861092, 23.808669	грабавая дуброва
CL (Стрэльск)	Гомельская вобл., Мазырскі р-н, в. Стрэльск, 1,5 км на паўднёвы-ўсход	51.941414, 29.442411	бярэзнік рознатраўны
***Cypripedium calceolus* L.**			
CC (Дзівін)	Брэсцкая вобл., Кобрынскі раён, пас. Арэхаўскі, 10,9 км на паўночны-паўночны-захад	52.073415, 24.608975	рознатраўная паляна сярод змяшанага лесу
CC (Выганашчы)	Брэсцкая вобл., Івацэвіцкі р-н, в. Выганашчы, 5,1 км на паўночны-ўсход	52.641212, 25.979999	змяшаны лес
***Siella erecta* (huds.) m. pimen**			
SE (Брэст)	Брэсцкая вобл., Брэсцкі р-н, в. Цюхінічы, паўднёвыя ваколіцы, рака Лясная	52.154477, 23.676884	рачная затока
SE (Кудрычы)	Брэсцкая вобл., Пінскі р-н, в. Кудрычы, заходнія ваколіцы, рака Ясельда	52.136827, 26.387968	каля берагоў ракі
***Salvinia natans* l.**			
SN (Крывошын)	Брэсцкая вобл., Ляхавіцкі р-н, в. Крывошын, 1,5 км на паўднёвы-ўсход	52.855865, 26.144998	мелкаводдзе паркавай сажалкі
SN (Пінск)	Брэсцкая вобл., Пінскі р-н, г. Пінск, паўднёвыя ваколіцы, рака Піна	52.116828, 26.120350	каля берага сярод макрафітаў
SN (Мухавец)	Брэсцкая вобл., Брэсцкі р-н, г. Брест, цэнтральны пляж, рака Мухавец	52.079203, 23.702991	рачная затока
SN (Стрэльск)	Гомельская вобл., Мазырскі р-н, в. Стрэльск, усходнія ваколіцы, рака Прыпяць	51.957780, 29.424520	каля берага ракі
***Goodyera repens* (l.) r.br.**			
GR (Орхава)	Брэсцкая вобл., Брэсцкі р-н, в. Орхава, 0,7 км на паўднёвы-ўсход	51.533553, 23.618968	хвойнік зеленамошны
GR (Целяханы)	Брэсцкая вобл., Івацэвіцкі р-н, в. Вулька-Целяханская, 5 км на паўночны-захад	52.560617, 25.813525	ельнік зеленамошны

Для ацэнкі генетычнай разнастайнасці даследаваных папуляцый у кожнай з іх адбіралі ўзоры вонкава здаровых лісцяў з 5 раслін, якія высушвалі ў сілікагелі. Выдзяленне ДНК праводзілі з дапамогай набору рэагентаў «ДНК-Экстран-3». Якасць і колькасць выдзеленай ДНК правяралі з дапамогай NanoPhotometer Pearl Implen GmbH. Для падбору маркераў выкарыстоўвалі 30 iPBS праймераў [5]. Пры правядзенні ПЦР,

электрафарэза і візуалізацыі атрыманых вынікаў выкарыстоўвалі стандартныя падыходы. Для пабудовы бінарных матрыц на аснове электрафарэзаў выкарыстоўвалі праграму PyElph 1.4. Атрыманыя дадзеныя ў выглядзе бінарнай матрыцы апрацоўвалі з дапамогай праграмы PopGene 1.31 для разліку наступных параметраў: доля паліморфных локусаў (P), эфектыўная (Ne) і назіраемая колькасць алеляў (Na), інфармацыйны індэкс Шэнана (I) генетычная разнастайнасць Нея (He).

Вынікі і іх абмеркаванне. У табліцы 3 прадстаўлены вынікі разліку параметраў генетычнай разнастайнасці даследаваных папуляцый, якія дазваляюць выканаць іх параўнальны аналіз з улікам эколага-біялагічных асаблівасцяў відаў, частаты іх сустракаемасці і ўразлівасці. Вызначана, што доля паліморфных локусаў, як адзін з асноўных паказчыкаў генетычнай гетэрагеннасці, больш высокая для такіх відаў як *Salvinia natans* L. і *Goodyera repens* (L.) R.Br., якія з'яўляюцца найбольш шматлікімі па колькаці выяўленых папуляцый на тэрыторыі Беларускага Палесся. Так, *Salvinia natans* L. у апошнія гады актыўна распаўсюджваецца ў вадаёмах паўднёвай часткі Беларусі і нярэдка праяўляе тут экспансіўныя ўласцівасці, чым тлумачацца параўнальна высокія паказчыкамі яе генетычнай разнастайнасці і, адпаведна, значны адаптыўны патэнцыял у сучасных прыродных умовах поўдня Беларусі.

***Табліца 3** – Параметры генетычнай разнастайнасці даследаваных папуляцый*

Папуляцыя	Паказчык генетычнай разнастайнасці				
	доля паліморфных локусаў (P), %	назіраемая колькасць алеляў (Na)	эфектыўная колькасць алеляў (Ne)	генетычная разнастайнасць Нея (He)	інфармацыйны індэкс Шэнана (I)
LD (Белае)	37,99	1,38 ± 0,03	1,24 ± 0,02	0,14 ± 0,01	0,21 ± 0,02
CL (Медна)	25,23	1,25 ± 0,04	1,14 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,12 ± 0,02
CL (Стрэльск)	42,34	1,42 ± 0,05	1,30 ± 0,04	0,17 ± 0,02	0,24 ± 0,03
CC (Дзівін)	17,05	1,17 ± 0,04	1,09 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,09 ± 0,02
CC (Выганашчы)	22,73	1,23 ± 0,05	1,16 ± 0,03	0,09 ± 0,02	0,14 ± 0,03
SE (Брэст)	28,38	1,28 ± 0,03	1,20 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,16 ± 0,02
SE (Кудрычы)	21,62	1,22 ± 0,03	1,13 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,11 ± 0,02
SN (Крывошын)	38,96	1,39 ± 0,06	1,27 ± 0,04	0,15 ± 0,02	0,22 ± 0,03
SN (Пінск)	51,95	1,52 ± 0,06	1,37 ± 0,05	0,21 ± 0,03	0,30 ± 0,05
SN (Мухавец)	53,25	1,53 ± 0,06	1,36 ± 0,05	0,20 ± 0,02	0,30 ± 0,03
SN (Стрэльск)	45,45	1,46 ± 0,06	1,28 ± 0,04	0,16 ± 0,02	0,25 ± 0,03
GR (Орхава)	32,37	1,32± 0,03	1,21± 0,03	0,12± 0,01	0,18± 0,02
GR (Целяханы)	46,86	1,47± 0,04	1,27± 0,03	0,16± 0,01	0,24± 0,02

Даследаваныя папуляцыі *Goodyera repens* (L.) R.Br., даволі звычайнай расліны для сырых хваёвых лясоў паўночнай і цэнтральнай частак Беларусі, на Палессі знаходзяцца на паўднёвай мяжы арэалу віда, а іх высокі палімарфізм, верагодна, вызначаецца размяшчэннем у зоне кантакту розных міграцыйных плыняў з Карпат і барэальнай зоны паўночнай Еўропы [6]. Гэтым можа быць забяспечана некаторая ўстойлівасць краявых палескіх папуляцый ва ўмовах сучаснага пацяплення клімата, з якім звязана паступовае адступленне паўднёвай мяжы арэала *Goodyera repens* (L.) R.Br. у паўночным кірунку на працягу ўсяго арэала.

Найбольш нізкія паказчыкі долі паліморфных локусаў сярод даследаваных відаў выяўлены для папуляцый *Cypripedium calceolus* L. і *Siella erecta* (Huds.) M. Pimen. Аналагічныя заканамернасці характэрны пры аналізе такіх паказчыкаў як назіраемая (Na) і эфектыўная колькасць алеляў (Ne), што вызначае значэнні генетычнай разнастайнасці папуляцый дадзеных відаў на тэрыторыі Беларускага Палесся як самыя нізкія. Так, для *Siella erecta* (Huds.) M. Pimen. значэнні генетычнай разнастайнасці Нея складаюць у сярэднім толькі 0,09, а інфармацыйнага індэкса Шэнана – 0,14. Нізкая генетычная разнастайнасць папуляцый дадзенага віду, нягледзячы на яго параўнальна частую сустракаемасць у рэках заходняй часткі Беларускага Палесся, тлумачыцца перавагай у яго вегетатыўнага спосабу размнажэння. Гэтым выклікана не толькі генетычная абедненасць папуляцый, але і іх нізкі адаптыўны патэнцыял, высокая ўразлівасць і небходнасць больш строгай аховы. *Cypripedium calceolus* L. у заходняй частцы Беларускага Палесся таксама не з'яўляецца выключна рэдкім відам, а яго папуляцыі часам вызначаюцца высокай колькасцю і жыццёвасцю раслін. Аднак паказчыкі іх генетычнай разнастайнасці вызначаны як даволі нізкія: генетычная разнастайнасць Нея складае ў сярэднім 0,08, інфармацыйны індэкс Шэнана – 0,11. Апошняе можа тлумачыцца іх ізаляванасцю на мінеральных астравах сярод буйных балотных масіваў, прымеркаванасцю да спецыфічных дзярнова-карбанатных глебаў, а таксама складанай біялогіяй развіцця, характэрнай для многіх відаў сямейства Orchidaceae. Пры гэтым даследаваныя папуляцыі больш рэдкага на Палессі прадстаўніка дадзенага сямейства *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch вызначаюцца значна вышэйшай гетэ-

рагеннасцю, што, верагодна, можа быць абумоўлена іх больш высокім узростам, калі разглядаць гісторыю фарміравання флоры Палесся ў паслялядавіковы перыяд.

Пацвярджэннем вышэй сказанага з'яўляецца аналіз генетычнай разнастанасці адзінай на Палессі папуляцыі *Lobelia dortmanna* L. з возера Белае. Апошняя характарызуецца даволі высокімі паказчыкамі долі паліморфных локусаў (37,99 %), інфармацыйнага індэкса Шэнана (0,21) і генетычнай разнастайнасці Нея (0,14), што супярэчыць рэліктаваму паходжанню самога віда, яго ахоўнаму статусу як знікаючага, а таксама знаходжанню даследаванай папуляцыі на аддаленні каля 600 км ад асноўнага арэала. Адзіным тлумачэннем адносна высокай гетэрагеннасці папуляцыі *Lobelia dortmanna* L. можа з'яўляцца яе даўні генезіс, звязаны з атлантыкаеўрапейскім фрагментам арэала, і пранікненне на тэрыторыю Беларусі пасля дэградацыі Сожскага зледзянення каля 100 тыс. гадоў назад [8]. Адпаведна, з'яўленне на тэрыторыі Палесся *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch і *Cypripedium calceolus* L. адбылося значна пазней падчас міграцыі немаральных элементаў флоры ў галацэне не пазней за 10 тыс. гадоў назад.

Высновы. Такім чынам, параўнальны аналіз генетычнай разнастайнасці папуляцый некаторых рэдкіх і ахоўваемых раслін флоры Беларускага Палесся паказвае узаемасувязь паміж гетэрагеннасцю папуляцый, іх колькасцю і частатой сустракаемасці, эколога-біялагічнымі асаблівасцямі відаў, а таксама гісторыяй іх пранікнення на тэрыторыю Беларусі і геаграфічным размяшчэннем адносна асноўнага арэалу. Атрыманыя вынікі могуць быць выкарыстаны пры рэалізацыі навукова абгрунтаваных мерапрыемстваў і дзеянняў па захаванні даследаваных відаў раслін з улікам сучасных кліматычных змен і тэндэнцый антрапагеннага ўздзеяння на раслінны свет.

Спіс выкарыстанных крыніц

1. Мялик, А. Н. Эколого-географические особенности пограничных видов флоры Припятского Полесья / А. Н. Мялик // Ботаника (исследования) : сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2016. – Вып. 45. – С. 71–82.

2. Genetic Diversity and Population Structure of the Rare and Endangered Plant Species Pulsatilla patens (L.) Mill in East Central Europe / M. Szczecinska [et al.] // PLoS ONE. – 2016. – Vol. 11, N 3. – Mode of access : https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0151730. – Date of access : 21.07.2025.

3. Genetic diversity and population structure of naturally rare Calibrachoa species with small distribution in southern Brazil / A. L. de W. John [et al.] // Genet. Mol. Biol. – 2019. – Vol. 42, N 1. – P. 108–119.

4. Consequences of in-situ strategies for the conservation of plant genetic diversity / R. Whitlock [et al.] // Biological Conservation. – 2016. – Vol. 203 – P. 134–142.

5. iPBS: a universal method for DNA fingerprinting and retrotransposon isolation / R. Kalendar [et. al.] // Theor. Appl. Genet. – 2010. – Vol. 121, № 8. – P. 1419–1430.

6. Самохвалова, Н. В. Оценка генетической изменчивости популяций гудайеры ползучей (*Goodyera repens* (L.) R.Br.) в Беларуси с использованием молекулярных iPBS маркеров / Н. В. Самохвалова, А. Н. Мялик, Т. Г. Шлапакова // Ботаника (исследования) : сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2023. – Вып. 52. – С. 28–37.

7. Мялик, А. Н. Природоохранное значение генетической структуры регрессивных популяций *Lobelia dortmanna* L. в Беларуси / А. Н. Мялик, Н. В. Гудная, Т. Г. Кулагина, Д. А. Дубарь, В. В. Титок // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2024 – Т. 69, № 4 – С. 329–339.

GENETIC DIVERSITY OF POPULATIONS OF SOME PROTECTED PLANT SPECIES OF THE BELARUSIAN POLESIE

A. Mialik, N. Hudnaya, T. Kulahina, V. Titok

The article presents a comparative characteristic of the genetic diversity of populations of some protected plant species of the Belarusian Polesie. The research results show the relationship between the ecological and biological characteristics of species and their genetic diversity, which must be taken into account when developing scientifically based methods for their conservation, taking into account modern climate change.

УДК: 502.4:502.7:574.4:572.1/4

ВЛИЯНИЕ АВТОТРАНСПОРТА НА МИГРАЦИЮ АМФИБИЙ В ПОЙМЕ РЕКИ ПРИПЯТЬ НА ТЕРРИТОРИЯХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИПЯТСКИЙ»

С. В. Онищук, Т. П. Чижевская, Г. Г. Янута
Национальный парк «Припятский», г. Туров, аг. Лясковичи, Беларусь

Проведен анализ гибели земноводных на автодороге, проходящей через особо охраняемые природные территории в пойме р. Припять. Обсуждаются меры по минимизации воздействия антропогенных факторов на герпетофауну. Представлены результаты поиска миграционных коридоров амфибий в НП «Припятский», исследовано влияние климатических изменений на состояние местных популяций земноводных.

Ключевые слова: герпетофауна, миграционный коридор, гибель земноводных, автодороги, особо охраняемые природные территории.

Введение. В современных динамичных условиях окружающей среды животный и растительный мир подвергается различным естественным и антропогенным негативным факторам – воздействию меняющегося климата, загрязнению окружающей среды различного рода искусственными химическими веществами, микробными патогенами, общей урбанизацией и автомобилизацией населения. Не стали исключением и земноводные.

Снижение численности земноводных наблюдается на всей планете. Более 40,7 % видов амфибий, обитающих в лесной зоне, находятся под угрозой исчезновения. За последние 100–150 лет вымирание охватило уже 84 рода из 28 семейств ныне существующих отрядов земноводных [1]. Поэтому так важно сохранять места обитания и размножения амфибий. Для реализации этих целей как нельзя лучше подходят территории особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в целом, и Национального парка (НП) «Припятский» в частности.

Национальный парк «Припятский» был создан на месте ранее существующего Припятского ландшафтно-гидрологического заповедника, реорганизованного в 1996 г. Развитая сеть мелиоративно-речных систем и пойменных озер являлась определяющим фактором в формировании его ландшафтного и биологического разнообразия. Речная сеть парка представлена реками Припять (54,4 км), Ствига (48,5 км), Уборть (11,5 км), малыми лесными речками Свиноводом (22,5 км), Белянкой (6,7 км), Мутвицей (5,1 км), Снядинкой (4,5 км), Наутью, Скрипицей, Утвохой, ручьями Крушинный и Лучинец. Кроме того в парке насчитывается 518 озер, общей площадью 504 га. В своем большинстве они имеют старичное происхождение и являются пойменными; часть озер, расположенных в пределах высокой поймы или первой надпойменной террасы, можно считать остаточными. В пределах крупных болотных массивов сохранились реликтовые карстовые озера (Межечево, Пуповское) [2].

Множество неглубоких водоёмов в поймах рек Припяти и ее притоков создаёт благоприятные условия для развития икры и личинок земноводных. Видовой состав земноводных Национального парка «Припятский» состоит из 12 видов, что составляет 93 % всей батрахофауны Беларуси [3].

С наступлением сезона размножения возрастает риск гибели взрослых половозрелых животных при миграции к местам размножения. Через пойму Припяти в центральной части ООПТ с запада на восток проходит шоссейная автомобильная дорога, связывающая 4 населённых пункта: д. Хвоенск, д. Переров, д. Переровский Млынок и д. Хлупин. Кроме того, деревня Хлупин соединена шоссейной дорогой с турбазой «Хлупинская Буда», вследствие чего в летний период фактическое население деревень значительно увеличивается за счёт отдыхающих, которые, в связи с отдаленностью, используют транспорт.

Цель исследований – выявление мест расположения миграционных коридоров через автодорогу, определить интенсивность проходящего автотранспорта и влияние климата на популяции земноводных ООПТ.

Условия и методы проведения исследований. Климатические условия лета и осени 2024 г., а также зимы и весны 2025 г. чрезвычайно сильно повлияли на миграцию земноводных в 2025 г. По составленной Белгидрометом климатической характеристике зимнего сезона 2024/2025 гг., за прошедшую зиму в Гомельской области отмечено наименьшее количество осадков (51 мм при норме 122 мм или 42 % нормы осадков), что даже ниже чем в рекордный по засухе зимний сезон 1953/1954 гг. Зимний сезон 2024/2025 характеризовался недостатком увлажнения на протяжении всех трех месяцев. К концу сезона снежный по-

кров на большей части Гомельской области отсутствовал. Аномально сухой зиме предшествовало необычно жаркое и засушливое лето и осень 2024 г. Летом наблюдалось повышение средних температур примерно на 2 °С выше нормы в каждом летнем месяце. При этом именно в районах, на территории которых находится ООПТ (Житковичский и Лельчицкий), на метеостанциях отмечались наиболее высокие температуры воздуха во всей республике. В июне температурный максимум зарегистрирован 30 числа на Житковичской метеостанции – +33,5 °С. Там же 13 июля была зарегистрирована рекордная для страны температура: +37,9 °С. Кроме того, самый жаркий августовский максимум отмечен 21 числа на метеостанции г. Лельчицы – 35,1 °С.

Такая необычная жара сопровождалась засухой, особенно острой для Житковичского, Лельчицкого и Петриковского районов, на которых располагается ООПТ (выпало всего около 75 % от нормы осадков). Лесные ручьи и мелиоративные каналы полностью пересохли. Пересыханию каналов способствовал выход из строя шлюзов, которые должны были перекрыть сток воды во время засухи. В какой-то мере сломанные шлюзы компенсировали бобровые плотины, сохранившие небольшие участки воды.

Средняя по стране температура воздуха за осенний сезон 2024 г. была на 2,5 °С выше климатической нормы и составила +9,5 °С. В сентябре температура воздуха достигала на территории НП «Припятский»: +28 – +30 °С и более [5].

В результате на учетных маршрутах в течение летне-осеннего периода 2024 г. отмечалось плавное снижение встречаемости земноводных вплоть до нулевых величин на ряде участков. В местах же, где благодаря близости болот и деятельности бобров влага сохранилась, амфибии отмечались в течении всего периода наблюдений. Отмечались даже небольшие скопления лягушек возле открытых участков воды.

Весна 2025 г. также характеризуется экстремальными колебаниями суточных температур и влажности. Март 2025 г. оказался самым тёплым наряду с мартом 2007 г. за период наблюдений с 1945 г. Средняя температура превысила норму на 4,4 °С. Днём 13 марта температура превысила 17,9 °С, что сделало первую декаду марта самой тёплой за весь период наблюдений. Это вызвало неожиданно раннюю миграцию (на более чем декаду ранее нормы) серой жабы *Bufo bufo* в начале второй декады марта. В то же время, всего через 3 суток, ночные температуры резко опустились до -6 °С. Следует отметить аномально низкий уровень воды в р. Припять в предыдущие несколько месяцев из-за длительной засухи. Рекордно низкий уровень воды для марта был отмечен за весь период гидрологических наблюдений. Для выхода воды на участок поймы, где проводились данные исследования, не хватало 1,3 м [5].

Основным методом исследования являлся поиск участков автодороги с высокой смертностью земноводных в период весенней миграции. Поиск миграционных потоков – совокупности мигрирующих животных, пересекающих местность в направлении мест размножения, проводился путём передвижений пешком, на авто- и велотранспорте по исследуемому участку автодороги. Учеты проводились на автодороге Н4002 в пределах ГПУ НП «Припятский» с 14 марта по 3 мая 2025 г. в течение 10 дней. В процессе исследований отмечалась миграционная активность земноводных на контрольных участках автодорог в г. Туров.

Начало учётов по общепринятой методике в южных регионах Беларуси проводится в ранневесенний период с последней декады марта. Из-за крайне специфичных погодных условий весны 2025 г., начало учёта было смещено на 14 марта.

Оценка влияния автодороги на весеннюю смертность земноводных и пресмыкающихся во время массовых миграций для размножения проводилась путём подсчёта погибших особей. Места гибели обозначались «точкой» на GPS-навигаторе, проводилось описание вида, приблизительного размера, пола (по возможности) обнаруженной особи. Точно также проходила регистрация и описание встреченных живых амфибий.

Результаты. В результате исследований было обнаружено 64 погибших земноводных на участке автодороги протяжённостью 18 км: 47 серых жаб *Bufo bufo (Linnaeus, 1758)*, 5 зелёных жаб *Bufotes viridis (Laurenti, 1768)*, 4 остромордых лягушки *Rana arvalis*, 8 зелёных лягушек *Pelophylax esculentus complex*. Живых амфибий на дорогах было обнаружено всего 12: 6 серых жаб и 6 зелёных лягушек. Распределение погибших оказалось крайне неравномерным: 17 % погибших серых жаб, 80% зелёных жаб, 50 % погибших зелёных лягушек было обнаружено на участке дороги протяженностью 0,6 км (3,3 % от всей учетной линии). То есть можно говорить о некотором миграционном коридоре на данном участке дороги (рисунок 1).

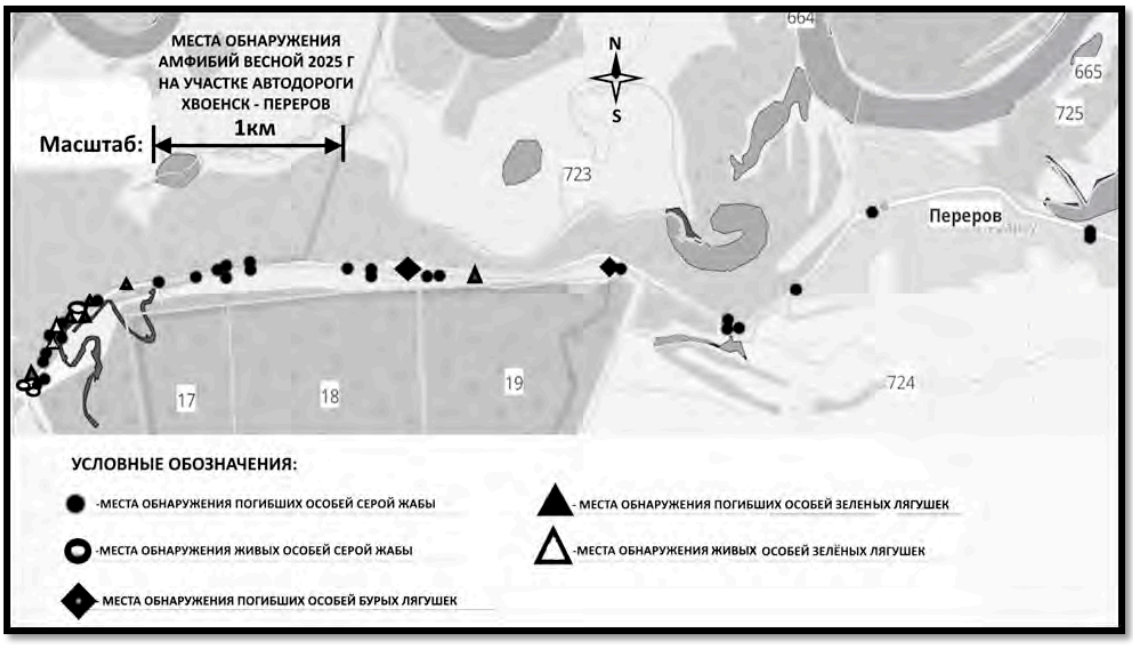


Рисунок 1 *– Места обнаружения живых и погибших амфибий на участке автомобильной дороги д. Хвоенск – д. Переров*

Учет автотранспорта проводился в период от 3 по 17 апреля 2025 г. Учеты проводились на КПП Переров при помощи фотоловушки Seelock S378. Отработано 324 часа. Подсчет транспорта осуществлялся по следующим категориям: легковые автомобили, грузовой транспорт, в т.ч. тракторы и микроавтобусы, мототранспорт, в т.ч. электроскутеры. Идентифицировано 1492 транспортных средства. В среднем в течение часа отмечалось около 4,6 транспортных средств в точке мониторинга. Максимальные значения отмечены в период с 12-00 до 13-00. В это время отмечено 9,2 автомобилей. Близкие к максимальным значения выявлены с 8-00 до 9-00; с 12-00 до 13-00 и 17-00 до 18-00. Минимальные значения отмечены в ночное время с 0-00 до 2-00 и с 23-00 до 0-00. Светлое время суток было с 7 до 21. В этот период зафиксировано 91,7 % автотранспорта.



Рисунок 2 *– Динамика движения транспорта по участку предполагаемого миграционного коридора земноводных*

Поскольку миграция земноводных проходит преимущественно в вечернее и ночное время, пик примерно с 18 часов вечера до полуночи – 24 часов [6], то наиболее важна интенсивность движения автотранспорта именно в этот период. Из приведенного выше рисунка 2 видно, что в этот период автодвижение постепенно снижается с 6,6 транспортного средства в час до 0,4. Среднее значение движения в наиболее важный для миграции амфибий период, таким образом, составляет всего 2,9 (менее 3) автомобиля. Причём в тёмное время суток, с 20 часов вечера до 23 часов ночи, когда мигрирует большинство особей земноводных, интенсивность автодорожного движения на данном участке всего 1,8 транспортного средства в час (менее 2).

Заключение. Небольшое (менее ста) количество погибших амфибий объясняется крайне неблагоприятными для амфибий климатическими условиями предшествующих 7–8 месяцев. При учётах отмечалась локализация земноводных в основном с южной стороны дороги и редко со стороны поймы. Места нереста пересохли и пережившие засуху амфибии размножались в оставшихся либо восстановившихся после дождей лесных водоёмах.

Несмотря на все неблагоприятные условия, популяциям в целом удалось выжить: в начале июля наблюдались молодые особи бесхвостых амфибий, во многих местах регистрировались локализации восточной квакши *Hyla orientalis*, краснобрюхой жерлянки *Bombina bombina*, зеленой жабы *Bufotes viridis*, озерной *Pelophylax ridibundus* и прудовой *Pelophylax lessonae* лягушек.

Низкая численность живых земноводных по отношению к погибшим вызвана сложностью с прогнозированием времени начала активной миграции и запоздалым прибытием в места учета. Это, вероятнее всего, причина скромного видового состава обнаруженных амфибий. Существуют данные, что значительный урон популяции мигрирующих амфибий начинается с интенсивности дорожного движения 10 автомобилей в час [7]. При существующей интенсивности движения урон популяциям земноводных вряд ли превышает 10–15 %. Однако при развитии туризма в регионе доля особей, погибших на дороге, может резко повыситься. В год с однако благоприятными климатическими условиями может многократно возрасти количество погибших особей в силу их многочисленности. Возможно, что в месте обнаруженного миграционного коридора в дальнейшем может понадобиться сооружение переходов для амфибий. Для более полной оценки ситуации необходимы дальнейшие исследования.

Список использованных источников

1. Яблоков, А. В. Общие принципы охраны ресурсов земноводных / А. В. Яблоков, С. А. Остроумов, Д. С. Павлов [и др.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://helpiks.org/2-56381.html.

2. Водные ресурсы Национального парка «Припятский» и их влияние на состояние лесных экосистем: монография / А. В. Углянец [и др.]; под общ. ред. Г. И. Марцинкевич. – Минск : БГПУ, 2007. – 163 с.

3. Позвоночные животные Припятского заповедника: сб. науч. ст. / сост. А. В. Углянец, В. П. Клакоцкий. – Минск : Ураджай, 1995. – С.9–13.

4. Климатические характеристики. Экологический портал.

5. Белгидромет [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://belgidromet.by. – Дата доступа : 03.07.2025.

6. Динесман, Л. Г. Методы учета амфибий и рептилий. Методы учета и географическое распределение наземной фауны / Л. Г. Десман, М. Л. Калецкая. – М., 1952. – С. 329.

7. Buchwald, E. The effect of road kills on amphibian populations / E. Buchwald, T. Hels // Biological Conservation. – June 2001. – С. 331–340.

INFLUENCE OF MOTOR TRANSPORT ON AMPHIBIAN MIGRATION IN THE PRIPYAT RIVER FLOODPLAIN IN THE TERRITORIES OF THE PRIPYATSKY NATIONAL PARK

S. V. Onishchuk, T. P. Chizhevskaya, G. G. Yanuta

Mass mortality on roads occurs in amphibians during migration to breeding grounds and can reach a critical point, putting entire populations on the brink of extinction. Data on the location of the migration corridor and the intensity of transport at different times of the day were obtained. The impact of climate change on amphibian populations.

УДК 574.583:546.36:639.2(476–222)

ТЕКУЩАЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ CS-137 РЕЧНОЙ РЫБЫ, ОБИТАЮЩЕЙ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «ПРИПЯТСКИЙ»

М. В. Пашук
Национальный парк «Припятский», г. Туров, аг. Лясковичи, Беларусь

Установлены средние и абсолютные показатели средней удельной активности Cs-137 в рыбе, обитающей в реке Припять и прилегающих пойменных водоемах. Определен убывающий ряд видов рыбы по величине накопления радионуклида. Выявлены различия в уровнях загрязнения голов, тушек и внутренних органов для разных видов рыбы.

Ключевые слова: рыба, река Припять, удельная активность, цезий-137, Национальный парк «Припятский».

Введение. Радиоактивное загрязнение окружающей среды в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС носит глобальный трансграничный характер. Загрязнению радиоактивным Cs-137 подверглось около 23 % территории нашего государства. Сегодня загрязнённые районы всё ещё составляют 12,3 % территории страны.

Реки до сих пор остаются основными транспортными системами перенесения загрязнения. Радиоактивное загрязнение водных объектов после аварии на ЧАЭС происходило как вследствие прямых выпадений радиоактивных аэрозолей, так и за счет вторичных эффектов: смыва с поверхностей водосборов, перетока из более загрязненных объектов к более чистым, а также вследствие массообмена между донными отложениями и водными массами [1].

Процессы смыва радиоактивности в реки с поверхностным стоком на водосборах стали доминирующим фактором распространения загрязнения на значительные территории за пределами Зоны отчуждения ЧАЭС. В то же время ежегодное уменьшение уровня загрязнения территории за счет естественного смыва с поверхности загрязненных грунтов оказалось незначительным – от нескольких десятых до 1 % общего количества радиоактивности, лежащей на территории в бассейнах рек. Именно поэтому процессы естественного снеготаяния и дождей спустя несколько десятилетий после аварии не привели к значительному вторичному загрязнению водных систем [2].

Процесс поглощения радионуклидов водной биотой и донными осадками зависит не только от их природы, но и от многих факторов, наиболее значимыми среди которых являются видовые особенности гидробионтов, тип донных отложений, концентрация в воде изотопных и неизотопных носителей, кислотность, освещенность, температура, сезон года, уровень трофности водоема. По данным исследований [3], у рыб одного вида и одного возраста, выросших в условиях одинаковых уровней радиоактивного загрязнения водной среды, индивидуальные различия в накоплении радионуклидов могут достигать 10 и более раз. Также установлено, что с удлинением трофической цепи в гидробиоценозе концентрация Cs-137 возрастает, в результате хищные рыбы накапливают его в большем количестве, чем рыбы смешанного питания и фитофаги [4].

Накапливаясь в рыбе, радионуклиды по пищевой цепи могут попадать в организм человека. В связи с этим острую важность имеет контроль качества рыбной продукции, а также мониторинговые исследования радиоэкологического состояния компонентов водной среды [5].

Целью исследования является определение текущего уровня загрязненности Cs-137 рыбы, обитающей в реке Припять и прилегающих пойменных водоемах в 2025 г.

Объекты и методика исследований. Объектами исследований стали 14 видов рыб, обитающих в реке Припять и прилегающих пойменных водоемах. Отбор проб осуществлялся согласно СТБ 1053-2015 [6]. Измерение удельной активности исследуемых проб проводилось на гамма-радиометре спектрометрического типа РКГ-АТ1320.

Результаты исследований. В рамках ежегодного радиоэкологического мониторинга в Национальном парке «Припятский» были проведены исследования уровней радиоактивного загрязнения Cs-137 14 видов рыб, обитающих в реке Припять и прилегающих пойменных водоемах. Согласно представленным в таблице 1 данным, средняя удельная активность радиоцезия варьировала в узком диапазоне от 6,1 до 11,1 Бк/кг. Абсолютные величины колебались от 4,0 до 25,21 Бк/кг. При этом уровень загрязненности всех выловленных экземпляров соответствовал гигиеническим нормативам (130 Бк/кг) [7]. Как показали

исследования, самый высокий абсолютный показатель радиационного загрязнения установлен в образцах карася, минимальный – в тушках окуня. Однако максимальной средней удельной активностью Cs-137 характеризуется щука, а минимальной – густера.

Таблица 1 *– Статистические показатели удельной активности Cs-137 в рыбе, выловленной в реке Припять и прилегающих водоемах в 2025 г.*

Статистические показатели	Вид рыбы						
	щука	окунь	судак	лещ	язь	плотва	густера
n	30	63	6	100	11	100	66
min	6,48	4,0	8,38	5,60	6,31	4,90	4,10
max	20,76	12,0	13,32	20,20	10,06	23,70	8,70
M	11,1	7,5	9,8	9,1	7,9	10,1	6,1
±m	0,6	0,2	0,8	0,2	0,4	0,4	0,1
σ	3,4	1,4	2,0	2,4	1,3	4,4	1,0
V	30,6	18,8	20,6	26,1	16,1	43,6	15,5
P	5,6	2,4	8,4	2,6	4,8	4,4	1,9
	синец	красноперка	линь	сом	жерех	карась	толсто-лобик
n	39	13	8	9	20	40	9
min	4,97	7,01	8,57	6,80	6,55	8,27	5,93
max	8,91	12,01	12,90	11,32	15,94	25,21	13,91
M	6,8	9,1	10,6	8,2	10,1	10,9	8,2
±m	0,1	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9
σ	0,8	1,2	1,4	1,4	2,4	3,2	2,6
V	11,7	13,3	12,9	17,3	23,7	29,8	31,6
P	1,9	3,7	4,6	5,8	5,3	4,7	10,5

Таким образом, определен убывающий ряд видов речной рыбы по величине средней удельной активности Cs-137: щука > карась > линь > плотва, жерех > судак > лещ, красноперка > сом, толстолобик > язь > окунь > синец > густера. Стоит отметить, что в 2025 г. не удалось определить закономерности в уровнях накопления Cs-137 рыбой, относящейся к разным группам трофности.

Также были проанализированы уровни радиоактивной загрязненности голов и внутренностей рыб (таблица 2).

Таблица 2 *– Статистические показатели удельной активности Cs-137 в головах рыбы в 2025 г.*

Статистические показатели	Вид рыбы						
	щука	судак	лещ	язь	жерех	синец	красноперка
n	9	3	17	2	4	3	1
min	7,05	9,16	4,71	6,67	5,96	3,95	6,61
max	10,36	11,16	10,06	7,19	9,35	5,14	6,61
M	8,4	10,0	7,3	6,9	7,8	4,6	6,6
±m	0,4	0,6	0,4	0,3	0,7	0,4	–
σ	1,1	1,0	1,5	0,4	1,4	0,6	–
V	13,6	10,4	20,4	5,3	18,3	13,3	–
P	4,5	6,0	4,9	3,8	9,1	7,7	–
	густера	плотва	линь	сом	окунь	карась	толстолобик
n	5	7	2	4	5	11	5
min	4,51	4,72	6,82	4,83	6,12	6,52	6,37
max	5,88	5,91	6,87	6,83	11,56	11,34	7,37
M	5,3	5,2	6,8	6,2	8,4	8,4	6,7
±m	0,3	0,1	0,0	0,5	0,9	0,5	0,2
σ	0,6	0,4	0,0	0,9	2,1	1,5	0,4
V	12,0	7,1	0,5	14,9	25,2	18,4	6,5
P	5,4	2,7	0,4	7,5	11,3	5,5	2,9

По представленным в таблице 2 данным видно, что самый высокий абсолютный показатель загрязненности Cs-137 голов зафиксирован у окуня, карася и судака. Наименьшая абсолютная удельная активность выявлена у синца. Средние параметры радиоактивной загрязненности голов колебались в узком диапазоне от 4,6 (синец) до 10,0 Бк/кг (судак).

На основании полученных данных установлен убывающий ряд видов рыб по радиоактивной загрязненности Cs-137 голов: судак > щука, окунь, карась > жерех > лещ > язь > линь > толстолобик > красноперка > сом > густера > плотва > синец.

В таблице 3 приведены данные загрязненности радиоцезием внутренних органов рыб. Максимальной средней удельной активностью характеризуется толстолобик, однако наибольший абсолютный показатель установлен в образцах язя. Наименьший средний показатель содержания ^{137}Cs во внутренних органах установлен у густеры, также как и минимальный абсолютный уровень загрязнения.

Таблица 3 *– Статистические показатели удельной активности Cs-137 во внутренних органах рыбы, выловленной в 2025 г.*

Статистические показатели	Вид рыбы						
	щука	лещ	язь	плотва	густера	синец	линь
n	6	11	2	7	4	2	1
min	6,38	4,05	6,17	4,83	3,61	5,22	6,98
max	9,87	10,45	10,99	8,98	6,12	6,15	6,98
M	8,2	6,2	8,6	7,3	5,1	5,7	7,0
±m	0,5	0,5	2,4	0,6	0,6	0,5	
σ	1,2	1,7	3,4	1,5	1,2	0,7	
V	15,0	27,3	39,7	19,9	23,8	11,6	
P	6,1	8,2	28,1	7,5	11,9	8,2	
	сом	жерех	судак	окунь	карась	красноперка	толстолобик
n	4	4	2	4	7	1	4
min	6,99	5,73	5,71	6,39	5,61	7,87	8,52
max	7,98	7,28	6,71	7,89	9,92	7,87	10,23
M	7,4	6,3	6,2	7,0	6,8	7,9	9,6
±m	0,2	0,4	0,5	0,4	0,5		0,4
σ	0,5	0,7	0,7	0,7	1,5		0,7
V	6,1	11,7	11,4	10,2	21,5		7,7
P	3,1	5,9	8,1	5,1	8,1		3,8

Таким образом, определен убывающий ряд видов рыб по содержанию Cs-137 в их внутренних органах: толстолобик > язь > щука > красноперка > сом > плотва > линь, окунь > карась > жерех > судак, лещ > синец > густера.

Сравнительный анализ (таблица 4) показал, что у 10 из 14 изученных видов наибольшая средняя удельная активность Cs-137 установлена в тушках рыбы. У 2 видов (судак, окунь) максимальный показатель выявлен в головах, еще у 2 видов (язь, толстолобик) – во внутренних органах.

Таблица 4 *– Средняя удельная активность Cs-137 в разных частях рыбы, Бк/кг*

Вид рыбы	Тушки	Голова	Внутренние органы
Щука	11,1	8,4	8,2
Судак	9,8	10,0	6,2
Лещ	9,1	7,3	6,2
Язь	7,9	6,9	8,6
Жерех	10,1	7,8	6,3
Синец	6,8	4,6	5,7
Красноперка	9,1	6,6	7,9
Густера	8,2	5,3	5,1
Плотва	10,1	5,2	7,3
Линь	10,6	6,8	7,0
Сом	8,2	6,2	7,4
Окунь	7,5	8,4	7,0
Карась	10,9	8,4	6,8
Толстолобик	8,2	6,7	9,6

Заключение. Величина средней удельной активности Cs-137 в рыбе в 2025 г. колебалась в узком диапазоне от 6,1 до 11,1 Бк/кг, а величина абсолютных показателей от 4,0 до 25,21 Бк/кг. Определен убывающий ряд видов речной рыбы по величине средней удельной активности Cs-137: щука > карась > линь > плотва, жерех > судак > лещ, красноперка > сом, толстолобик > язь > окунь > синец > густера. У 10 из

14 изученных видов наибольшая средняя удельная активность Cs-137 установлена в тушках рыбы, у 2 видов (судак, окунь) – в головах, еще у 2 видов (язь, толстолобик) – во внутренних органах.

Список использованных источников

1. Чернобыль, сельское хозяйство, окружающая среда / Р. М. Алексахин [и др.] ; под общ. ред Р. М. Алексахина. – Обнинск : ВНИИСХРАЭ, 2006. – 35 с.

2. Бондаренко, О. А. Чернобыльская катастрофа: 29 лет спустя / О. А. Бондаренко [и др.] // Астраханский вестник экологического образования. – 2015. – № 2 (32). – С. 7–16.

3. Шеханова, И. А. Радиоэкология рыб / И. А. Шеханова. – Москва : Лег. и пищ. пром-сть, 1983. – 208 с.

4. Чистик, О. В. Радиоэкология: курс лекций / О. В. Чистик. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2007. – 82 с.

5. Белоконь, А. С. Влияние абиотических компонентов водоема на накопление искусственных радионуклидов в рыбах Запорожского (Днепровского) водохранилища / А. С. Белоконь, О. Н. Маренков, Ю. И. Просяник // Актуальные проблемы экологии : материалы IX междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 23–25 октября 2013 г. : в 2 ч. / ГрГУ имени Я. Купалы [и др.] ; ред. кол. : И. Б. Заводник [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2013. – Ч. 1. – С. 3–4.

6. СТБ 1053-2015. Радиационный контроль. Отбор проб пищевой продукции. Общие требования. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2015. – 7 с.

7. Гигиенические нормативы «Критерии оценки радиационного воздействия» : утв. Постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 29.11.2022 № 829. – Минск : Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2022. – 15 с.

CURRENT CS-137 CONTAMINATION IN RIVER FISH INHABITING THE PRYPYATSKI NATIONAL PARK

M. V. Pashuk

Mean and absolute levels of average specific activity of Cs-137 were established in fish inhabiting the Pripyat River and adjacent floodplain water bodies. Fish species were ranked in descending order of radionuclide accumulation. Differences in contamination levels of heads, carcasses, and internal organs were identified across fish species.

УДК 598.243.1

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЗОННЫХ МИГРАЦИЙ РЖАНКООБРАЗНЫХ ПТИЦ (*CHARADRIIFORMES*) НА ЮГЕ БЕЛАРУСИ В 1996–2024 гг.

П. В. Пинчук
Национальный парк «Припятский», г. Туров, аг. Лясковичи, Беларусь

С 1996 по 2024 г. в пойме р. Припять окольцовано более 49 тысяч ржанкообразных птиц, относящихся к 42 видам. Наиболее массовыми в отловах были: среди куликов – турухтан, бекас, травник, фифи и чибис; среди чайковых – белокрылая и речная крачки. Получено более 750 возвратов колец из 42 стран.

Ключевые слова: ржанкообразные, кулики, водно-болотные птицы, миграции птиц, кольцевание.

Кольцевание ржанкообразных птиц белорусскими кольцами в пойме р. Припять было начато сотрудниками Института зоологии и Национального парка «Припятский» в 1996 г. Первое время кольцевались в основном птенцы, с конца августа 1999 г. при поддержке немецких коллег из NABU были начаты отловы мигрирующих куликов специальными ловушками; и в этом же году была основана станция кольцевания «Туров». С 2000 г. отлов и кольцевание проводились ежегодно и охватывали период размножения и практически весь период сезонных миграций ржанкообразных птиц на юге Беларуси.

Район исследований расположен в пойме р. Припять на юге Беларуси (Гомельская обл., Житковичский р-н, г.Туров). Основной биотоп – пойменные заливные пастбищные луга, хозяйственное использование которых выражается в основном в виде выпаса скота, незначительная часть выкашивается. Весной, при максимальном уровне воды, место исследований представляет собой систему островов, на которых гнездятся местные и останавливаются пролетные птицы.

Основные методы отлова – ловушки типа “walk-in-traps” и паутинные сети, причем в ловушки отлавливались преимущественно кулики, тогда как в паутинные сети попадались и кулики, и крачки с чайками. При проведении работ по изучению биологии гнездования проводилось кольцевание птенцов и отлов взрослых птиц на гнездах. Птицы кольцевались стандартными металлическими кольцами, кроме того, для 17 видов куликов использовались цветные пластиковые кольца.

С 1996 по 2024 г. на станции кольцевания птиц «Туров» отловлено и окольцовано 47 171 особь куликов 34 видов и 2 041 особь 8 видов чайковых (таблица).

Таблица *– Видовой состав и численность ржанкообразных птиц, окольцованных в 1996–2024 на станции кольцевания «Туров»*

№	Species	Вид	К-во
	***Charadrii* Кулики**		
1	*Philomachus pugnax*	Турухтан	**13886**
2	*Gallinago gallinago*	Бекас	**7437**
3	*Tringa totanus*	Травник	**7094**
4	*Tringa glareola*	Фифи	**6540**
5	*Vanellus vanellus*	Чибис	**4820**
6	*Calidris alpina*	Чернозобик	**1252**
7	*Charadrius hiaticula*	Галстучник	**1180**
8	*Gallinago media*	Дупель	**822**

Продолжение таблицы

9	*Xenus cinereus*	Мородунка	**806**
10	*Actitis hypoleucos*	Перевозчик	**793**
11	*Limosa limosa*	Большой веретенник	**678**
12	*Calidris temminckii*	Белохвостый песочник	**525**
13	*Charadrius dubius*	Малый зуек	**311**
14	*Tringa nebularia*	Большой улит	**200**
15	*Tringa erythropus*	Щеголь	**133**
16	*Haematopus ostralegus*	Кулик-сорока	**132**
17	*Tringa ochropus*	Черныш	**105**
18	*Lymnocryptes minimus*	Гаршнеп	**97**
19	*Calidris minuta*	Кулик-воробей	**84**
20	*Tringa stagnatilis*	Поручейник	**80**
21	*Limicola falcinellus*	Грязовик	**76**
22	*Calidris ferruginea*	Краснозобик	**48**
23	*Numenius arquata*	Большой кроншнеп	**19**
24	*Arenaria interpres*	Камнешарка	**10**
25	*Himantopus himantopus*	Ходулочник	**7**
26	*Scolopax rusticola*	Вальдшнеп	**7**
27	*Pluvialis apricaria*	Золотистая ржанка	**5**
28	*Pluvialis squatarola*	Тулес	**5**
29	*Calidris alba*	Песчанка	**5**
30	*Phalaropus lobatus*	Круглоносый плавунчик	**4**
31	*Calidris canutus*	Исландский песочник	**3**
32	*Limosa lapponica*	Малый веретенник	**3**
33	*Recurvirostra avosetta*	Шилоклювка	**2**
34	*Numenius phaeopus*	Средний кроншнеп	**2**
***Laridae* Чайковые**			
35	*Chlidonias leucopterus*	Белокрылая крачка	**853**
36	*Sterna hirundo*	Речная крачка	**511**
37	*Sterna albifrons*	Малая крачка	**256**
38	*Chlidonias niger*	Черная крачка	**221**
39	*Larus ridibundus*	Озерная чайка	**181**
40	*Chlidonias hybridus*	Белощекая крачка	**16**
41	*Sterna caspia*	Чеграва	**2**
42	*Larus minutus*	Малая чайка	**1**
Всего			**49212**

В группу наиболее массовых видов входят как мигрирующие виды (турухтан, бекас, фифи и чернозобик), так и местные гнездящиеся (травник, чибис и галстучник). Среди чайковых наиболее многочисленны были белокрылая и речная крачки.

К настоящему времени получено более 750 возвратов колец от птиц, окольцованных на стационаре, из 42 стран. Больше всего возвратов приходится на долю двух видов – бекаса (157) и чернозобика (102). Наиболее дальние возвраты получены от перевозчика и черной крачки (более 8700 км – Намибия), дупеля (более 6000 км – Габон), галстучника (5990 км – Габон) и турухтана (5526 – Сенегал; 5180 – Якутия и 5041 – Мали).

RESULTS OF STUDIES OF *CHARADRIIFORMES* MIGRATIONS IN THE SOUTH OF BELARUS IN 1996–2024

P. V. Pinchuk

From 1996 to 2024, more than 49,000 waders, gulls and terns of 42 species were ringed in the floodplain of the Pripyat River. The most numerous species were Ruff, Common Snipe, Common Redshank, Wood Sandpiper and Northern Lapwing. More than 750 long-distance recoveries have been received from 42 countries.

УДК 595.7;574.3

СОХРАНЕНИЕ ТЁМНОЙ ЛЕСНОЙ ПЧЕЛЫ (*APIS MELLIFERA MELLIFERA*) НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИПЯТСКИЙ»

О. В. Прищепчик[1], Е. В. Гузенко[2], А. А. Беспалый[3], О. В. Синчук[1]
[1]НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, г. Минск, Беларусь
[2]Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[3]Национальный парк «Припятский», г. Туров, аг. Лясковичи, Беларусь

На основании данных морфометрического исследования и молекулярно-генетического анализа митохондриальной и ядерной ДНК пчёл, отловленных на территории национального парка «Припятский», установлено существование автохтонной популяции тёмной лесной пчелы (Apis mellifera mellifera). Даны рекомендации по созданию резервата для сохранения генофонда местной популяции.

Ключевые слова: Apis mellifera, медоносная пчела, Беларусь, НП «Припятский», морфометрия, мтДНК, ядерная ДНК.

Введение. Медоносные пчёлы – основные насекомые-опылители на планете, опыляя 85% цветковых растений (около 300 тыс. видов во всём мире), они играют важную роль в сохранении биоразнообразия растений [1; 2] и природных экосистем. Пчёлы важны для существования многих сельскохозяйственных культур (рапс, подсолнечник, бобовые и др.), качественное опыление которых обеспечивает продовольственную безопасность [3]. Пчелиная семья в течение года расходует на свое питание и кормление расплода около 100 кг мёда и 30 кг пыльцы растений. Чтобы собрать такое количество провизии они должны посетить за сезон не менее 500 млн цветков в радиусе до 5 км. В большинстве стран закрепилась нерациональная тенденция хозяйствования – медоносных пчёл в основном разводят для получения продуктов, а опылительную деятельность в природе не учитывают и не оценивают [4].

Каждый подвид медоносных пчёл в процессе эволюции был относительно обособлен, в результате чего наследственно закрепились характерные морфологические (в основном экстерьерные) признаки особей и биологические особенности: плодовитость, темп развития, продуктивность, зимостойкость, отношение к определенным видам медоносных растений и др. [5]. Скрещивание подвидов между собой ведёт к нарушению функционирования эволюционно сформировавшихся комплексов генов, ответственных за устойчивость пчелы к окружающей среде, регуляцию внутрисемейных связей, сбор нектара, зимовку и пр. [6]. Гибридные семьи часто погибают от падевого мёда и болезней, не способны правильно сформировать клуб для зимовки [1, 7, 8, 9], что приводит к появлению нежизнестойких сложных гибридов и агрессивных семей. Ещё в 1878 г. было установлено, что гибриды 1 поколения существенно превосходят по продуктивности семьи родительских подвидов, однако позднее было выявлено существование постгетерозисной депрессии у гибридов 2–3 поколения [10]. Еще в 1967 г. на XXI Международном конгрессе по пчеловодству Апимондии в Мэриленде [11] особое внимание было обращено на необоснованность интродукции пчёл в те регионы, где существуют аборигенные подвиды.

Тёмная лесная пчела (*Apis mellifera mellifera*) – один из уникальных подвидов, который эволюционно сформировался и, соответственно, идеально приспособился к жизни в холодном континентальном климате с продолжительными периодами отрицательных температур. Ни один другой подвид медоносной пчелы не способен к существованию в подобных климатических условиях без участия человека [12]. В коммерческом пчеловодстве на данный момент преобладают интродуцированные «южные» подвиды, такие как *A. m. ligustica*, *A. m. carnica*, *A. m. caucasica*, *A. m. carpatica* и всевозможные их гибриды. Вследствие неограниченного потока генов между естественными и коммерческими популяциями пчёл генофонд аборигенных темных лесных пчел *A. m. mellifera* считают утраченным во многих странах Европы.

Одной из задач функционирования Национального парка «Припятский» является сохранение биологического разнообразия на генетическом, видовом и экосистемном уровнях. Тёмная лесная пчела, как аборигенный подвид медоносных пчёл Беларуси, является существенным элементом местных экосистем. В связи с этими изучение, восстановление и сохранение естественных популяций медоносных пчёл представляет собой приоритетное направление в работе парка. На протяжении 2021–2025 гг. сотрудниками ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси» и сотрудниками научного отдела ГПУ «Национальный парк «Припятский» проводился мониторинг диких семей пчелы медоносной на территории Национального парка.

Целью исследования является установление мест локализации и степень метизации автохтонных популяций тёмной лесной пчелы на основе анализа морфологических признаков и генетических данных с последующей разработай рекомендаций по её сохранению.

Материалы и методы. Нами исследовался полиморфизм митохондриальной и ядерной ДНК, что необходимо для установления происхождения пчелиных семей по материнской линии и генетического разнообразия семей, проведены измерения и анализ основных экстерьерных признаков пчёл диких семей для выяснения их «породного» состава и установления мест резервации популяций аборигенной пчелы. Материалом для исследования послужили медоносные пчелы, которые отбирались из ловушек на рои, колод и ульев различных конструкций (по 50 экземпляров из каждой семьи).

Результаты. За вегетационные периоды 2021–2025 гг. нами было обследовано 36 пчелиных семей с территории Национального парка «Припятский». По данным генетических исследований пчелиных семей с территории парка нами зарегистрировано 2 варианта локуса COI-COII митохондриальной ДНК: Q размером 350 п.н. (характерен подвидам южного происхождения) и PQQ размером 600–800 п.н. (характерен для подвидов эволюционной линии «М», к которой относится *A. m. mellifera*). Семьи с локусом Q отмечены по периферии национального парка, с локусом PQQ обнаружены в центральной части в окрестностях д. Судибор и д. Торгошин. Использование на прилегающих территориях семей с матками южных подвидов и активное распространение гибридов (бакфаст) приводит к замещению аборигенной пчелы в данном регионе.

На основании анализа изменчивости трёх морфометрических признаков (кубитальный и гантельный индексы, дискоидальное смещение) было установлено, что 25 семей с вариантом локуса Q достоверно отличаются от стандартных значений и являются гибридами южных подвидов. 11 семей с вариантом локуса PQQ отнесены к подвиду тёмная лесная (*Apis mellifera mellifera*) и имеют отклонение морфометрических показателей от стандарта «пород» [13; 14; 15]. Исследованные семьи имеют следующие характеристики: кубитальный индекс – 1,9; гантельный индекс – 0,91; дискоидальное смещение – отрицательное (80 %); степень метизации составляет до 20 %.

Проведен анализ ядерной ДНК по восьми высокополимофным микросателлитным локусам [16]. Обнаружено 134 аллеля, количество эффективных аллелей составляло 6,711. Среднее значение индекса Шеннона равнялось 2,216, что указывает на достаточно высокое генетическое разнообразие данной популяции. Индивидуальный молекулярно-генетический анализ пчёл позволил утверждать, что пчелосемьи являются генетически однородными.

Для сохранения тёмной лесной пчелы, возможности проведения дальнейших научных исследований и осуществления мероприятий по её реинтродукции целесообразно сформировать резерват и поддерживать его для сохранения генофонда (местный полесский локалитет) автохтонной пчелы. Для чего нами рекомендуется:

– расширить исследования семей медоносных пчёл на всей территории ГПУ «Национальный парк «Припятский» и на прилегающих территориях;

– произвести отлов семей и сформировать микропопуляцию (ориентировочно от 10–20 семей) в рамочных ульях для осуществления ветеринарного контроля и профилактических мероприятий;

– увеличить количество семей на пробной группировке (до 50 семей) за счёт контроля естественного роения и дополнительного отлова «диких» семей, молекулярно-генетический анализ которых определит подвидовую принадлежность и степень метизации и позволит отобрать пчелосемьи темной лесной пчелы с низкой степенью метизации;

– осуществить мониторинг состояния генофонда пчелиных семей при совместном использовании методов морфометрического и молекулярно-генетического анализов, проводить отбор (выбраковку) семей. Оформить генетический паспорт на популяцию пчёл ГПУ «Национальный парк «Припятский»;

– способствовать увеличению искусственных гнездовий для диких роёв пчёл, по мере возможности, путём установки колод и ульев различных конструкций на территории национального парка;

– создать субпопуляционные группировки (микропасеки) с коридорами миграции между ними, осуществлять постоянный контроль состояния генофонда пчелиных семей при совместном использовании морфометрического и молекулярно-генетического методов анализа;

– при формировании частных пасек воздержаться от закупок и разведения «южных» пород пчёл (карпатских, кавказских, итальянских и др.), различных гибридов (бакфаст) и семей неизвестного происхождения, а использовать местные локалитеты пчёл;

– использование отдельных семей (в колодах и ульях различных конструкций) в просветительских целях.

Заключение. На основании проведенного мониторинга с использованием методов морфометрического (характеристика жилкования крыла) и молекулярно-генетического (изменчивость локусов митохондриального и ядерного геномов) анализа установлено место локализации популяции тёмной лесной пчелы (*Apis mellifera mellifera*) на территории ГПУ «Национальный парк «Припятский» с различной степенью гибридизации – окр. д. Торгошин и д. Судибор. Даны рекомендации по созданию резервата для сохранения генофонда местной автохтонной популяции.

Список использованных источников

1. Кривцов, Н. И. Генофонд пчел *Apis mellifera mellifera* в России // Материалы Международной конференции «Пчеловодство – XXI век. Темная пчела в России». – Москва : Международная промышленная академия, 2008. – С. 22–27.

2. Лебедев, В. И. Биология медоносной пчелы / В. И. Лебедев, Н. Г. Билаш. – М. : Агропромиздат, 1991. – С. 239.

3. Черевко, Ю. А. Пчеловодство. Приусадебное хозяйство / Ю. А. Черевко, Г. А. Аветисян. – М. : ЮНИОН-паблик, 2002. – 320 с.

4. Шеметков, М. Ф. Продукты пчеловодства и здоровье человека / М. Ф. Шеметков, Д. К. Шапиро, И. К. Данусевич. – Мн. : «Ураждай», 1987. – 102 с.

5. Шеметков, М. Ф. Советы пчеловоду / М. Ф. Шеметков, Н. И. Смирнова. – Мн. : «Ураджай», 1975. – 320 с.

6. Николаенко, А. Г. Генетические процессы в популяциях *Apis mellifera* mellifera L. на Урале / А. Г. Николаенко // Энтомологические исследования в Северной Азии (Секция «Общая энтомология»). – Новосибирск, 2010. – С. 147–148.

7. Лебединский, И. А. Объемные показатели ректальных желез как морфофизиологические индикаторы адаптационного потенциала пчелиных семей *Apis mellifera* / И. А. Лебединский, А. Ю. Лаврский, А. В. Петухов // Биомика. – 2016. – Т. 8, № 2. – С. 147–153.

8. Монахова, М. А. Генетическая паспортизация *A. mellifera*. Проблемы и методы / М. А. Монахова, И. И. Горячева, Н. И. Кривцов // Пчеловодство. – 2009. – № 4. – С. 12–13.

9. Салтыкова, Е. С. Внутривидовые различия в механизмах формирования защитных процессов у медоносной пчелы *Apis mellifera* / Е. С. Салтыкова, Г. В. Беньковская, А. Г. Николенко // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2007. – Т. 43, № 2. – С. 162–167.

10. Дреер, К. В защиту естественных пород пчёл / К. Дреер // Пчеловодство. – 1985. – Вып. 4. – С. 6.

11. XXI Международный конгресс по пчеловодству (Мэрилендский университет, США, 14–17 августа 1967 года). – Бухарест – Румыния : Издательство Апимондии, 1967.

12. Ильясов, Р. А. Популяция медоносной пчелы Среднего и Южного Урала / Р. А. Ильясов, А. В. Петухов, А. В. Поскряков, А. Г. Николаенко // Энтомологические исследования в Северной Азии (Секция «Общая энтомология»). Материалы VIII Межрегионального совещания энтомологов Сибири и Дальнего Востока с участием зарубежных учёных. 4–7 октября 2010 г. – Новосибирск, 2010. – С. 91–93.

13. Кривцов, Н. И. Порода пчел для северных областей России / Н. И. Кривцов // Медовый мир – 2011: материалы Междунар. научно-практ. конф. Ярославль, 6–11 октября 2011 г. – Ярославль, 2011б. – С. 25–26.

14. Полищук, В. П. Пчеловодство. Справочное пособие / В. П. Полищук, В. П. Пилипенко. – Киев : Выща школа, 1990. – 312 с.

15. Cauia, E. Preliminary researches regarding the genetic and morphometric characterization of honeybee (*A. mellifera* L.) from Romania / E. Cauia [et al.] // Zootehnie şi Biotehnologii. 2008. – Vol. 41, Nr. 2. – P. 2783–2786.

16. Гузенко, Е. В. Генетическая характеристика медоносных пчёл *Apis mellifera* L., разводимых на пасеках Беларуси / Е. В. Гузенко, А. И. Царь, В. Н. Кипень, В. А. Лемеш // Пчеловодство холодного и умеренного климата: Материалы 5-й Международной научно-практической конференции. – Москва-Псков, 2021. – С. 48–52.

CONSERVATION OF THE DARK FOREST BEE (*APIS MELLIFERA MELLIFERA*) IN THE TERRITORY OF THE PRIPYATSKY NATIONAL PARK

A. V. Prischepchik, E. V. Guzenko, A. A. Bespalyi, A. V. Sinchuk

Based on morphometric research and molecular genetic analysis of mitochondrial and nuclear DNA from bees collected in the Pripyatsky National Park, the existence of an indigenous population of the dark forest honey bee (*Apis mellifera mellifera*) has been established. Recommendations are provided for establishing a reserve to preserve the gene pool of this local population.

УДК 574.4; 351.78:504.4/.8:614.8

СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ РОБИНИИ ПСЕВДОАКАЦИИ ПРИ ЕЁ ИНВАЗИИ В ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

А. В. Пугачевский, Т. Л. Барсукова, В. В. Лукин

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Показан инвазивный характер ценопопуляций робинии и её распространение в окружающие лесные фитоценозы. Полученные результаты после их дополнения будут использованы для разработки мер по предотвращению развития экспансии чужеродных древесных растений.

Ключевые слова: робиния ложноакация, инвазионность, ценопопуляция, возрастные состояния.

Введение. Робиния ложноакация, белая акация (*Robinia pseudacacia L.*) – листопадное дерево семейства Бобовые, до 30 м высотой, родом из Северной Америки. На корнях – азотофиксирующие клубеньки. Растёт быстро, особенно в первые 10 лет жизни, живет до 300 лет. Произрастает в широком диапазоне почвенных условий, но предпочитает лёгкие и плодородные почвы; не выносит уплотнения. Солеустойчива, светолюбива и засухоустойчива. На сырых и тяжелых почвах страдает от морозов, к которым более чувствительны молодые растения, вымерзающие в суровые зимы до уровня снежного покрова [1]. Теплолюбива, плохо переносит весенние заморозки, что ограничивает ее продвижение на север, но с потеплением климата этот фактор теряет свое сдерживающее значение. Размножается семенами и вегетативно – поверхностными корневыми тяжами. В Беларуси с середины XIX в. робиния выращивалась преимущественно на юге: культивировалась в населенных пунктах Брестской и Гомельской областей, вдоль дорог, в усадебных парках [2].

Один из наиболее распространенных древесных интродуцентов. Встречается почти повсеместно на юге, западе и в центре Беларуси. Активно расширяет свой ареал: отмечена уже в 105 административных районах страны [3]. В Полесье активно внедряется в сосновые и смешанные леса, где образует густой подлесок и даже чистые насаждения [4, 5].

Отличается повышенной конкурентоспособностью благодаря мощной корневой системе и ее азотфиксирующей способности, продуцированию большого количества семян, их жизнеспособности, быстрому росту [1, 2]. Обогащая почву азотом, робиния способствует поселению под ее пологом нитрофилов (крапивы двудомной, чистотела майского и др.), трансформирующих лесной фитоценоз.

Робиния входит в сотню наиболее опасных чужеродных видов флоры Европы. Повсеместно проявляет стремление к расширению вторичного ареала [1]. В Беларуси включена в перечень видов растений, распространение и численность которых подлежат регулированию [6].

Анализ возрастной структуры инвазионных популяций робинии в центральной части Беларуси показал, что сдвиг климатических условий может стать толчком для ее широкого расселения. Установлена связь числа особей подроста семенного происхождения в её популяциях с динамикой температур. Сделан вывод, что накопительная фаза инвазионного процесса робинии рискует перейти в процесс активного расширения вторичного ареала [4].

Распространение робинии в лесном фонде охарактеризовано на основе материала по 2400 лесным выделам, полученного от РУП «Белгослес» по состоянию на 01.01.2022 г.

Результаты. Распространение робинии в лесах Беларуси (рисунок 1) соответствует оценке по стране в целом [3]: основными регионами, где она распространена в лесах, являются запад, юго-запад и юго-восток страны.

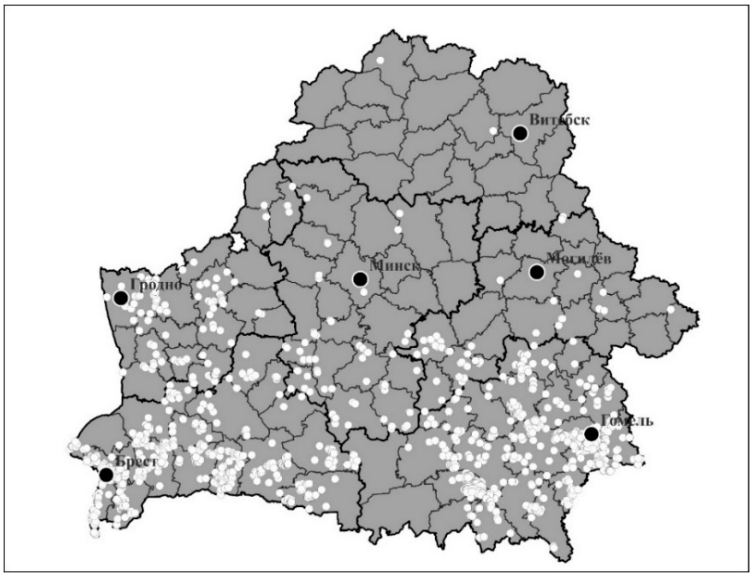


Рисунок 1 *– Распространение выявленных в составе лесного фонда Республики Беларусь насаждений с участием робинии (на 01.01.2022 г.)*

При этом популяции робинии приурочены преимущественно к насаждениям орляковой, мшистой, кисличной и черничной серий типов леса (рисунок 2), хотя встречается она в весьма широком диапазоне условий произрастания: от лишайниковых сосняков до болотно-папоротниковых ельников.

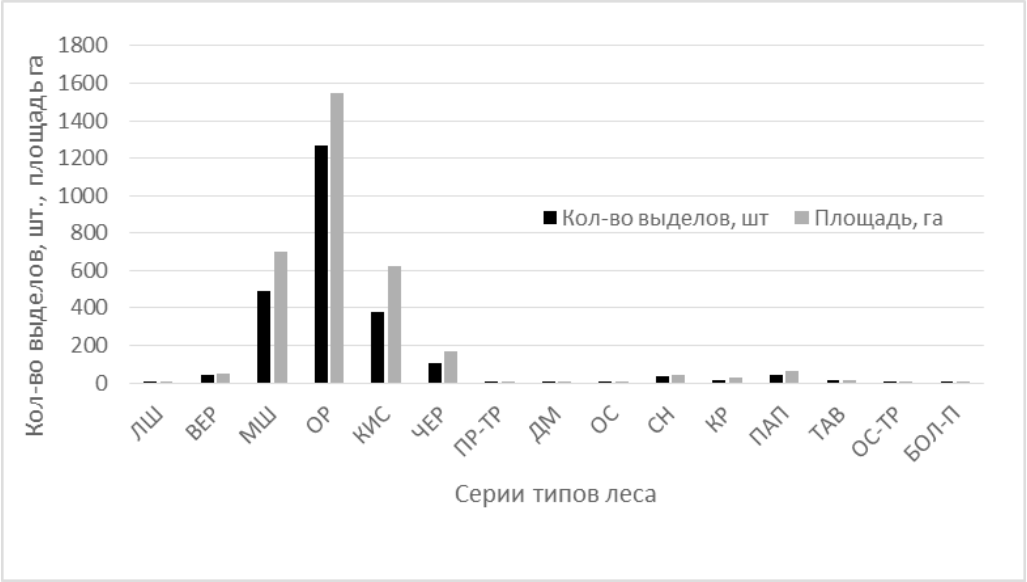


Рисунок 2 *– Распределение численности и площади выделов с участием робинии по сериям типов леса в лесном фонде Республики Беларусь (на 01.01.2022 г.)*

Возраст насаждений с участием робинии варьирует от молодняков 1-го класса возраста до перестойных древостоев, где робиния встречается под пологом сосны в виде жизнеспособного подроста или второго яруса. Большая часть (84,4 %) древостоев с её участием распределена в возрастном диапазоне от 11–20 до 61–70 лет (рисунок 3).

Участие робинии в составе насаждений чаще незначительное – до 20 %. Эти насаждения составляют 83,4 % от всех выделов с её участием. Но и чистые белоакациевые насаждения, и древостои с её доминированием (5–10 единиц в составе) также нередки: выявлено 706 таких участков (или 29,4 % от их общего количества) (рисунок 4).

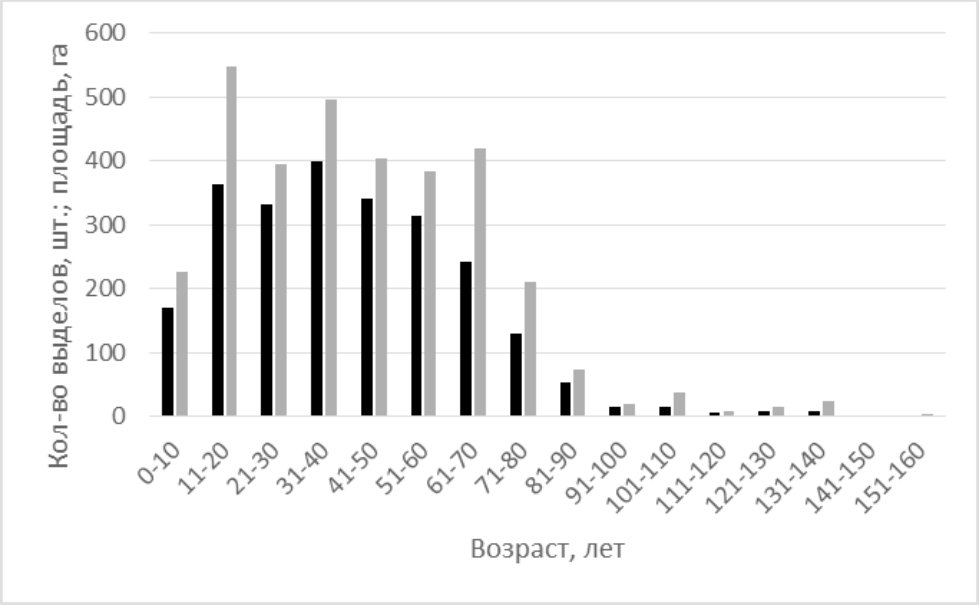


***Рисунок 3** – Распределение выделов с участием робинии по 10-летним классам возраста в лесном фонде Республики Беларусь (на 01.01.2021 г.) (легенда – на рисунке 2)*

При этом участки с её участием до 4 единиц в составе древостоев или в подросте представляют собой существенный популяционный резерв, потенциал которого будет реализован после рубки или распада основного насаждения.



***Рисунок 4** – Распределение насаждений с наличием робинии по её доле в составе древостоев или подроста в лесном фонде Республики Беларусь (на 01.01.2021 г.)*

Для оценки локального инвазионного потенциала робинии на территории Пуховичского и Лунинецкого лесхозов проведено обследование её ценопопуляций на серии временных пробных площадей.

ВПП 1 (Пуховичский р-н, окр. д. Цегельня). Робиния произрастает на опушке 70-летнего смешанного ельника орлякового (7Е1С1Б1Д +Лп, Ак), тип условий местопроизрастания (ТУМ) – С2. В подлеске средней густоты крушина ломкая, лещина, рябина, ива. Вдоль опушки проходит ЛЭП, и робиния в сторону ЛЭП активно распространяется корневыми отпрысками. В сообщество ельника робиния не проникает. Размер ВПП 120 м^2 (30 х 4 м). На ВПП произрастает 20 растений. Средняя высота – 4,4 м, плотность популяции 17 шт./100 м^2, 16 % деревьев порослевых. Оценка инвазионности этой и других ценопопуляций дана на основе анализа возрастного спектра (рисунок 5, ВПП 1). В ценопопуляции преобладают молодые имматурные деревья (68,4 %), что позволяет отнести ценопопуляцию к инвазионному типу.

ВПП 2 (Лунинецкий л-з, Лунинецкое л-во, кв. 98, выд. 26, 33). Тип леса – Ак. мш., (ТУМ) – В2, возраст 30 лет. Состав 7Ак2Ос1С+Д, ед. Гр. В подлеске средней густоты: лещина, свидина белая, боярышник кроваво-красный, крушина ломкая, пузыреплодник, дрок красильный. В подросте – дуб, сосна, робиния, клен ясенелистный. Размер ВПП 900 м^2 (30 х 30м). В подросте – робиния (35 % – до 0,5 м высотой, 33 % – от 0,5 м до 1,5 м, 32 % более 1,5 м). Плотность популяции робинии – 26 шт./100 м^2.

Средняя высота робинии – 13,7 м, средний диаметр – 12,0 см, все деревья семенного происхождения. Средний балл плодоношения (по Капперу) – 3,0, плодоносят 61 % деревьев.

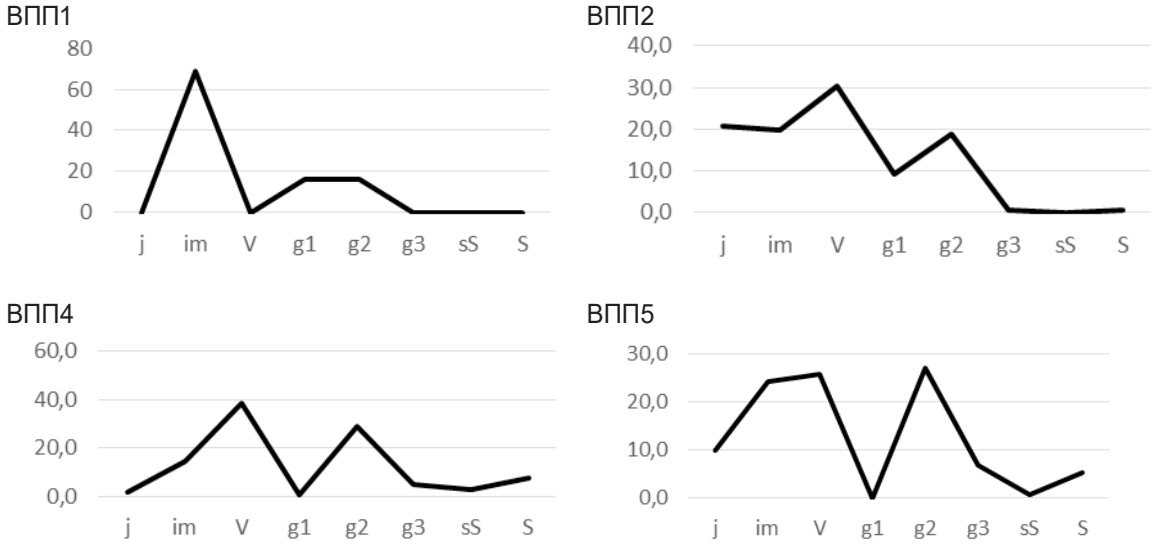


***Рисунок 5** – Возрастной спектр (в %) ценопопуляций робинии на ВПП 1, 2, 4, 5*

В ценопопуляции имеется значительное количество виргинильных особей (30,2 %), но имеются и деревья среднего и старшего генеративного состояний (9,4 % и 18,8 %), что позволяет отнести ценопопуляцию робинии на ВПП 2 к нормальному типу (рисунок 5, ВПП 2).

ВПП 4 (Лунинецкий л-з, Красновольское л-во, кв. 69, выд. 2). Тип леса Ак. мш. мелиоративно производный (ТУМ – В2), 32 года. Размер пробной площади 900 м^2 (30 х 30 м). Состав древостоя 9Ак1С+Бб,Гр ед. Яб, Вш. Подлесок редкий: лещина, сирень обыкновенная, вишня, черемуха, шиповник. Средняя высота робинии в древостое семенного происхождения – 12,5 м, средний диаметр – 11,6 см. Средний балл плодоношения – 2,0, плодоносят 44 % деревьев. Обильный подрост робинии (2000 шт. га), его высота: 3 % – до 0,5 м, 27 % от 0,5 м до 1,5 м и 70 % более 1,5 м высотой.

Плотность популяции – 39 растений на 100 м^2. Анализ возрастного спектра ценопопуляции позволяет отнести её к нормальному типу (рисунок 5, ВПП 4). В её составе имеется значительное количество виргинильных особей (38,4 %), но многочисленны и деревья среднего и старшего генеративных состояний (34,5%).

ВПП 5 (Лунинецкий л-з, Красновольское л-во, кв. 61, выд. 57). Тип леса Ак. мш. (ТУМ В2), 30 лет. Размер ВПП 900 м^2 (20 х 45 м). Состав древостоя 9Ак1Кл ед. С, Гр; в густом подросте доминирует (90%) робиния, присутствуют также клены остролистный и ясенелистный, груша, дуб. В редком подлеске: крушина, сирень, вишня, свидина. Учтено 157 растений подрост робинии (16% до 0,5 м высотой, 41 % от 0,5 м до 1,5 м и 43% более 1,5 м). Плотность популяции – 34 растения на 100 м^2. Средняя высота древостоя робинии – 14,4 м, средний диаметр – 12,4 см, все деревья семенного происхождения. Средний балл плодоношения – 1,6, причем плодоносит 32 % деревьев робинии. Под пологом преобладает мертвый покров, единично встречаются чистотел, пырей и костер безостый.

В ценопопуляции (рисунок 5, ВПП 5) доминируют молодые имматурные (24,3 %) и виргинильные особи (25,9 %), но также имеются деревья среднего (27,0 %) и старшего генеративных состояний, что позволяет отнести ценопопуляцию к нормальному типу.

Для подтверждения и оценки процесса распространения робинии от её древостоев в соседние лесные фитоценозы бала заложена серия из 3 ленточных пробных площадей (трансектов) по 500 м^2 (10 х 50 м) каждая.

ВПП 3 (Лунинецкий л-з, Лунинецкое л-во, кв. 98). Пробная площадь заложена на С-СВ от древостоя робинии в направлении сосняка орлякового (10С, ТУМ В2, 30 лет).

ВПП 4А (Лунинецкий л-з, Красновольское л-во, кв. 69, выд. 3). Пробная площадь ориентирована на З-ЮЗ от древостоя робинии вглубь сосняка мшистого (9С1Б, ТУМ А2, 40 лет).

ВПП 5А (Лунинецкий л-з, Красновольское л-во, кв. 61, выд. 54). Пробная площадь заложена в виде трансекта на С-СЗ от края выдела робинии в сторону сосняка мшистого мелиорированного (10С, ТУМ А2, 40 лет).

На каждой из ВПП производился учет и картирование подроста робинии, обмер его биометрических показателей. Результаты проанализированы по 10-метровым отрезкам трансектов и представлены в таблице.

***Таблица** – Инвазия робинии в соседние выдела по материалам ленточных ВПП*

Расстояние от материнского древостоя, м	ВПП №№	Число особей подроста робинии различной высоты (h) или диаметра ($D_{1,3}$) на различном удалении от материнского древостоя, шт./100 м^2				Всего подроста робинии, шт./100 м^2
		h < 0,5м	h = 0,5–1,5 м	H > 1,5 м	$D_{1,3}$ > 6 см	
0–10	3	0	3	21	8	32
	4а	7	41	33	0	81
	5а	11	24	12	3	50
в среднем на 0–10 м		**6,0**	**22,7**	**22,0**	**3,7**	**54,4**
11–20	3	1	5	11	4	21
	4а	15	21	0	0	36
	5а	11	28	16	0	55
в среднем на 11–20 м		**9,0**	**18,0**	**9,0**	**1,3**	**37,3**
21–30	4а	1	0	0	0	1
	3	0	5	8	4	17
	5а	4	11	5	0	20
в среднем на 21–30 м		**1,7**	**5,3**	**4,3**	**1,3**	**12,6**
31–40	3	0	1	10	0	11
	4а	0	0	0	0	0
	5а	0	0	0	0	0
в среднем на 31–40 м		**0,0**	**0,3**	**3,3**	**0,0**	**3,6**
41–50	3	2	11	0	0	13
	4а	0	0	0	0	0
	5а	0	0	0	0	0
в среднем на 41–50 м		**0,7**	**3,7**	**0,0**	**0,0**	**4,4**

Как можно видеть (таблица) наибольше количество подроста робинии встречается на расстоянии до 20 м от края насаждения робинии, хотя единичные растения можно найти и до расстояния в 50 м. В то же время крупные иэкземпляры (выше 1,5 м или с диаметром более 6 см) выявлены не далее 30 м от материнских древостоев. На расстоянии более 40 м растения робинии встречаются только единично, причем это экземпляры до 1,5 м высотой. Возможно инвазия робинии в соседний выдел стала возможной после вступления в возраст плодоношения более значительной части деревьев и изменениями в соседнем выделе (улучшением светового режима для возобновления).

Заключение. Таким образом, среди изученных популяций робинии 75 % относится к нормальному типу, 25 % – к инвазионному, при этом распространение в соседние лесные выдела достигает 30 м, иногда до 50 м. Инвазия робинии за пределы имеющегося насаждения зависит от ряда факторов: состав и густота древостоев в окружающих выделах, тип лесорастительных условий и т.п. Данное предположение нуждается в дальнейших исследованиях.

В целом исследования робинии псевдоакации подтвердили инвазионный характер динамики её распространения в окружающие фитоценозы. Полученные результаты могут использоваться для разработки мер по предотвращению экспансии чужеродных древесных растений.

Список использованных источников

1. Дмитриева, С. А. Робиния ложноакация / С. А. Дмитриева, И. М. Гаранович, Л. С. Чумаков // Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик [и др.]; под общ. ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского ; Нац. акад. наук Беларуси, Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск : Беларуская навука, 2020. – С. 262–274.

2. Федорук, А. Т. Интродуцированные деревья и кустарники Западной части Белоруссии / А. Т. Федорук. – Минск, 1972. – 192 с.

3. Масловский, О. М. Экспансия и особенности пространственного распределения наиболее опасных видов инвазивных растений на территории Республики Беларусь / О. М. Масловский [и др.] // Ботаника (исследования). – Минск, 2016. – Выпуск 45. – С. 129–144.

4. Мотыль, М. М. Риск расширения инвазионного ареала робинии лжеакации (Robinia pseudoacacia L.) в средней части Беларуси / М. М. Мотыль, С. К. Бакей // Ботаника (исследования). – Минск, 2024. – Выпуск 53. – С. 152–158.

5. Гарбарук, Д. К. Особенности лесообразования на бывших сельскохозяйственных землях в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС / Д. К. Гарбарук, А. В. Углянец, С. В. Шумак // Ботаника (исследования). Минск, 2020. – Выпуск 49. – С. 50–61.

6. Гусев, А. П. Ландшафтно-экологический анализ распространения чужеродных видов-трансформеров в природно-антропогенных ландшафтах (юго-восток Беларуси) / А. П. Гусев // Российский журнал прикладной экологии. – 2017. – № 2(10). – С. 47–51.

7. О некоторых вопросах регулирования распространения и численности видов растений [Электронный ресурс] / постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 7 дек 2016 г. № 1002 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа : http:// pravo.by/apload/docs/op/C21601002_1481576400.pdf.

STRUCTURE OF COENOPOPULATIONS OF ROBINIA PSEUDOACACIA DURING ITS INVASION INTO FOREST ECOSYSTEMS

A. V. Pugachevsky, T. L. Barsukova, V. V. Lukin

The invasive nature of the spread of Robinia into surrounding phytocenoses was revealed. The results obtained after their supplementation will be used to develop measures to prevent the expansion of alien woody plants.

УДК 632.7

ВИДОВОЙ СОСТАВ ФИТОФАГОВ ВРЕДИТЕЛЕЙ ЯБЛОНЕВЫХ САДОВ БРЕСТСКОГО РЕГИОНА

О. В. Синчук[1], А. П. Колбас[2,3], Н. В. Архипова[4], О. В. Прищепчик[1]

[1]НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, г. Минск, Беларусь
[2]Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь
[3]Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[4]Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Статья посвящена исследованию комплекса насекомых-вредителей яблони (Malus domestica) в агроэкосистемах Брестской области в 2024–2025 гг. В результате исследования выявлено 12 видов вредителей, принадлежащих к разным отрядам насекомых. Установлены наиболее опасные виды для весенне-летнего и летне-осеннего периодов. Впервые для фауны Беларуси обнаружен листовой минер Stigmella malella. Уточнен ареал распространения кружевницы Stephanitis pyri на юго-западе страны. Зафиксированы вспышки массового размножения карантинного инвазивного вида – американской белой бабочки (Hyphantria cunea).

Ключевые слова: вредители, яблоневый сад, инвазивные виды, Lepidoptera, Stigmella malella.

Введение. Комплекс вредителей яблони является важной областью исследований в связи с его значительным влиянием на продуктивность садов и качество плодов. Яблоневые сады, как правило, нуждаются в химической и биологической защите от широкого спектра насекомых-вредителей и клещей [1]. В зависимости от региона, эти вредители различаются, что требует проведения специальных исследований и разработки дифференцированных стратегий борьбы [1, 2]. К наиболее распространённым насекомым-вредителям яблони относятся представители отрядов Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Hemiptera, Lepidoptera, которые могут нанести значительный ущерб как вегетативным органам, так и плодам [3, 4]. Эффективная борьба с вредителями яблони требует комплексного подхода, сочетающего химические и биологические методы борьбы (Barnes, 1959; Muminova, 2023) [1, 2].

В условиях Беларуси под влиянием изменений климата и появлением новых вредителей подчеркивается необходимость постоянных исследований биологии, экологии и распространения вредителей в условиях регионов.

Материалы и методы. Исследования проводились в следующих садовых агроэкосистемах: ОАО «Агро-сад Рассвет», ОАО «Остромечево», ФХ «Влас», отдел «Агробиология» УО «БрГУ имени А. С. Пушкина», приусадебные участки на территории Брестской области (Брестский, Кобринский, Дрогичинский, Барановичский и Ивановский районы) в 2024–2025 гг. были осуществлен сбор и идентификация насекомых-вредителей, связанных с яблонями. Коллекционирование материала осуществлялось в соответствии с классическими подходами [5–6]. Идентификацию видов проводили с использованием специализированных ключей [7–10].

Результаты. За два вегетационных сезона нами выявлены следующие насекомые-вредители яблоневого сада: *Aphis pomi* De Geer, 1773, *Hoplocampa testudinea* Klug, 1816, *Spilonota ocellana* (Denis & Schiffermüller, 1775), *Phyllonorycter blancardella* (Fabricius, 1761), *Parornix petiolella* (Frey, 1863), *Stephanitis pyri* (Fabricius, 1775) *Callisto denticulella* (Thunberg, 1794), *Coleophora hemerobiella* (Scopoli, 1763), *Yponomeuta padella* Linnaeus, 1758, *Stigmella malella* (Stainton, 1854) Beirne, 1945, *Anthonomus pomorum* (Linnaeus, 1758), *Hyphantria cunea* Drury, 1773.

В весенне-летний период наибольшую опасность для яблоневых садов представляют такие виды как *Aphis* sp., *C. hemerobiella* (Scopoli, 1763), *Y. padella* Linnaeus, 1758 и *A. pomorum* (Linnaeus, 1758).

Тли рода *Aphis* питаются на молодых побегах и листьях, приводя к их скручиванию в случае формирования плотных колоний. При этом на данный момент можно говорить о наличии нативного *A. pomi* De Geer, 1773, однако, с учетом проведенных исследований на территории Брестского региона могут присутствовать и инвазивные тли – *Aphis spiraecola* Patch, 1914 [8], которые визуально не отличаются и могут быть различимы только с использование методов морфометрии и ДНК-штрихкодирования. Установлено наличие следующих видов тлей: *Lasius fuliginosus* (Latreille, 1798), *Lasius niger* (Linnaeus, 1758), *Lasius platythorax* Seifert, 1991.

В садах с минимальным числом химических и биологических обработок отмечаются вспышки массового размножения вида *Coleophora hemerobiella* (Scopoli, 1763), который имеет двухлетний период индивидуального развития, что хорошо заметно по формам чехлика. Гусеницы питаются на листьях яблони, формируя пятновидные повреждения (мины), которые имеют небольшое круглое отверстие примерно посередине повреждения. В случае массового питания личинок может происходить частичное усыхание листьев или даже дефолиация.

Yponomeuta padella (Linnaeus, 1758) – гусеницы желтовато-серые с темными пятнами вдоль боков, питаются листьями яблонь, выгрызая их изнутри и затем объедая их в общих паутинных гнездах, где питаются группами. Вспышки массового размножения отмечаются в садах с минимальными химическими и биологическими обработками или полным их отсутствием.

Anthonomus pomorum (Linnaeus, 1758) активно питаются набухшими цветочными почками яблони. Личинка выгрызает содержимое изнутри и склеивает его своими выделениями, после чего цветок не раскрывается и становится коричного цвета, после чего усыхает.

В летне-осенний период отмечаются *Hoplocampa testudinea* (Klug, 1816), *Spilonota ocellana* (Denis & Schiffermüller, 1775), *Phyllonorycter blancardella* (Fabricius, 1761), *Parornix petiolella* (Frey, 1863), *Stephanitis pyri* (Fabricius, 1775) *Callisto denticulella* (Thunberg, 1794), *Stigmella malella* (Stainton, 1854) Beirne, 1945, *Hyphantria cunea* (Drury, 1773).

Среди минирующих насекомых, которые активно повреждают листовую поверхность, формируя пятновидные мины, *Phyllonorycter blancardella* (Fabricius, 1761), *Parornix petiolella* (Frey, 1863), *Callisto denticulella* (Thunberg, 1794). Как правило, в садах с минимальными обработками для борьбы с насекомыми могут фиксироваться вспышки массового размножения фитофгов. Впервые для Беларуси указывается вид *Stigmella malella* (Stainton, 1854) Beirne, 1945, который формирует лентовидное повреждение на верхней стороне листовой пластинки. Пока выявлены единичные мины. *Spilonota ocellana* (Denis & Schiffermüller, 1775), которые нами обнаружены только в летний период на стадии имаго. Влияния на формирование урожая и формирование листьев не обнаружено.

Личинки питаются *Hoplocampa testudinea* Klug, 1816 в завязывающихся плодах яблони. Поврежденные плоды отличаются открытым входным отверстием, их семенные камеры заполнены червоточиной. Часто уже в начале июня происходит опадение плодов, а на некоторых сортах поврежденные яблоки усыхают и висят на кроне.

Результаты проведенных исследований позволили уточнить границы обитания нового для фауны Беларуси вида – *Stephanitis pyri* (Fabricius, 1775). Крайние юго-западные точки регистрации вида – г. Брест и аг. Вистычи. *S. pyri* отмечен на листовых пластинках *Malus domestica* (Suckow) Borkh. [11].

Среди карантинных видов в сентябре 2024 г. были выявлены очаги вспышек массового размножения на территории Пинского, Дрогичинского, Кобринского районов (Брестской области) инвазивного вида – *Hyphantria cunea* Drury, 1773. В условиях агроценоза в г. Иваново отмечено питание на *M. domestica*. Благодаря скоординированной деятельности карантинных служб, удалось быстро локализовать очаги вспышек массового размножения опасных объектов.

На сочных плодах может отмечаться питание имаго и личинок инвазивного энтомофага – *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773).

Заключение. Проведённые исследования позволили уточнить и расширить знания о комплексе насекомых-вредителей яблоневых садов Брестской области. Отмечено присутствие 12 видов вредителей, оказывающих значимое влияние на яблоню в регионе. Определены наиболее вредоносные виды для разных фенологических периодов: *Aphis* sp., *Coleophora hemerobiella, Yponomeuta padella, Anthonomus pomorum* (весна); *Hoplocampa testudinea, Phyllonorycter blancardella, Parornix petiolella, Callisto denticulella, Hyphantria cunea* (лето-осень). Впервые для территории Беларуси обнаружен листовой минер *Stigmella malella*. Зафиксированы и оперативно локализованы очаги массового размножения опасного карантинного вредителя – американской белой бабочки (*Hyphantria cunea*) в нескольких районах области. Уточнены границы распространения кружевницы *Stephanitis pyri* на юго-западе Беларуси. Описан характер повреждений, наносимых ключевыми вредителями (деформация листьев тлями, минирование листьев, повреждение почек и цветов яблонным цветоедом, повреждение плодов пилильщиком), а также связь вспышек численности некоторых видов (*C. hemerobiella, Y. padella*) с низкой интенсивностью защитных мероприятий.

Подтверждена необходимость мониторинга и точной диагностики. Подчеркнута важность постоянного мониторинга в условиях меняющегося климата и риска появления новых вредителей. Отмечена необходимость применения современных методов (ДНК-штрихкодирование) для надежной идентификации трудноразличимых видов, таких как тли рода *Aphis*, включая потенциальный инвазивный вид – *Aphis spiraecola*.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ-Брест 2024 № Х24Б-005.

Список использованных источников

1. Barnes, M. M. Deciduous Fruit Insects and Their Control / M. M. Barnes // Annual Review of Entomology. – 1959. – Vol. 4. – P. 343–362. DOI: 10.1146/annurev.en.04.010159.002015.

2. Muminova, R. Phytophagous insects of *Malus* in Uzbekistan / R. Muminova // Bulletin of science and practice. – 2023. – Vol. 9, n. 6. – P. 86–89. DOI: 10.33619/2414-2948/91/09.

3. Kamusiime, E. Insect pests in apple (*Malus domestica* Borkh) gardens: Review / E. Kamusiime, J. S. Nantongo, C. Wacal // GSC Advanced Research and Reviews. – 2023. – Vol. 15, n. 1. – P. 30–53. DOI : 10.30574/gscarr.2023.15.1.0109.

4. Ellis, W. N. Leafminers and plant galls of Europe: [site] / W. N. Ellis. – Amsterdam, 2001–2025. – URL: http://www.bladmineerders.nl (date of access: 08.07.2025).

5. Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 339 с.

6. Скворцов, А. К. Гербарий. Пособие по методике и технике / А. К. Скворцов. – Москва : Наука, 1977. – 199 с.

7. Chinery, M. Collins guide to the insects of Britain and Western Europe / M. Chinery. – London : HarperCollins Publishers, 1993. – 320.

8. Черная книга инвазивных видов животных Беларуси / В. П. Семенченко [и др.]; под общ. ред. В. П. Семенченко, С. В. Буги. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 163 с.

9. Трейвас, Л. Ю. Болезни и вредители плодовых растений: Атлас-определитель / Л. Ю. Трейвас, О. А. Каштанова. – Москва : Фитон XXI, 2024. – 352 с.

10. Атлас болезней и вредителей плодовых, ягодных, овощных культур и винограда / Г. Ванек [и др.]. – Москва : Колос, 1989. – 368 с.

11. Географическое распространение и кормовые растения *Stephanitis pyri* (Fabricius, 1775) (Hemiptera, Heteroptera: Tingidae) в Беларуси / А. О. Лукашук [и др.] // Энтомологическое обозрение. – 2025. – Т. 104, № 2. – С. 79–85.

SPECIES COMPOSITION OF PHYTOPHAGOUS PESTS IN APPLE ORCHARDS OF THE BREST REGION

A. V. Sinchuk, A. P. Kolbas, N. V. Arkhipova, A. V. Prishchepchik

The article is devoted to the study of the complex of insect pests of apple trees (*Malus domestica*) in the agroecosystems of the Brest region during 2024–2025. The study identified 12 pest species belonging to different insect orders. The most dangerous species for the spring-summer and summer-autumn periods were determined. The leafminer *Stigmella malella* was recorded in the fauna of Belarus for the first time. The distribution range of the lace bug *Stephanitis pyri* in the southwest of the country was specified. Outbreaks of mass reproduction of the invasive quarantine species – the fall webworm (*Hyphantria cunea*) – were recorded.

УДК: 639.311:575.21:575.22

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО ПРОЕКТА ПО СОХРАНЕНИЮ ГЕНОФОНДА ЕДИНСТВЕННОГО В СТРАНЕ МАТОЧНОГО СТАДА БЕЛУГИ (*HUSO HUSO* L.), ВЫРАЩИВАЕМОГО В АКВАКУЛЬТУРЕ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

А. М. Слуквин[1], Я. И. Шейко[1], Я. П. Кулешевич[1], Т. В. Долматович[1], Н. Н. Чакова[1], С. С. Ниязова[1], В. Т. Демянчик[2], В. В. Демянчик[2], В. П. Рабчук[2], А. Н. Лицкевич[2], М. А. Пастухова[2], Д. А. Кунаховец[2], О. С. Грода[2]

[1] Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[2] Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

По результатам выполненных исследований разработаны: форма генетического паспорта; генетические паспорта на 178 производителей белуги в ОАО «Опытный рыбхоз «Селец»; приложения 1 и 2 к паспорту по весовым, морфометрическим, репродуктивным показателям самок и самцов белуги в динамике за ряд лет, фото особи в трех проекциях; методические рекомендации искусственного воспроизводства и кормления белуги; оптимизации сохранения и рационального использования генофонда белуги в Беларуси и за рубежом.

Ключевые слова: белуга, аквакультура, генетический паспорт, морфометрия, методические рекомендации.

Введение. Белуга (*Huso huso* L.) является одним из самых ценных крупных видов осетровых, находящихся на грани исчезновения и под охраной CITES (СИТЕС) и IUCN (МСОП). В мировой практике при экспорте продукции осетровых индивидуальные генетические паспорта разрабатываются только для белуги и калуги, как для особо ценных и крупных среди осетровых видов. Для других видов осетровых разрабатываются «масс-паспорта» на партию, группу особей или на все стадо [1, 2].

Работы по генетической паспортизации, созданию индивидуального генетического паспорта белуги (*Huso huso* L.), морфометрическим исследованиям, кормлению, оценке гидрохимического режима при прудовом содержании белуги выполнены по заданию 3Т2.7 «Разработать и внедрить методы использования молекулярного маркирования и генетической паспортизации единственного в стране ремонтно-маточного стада белуги (*Huso huso* L.) с целью оптимизации сохранения, наращивания и рационального использования ее генофонда на территории Беларуси и за рубежом» по подпрограмме 3 «Устойчивое природопользование и инновационные технологии переработки, охраны и воспроизводства природных ресурсов» ГНТП «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности», 2021–2025 гг.

Для выполнения проекта были задействованы научные коллективы лабораторий двух институтов Института генетики и цитологии НАН Беларуси (г. Минск) и Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси (г. Брест).

Цель работы – оптимизация сохранения, наращивания и рационального использования единственного в стране генофонда белуги (*Huso huso* L.) путем разработки и внедрения передовых методов молекулярного маркирования и генетической паспортизации животных, находящихся на грани исчезновения и находящихся под охраной CITES и IUCN.

Для достижения поставленной цели было запланировано решение следующих задач:

– провести патентный поиск по теме исследований;

– изучить основные индивидуальные морфометрические характеристики в ремонтно-маточном стаде белуги, выращиваемого в ОАО «Рыбхоз «Селец» Березовского района Брестской области;

– провести работы по уточнению индивидуального мечения белуги электронными чипами;

– осуществить прижизненный забор проб биологического материала у меченых особей белуги для проведения генетических исследований;

– изучить генетический профиль каждой особи белуги в ремонтно-маточном стаде с использованием семи ядерных микросателлитных локусов (Afug41, An20, AoxD161, AoxD165, Aox23, Afug51, Spl106) и видоспецифичного для белуги маркера ДНК S6 Ribosomal Protein (RP2S6), а также популяционную принадлежность по участку D-петли мтДНК;

– провести дополнительные исследования по оценке видовой чистоты в ремонтно-маточном стаде белуги с помощью маркеров мтДНК (D-петли мтДНК);

– изучить гидрохимический режим содержания белуги;

– провести анализ качества кормов для белуги;

– разработать образец индивидуального генетического паспорта для белуги;

– разработать и утвердить методические рекомендации «Искусственного воспроизводства и кормления производителей белуги (*Huso huso* L.)»;

– разработать и утвердить методические рекомендации «Оптимизация сохранения и рационального использования генофонда белуги на территории Беларуси и за рубежом»;

– оформить два индивидуальных генетических паспорта для самки и самца белуги (примеры).

Объект и методы исследований. Объектом исследований являлись производители белуги (*Huso huso* (Linnaeus, 1758)), выращиваемые в аквакультуре в ОАО «Опытный рыбхоз «Селец» (Брестская область, Республика Беларусь). В настоящее время в прудах хозяйства содержатся 178 экз. белуги восемнадцатилетнего возраста, чипированных электронными метками фирмы Hallprint (Австралия).

Отбор биопроб для молекулярно-генетических исследований осуществляли прижизненным способом в полевых условиях во время бонитировки, путем отрезания и фиксации в 96 % этаноле фрагмента грудного плавника размером 1–2 см. После взятия каждой пробы инструмент (ножницы и пинцеты) стерилизовали в пламени спиртовки. ДНК из образцов биопроб выделяли фенол-хлороформным методом. Постановку ПЦР-реакции проводили с соответствующими праймерами в лаборатории генетики животных Института генетики и цитологии НАН Беларуси. Горизонтальный электрофорез в агарозном геле проводили в стандартной электрофоретической системе (горизонтальная электрофоретическая камера+источник питания). Для разделения продуктов амплификации готовился 1,0 % агарозный гель. Затем вносили осторожно анализируемый продукт ПЦР (смешанный с буфером для внесения) в лунки агарозного геля (5–10 мкл в лунку) с помощью дозатора. В крайние лунки в обязательном порядке внесли маркер молекулярного веса. Визуализацию геля осуществляли с помощью системы гель-документирования, GelDocXR (Bio-Rad, США). После пробоподготовки секвенирование проб проводили в центре «Геном» и на базе Института генетики и цитологии НАН Беларуси.

Для генетической оценки изучаемого стада белуги использовалось несколько молекулярно-генетических методов:

1) метод, основанный на известной из литературы видоспецифической панели 7-ти STR-локусов (An20, AoxD161, AoxD165, AfuG41, AfuG51, Aox23, Spl106) с целью проверки чистоты вида и анализа сходства с другими видами осетровых [3];

2) метод проверки чистоты вида (анализ межвидового гибридного присутствия в маточном стаде), основанный на использовании 3-х методик:

а) методика анализа 7 микросателлитных (STR) – маркеров (An20, AoxD161, AoxD165, AfuG41, AfuG51, Aox23, Spl106) [3];

б) методика изучения полиморфизма специфичного для белуги единичного нуклеотида (SNP) во 2-м интроне ядерного рибосомного белка S6 (RP2S6) с использованием праймеров RP2S6_huso_F и RP2S6_groupA_R, предложенные в работе Boscari et al., 2013 [4].

3) метод секвенирования контрольной области 367 п.о. D-петли мтДНК для определения популяционной принадлежности белуги. Амплификацию области 367 п.о. D-петли мтДНК проводили с помощью праймеров LproF и DL651 [3].

Фрагментный анализ выполнен с использованием AppliedBiosystems 3500 GeneticAnalyzer. Для этого проводили подготовку анализируемых образцов ДНК. Полученный ПЦР-продукт разбавляли водой в 10–40 раз в зависимости от интенсивности наработки ПЦР-продукта и флуорофора, отбирали 1 мкл разбавленного продукта, добавили его к 12,75 мкл Hi-Di формамида и 0,25 мкл размерного стандарта DSMO-100 (MCLAB). Для обработки результатов исследований использовались пакеты прикладных программ Excel и GeneMapper 5.

Выравнивание и сравнение последовательностей выполнено с использованием программы MEGA X.

Статистические параметры оценивали с помощью специализированного пакета программ GenAlEx v.6.5.

Все полученные последовательности нуклеотидов ДНК стада белуги ОАО «Опытный рыбхоз «Селец» сравнивались с уже известными последовательностями для этого вида, представленными в литературе, в базах данных ВНИРО (г. Москва) и в GenBank NCBI и BOLD.

Морфометрические исследования проводили в процессе весенней и осенней бонитировок производителей белуги по Правдину [5] с использованием следующих показателей: L (абсолютная длина тела от начала рострума головы до конца верхней лопасти хвостового плавника, см); l (длина тела от начала рострума головы до конца хвостового стебля, см); H (высота тела, см); O (охват тела, см). Массу тела про-

изводителей определяли путем взвешивания на электронных крановых весах ВСК-1000А, с максимально допустимой массой взвешивания 1000 кг и точностью взвешивания 500 г.

Для математической обработки полученных результатов использовали программу Microsoft Excel.

Для оценки фенотипа, учета возможных морфологических аномалий проводилась съемка каждого производителя.

Гидрохимические исследования воды каналов и прудов по методикам проведения полного гидрохимического анализа выполнялись лабораторией гидроэкологии и экотехнологий, а особенности ингредиентов и качества кормов для белуги изучались по 12 показателям в отраслевой научно-исследовательской лабораторией качества кормов Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси.

Для проведения искусственного нереста белуги апробировались и адаптировались методы и методики, представленные в литературе с доработками способов искусственного нереста белуги в хозяйстве, расположенном в III зоне рыбоводства Республики Беларусь [2].

УЗИ сканирование производителей белуги по полу и стадий зрелости гонад и семенников проводили с помощью портативного УЗИ сканера Драмински польского производства.

Результаты исследований. Молекулярные исследования производителей белуги (n=178) с использованием 7-ми STR и 1-го SNP маркера, мтДНК подтвердили чистоту вида (*Huso huso* L.) в стаде белуги, установлено близкое родство особей, определена волго-каспийская популяционная принадлежность белуги с гаплотипом № 3 (по классификации ВНИРО, г. Москва, РФ).

Разработан индивидуальный генетический паспорт белуги (*Huso huso* L.), включающий в себя: аллельный состав семи микросателлитных локусов, используемых для генетической паспортизации осетровых видов рыб (Afug41, Afug51, An20, AoxD161, AoxD165, Aox23, Spl106, видоспецифичный для белуги SNP маркер S6 Ribosomal Protein (RP2S6)), гаплотип мтДНК, хозяйственную и популяционную принадлежность, вид рыбы, возраст, пол. Индивидуальный генетический паспорт белуги дополнен приложениями 1 и 2 по величинам весовых, морфометрических и репродуктивных показателей самок и самцов в преднерестовый период и во время нереста, которые необходимы рыбоводам хозяйства для учета роста рыб, проведения расчетов количества задаваемого корма, определения доз гипофизарной инъекции при проведении искусственного нереста, оценки плодовитости особей белуги по годам.

При бонитировке производителей белуги весной 2024 г. определены величины весовых, морфометрических и у некоторых особей репродуктивных показателей, проведена фотосъемка каждой из 178 особей белуги в трех ракурсах. При внешнем клиническом осмотре изучаемых особей обнаружены некоторые патологические изменения, которые отражены на индивидуальных фото. Отмечено, что жабры у всех производителей были в норме.

Установлено, что средняя масса белуги семнадцатигодовалого возраста при бонитировке весной 2024 г. составила для самок – 78,3±9,9 кг, для самцов – 67,2±10,4 кг. Средние величины морфометрических показателей у самок были следующими: L (абсолютная длина тела от начала рострума головы до конца верхней лопасти хвостового плавника) – 204,7±7,9 см; l (длина тела от начала рострума головы до начала лопастей хвостового стебля плавника) – 167,8±7,1 см; H (высота тела) – 31,3±2,2 см; O (обхват тела) – 104,2±6,0 см; Ку (коэффициент упитанности) – 1,0±0,1. Средние величины морфометрических показателей у самцов были следующими: L – 192,4±10,6 см; l – 160,7±9,5 см; H – 29,5±2,1 см; O – 96,5± 7,2 см; Ку – 0,9±0,1. Сравнительный анализ по массе тела и величинам морфометрических показателей у производителей белуги при весенней бонитировке 2024 г. показал, что наибольший прирост у самок и самцов наблюдается по показателям средней массы тела (самки – 31,4 %, самцы – 37,5 %) и коэффициенту упитанности (на 20,0 и 22,2 % соответственно), в меньшей степени по абсолютной длине тела от начала рострума головы до конца верхней лопасти хвостового плавника (12,1 и 10,3 %) и длине тела от начала рострума головы до начала лопастей хвостового стебля плавника (11,6 и 9,4 % соответственно), показатель обхвата тела (самки – 5,2 %, самцы – 6,5 %).

УЗИ сканирование показало, что в стаде белуги «ОАО «Опытный рыбхоз «Селец» количество самок превышает в 1,6 раза количество самцов. Установлено, что по сравнению с 2023 г. в 2024 г. резко увеличилось количество самок и самцов на 4 стадии зрелости гонад и семенников. Если в 2023 г. на 4 стадии зрелости было выявлено 6 самок и 7 самцов, то в 2024 г. в стаде созрели уже 21 самка и 11 самцов, которые были направлены для проведения искусственного нереста белуги и для целей межвидовой гибридизации.

В ходе проведенных исследований изучены показатели качества кормов использованных для кормления особей белуги в ОАО «Опытный рыбхоз «Селец»». Содержание сырого протеина варьировало в диапазоне 39,3–65,94 %, сырого жира 5,13–15,36 %, сырой золы 8,5–17,4 %, сырой клетчатки 0,1–3,0 %, углеводов 3,2–17,9 %, фосфора 0,8–11,7 %. В условиях ОАО «Опытный рыбхоз «Селец»» предварительно

но установлена удовлетворительная и хорошая поедаемость взрослыми половозрелыми особями белуги комбикормов: турецкого, датского, Жабинковского комбикормового завода и живых кормов местного происхождения. Установлена относительно высокая ценность живых кормов из состава местных видов ихтиофауны. Признано целесообразным в теплый период года воздержаться от использования карася серебряного в качестве живого корма (так как карась конкурент при потреблении комбикормов). В предзимний период года в октябре – начале ноября, напротив, нужно активно использовать карася в качестве живого корма в прудах, где содержатся производители белуги.

Сравнительно высокими кормовыми достоинствами характеризуется живой корм из состава аборигенных видов карповых рыб из категории «рыбная мелочь» карповых прудов: карась серебряный *(Carassius gibelio*), верховка *(Leucaspius delineatus*). Отмечено, что использование в качестве живого корма для кормления стада белуги молоди карася серебряного и других сопутствующих (на сортировке товарной рыбы) видов рыб сказывается положительно на росте и созревании половых продуктов у производителей.

Содержание основных питательных веществ и микроэлементов в живом корме показывает его высокие кормовые достоинства. Содержание сырого протеина составляло 51–66 %, жира – 5,1–15,3 %, сырой клетчатки – 0,1–0,2 %, кальция – 4,0–4,3 г/кг, фосфора – 2,7 г/кг, меди – 0,66–0,78 г/кг, цинка – 72,25–85,2 г/кг, селена – < 0,07 г/кг.

Рекомендовано оптимизировать размеры гранул для кормления разных возрастных групп белуги и других видов и гибридов осетровых в условиях ОАО «Опытный рыбхоз «Селец»».

Определены некоторые непрофильные коммерчески доступные корма для возможного кормления осетровых определенных возрастных групп. Оценена перспективность использования кормов в качестве резервных, широко поставляемых в торговые сети, в частности – для котов. Судя по используемым компонентам, они как минимум безвредны и достаточно питательны.

В качестве резервных комбикормов определены кормовые достоинства образцов, широко используемых в практике кормления животных на сельскохозяйственных предприятиях Брестской области.

Также в качестве резервного корма были рассмотрены комбикорма для цыплят-бройлеров. Однако эти корма следует использовать для белуги в ограниченных количествах из-за низкого содержания протеина.

Выявлено, что поступающая вода, согласно установленным нормативам, требует дополнительной подготовки для систем водоснабжения рыбоводных прудов при выращивании осетровых рыб в широком возрастном спектре. В отношении особей белуги старших возрастов неблагоприятных эффектов, обусловленных качеством воды, на данном этапе исследований не обнаружено. Содержание растворенного кислорода достаточно высокое, несмотря на уровень органического загрязнения воды.

По результатам выполнения проекта разработаны: методические рекомендации по искусственному воспроизводству и кормлению производителей белуги (*Huso huso* L.), опираясь на литературные данные и практический опыт проведения искусственного нереста в хозяйстве в течение двух лет; методические рекомендации по оптимизации сохранения и рационального использования генофонда белуги на территории Беларуси и за рубежом разработаны в соответствии с целями и задачами Кодекса ведения ответственного рыболовства ФАО (FAO`s Code of Conduct for Responsible Fisheries, 1995), по аспектам управления генетическими ресурсами в аквакультуре, призванного внести вклад в развитие принципов, представленных в Рамсарской декларации по глобальному сохранению осетровых (2006). Рекомендации также предполагают внедрение стратегии сохранения осетровых, в соответствии с рекомендациями, представленными в Плане действий по сохранению и восстановлению европейских осетровых (Council of Europe, 2008), в соответствующих национальных планах действий и стратегиях, в том числе Стратегией по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия на 2021–2025 гг., утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 декабря 2021 г. № 733.

В Республиканский банк ДНК микроорганизмов, растений, животных и человека передано на хранение для научных целей 111 образцов биоматериала; 111 образцов ДНК белуги.

Результаты исследований по заданию 3Т2.7 представлены в 5 научных работах и доложены на 5-ти международных конференциях.

Заключение. 1. Генетическая паспортизация маточных стад осетровых позволяет проводить работы по регистрации и аттестации аквакультурных, рыбоперерабатывающих предприятий, фирм, ИП в РБ на предмет производства, переработки и легальной продажи за рубеж деликатесной черной икры и другой продукции осетровых видов рыб в соответствии с требованиями СИТЕС и Постановлением СМ РБ №181 от 09.03.2015 «О некоторых вопросах производства и реализации осетровых видов рыб и (или) икры из них».

2. Разработанные и утвержденные формы генетического паспорта белуги (*Huso huso* L.), примеры паспортов для самки и самца и приложения к ним предназначены для работников рыбоводных хозяйств, селекционеров в области аквакультуры, специалистов предприятий и фирм, занимающихся выращиванием, селекцией и переработкой ценных видов осетровых рыб и их половых продуктов, научных сотрудников исследовательских институтов и специалистов рыбного хозяйства, для преподавателей и студентов высших и средних учебных заведений биологического, природоохранного, рыбохозяйственного и сельскохозяйственного профилей.

3. Запланированные работы по заданию 3Т2.7 «Разработать и внедрить методы использования молекулярного маркирования и генетической паспортизации единственного в стране ремонтно-маточного стада белуги (*Huso huso* L.) с целью оптимизации сохранения, наращивания и рационального использования ее генофонда на территории Беларуси и за рубежом» по подпрограмме 3 «Устойчивое природопользование и инновационные технологии переработки, охраны и воспроизводства природных ресурсов» ГНТП «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности» (2021–2025 гг.) силами коллективов двух научных учреждений и ОАО «Опытный рыбхоз «Селец» выполнены в полном объеме. В настоящее время в ОАО «Опытный рыбхоз «Селец» проводятся работы по внедрению разработанных генетических паспортов и методических рекомендаций.

Список литературных источников

1. Мюге, Н. С. Геномные исследования для сохранения осетровых: анализ наследования полиплоидных локусов и разработка панели маркеров для идентификации гибридов осетровых и продукции из них / Н. С. Мюге, А. Е. Барминцева // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. – 2020. – № 2(106). – С. 78–87. DOI: 10.22204/2410-4639-2020-106-02-78-87.

2. Чебанов, М. С. Руководство по искусственному воспроизводству осетровых рыб / М. С. Чебанов, Е. В. Галич // Технический доклад по рыбному хозяйству: Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. – Анкара, 2013. – 367 с.

3. Барминцева, А. Е. Использование микросателлитных локусов для установления видовой принадлежности осетровых (Acipenseridae) и выявления особей гибридного происхождения / А. Е. Барминцева, Н. С. Мюге // Генетика животных. – 2013. – Т. 49, № 9. – С. 1093–1105.

4. Boscari, E. Species and hybrid identification of sturgeon caviar: a new molecular approach to detect illegal trade. / E. Boscari [et al.] // Mol. Ecol. Resour. – 2013. – Vol. 14, № 3. – P. 489–498.

5. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб: практическое пособие / И. Ф. Правдин. – Ленинград : Изд. Ленингр. гос. ун-та, 1939. – 245 с.

IMPLEMENTATION RESULTS OF THE JOINT PROJECT ON THE PRESERVATION OF THE GENE POOL OF THE ONLY BELUGA BROODSTOCK (*HUSO HUSO* L.) IN THE COUNTRY GROWN IN THE AQUACULTURE OF BREST REGION

A. M. Slukvin, Ya. I. Sheiko, Ya. P. Kuleshevich, T. V. Dolmatovich, N. N. Chakova, S. S. Niyazova,

V. T. Demyanchik, V. V. Demyanchik, V. P. Rabchuk, A. N. Litskevich, M. A. Pastukhova, D. A. Kunakhovets, O. S. Groda

Based on the project results, the following developments have been made: a genetic passport form; genetic passports for 178 beluga spawners at the Selets Experimental Fish Farm; appendices 1 and 2 to the passport on the weight, morphometric and reproductive indicators of beluga females and males in dynamics over a number of years; a photo of an individual in three projections; methodological recommendations for artificial beluga reproduction and its feeding; and optimization of the conservation and rational use of the beluga gene pool in Belarus and abroad.

УДК 631.58:635:635.6

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАССАДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ЦВЕТОЧНО-ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУР

М. В. Федорович[1], И. И. Полоз[2], Д. В. Войтка[1]
[1]Институт защиты растений, аг. Прилуки, Беларусь
[2]Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Результаты исследований показали, что применение органического удобрения НатурКомпост при выращивании рассады сельскохозяйственных и цветочно-декоративных культур достоверно повышает всхожесть семян, а также стимулирует рост растений, способствуя увеличению биометрических показателей – высоты, количества листьев и длины корня. Установлено оптимальное соотношение почвогрунта и удобрения – 1:2–1:3.

Ключевые слова: отходы, органическое удобрение, сельскохозяйственные и декоративные культуры, всхожесть, рост растений.

Введение. Одной из наиболее острых экологических проблем современного общества является эффективная переработка и утилизация отходов, образующихся в больших объемах и представляющих угрозу загрязнения окружающей среды. В частности, твердые коммунальные отходы (ТКО) занимают значительные площади при захоронении и требуют существенных материально-технических ресурсов для безопасного хранения и переработки. Так, в Республике Беларусь ежегодно образуется около 4 миллионов тонн ТКО, из которых примерно 38 % по массе составляют органические компоненты.

Использование органосодержащих и целлюлозосодержащих отходов для получения компоста является одним из наиболее экологически и экономически оправданных методов их утилизации. Органическая фракция ТКО богата ценными питательными веществами – азотом, фосфором, калием – и содержит органические соединения, такие как целлюлоза и лигнин, обладающие гумусообразующим потенциалом. В процессе компостирования эти вещества минерализуются и становятся доступными для растений, что позволяет применять компост в качестве эффективного органического удобрения.

Компостирование способствует получению биостабилизированного продукта, свободного от патогенов и семян сорных растений, который улучшает физико-химические свойства почвы, её структуру, водно-воздушный режим, а также способствует обогащению микробиологического сообщества и биоремедиации загрязненных земель.

Органическое удобрение, получаемое в результате компостирования, также оказывает положительное влияние на рост и развитие растений. Благодаря улучшению структуры почвы и обогащению её питательными веществами, такое удобрение способствует повышению всхожести семян, ускорению процессов формирования корневой системы, а также стимулирует активный рост и развитие вегетативной массы.

Положительное влияние переработанных ТКО на рост, развитие растений, а также урожайность различных сельскохозяйственных культур было подтверждено исследованиями ученых: Ромашкевич,1964; Скворцов, Кузьменкова, 1975; Кузьменкова, 1976; Попов и др.,1977; Рышкова, Букреева и др.,1979; Madrid et al., 1998; Karam et al., 1998; Скворцов и др., 1999; Khalilian et al., 2002; Soumare et al., 2003; Maria Garcia et al., 2018.; John Smith et al., 2020; Robert Williams et al., 2021.

По данным В. Н. Петриченко и О. С. Туркиной, утилизация городских отходов в качестве органического удобрения под овощные культуры на пойменной луговой почве способствовала увеличению урожайности кочанов белокочанной капусты (на 10,6–68,5 %) и столовых корнеплодов моркови (на 6,8–8,5 %) и свёклы (на 50,8–51,7 %), при этом качество продукции и содержание тяжёлых металлов оставалось на уровне контроля. Внесение компоста из твердых бытовых отходов под овощные культуры в севообороте не приводило в существенному увеличению микроэлементов и тяжёлых металлов в пойменной луговой почве [1].

В работе Д. Р. Азнагулова и др. представлены результаты оценки влияния субстратов из темно-серой лесной почвы с компостом из органической части ТКО в различных соотношениях на фитомассу яровой пшеницы, выращиваемой в вегетационных сосудах в течение двух недель [2]. Установлено, что растения в вариантах с применением субстратов опережали в развитии пшеницу на почве без использования компоста (контроль). В результате к моменту учета наиболее низкий вес зеленой массы растений был зафиксирован на контроле. Минимальная прибавка фитомассы относительно контроля отмечалась на варианте с наименьшей долей компоста (почва:компост – 1:0,25). При увеличении доли компоста в субстрате (1:1) продуктивность зеленой массы яровой пшеницы выросла на 35 % в сравнении с вариантом 1:0,5 и на

55 % по отношению к контролю. Именно на субстрате с соотношением почвы и компоста в равных частях получена наибольшая продуктивность опытной культуры.

Результаты исследования университета Де Ла Саль Аранета показали, что салат-латук, обработанный биогумусом и дополненный внекорневым удобрением Amino Plus, при уборке урожая давал самое высокое растение (17,38 см), наибольшее количество листьев (9,00), самые длинные (14,98 см) и самые широкие (12 см) листья на растении, а также самый высокий урожай с участка (2,96 кг) [3].

Компост из отходов широко применяется и в цветоводстве. В открытом грунте он является лучшим органическим удобрением [4]. Так, в результате исследований, проведенных в городе Ган (Бельгия), удалось установить, что смесь 20 % компоста и 80 % обыкновенного чернозема дает исключительные результаты для бегонии. Высокий выход глоксиний получается при добавлении 2 кг компоста на 1 м^3. Хорошие результаты получены для цинерарии, хризантем и пеларгоний при добавлении от 1/4 до 1/3 компоста к чернозему. А добавление 300 кг компоста на 100 м^2 является вполне достаточным для получения хороших кустов роз.

В работе О. В. Орловой и др. для оценки качества почвогрунта на основе компоста из твердых бытовых отходов был заложен экспериментальный газон. На разработанном почвогрунте отмечалось более раннее появление всходов газонных трав, увеличение плотности травостоев и скорости отрастания растений относительно контроля [5].

Таким образом, органические удобрения на основе ТКО могут оказывать положительное влияние на рост и развитие растений. Такие удобрения содержат органические вещества, микроэлементы и минералы, которые могут улучшить плодородие почвы и обеспечить растения необходимыми питательными веществами.

Целью исследования является оценка влияния органического удобрения, полученного из пищевых и целлюлозосодержащих отходов, на рост и развитие рассады сельскохозяйственных и цветочно-декоративных культур.

Материалы и методы проведения исследований. Для оценки влияния органического удобрения на рост и развитие рассады овощных и цветочно-декоративных культур использовали органическое удобрение НатурКомпост. Органическое удобрение получали путем биоконверсии ОТКО и целлюлозосодержащих материалов (пищевые отходы + опилки + трава), предварительно обработанных препаратом на основе композиции сапротрофных грибов-антагонистов *Trichoderma* sp. D-11, *Trichoderma* sp. L-3 и *Trichoderma* sp. L-6 на полигоне твердых коммунальных отходов Слонимского ГУП ЖКХ. Отделение крупных фракций осуществлено ручным способом при помощи сита, а также с использованием механизированной установки.

Оценку влияния эффективности органического удобрения при выращивании рассады сельскохозяйственных и цветочно-декоративных культур проводили путем постановки специальных экспериментов в лаборатории микробиологического метода защиты растений от вредителей и болезней РУП «Институт защиты растений».

Для выращивания рассады сельскохозяйственных и цветочно-декоративных культур использовали контейнеры и рассадные кассеты с ячейками, в которые помещали подготовленный субстрат. Почву (субстрат) переносили в емкости, разравнивали и уплотняли. Семена высевали в лунки, после чего присыпали их субстратом. Глубина посева семян томата (сорт Ляна) и капусты (сорт Лангедейкер) – 1–1,5 см, тагетеса (сорт Амулет) – 1–2 см, цинерарии (сорт приморская Летний иней) – 0,5–1 см, по 1 шт. в каждую ячейку. После заделки семян поверхность почвы уплотняли, выравнивали и поливали. Анализировали следующие показатели: всхожесть, биометрические параметры (высота растений, количество листьев, длина корня). Повторность каждого эксперимента 4-кратная по 20 растений в повторности.

Схема опыта на томате и капусте:

1. Контроль – почвосубстрат на основе торфа (фон).
2. Фон + Биогумус – вариант сравнения – 1 ч. почвогрунта : 3 ч. биогумуса.
3. Фон + органическое удобрение НатурКомпост – 1 ч. почвогрунта : 2 ч. органического удобрения НатурКомпост.

Схема опыта на тагетесе и цинерарии:

1. Контроль – почвогрунт (фон).
2. Фон + органическое удобрение НатурКомпост – 1 ч. почвогрунта : 2 ч. органического удобрения НатурКомпост.
3. Фон + органическое удобрение НатурКомпост – 1 ч. почвогрунта : 3 ч. органического удобрения НатурКомпост.

Результаты исследований. Анализ всхожести и биометрических показателей (высоты растений и количества листьев) на дату учета показал ростостимулирующее действие органического удобрения На-

турКомпост. Всхожесть семян капусты была выше в вариантах с применением НатурКомпоста и в варианте сравнения и достигала 90,0 %, в контроле данный показатель не превышал 82,5 %.

Высота растений, количество настоящих листьев и длина корня в варианте с применением органического удобрения НатурКомпост составили 16,6 см, 5,9 шт. и 7,5 см соответственно. В варианте сравнения высота растений в среднем не превышала 13,2 см, количество листьев 5,2 шт./растение, а длина корня 7,2 см. В контрольном варианте данные показатели составили 12,0 см, 4,6 шт./растение и 6,8 см соответственно.

Более высокий показатель всхожести семян в эксперименте с томатом был в варианте с применением 1 ч. почвогрунта : 2 ч. органического удобрения НатурКомпост и достигал 90,0 %, в контроле и в варианте с применением 1 ч. почвогрунта : 3 ч. биогумуса всхожесть семян не превысила 85,0 %.

Высота растений на 90-е сутки в варианте с применением органического удобрения НатурКомпост, полученного с применением биоагентов, составила 47,3 см, количество листьев 6,2 шт., а длина корня – 11,1 см, в варианте с применением биогумуса показатели был чуть ниже – 44,8 см, 5,9 шт. и 10,6 см, в контроле – 38,4 см, 4,7 шт./растение и 6,1 см соответственно.

Выращивание рассады с применением органического удобрения НатурКомпост также оказало положительное влияние на всхожесть семян цветочно-декоративных культур – тагетеса и цинерарии.

Более высокая всхожесть отмечена в двух вариантах с применением органического удобрения НатурКомпоста – 85,0 % как на тагетесе, так и на цинерарии. В контроле всхожесть была ниже и составила 75,0 % на тагетесе и 80,0 % на цинерарии.

Органическое удобрение в составе субстрата для выращивания тагетеса на 60-е сутки оказало положительное влияние на высоту растений и длину корня: в варианте 1 ч. почвогрунта : 2 ч. органического удобрения – 10,0 см и 3,6 см, 1 ч. почвогрунта : 3 ч. органического удобрения – 12,4 см и 4,8 см, тогда как в контроле – 8,7 см и 3,0 см соответственно. Показатель «количество листьев» в вариантах с применением 2-х и 3-х ч. органического удобрения составил 6,7 и 8,2 шт./ растений соответственно, в контроле – 4,8 шт./ растение.

На культуре цинерарии высота растений и длина корней в варианте с применением 2 ч. органического удобрения составила 6,3 и 4,7 см, а в варианте с применением 3 ч. органического удобрения 7,8 и 5,7 см, тогда как в контроле 5,2 и 2,9 см соответственно. Органическое удобрение также оказало положительное влияние на количество листьев: в варианте 1 ч. почвогрунта : 2 ч. органического удобрения – 5,4, 1 ч. почвогрунта : 3 ч. органического удобрения – 6,4, в контроле – 4,5 шт./растение.

Заключение. Проведённые исследования показали, что органическое удобрение «НатурКомпост», полученное из пищевых и целлюлозосодержащих отходов с применением сапротрофных грибов рода *Trichoderma*, оказывает положительное влияние на всхожесть и морфометрические показатели рассады сельскохозяйственных и цветочно-декоративных культур. Использование «НатурКомпоста» способствовало достоверному повышению всхожести семян, увеличению высоты растений, количества листьев и длины корня по сравнению с контролем и вариантом с биогумусом. Наиболее выраженный ростостимулирующий эффект отмечен при соотношении почвогрунта и удобрения 1:2–1:3.

Список использованных источников

1. Петриченко, В. Н. Применение компоста из твёрдых бытовых отходов как органического удобрения в овощеводстве / В. Н. Петриченко, О. С. Туркина // Наука об окружающей среде, сельском хозяйстве и продуктах питания. – 2015. – С. 1723.

2. Азнагулов, Д. Р. Исследование возможности использования компостов из органических компонентов твердых коммунальных отходов в качестве органический удобрений / Д. Р. Азнагулов, Н. С. Минигазимов, Э. Ф. Мавлютова // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2018. – Т. 14. – № 4. – С. 78–83.

3. Влияние органических удобрений на рост растений [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://agriculture.com.ph/2019/02/18/impact-of-organic-fertilizers-on-plant-growth . – Дата доступа : 20.07.2025.

4. Влияние компостов из мусора на урожай сельскохозяйственных культур (часть I) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://dzen.ru/a/YDOd7nVu6zHw1hjB. – Дата доступа : 17.07.2025.

5. Орлова, О. В. Получение почвогрунтов на основе компоста из ТБО / О. В. Орлова [и др.] // Экология и промышленность России. – 2007. – № 12. – С. 14–16.

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF ORGANIC FERTILIZERS ON THE GROWTH OF SEEDLINGS OF AGRICULTURAL AND FLOWER-ORNAMENTAL CROPS

M. V. Fedorovich, I. I. Poloz, D. V. Voitk

The research results have shown that the use of NaturCompost organic fertilizer in the cultivation of seedlings of agricultural and floral-ornamental crops significantly increases seed germination, and also stimulates plant growth, significantly contributing to an increase in biometric parameters – height, number of leaves and root length. It is established that the optimal ratio of soil and fertilizer is 1:2–1:3.

УДК [574.4:620.267]:614.841.42:614.876

РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ НИЗОВОГО ПОЖАРА В РАЗНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ЯСНАЯ ПОЛЯНА»

Н. В. Шамаль, Е. В. Копыльцова, В. Н. Сеглин, Р. К. Спиров, Н. И. Тимохина, А. Н. Никитин
Институт радиобиологии НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь

Представлены данные мощности амбиентной дозы, накопления и распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr на участках разного фитоценоза и времени формирования площадки «Ясная поляна». Объемная активность радионуклидов в воздухе при моделировании низового пожара на пашне составит 10^{-3}–10^{-4} Бк/м^3, на лугу и в молодом лесу – 10^{-1}–10^{-3} Бк/м^3. Наиболее опасным будет пожар в приспевающем лесу: объемная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr составит соответственно около 4 и 10^{-1} Бк/м^3.

Ключевые слова: радионуклиды, лесная подстилка, луговой войлок, удельная активность, поверхностная активность, объемная активность, радиоактивное загрязнение.

Введение. Прекращение хозяйственной деятельности на радиоактивно загрязненных территориях вследствие аварии на Чернобыльской АЭС привело к их активному залесению и формированию лесов с возрастом древостоя и подстилки до 40 лет. При этом радиоактивное загрязнение компонентов биоценоза происходило в основном за счет миграции радионуклидов из почвы, в то время как накопление радионуклидов в лесах, сформировавшихся в доаварийный период, первично произошло за счет выпадения в период ликвидации катастрофы и продолжается на данном этапе также за счет миграции. Серьезной проблемой радиоактивно загрязненных территорий являются пожары. Изменение климата в последние десятилетия привело к увеличению их общего количества и временной вероятности возникновения (с марта по сентябрь). Тяжесть радиационно-экологических последствий пожаров на таких территориях оценивается на основе потенциального выноса радиоактивных веществ с продуктами горения и объемной активностью радионуклидов в воздухе в зоне дыхания участников пожаротушения у кромки пожара. Расчет этих параметров часто осложняется отсутствием данных об уровнях загрязнения лесных горючих материалов и тогда для оперативности оценки используется значение плотности загрязнения почвы [1]. Применение разных методов расчета объемной активности радионуклидов в воздухе может привести к различиям в последующей оценке ингаляционной дозы персонала и населения [2], что может осложнить принятие решения о необходимости проведения защитных мероприятий при пожаре на радиоактивно загрязненной территории.

Цель работы – оценка сложившейся радиационной обстановки на радиоактивно загрязненной территории площадки «Ясная поляна» и расчета объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в воздухе при низовом пожаре для моделирования радиационных рисков.

Объекты и методы исследований. Исследования проводились в 2023–2024 гг. Экспериментальная площадка «Ясная поляна» была заложена в Чечерском районе Гомельской области и расположена на лесных, сельскохозяйственных землях и землях запаса (рисунок). Лесные земли являются частью 26 и 37 кварталов Дуравичского лесничества Буда-Кошелевского опытного лесхоза и относятся ко 2-й зоне радиоактивного загрязнения (4,95–14,94 Ки/км^2). Типы леса – орляковый и кисличный, тип лесорастительных условий – В2, С2, Д2. Возраст деревьев основного яруса варьирует от 25 до 120 лет. Сельскохозяйственные земли составляют часть пахотного поля ОАО «МотневичиАГРО». Земли запаса (неиспользуемые земли) – бывшие сельскохозяйственные земли и территория бывшего населенного пункта Ясная поляна. Общая площадь площадки «Ясная поляна» составляет около 580 тыс. м^2.

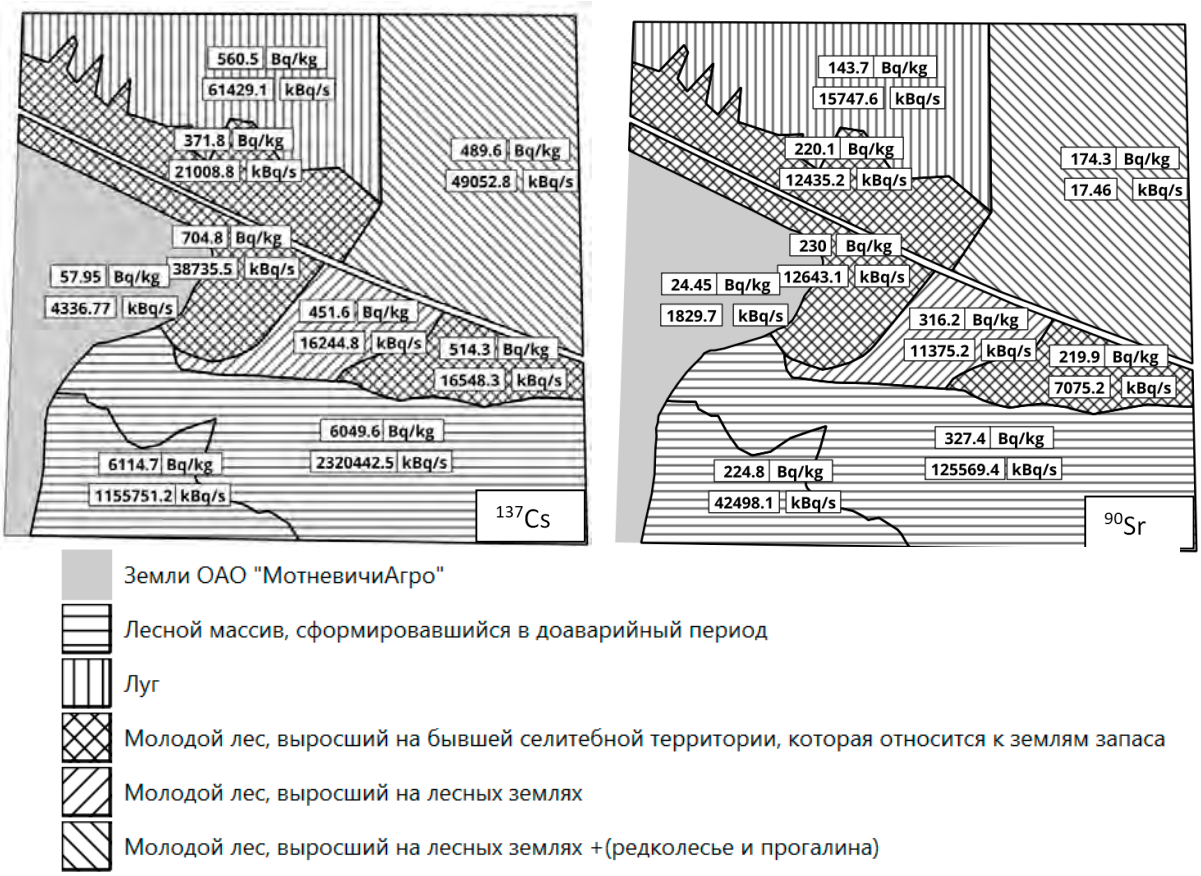


Рисунок *– Цифровая карта-схема экспериментальной площадки «Ясная поляна» с данными по удельной активности (Bq/kg), запасу поверхностной активности (kBq/s) ^{137}Cs и ^{90}Sr в подстилке (лес), войлоке (луг) и соломе (пашня)*

Полевые работы на экспериментальной площадке включали географическую привязку всех точек отбора, отбор проб лесной подстилки с фиксированной площади, сухие остатки растений, оставшиеся на лугу после вегетационного периода, и послойный отбор проб минеральной толщи почвы на глубину 20 см [3], in situ измерения мощности амбиентной дозы методом мобильной гамма-спектрометрии с использованием комплекса МКС-АТ6101С.

В условиях лаборатории проводили инструментальное определение активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в образцах с использованием гамма-радиометра спектрометрического типа РКГ–АТ1320А и гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315 [4, 5]. Радиологическая характеристика площадки представлена в таблице 1.

Таблица 1 *– Радиологическая характеристика площадки «Ясная поляна»*

Параметр	Среднее	Размах
Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs, кБк/м^2	539,3±19,2	328,6÷712,4
Плотность загрязнения почвы ^{90}Sr, кБк/м^2	38,56±4,25	14,39÷74,24
Мощность амбиентной дозы гамма-излучения, мкЗв/ч	0,398±0,028	0,25÷0,64
Удельная активность ^{137}Cs в подстилке, Бк/кг	1701±502	57,95÷8236
Удельная активность ^{90}Sr в подстилке, Бк/кг	226,5±21,2	24,45÷385,23

Площадка была разделена на отдельные участки на основе анализа ретроспективных снимков со спутников Landsat (1987–1989 гг.), Sentinel (2023–2024 гг.), ортофотоплана площадки, полученного при аэрофотосъемке БЛА (октябрь 2023 г.), распределения радионуклидов по профилю почвы, типа фитоценоза, породы и возраста деревьев, таксационных характеристик выделов площадка (рисунок). Площадь пашни, лугов, молодого леса (возраст до 30 лет) и лесного массива (возраст более 80 лет – приспевающий лес) на площадке составила 12,6; 12,5; 44,2 и 19,2 % соответственно.

Результаты. Установлено, что мощность амбиентной дозы на выделенных участках имела существенные различия. Территория, занятая пашней, лугом и молодым лесом, имела значения мощности дозы от 0,29 до 0,35 мкЗв/ч. В приспевающем лесу мощность дозы была выше почти в 2 раза и составила 0,59 мкЗв/ч.

Среди горючих материалов в экосистемах лесная подстилка и луговой войлок представляют наибольшую опасность, так как относятся к группе проводников горения, являются основным материалом горения при низовом пожаре и характеризуются высоким содержанием радионуклидов. Запас подстилки в молодом лесу и ветоши на лугу варьировал от 1,0 до 1,5 кг/м^2, в приспевающем лесу более 3 кг/м^2.

Минимальные значения удельной активности (УА) ^{137}Cs характерны для соломы на пашне (рисунок). Участки молодого леса и луга имеют схожие значения по УА ^{137}Cs в подстилке и войлоке. Подстилка приспевающего леса характеризуется максимально высокими значения УА ^{137}Cs. Общий запас поверхностной активности (ПА) ^{137}Cs в подстилке, войлоке и соломе на площадке составил 3 704 318 кБк. Доля ПА ^{137}Cs от общего запаса по участкам, расположенным на пашне, лугу, молодом и приспевающем лесу, составила 0,12; 1,67; 3,84 и 94,37 % соответственно.

Минимальные значения УА ^{90}Sr характерны, как и в случае с ^{137}Cs, для соломы на пашне. Все остальные участки (луг, молодой и приспевающий лес) имеют схожие значения по УА ^{90}Sr в подстилке и войлоке. Общий запас ПА ^{90}Sr в подстилке и войлоке на площадке составил 246 639 кБк. Доля запаса ПА ^{90}Sr на пашне, лугу, в молодом и приспевающем лесу составила 0,74; 6,38; 24,73 и 69,14 % соответственно.

Для оценки последствий низового пожара на площадке «Ясная поляна» был проведен расчет объемной активности (ОА) радионуклидов в дымовых аэрозолях для каждого выделенного участка по методике [6]. Полученные данные представлены в таблице 2.

***Таблица 2** – Объемная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в дымовых аэрозолях на разных участках площадки «Ясная поляна» при низовом пожаре*

Участок	Кромка огня		Зона дыхания участников пожаротушения		
	^{137}Cs, Бк/м^3				^{90}Sr, Бк/м^3
Сила ветра	штиль	Слабо-умеренный	штиль	Слабо-умеренный	
Пашня	0,386	0,221	0,00971	0,00252	0,000263
Луг	5,386	2,218	0,135	0,0352	0,00221
Молодой лес	4,101	1,689	0,103	0,0268	0,00255
Приспевающий лес	81,99	40,44	3,789	3,956	0,00951

Важно отметить, что значения ОА ^{137}Cs в атмосферных аэрозолях, рассчитанные для зоны дыхания участников пожаротушения, были значительно ниже допустимого уровня его содержания в воздухе [7]. В то же время мозаичность распределения по площадке ПА радионуклидов определила сложность формирования радиационной обстановки при низовом пожаре на этой территории. Наименее опасным являлся бы пожар на территории пашни, так как ОА ^{137}Cs и ^{90}Sr в воздухе имела бы значения 10^{-3}–10^{-4} Бк/м^3. При возгорании участков луга и молодого леса на площадке ОА ^{137}Cs и ^{90}Sr увеличится до значений 10^{-1}–10^{-3} Бк/м^3. Наиболее опасным с точки зрения последствий является пожар, который может произойти на территории приспевающего леса. ОА ^{137}Cs возрастет на 1–2 порядка и составит около 4 Бк/м^3, а ОА ^{90}Sr вырастет почти в 4 раза по сравнению в ОА этого радионуклида при пожаре на лугу и в молодом лесу.

При расчете ОА ^{137}Cs на кромке огня и в зоне дыхания участников пожаротушения были использованы коэффициенты ресуспензии полученные при проведении контролируемых огневых экспериментов [8] с учетом силы ветра и запаса подстилки. Наиболее опасным может быть пожар в период штиля, когда скорость ветра не превышает 1,51 км/ч. Усиление ветра (до 19,8 км/ч) приведет к снижению радиационной опасности на большей части территории площадки. ОА ^{137}Cs в воздухе при слабо-умеренном ветре снизится от нескольких раз до одного порядка. Исключение составит пожар в приспевающем лесу, ОА ^{137}Cs в зоне дыхания участников пожаротушения практически не изменится.

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований установлены различия мощности амбиентной дозы гамма-излучения и накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr на разных участках площадки, которые в первую очередь определяются временем формирования фитоценоза. Складывающаяся радиационная обстановка на отдельных участках определяет специфику последствий возникших на них пожаров. Наиболее опасным с точки зрения радиационных последствий на площадке «Ясная поляна» будет являться пожар на территории приспевающего леса.

Список использованных источников

1. Буздалкин, К. Н. Облучение персонала в результате ингаляционного поступления радионуклидов при пожарах в зонах отчуждения и отселения Чернобыльской АЭС / К. Н. Буздалкин // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2018. – № 1 (19). – С. 25–32.

2. Кляус, В. В. Метод оценки доз облучения персонала и населения в результате ингаляционного поступления радионуклидов при пожарах на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения / В. В. Кляус [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2023. – № 2. – С. 57–67.

3. Курбатский, Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов / Н. П. Курбатский // Вопросы лесной пирологии: сб. ст. – Красноярск, 1970. – С. 5–58.

4. Методика выполнения измерений объемной и удельной активности I-131, Cs-134, Cs-137 и эффективной удельной активности природных радионуклидов K-40, Ra-226, Th-232 на гаммарадиометрах спектрометрического типа РКГ-АТ1320: МВИ.МН 4779-2013 : утв. УП «АТОМТЕХ» ОАО «МНИПИ» 20.11.2013; соглас. БелГИМ 20.11.2013. – Минск, 2013. – 31 с.

5. Методика выполнения измерений объемной и удельной активности стронция-90, цезия-137 и калия-40 на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315, объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов цезия-137 и калия-40 на гамма-спектрометре типа EL 1309 (МКГ–1309) в пищевых продуктах, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и кормах, продукции лесного хозяйства и других объектах окружающей среды: МВИ.МН 1181–2011: утв. УП «АТОМТЕХ» 11.11.2011; соглас. БелГИМ 17.11.2011. – Минск, 2011. – 32 с.

6. Инструкция по применению «Метод оценки доз облучения для участников пожаротушения и населения в результате ингаляционного поступления радионуклидов при чрезвычайных ситуациях (лесных пожарах) на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения»: утв. М-вом. здравоохранения Респ. Беларусь № 045-0622 26.08.2022. – Минск : Респ. Унитар. Предприятие «Научн.-практ. центр гигиены», 2022. – 14 с.

7. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия»: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012. № 213 // Правовая платформа «Бизнес-Инфо» (дата обращения: 15.07.2025).

8. Шамаль, Н. В. Ресуспензия ^{137}Cs при низовых лесных пожарах на радиоактивно загрязненных территориях, имитированных в условиях контролируемых огневых экспериментов / Н. В. Шамаль [и др.] // Радиобиология и экологическая безопасность – 2023: материалы международной научной конференции (25–26 мая 2023 г., Гомель) / Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси». – Минск : ИВЦ Минфина, 2023. – С. 301–304.

RADIOLOGICAL CONSEQUENCES OF GROUND FIRE IN DIFFERENT PHYTOCENOSES USING THE EXPERIMENTAL SITE “YASNAYA POLYANA”

N. V. Shamal, A. V. Kapyltsova, V. M. Seglin, R. K. Spirov, N. I. Tsimokhina, A. N. Nikitin

The paper presents data on the ambient dose rate, accumulation and distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr at sites of different phytocenosis and the time of the formation of the «Yasnaya Polyana» site. The volume activity of radionuclides in the air during the simulation of a grassland fire in arable land will be 10^{-3}-10^{-4} Bq/m^3, in a meadow and in a young forest – 10^{-1}-10^{-3} Bq/m^3. The most dangerous fire will be in the approaching forest: volume activity ^{137}Cs and ^{90}Sr will be about 4 and 10^{-1} Bq/m^3, respectively.

УДК 663.5+663.533+664.8.037

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ ОБРАБОТКА ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ

Е. А. Шляхотко, А. А. Шепшелев, И. В. Мороз, Л. И. Сапунова, И. И. Алешкевич, А. Г. Машечко
Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Определены условия ферментативной обработки зерновой послеспиртовой барды различного состава. Установлено, что использование ферментов, деполимеризующих некрахмалистые полисахариды семян зерновых культур, позволяет улучшить разделение послеспиртовой барды на фракции, снизить показатель химического потребления кислорода фугата и повысить содержание истинного белка твердой фракции.

Ключевые слова: послеспиртовая барда, фракционирование, ферментативная обработка, химическое потребление кислорода.

Введение. Одной из важнейших отраслей экономики является производство этилового спирта, выработка которого в Республике Беларусь составляет более 9,6 млн дал в год [1]. Сырьем для получения высококачественного этанола является зерно пшеницы, ржи, тритикале, кукурузы, других злаковых культур или их смесей, а побочным продуктом – зерновая послеспиртовая барда (ПСБ). При этом основного продукта – этанола – образуется в 10–13 раз меньше, чем отходов, что делает актуальной их переработку, использование и обезвреживание.

Государственная политика Республики Беларусь направлена на рациональное использование отходов сельскохозяйственного и промышленного производства для получения продуктов с повышенной добавленной стоимостью. Именно таким отходом является ПСБ, которая представляется перспективным источником кормового белка при условии повышения ее питательной ценности и переваримости [2–7].

ПСБ содержит 6–11 % сухих веществ, из которых около 50 % водорастворимы. Как правило, после фракционирования цельной ПСБ полученную твердую фракцию (кек) во влажном или сухом виде используют для кормления сельскохозяйственных животных. Жидкую фракцию (фугат), содержащую 15–36,2 % сырого протеина, 12,8–13,4 % клетчатки, 6,0–7,5 % жира, 7,6–7,8 % минеральных веществ [1], концентрируют, что экономически затратно, и добавляют в кек перед сушкой или утилизируют, в том числе сбросом в канализацию или в окружающую среду, что создает экологические проблемы.

Эффективность процесса фракционирования ПСБ усложняется высокой вязкостью субстрата, особенно при использовании ржи в производстве спирта. Частичный гидролиз отдельных компонентов ПСБ ферментами способствует уменьшению вязкости и облегчает разделение ее на фракции.

Цель работы – оценка возможности использования ферментативной обработки цельной ПСБ для улучшения ее фракционирования, уменьшения содержания растворенных питательных веществ в фугате, повышения биодоступности содержащихся в кеке питательных веществ.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали цельную ПСБ, ее жидкую (фугат) и твердую (кек) фракции, коммерческие ферменты микробного происхождения, гидролизующие некрахмалистые полисахариды в составе исследуемого отхода спиртового производства.

Образцы цельной ПСБ подвергали раскислению гидроксидом натрия (NaOH).

Для ферментативной обработки ПСБ и ее фракций применяли коммерческие ферментные препараты различного компонентного состава от различных производителей. В работе использовали ферментные препараты: комплекс ферментов целлюлолитического действия (ЦК); кислую протеазу (КП); фитазу (ФИТ); нейтральную протеазу (НП); комплекс ферментов амилолитического действия (АК) как отдельно, так и совместно в различных концентрациях. Условия обработки ПСБ ферментами: pH 5,5; температура 55 °С, длительность – 1–3 ч.

Цельную и обработанную ферментами ПСБ центрифугировали при 3000 об/мин в течение 10 мин с использованием центрифуги MPW–260R (MPW Medinstrument, Польша).

В фугате, хранящемся при 4–6 °С, определяли мутность ($ОП_{600}$), концентрацию белка [8] и редуцирующих веществ [9], ХПК – согласно ГОСТ 31859-2012 [10], величину pH – потенциометрически.

Сушку твердых фракций ПСБ проводили в сушильных шкафах с принудительной вентиляцией Venticell (BMT Medical Technology s.r.o, Чехия).

Содержание сухих веществ определяли на анализаторе влажности ЭВЛАС-2М (Сибагроприбор, Россия) согласно инструкции.

Приведенные результаты представляют собой усредненные данные 2–3 опытов, выполненных в трехкратной повторности и статистически обработанных.

Результаты исследований. Состав ПСБ значительно варьируется в зависимости от используемого сырья и технологий производства этилового спирта, реализуемых на конкретном предприятии [1]. Как показали результаты исследования, используемые в работе образцы ПСБ характеризовались высокой кислотностью (pH 3,3–4,5), высоким содержанием растворенных органических веществ, представленных редуцирующими веществами (7,5–11,8 мг/мл) и белком (0,8–1,74 мг/мл), а также высокими показателями химического потребления кислорода (ХПК), достигающими 100 000–235 000 мг O_2/л. Концентрация сухих веществ в образцах ПСБ варьировалась в пределах от 7,3 до 12,0 %, а мутность фугата, измеряемая в единицах оптической плотности при длине волны 600 нм, от 0,8 до 3,8. При этом различалась и консистенция исследуемых образцов ПСБ за счет содержания в них различного количества трудногидролизуемых высокомолекулярных полисахаридов, в частности, β-глюкана, ксилана, целлюлозы в коллоидной форме.

Согласно технологическому регламенту, после отделения спирта горячая ПСБ различной вязкости, в зависимости от содержания трудногидролизуемых и поэтому не утилизированных дрожжами некрахмалистых полисахаридов различного зернового сырья, поступает в сборник и далее на декантерную центрифугу, где происходит отделение взвешенных частиц барды от растворимой фракции [1, 11]. Во время нахождения в сборнике возможна ферментативная обработка ПСБ, имеющей температуру около 50–60 °С, для уменьшения ее вязкости и более эффективного разделения на фракции.

Учитывая высокую кислотность (pH 3,3–4,5) исследуемых образцов ПСБ, проводили их раскисление до pH 5,5 – оптимального показателя для действия использованных ферментных препаратов. Их компонентный состав и предпочтительный субстрат приведены в таблице 1.

Таблица 1 *– Ферментные препараты, использованные для обработки ПСБ*

Ферментный препарат	Ферменты, содержащиеся в препарате	Субстрат, который гидролизуют ферменты
ЦК	Термостабильная ксиланаза, β-глюканаза, целлюлаза	Ксилан, β-глюкан, целлюлоза
КП	Кислая протеаза	Белки, пептиды
НП	Нейтральная протеаза	Белки, пептиды
ФИТ	3-Фитаза	Фитат
АК	Амилаза, пуллуланаза	Крахмал, амилопектин

На первом этапе работы определяли эффективность воздействия на ПСБ отдельных ферментных препаратов и их смесей в течение 1–3 ч при температуре 55 °С без перемешивания. Ферментированный продукт центрифугировали (3000 об/мин, 10 мин) и в фугате определяли мутность ($ОП_{600}$), а также содержание растворимого белка и редуцирующих веществ. Указанные характеристики фугата, полученного из ферментированной ПСБ, представлены в таблице 2 в сравнении с показателями фугата нативной барды (контроль).

Таблица 2 *– Влияние ферментативной обработки ПСБ на показатели фугата*

Ферментный препарат	Длительность обработки, ч	Мутность фугата ($ОП_{600}$), % к контролю	Редуцирующие вещества, % к контролю	Белок, % к контролю
ЦК	1	79,6	146,5	99,2
	2	41,2	145,1	97,1
	3	59,7	144,5	94,3
КП	1	85,5	95,6	132,2
	2	51,4	87,4	132,2
	3	49,0	85,9	132,9
ФИТ	1	91,0	104,5	153,4
	2	52,5	86,3	134,2
	3	47,4	83,7	129,4

Продолжение таблицы 2

НП	1	101,2	96,3	152,7
	2	52,2	98,2	128,1
	3	49,4	83,7	83,6
ЦК + КП + ФИТ + НП	1	75,2	107,4	106,2
	2	42,3	113,4	72,7
	3	40,4	118,6	83,6

Как видно, в условиях опыта все исследованные ферментные препараты, кроме НП, через 2 ч воздействия на ПСБ понижали мутность ее жидкой фракции на 47–59 %, существенно не влияя на содержание белка и редуцирующих сахаров. Максимальный эффект оказывал комплекс ферментных препаратов, включающий ЦК (1 мл/л) в смеси с КП, ФИТ и НП, каждый в концентрации 0,5 мл/л: уже через 1 ч мутность фугата уменьшалась на 24,8 %, через 2 – на 59,6 % и практически не менялась к 3 ч ферментации.

Дальнейшие исследования показали (данные не представлены), что наиболее действенный ферментный комплекс включает ЦК, КП, ФИТ, АК. Установлено, что при их использовании за 2 ч ферментации происходило снижение мутности ПСБ различного состава в 1,7–6,5 раз и повышение эффективности ее разделения на фракции (рисунок 1).

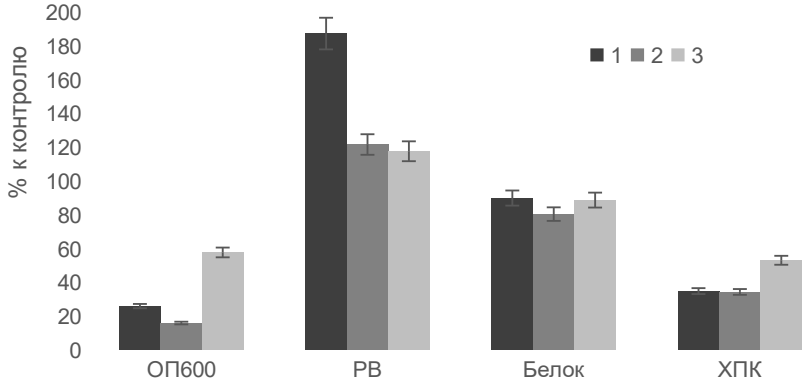


Рисунок 1 *– Влияние комплекса ферментов на показатели фугата образцов ПСБ различного состава (1–3)*

При установлении наиболее эффективной композиции указанных выше ферментных препаратов обработку ПСБ проводили при pH 5,5, температуре 55 °С в течение 2 ч без перемешивания. Согласно полученным данным, все исследуемые комплексы ферментных препаратов (Ферм. 1–Ферм. 7) в испытанной концентрации оказались эффективными для осветления фугата и снижения величины ХПК (рисунок 2). Однако лучшие результаты получены при использовании композиции Ферм. 4, способствующей снижению показателя ХПК в 3,2 раза.

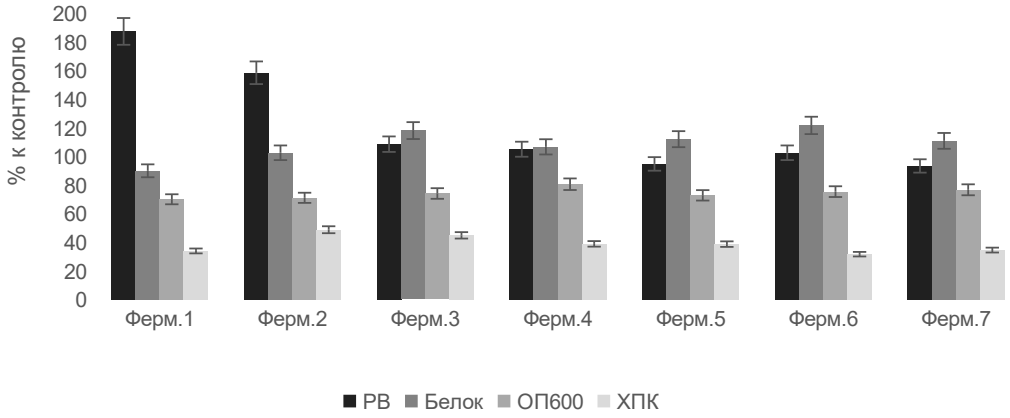


Рисунок 2 *– Влияние обработки ПСБ различными композициями ферментных препаратов на показатели фугата*

При этом установлено, что в твердой фракции ПСБ, обработанной ферментным комплексом Ферм. 4, содержание истинного белка, определяемого по Барнштейну, достигало 32,3 %, что на 2,5 п.п. превысило аналогичный показатель твердой фракции нативной барды.

Заключение. В результате выполненных исследований подобраны комплексы ферментных препаратов, позволяющие в неоптимизированных условиях (55 °С, pH 5,5, 1–2 ч) в 1,7–6,5 раза снизить мутность в результате деполимеризации некрахмалистых полисахаридов, присутствующих в составе ПСБ в коллоидном состоянии, и повысить эффективность ее разделения на фракции. В зависимости от состава используемого в исследованиях отхода спиртового производства в 2–3 раза уменьшить показатель ХПК фугата и повысить содержание в твердой фракции истинного белка на 2,5 п.п. Дальнейшие исследования будут сосредоточены на масштабировании процесса энзиматической и/или микробной ферментации ПСБ с целью улучшения ее технологических свойств и повышения питательной ценности как источника кормового белка.

Список использованных источников

1. Кузнецов, И. Н. Анализ мирового опыта в технологии переработки послеспиртовой барды / И. Н. Кузнецов, Н. С. Ручай // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2010. – Т. 1, № 4. – С. 294–301.

2. Изменение состава послеспиртовой барды при анаэробной и ферментативной обработке / И. Н. Кузнецов, Н. С. Ручай, А. И. Лембович, М. А. Сазановец // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2011. – № 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-sostava-poslespirtovoy-bardy-pri-anaerobnoy-i-fermentativnoy-obrabotke-the-changing-in-composition-of-alcohol-stillage-after. – Дата доступа : 10.07.2025.

3. Shurson, J. Feed and alternative uses for DDGS / J. Shurson, S. Noll // The Journal of Gender, Agriculture and Food Security. – 2016. – Vol. 1. – P. 1–22.

4. Buenavista, E. Utilization of distiller's dried grains with solubles: A review / E. Buenavista, K. Siliveru, Y. Zheng // The Journal of Agriculture and Food Research. – 2021. – Vol. 5:100195. – https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100195. Дата доступа: 10.07.2025 г.

5. Lumpkins, B. S. Evaluation of distillers dried grains with solubles as a feed ingredient for broilers / B. S. Lumpkins, A. B. Batal, N. M. Dale // Poultry Science. – 2004. – Vol. 83. – P. 1891–1896.

6. Corn distillers' dried grains with solubles to feed broiler chickens from 22 to 42 D of age / J. L. Damasceno, C. S. Rocha, C. Eyng [et al.] // Journal of Applied Poultry Research. – 2020. – Vol. 29. – P. 573–583.

7. Potential of corn distiller's dried grains with solubles (DDGS) in the diet of European catfish (*Silurus glanis*) / Z. J. Sándor, N. Révész, K. K. Lefler [et al.] // Aquaculture Reports. – 2021. – Vol. 20:100653. – Mode of access : https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100653. – Date of access : 10.07.2025.

8. Bradford, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding / M. M. Bradford // Analytical Biochemistry. – 1976. – Vol. 72. – P. 240–254.

9. Miller, C. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar / C. L. Miller // Analytical Chemistry. – 1959. – Vol. 31. – P. 426–428.

10. ГОСТ 31859-2012. Вода. Метод определения химического потребления кислорода. – Введ. в действие: 01.02.2015. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 12 с.

11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.belpg.com/oborudovanie/energosberegayuschie-tehnologii/perera-botka-bardy. – Дата доступа : 10.07.2025.

ENZYMATIC TREATMENT OF DISTILLERY GRAIN STILLAGE TO IMPROVE ITS TECHNOLOGICAL AND CONSUMER PROPERTIES

E. A. Shlakhotko, A. A. Shepshaleu, I. V. Moroz, L. I. Sapunova, I. I. Aliashkevich, A. G. Mashachka

Conditions for enzymatic treatment of whole distillery grain stillage of various compositions have been determined. It has been established that the use of enzymes that depolymerize non-starchy polysaccharides of grain crop seeds allows for improved separation of distillery grain stillage into fractions, a decrease in the chemical oxygen consumption index of the liquid fraction, and an increase in the true protein content of the solid fraction.

УДК 630*17:630*425

ОЦЕНКА ПРИЕМОВ БИОРЕКУЛЬТИВАЦИИ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ КАРЬЕРОВ

А. П. Яковлев, Е. А. Маслюков, Г. И. Булавко, А. А. Лешков, С. К. Бакей, П. Н. Белый
Центральный ботанический сад НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Приведены результаты метода беспочвенного восстановления плодородия нарушенных земель за счет интродукции агрономически-полезных микрорганизмов, способствующих активизации, усиливающих мобилизацию потенциального плодородия субстрата, накоплению в нем органического вещества и элементов питания в доступной для лесных культур форме.

Ключевые слова: *песчано-гравийный карьер, биорекультивация, микробные удобрения, эффективность.*

Введение. Одной из основных причин деградации земель в Республике Беларусь является их трансформация при добыче и переработке полезных ископаемых [1, 2]. Наиболее опасным является открытый способ разработки, но при этом экономически самый дешевый и поэтому наиболее распространенный. На территории республики эксплуатируется около 300 месторождений минерального сырья, в том числе более 200 карьеров добычи строительного песка и гравийно-песчаного материала, в результате добычи которых полностью или частично уничтожается растительный покров, животные и микробные сообщества, претерпевают изменение экосистемы в целом [3]. Доля рекультивированных земель остается крайне низка, рекультивация часто бывает нерентабельна и неэффективна, темпы восстановления ниже, чем скорость нарушения. Эффективность традиционных приемов биологической рекультивации, базирующихся на нанесении плодородного слоя почвы на восстанавливаемую поверхность, остается невысокой [4–6].

Ежегодно увеличивающиеся площади земель, нарушенных горными работами, а также возрастающие затраты на работы по их восстановлению, должны стать предпосылкой для более активного использования современных технологий [7, 8]. Разрабатываемый нами новый метод беспочвенного восстановления плодородия нарушенных земель за счет интродукции агрономически-полезных микрорганизмов способствует активизации, усиливающей мобилизацию потенциального плодородия субстрата, накоплению в нем органического вещества и элементов питания в доступной для лесных культур форме [9].

Цель работы заключалась в оценке мероприятий по совершенствованию технологии выращивания лесных культур, повышению их эколого-ресурсного потенциала путем стимулирования почвообразовательного процесса в специфических почвенно-экологических условиях земель, нарушенных добычей минерального сырья.

Объекты и методы исследований. Эффективность использования микробных препаратов отечественного производства для улучшения эдафических условий нарушенных земель при искусственном лесовосстановлении песчаных и песчано-гравийных карьеров Витебской (северная агроклиматическая зона), Гродненской и Минской областей (центральная агроклиматическая зона) была оценена в полевом эксперименте, включавшем в себя 4 варианта: контроль (без внесения препаратов) (1), обработка в середине мая и июня для всех препаратов 2 % раствором Агромик (2); обработка 2 % раствором Бактопин (3); обработка 2 % раствором Гордебак (4). На площадях ПГС «Крулевщизна» (Докшицкий р-н, Витебской обл.) в качестве испытуемых культур выступали 2-летние сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.), а ПГС «Кореличи» (Кореличский р-н, Гродненкой обл.) и ПГС «Синьча» (Пуховичский р-н Минской области) – 7-летние саженцы хвойных пород.

Методика исследований предусматривала закладку на каждом из объектов исследования серию пробных площадок размером 50 м^2, располагавшихся равномерно по двум ходовым линиям по диаметрам карьеров. Почвенным пробоотборником с глубины корнеобитаемого слоя путем 5-кратной случайной выборки формировали усредненный образец грунта для проведения аналитических работ в лабораторных условиях в соответствии с утвержденными методиками [10] по следующим показателям: уровень кислотности в солевой (pH_{KCl}) и водной (pH_{H2O}) вытяжках; содержание аммонийной и нитратной форм азота; содержание подвижных форм фосфора и калия в пересчете на P_2O_5 и K_2O. Определение микробной биомассы в субстрате осуществляли с использованием физиологического метода [11]. Значение метаболического коэффициента вычисляли как отношение микробной биомассы, заключенной в 1 г субстрата, к количеству выделенной ею в течение часа углекислоты [12].

Результаты исследований. Проведенные исследования позволили установить, что песчаный субстрат на всех карьерах характеризуется недостатком питательных веществ, избыточным содержанием кальция, нейтральной реакцией среды, что обусловливает низкую биологическую активность почвогрунтов (таблица).

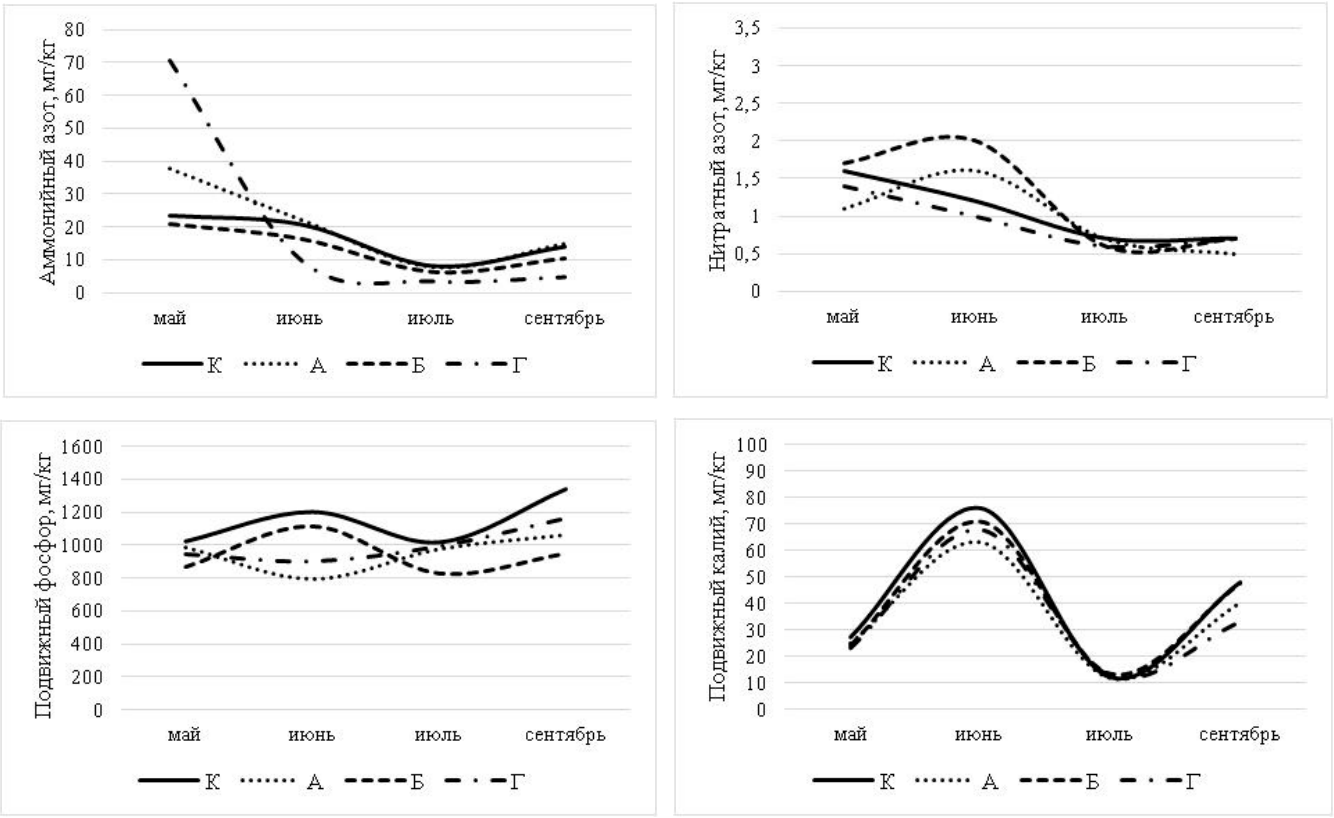
***Таблица** – Исходные данные агрохимических показателей почвенного субстрата песчано-гравийных карьеров, 2022 г.*

Место отбора	pH_{KCl}	pH_{H2O}	$N–NH_4^+$	$N–NO_3^-$	P_2O_5	K_2O	Na_2O	CaO	Гумус, %
			мг/кг почвы						
карьер ПГС «Крулевщизна»	7,0	7,4	38,8	8,3	563,3	17,7	1,8	4242,0	0,8
карьер ПГС «Кореличи»	6,7	7,6	21,2	11,9	790,5	64,2	8,1	1960,0	0,2
карьер ПГС «Синьча»	4,9	5,6	456,4	1,3	827,8	0,9	10,8	2,1	0,2

Наблюдения, проведенные на опытных участках в течение трёх лет, показали, что в опытном варианте с инокуляцией породы активной микрофлорой биогенность породы резко возросла по сравнению с контролем. Использование микробных препаратов обеспечило возрастание содержания органического вещества до 1,75–2,9 % под сосной, 1,8–2,5 % под елью.

Сезонный ход изменений для всех изучаемых показателей носил волнообразный характер с пиками в июне и сентябре с незначительным понижением в июле. Для всех вариантов опыта отмечена положительная динамика улучшения агрохимических характеристик песчаного субстрата относительно контрольного варианта (рисунок 1). Влияние микробоценоза для восстановления экосистемы достаточно значительно. Установлено, что на ранних стадиях почвообразования в техногенном элювии, где азот в доступных для растений формах жестко лимитирован, биомасса микроорганизмов является практически единственным и довольно значительным источником доступной формы элемента для обеспечения автотрофного синтеза органического вещества. При этом ответная реакция растений ели европейской была несколько выше в сравнении с сосной обыкновенной, поскольку у нее требовательность к эдафическим условиям более выражена.

В посадках лесных культур сосны и ели на ПГС «Синьча» практически на протяжении всех сезонов вегетации содержание подвижных форм фосфора и калия в опытных вариантах оказалось ниже контроля. По нашему мнению, это связно с активизацией поглощения этих элементов в метаболизме растений более старшего возраста, в связи с чем следует или увеличить количество обработок микробных препаратов до 3-х за сезон, или повысить концентрацию вносимого рабочего раствора.



К – контроль; А – Агромик; Б – Бактопин; Г – Гордебак

***Рисунок 1** – Изменение агрохимических характеристик песчаного субстрата на ПГС «Синьча» в посадках ели европейской в полевом эксперименте*

На начальном этапе наблюдения почвенный микробоценоз имеет невысокие показатели активности, однако наблюдаются признаки формирования почвенного профиля. Существенные отличия от зональных почв прослеживаются в верхних слоях почвы. Активность дыхания в 2–5 раз, а величина биомассы в 1,5–2,0 раза ниже, чем в ненарушенных почвах данного типа. В контрольном варианте субстрата под посадками ели и сосны активность респирации плавно снижалась от весны к осени, варьируя в пределах 0,57–0,37 мкг C-CO_2/г в час без существенной зависимости от вида растения. После обогащения субстрата бактериальными препаратами почвенное дыхание повысилось во всех вариантах, но максимальный эффект в субстрате под сосной был от Гордебак, а под елью от Бактопин. Агромик повышал активность процесса только непосредственно после обработки как под елью, так и под сосной. Критическим моментом был июль, когда и под елью, и под сосной активность дыхания субстрата с обработкой снизилась. В контрольных вариантах респирация убывала только в сентябре, а во всех вариантах с обработкой – в июле. По-видимому, добавленные бактерии меняют сукцессионные изменения в составе микробиома и его активности.

Установлено, что в центральной агроклиматической зоне активность дыхания формирующейся почвы была выше, чем в северной, но характер сезонной динамики показателя отличался. Если в северной зоне активность дыхания убывала от весны к осени, то в центральной – от весны к осени процесс дыхания усиливался во всех вариантах эксперимента.

Интегральным показателем активности микробоценоза считают метаболический коэффициент (qCO_2), представляющий собой отношение интенсивности дыхания почвы к микробной массе. Обработка бактериальными удобрениями, по-видимому, дестабилизирует формирующейся микробиом, т.к. пределы варьирования показателя возрастают после внесения новых бактерий. Например, под посадками сосны после обработки Агромик коэффициент менялся от 0,20 до 0,37; обработка Бактопином увеличивает размах от 0,20 до 0,36; после обработки Гордебаком от 0,24 до 0,36, а в контрольном варианте величина коэффициента была достаточно стабильной (0,24–0,27). Следовательно, новые виды, размножаясь в почве, влияют на состав и активность микробного населения и его метаболическую активность.

Внесение в песчаный субстрат микробных удобрений хотя и незначительно меняло величину микробной массы, но способствовало расширению состава микробоценоза, повышающего его функциональную активность, и, как следствие, обеспечивало улучшение агрохимического фона под лесными культурами в ходе рекультивационных работ нарушенных земель.

Содержание зеленых пигментов и общего белка в хвое было достоверно выше во всех вариантах с внесением микробных препаратов относительно контроля. Особенности микрорельефа явились определяющими для различий изучаемых характеристик у сосны обыкновенной и ели европейской на дне карьера. В контрольном варианте и с обработкой микробными препаратами оказались выше аналогичных показателей у лесных культур, высаженных на склоне.

Ель обыкновенная, относящаяся к группе растений со слабой энергией роста, в контрольном варианте в 1,9–3,2 раза уступает сеянцам в вариантах с обработкой. Для сосны обыкновенной (группа растений средней энергии роста) различия с контролем составили 50–110 % в зависимости от вносимого препарата.

В апреле 2025 г. на площади песчано-гравийного карьера «Рутковское» (2,2 га), переданном Новогрудскому лесхозу (рисунок), проведены работы по экспериментальной апробации технологии создания лесных культур сосны обыкновенной, ели европейской и березы бородавчатой с одновременным внесением агрономически ценных штаммов микроорганизмов для активизации и усиления мобилизации потенциального плодородия субстрата, накоплению в нем органического вещества и элементов питания в доступной для лесных видов форме. Приживаемость сосны обыкновенной в контроле составила 40 %; в варианте с применением Гордебака – 65 %; ели европейской соответственно 35 % и 77 %; березы бородавчатой в контроле составила 44 %; в варианте с применением Бактопина – 81 %.

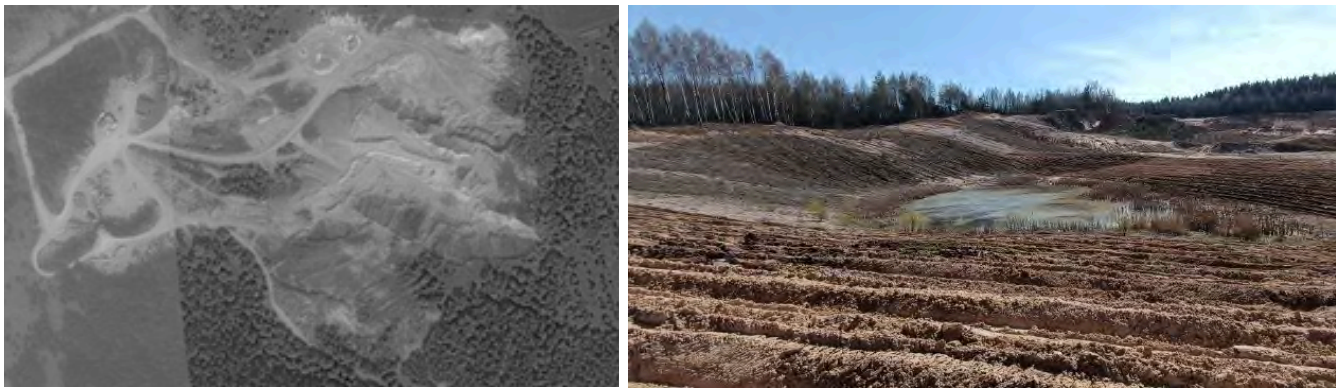


***Рисунок 2** – Общий план карьера ПГС «Рутковское» (слева) и опытно-производственный участок лесной рекультивации (справа)*

Заключение. Таким образом, инокуляция песчаного субстрата активными штаммами почвенных микроорганизмов повышает его биогенность, улучшает агрохимические свойства, микроорганизмы продуктами своей жизнедеятельности стимулируют рост и развитие растений. Выполнена экспериментальная апробация технологии биорекультивации песчано-гравийного карьера «Рутковское» микробиологическим способом без нанесения почвенного слоя. Применение полученных результатов ориентировано на возврат техногенно нарушенных земель в хозяйственный оборот путем их биологической рекультивации на научной основе и создание новой устойчиво продуцирующей лесной экологической системы.

Список использованных источников

1. Белых, Е. С. Деградация земель в Республике Беларусь / Е. С. Белых, Ю. А. Королькова // Культура и экология – основы устойчивого развития России. Человеческий капитал как ключевой ресурс зеленой экономики, Екатеринбург, 13–16 апреля 2018 года / Мин-во образ. и науки РФ; ФГАОУ ВПО «Ур. фед. ун-т им. I Президента России Б. Н. Ельцина», Кафедра культурологии и дизайна. Ч. 1. – Екатеринбург : Ур. фед. ун-т им. I Президента России Б. Н. Ельцина, 2018. – С. 155–158.

2. Червань, А. Н. Методические подходы и практическое применение результатов оценки деградации земель/почв Беларуси / А. Н. Червань, Н. Н. Цыбулько, В. М. Яцухно // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2022. – Т. 86, № 1. – С. 55–68. – DOI 10.31857/S2587556622010058.

3. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская [и др.]; под общ. ред. Е. И. Громадской. – Минск : РУП «ЦНИИКИВР», 2024. – 196 с.

4. Андроханов, В. А. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция / В. А. Андроханов, Е. Д. Куляпина, В. М. Курачев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 205 с.

5. Костина, Е. Э. Особенности формирования растительных сообществ в песчано-гравийных карьерах и на отвалах железорудного комбината в таежной зоне : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.01 / Е. Э. Костина. – Санкт-Петербург, 2012. – 20 с.

6. Сушкова, И. В. К истории вопроса о рекультивации растительного покрова на выработанных торфяниках и землях, нарушенных открытой добычей полезных ископаемых / И. В. Сушкова // Вест. Моск. гос. обл. ун-та. Серия: Естественные науки. – 2007. – № 2. – С. 68–72.

7. Иванова, Н. А. Биологическая рекультивация песчаных карьеров Марийского Заволжья созданием лесных культур сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.01 / Н. А. Иванова; Поволжский гос. технолог. ун-т. – Йошкар-Ола, 2020. – 21 с.

8. Макеева, Н. А. Влияние инокулята почвенных микроорганизмов на агрохимические показатели техногенных элювиев и продукционные процессы *Avena sativa* L. в условиях породного отвала : автореферат дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Н. А. Макеева; Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Кемерово, 2015. – 20 с.

9. Биотехнологические подходы создания лесных культур на площадях песчано-гравийных карьеров / А. П. Яковлев [и др.] // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : Сб. ст. Межд. науч.-практ. конф., Красноярск, 17 дек. 2024 г. – Красноярск : ФГБОУ ВО «Сибир. гос. ун-т науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева», 2025. – С. 244–247.

10. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : МГУ, 1970. – 488 с.

11. Мирчинк, Т. Г. Современные подходы к оценке биомассы и продуктивности грибов и бактерий в почве / Т. Г. Мирчинк, Н. С. Паников // Успехи микробиологии / АН СССР, Всесоюз. микробиол. о-во, Ин-т микробиологии ; [редкол.: А. А. Имшенецкий (отв. ред.) и др.] – М., 1985. – Вып. 20. – С. 198–226.

12. Ананьева, Н. Д. Микробиологическая оценка почв в связи с самоочищением от пестицидов и устойчивостью к антропогенным воздействиям : автореф. дисс.… д-ра биол. наук : 03.00.07 / Н. Д. Ананьева ; Мос. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. – М., 2001. – 50 с.

ASSESSMENT OF SAND-GRAVEL QUARRY BIORECULTIVATION TECHNIQUES

A. P. Yakovlev, E. A. Maslyukov, G. I. Bulavko, A. A. Leshkov, S. K. Bakey, P. N. Bely

Results of the method of soil-free fertility restoration of disturbed lands through introduction of agronomically-useful microorganisms, promoting activation, enhancing mobilization of potential substrate fertility, the accumulation of organic matter and nutrients in it in a form accessible to forest crops.

Навуковае выданне

ПРЫРОДНАЕ АСЯРОДДЗЕ ПАЛЕССЯ

І НАВУКОВА-ПРАКТЫЧНЫЯ АСПЕКТЫ РАЦЫЯНАЛЬНАГА РЭСУРСАКАРЫСТАННЯ

Зборнік навуковых прац
XII Міжнароднай навуковай канферэнцыі

8–10 кастрычніка 2025 года
Брэст, Рэспубліка Беларусь

Адказны за выпуск *А. А. Брыль*
Камп'ютарная вёрстка *Л. А. Церахава*
Карэктар *Р. М. Усік*

Падпісана да друку 24.09.2025.
Фармат 60×84 1/8. Папера афсетная.
Рызаграфія. Ум. друк арк. 29,34.
Тыраж 100 экз. Заказ 4537.

Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі.
Вул. Савецкіх Пагранічнікаў, 41, 224030, г. Брэст.
Тэл/факс (0162) 25-80-05
e-mail: info@paei.by

Выдавец і паліграфічнае выкананне:
таварыства з абмежаванай адказнасцю
«Издательство Альтернатива».
Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца,
вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў
№1/193 ад 19.02.2014, №2/47 ад 20.02.2014, №3/2242 ад 17.07.2025.
Пр. Машэрава, 75/1, к. 313, 224013, Брэст.