

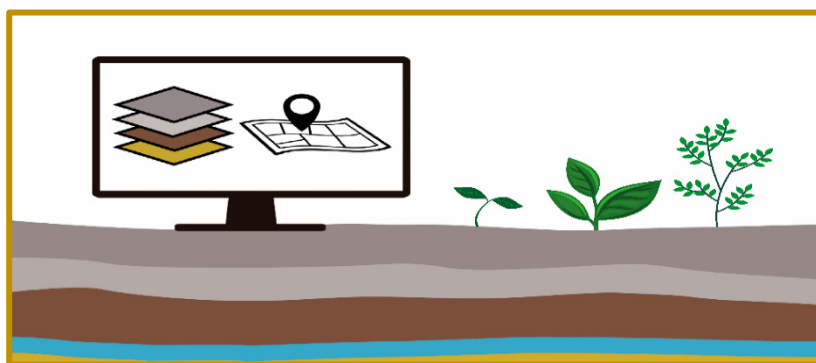


БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ  
Кафедра почвоведения и геоинформационных систем  
БЕЛОРУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

# ПОЧВЕННЫЕ И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ: ТРАДИЦИОННЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ И УПРАВЛЕНИЮ

Материалы  
международной научно-практической конференции,  
посвященной 90-летию образования кафедры  
почвоведения и геоинформационных систем БГУ  
и 85-летию со дня рождения  
доктора географических наук,  
профессора В. С. АНОШКО

Минск, 21–24 сентября 2023 г.



Научное электронное издание

МИНСК, БГУ, 2023

ISBN 978-985-881-535-6

© БГУ, 2023

УДК 631.4(06)+528.94:631.4:004(06)  
ББК 40.35я431

**Редакционная коллегия:**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. Н. Червань* (гл. ред.);  
кандидат географических наук *А. С. Семенюк*;  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *И. А. Ефимова*;  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор *Н. В. Клебанович*;  
кандидат географических наук, доцент *Н. В. Ковальчик*;  
кандидат географических наук, доцент *Л. И. Смыкович*;  
кандидат экономических наук, доцент *Д. А. Чиж*;  
кандидат географических наук, доцент *А. А. Карпиченко*;  
*А. Л. Киндеев; А. А. Сазонов*

**Рецензенты:**

заместитель начальника отдела № 14 «Разработки технологий  
обработки и применения данных дистанционного зондирования Земли»  
Научно-инженерного республиканского унитарного  
предприятия «Геоинформационные системы» *В. А. Сипач*;  
кандидат географических наук, доцент *А. Е. Яротов*

**Почвенные** и земельные ресурсы: традиционные и инновационные подходы к изучению и управлению [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию образования каф. почвоведения и геоинформ. систем БГУ и 85-летию со дня рождения д-ра геогр. наук, проф. В. С. Аношко, Минск, 21–24 сент. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. Н. Червань (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-985-881-535-6.

Рассматриваются проблемы географии и картографирования почв, применения геоинформационных систем в почвоведении, землеустройства и территориального планирования.

---

**Минимальные системные требования:**

PC, Pentium 4 или выше; RAM 1 Гб; Windows XP/7/10;  
Adobe Acrobat

Оригинал-макет подготовлен в программе Microsoft Word

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Е. В. Логинова*

Подписано к использованию 15.11.2023. Объем 2,9 МБ

Белорусский государственный университет.  
Управление редакционно-издательской работы.

Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Телефон: (017) 259-70-70,

email: [urir@bsu.by](mailto:urir@bsu.by), <http://elib.bsu.by>

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Раздел I. ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ ПОЧВЕННОЙ НАУКИ И УНИВЕРСИТЕТСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....</b>	<b>10</b>
<i>Карпиченко А.А.</i> Ландшафтно-геохимические исследования на кафедре почвоведения и ГИС в XXI веке.....	10
<i>Романова Т.А.</i> Научные школы почвоведения в Беларуси.....	15
<i>Богдевич И.М., Путятин Ю.В., Станилевич И.С.</i> Полвека формирования и оптимизации агрохимических показателей плодородия пахотных и луговых почв Беларуси .....	20
<i>Махнач В.В., Мотузка А.Н.</i> Становление палеопочвоведения Беларуси.....	25
<i>Теренёва А.П., Симанков О.В.</i> Почвенное обследование земель в Республике Беларусь .....	30
<b>Раздел II. АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ. ВОПРОСЫ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ.....</b>	<b>35</b>
<i>Анциферова О.А.</i> Оценка вторично переувлажненных почв в осушенных агроландшафтах Калининградской области.....	40
<i>Баширов Р.Р., Гасанов Г.Н., Гаджиев К.М., Абдулаева А.С., Усманов Р.З.</i> Способ освоения солончаков в условиях Терско-Кумской равнины.....	45
<i>Голосов В.Н., Федин А.В., Харченко С.В., Иванов М.М.</i> Оценка эрозионных потерь почвы на водосборе пруда Песковский на основе применения радиоцезиевого метода .....	50
<i>Двойных В.В.</i> Влияние склоновых агроландшафтов на биологическую активность почвы .....	55
<i>Дериглазова Г.М.</i> Влияние технологий возделывания полевых культур на агрохимические свойства почв в Курской области .....	59
<i>Ересько М. А.</i> Комплексное восстановление земель в местах добычи полезных ископаемых .....	64
<i>Чалов С.Р., Иванов В.А.</i> Соотношение компонентов баланса наносов для больших рек: эрозия и аккумуляция, русловая и водосборная эрозия .....	69

<i>Иванова Н.Н.</i> Анализ истории землепользования, изменений систем земледелия и структуры посевов в регионах ЕТР с различными природными условиями и длительностью земледельческого освоения для целей ретроспективной оценки динамики темпов и объемов смыва за последние столетия .....	73
<i>Костюченко Н.Н., Дашкевич М.М., Волчек А.А.</i> Содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве при хранении органического удобрения в полевых условиях.....	79
<i>Прущик А.В.</i> Оценка эффективности лесных полос на эрозионноопасном склоне.....	83
<i>Кухарчик Т.И., Чернюк В.Д., Рябычин К.О.</i> Опыт изучения микропластика в почвах в зонах локальных источников воздействия: методические подходы, результаты .....	87
<i>Унаниян С.А., Сукиасян А.Р., Джангирян Т.А., Киракосян А.А.</i> Эколого-токсикологическая оценка антропогенного загрязнения почвы в районе Араратского цементного завода .....	90
<i>Тюгай З., Салимгареева О.А., Иванов А.В., Сидорова И.Я.</i> Агрегатная структура естественных и пахотных почв разного генезиса европейской части России: морфологические и физико-химические характеристики.....	95
<i>Жидкин А.П., Фомичева Д.В., Рухович Д.И.</i> Оценка деградации почвенного покрова на основе сочетания эрозионного моделирования и отражательной способности открытой поверхности почвы на ключевых участках в лесостепи Среднерусской возвышенности .....	101
<i>Фомичева Д.В., Иванова Н.Н., Шамшурина Е.Н.</i> Ретроспективная оценка динамики эрозионных процессов юга лесостепной зоны (на примере ключевого участка в Тамбовской области).....	106
<b>Раздел III. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>111</b>
<i>Чуян Н.А.</i> Биологическое состояние чернозема типичного в условиях применения агротехнологии .....	111
<i>Гусев А.П.</i> Диагностика химического загрязнения почвенного покрова комплексом дистанционных и наземных методов.....	116
<i>Кокорева А.А., Клебанович Н.В., Колупаева В.Н., Никитина М.А.</i> Моделирование водного режима типичных почв сельскохозяйственных ландшафтов Республики Беларусь как первый этап создания национальных сценариев оценки риска пестицидов .....	121



<i>Асварова Т.А., Гасанов Г.Н., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С.</i> Оценка влияния климатических факторов на почвенно-растительный покров Терско-Кумской низменности .....	126
<i>Сапожникова П.М., Данилова Н.И.</i> Кадастровая стоимость агроландшафтов России, граничащих с Республикой Беларусь.....	131
<i>Гафуров А.М., Усманов Б.М.</i> Использование воздушного лазерного сканирования для мониторинга лесных формаций .....	136
<i>Григорьев И.И., Рысин И.И.</i> Изучение русловых и овражных процессов на территории Удмуртии с помощью современных технологий .....	141

**Раздел IV. ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ И ХИМИКО-МЕЛИОРАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ СВОЙСТВ ПОЧВ..... 146**

<i>Салимгареева О.А., Ковалева Н.О., Вытовтов В.А.</i> Об удельной поверхности чернозема типичного Курской области.....	146
<i>Лукин С.В., Корнейко Н.И., Четверикова Н.С.</i> Динамика плодородия почв и продуктивности агроценозов в условиях биологизации земледелия Белгородской области России .....	151
<i>Дудкина Т.А.</i> Влияние севооборота и минеральных удобрений на биологические свойства почвы под яровым ячменем .....	156
<i>Хомич В.С.</i> Методические аспекты мониторинга почв и почвенно-геохимических изысканий.....	160
<i>Брескина Г.М.</i> Современный взгляд на использование биопрепаратов и растительных остатков на удобрение.....	165
<i>Волчек А.А., Городнюк Ю.П.</i> Моделирование урожайности озимой ржи на территории Брестской области .....	170
<i>Кунавич К.В.</i> Изменения водоудерживающей способности и степени восстановления тургора листьев клевера (клевер луговой и клевер ползучий) под антропогенным влиянием на почвенный покров.....	176

**Раздел V. ГЕОХИМИЯ ПОЧВ И ЛАНДШАФТОВ..... 182**

<i>Абдулаева А.С., Гасанов Г.Н., Гаджиев К.М., Асварова Т.А., Баширов Р.Р.</i> Углерод в основных типах почв в полупустынях Терско-Кумской низменности.....	182
---	-----

<i>Елсукова Е.Ю., Недбаев И.С., Кузьмина Д.С.</i> Эколого-геохимические особенности и биотестирование почв в зоне воздействия добычи и производства фосфоритов.....	187
<i>Кудреватых И.Ю., Калинин П.И., Алексеев А.О.</i> Редкоземельные элементы в оценке интенсивности выветривания и скорости потери элементов из почв на примере степных ландшафтов .....	192
<i>Мижуй С.М., Пехота А.П.</i> Кислотность генетических горизонтов дерновой полугидроморфной песчаной почвы в зависимости от микрорельефа местности .....	196
<i>Салихов Ш.К., Гасанов Г.Н., Кичева Ж.О., Яхияев М.А., Усманов Р.З.</i> Органический углерод в почвах внутригорного Дагестана.....	201
<i>Чекин Г.В.</i> Содержание и профильное распределение тяжелых металлов в аллювиальных почвах городского участка поймы р. Десна .....	206
<i>Клебанович Н.В., Ересько М.А.</i> Об экологических аспектах нейтрализации почвенной кислотности .....	210
<i>Кузьмин С.И., Дробенок С.Д., Лаппо В.М.</i> Распределение тяжелых металлов и нефтепродуктов в почвах санитарно-защитных зон полигонов твердых коммунальных отходов.....	214
<i>Савченко С.В., Какарека С.В., Парфенов В.В., Саливончик С.В., Хомич В.С.</i> Прогнозная оценка загрязнения почв тяжелыми металлами на территории Беларуси.....	219
<i>Оношко М.П., Смыкович Л.И., Крошинский В.А., Бурко А.Н., Костюкевич Н.В.</i> Геохимическая оценка почв Могилевской области ...	224

**Раздел VI. ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ..... 229**

<i>Киварина М.В.</i> Региональные инновации как фактор устойчивого экономического роста.....	229
<i>Червань А.Н.</i> Структура почвенного покрова в практике территориального планирования агроландшафтов .....	234
<i>Бондарев В.П., Радомысльский М.С.</i> Социальные последствия деградации земель с точки зрения экспертов .....	243
<i>Любезная В.С.</i> Сетевой анализ объектов социальной инфраструктуры для целей городского планирования (на примере г. Гомеля) .....	248

<i>Маевская А.Н., Богдасаров М.А., Шешко Н.Н.</i> Ранжирование земельного фонда территории Брестской области по приемлемости к разработке общераспространенных полезных ископаемых.....	254
<i>Пиловец Г.И.</i> Анализ изменения структуры видов земель Витебской области.....	259
<i>Полюхович А.Н.</i> Управление территориями водно-болотных угодий международного значения Беларуси.....	264
<i>Ридевский Г.В.</i> Дуализм и трихотомия сельского пространства Беларуси как результат интенсивности сельско-городских взаимодействий .....	268
<i>Сафина Г.В., Федорова В.А.</i> Искусственные земельные участки как территориальный резерв развития городских систем (на примере города Казани) .....	273
<i>Шушкова Е.В., Устин В.В.</i> Анализ реализации региональной схемы рационального размещения ООПТ местного значения (на примере Минской области) .....	278
<i>Яцухно В.М.</i> Отражение почв в правовой системе Республики Беларусь: состояние и необходимость совершенствования .....	283
<i>Шавель А.Н., Безрученко А.П.</i> Географические особенности выращивания сахарной свеклы в Республике Беларусь.....	288
<i>Ефимова И.А., Андреева В.Л.</i> Характеристика типа земель «водороздел выпуклый высокий на двучленных породах» в границах Березинского заповедника .....	293
<b>Раздел VII. ГЕНЕЗИС, ЭВОЛЮЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ. СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА, ЭВОЛЮЦИЯ И МОНИТОРИНГ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ .....</b>	<b>298</b>
<i>Горячкин В.Н.</i> Оценка содержания подвижного фосфора в почвах сельскохозяйственных угодий Ленинградской области .....	298
<i>Давыдова С.Г.</i> Почвы и почвообразующие породы Новгородской области .....	302
<i>Давыдова С.Г., Дружнова М.П., Степанова А.А.</i> Типы почв Новгородской области, сформировавшиеся в условиях избыточного увлажнения.....	306
<i>Ковалев И.В., Ковалева Н.О.</i> Мониторинг полугидроморфных почв, осушенных пластмассовым и гончарным дренажом .....	311
<i>Ковалева Н.О.</i> Особенности генезиса и эволюции почв полесий Русской равнины.....	316

<i>Лисецкий В.Н.</i> Закономерности депонирования органического углерода постагрогенными почвами в контексте климатических различий.....	321
<i>Махнач В.В., Мотузка А.Н.</i> Палеопочвы территории Беларуси .....	326
<i>Неведров Н.П.</i> Многолетняя динамика эмиссии CO <sub>2</sub> из почв лесопарковых экосистем Курской агломерации.....	331
<i>Смыкович Л.И., Оношко М.П., Кажуро Е.А.</i> Структура земельного фонда Могилевской области.....	336
<i>Сазонов А.А.</i> География почвообразующих пород почв сельскохозяйственных земель Беларуси.....	339

**Раздел VIII. ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЧВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ .....343**

<i>Глазунов Г.П.</i> Агроэкологическая оценка склоновых земель в условиях Центрально-Черноземного региона.....	343
<i>Гутько Ф.С., Киндеев А.Л.</i> Геостатистический анализ кислотности почв для целей точного земледелия.....	349
<i>Давидович Ю.С.</i> Использование материалов радиолокационной съемки при дешифрировании геосистем Белорусского Полесья.....	352
<i>Князев И.С., Сазонов А.А.</i> Определение почвенного покрова методами машинного обучения по данным воздушного лазерного сканирования .....	357
<i>Алисиевич С.В., Ковальчик Н.В.</i> Оценка условий формирования избыточного стока в локальных водосборах на территории г. Минска..	361
<i>Копыльцова Е.В., Шамаль Н.В., Сеглин В.Н., Никитин А.Н., Тимохина Н.И.</i> Создание цифровой модели поверхности и радиационной обстановки на примере площадки вблизи бывшего населенного пункта Ясная Поляна .....	365
<i>Решоткин О.В., Алябина И.О.</i> Современные тенденции изменения климата почв Европейской России и Западной Сибири .....	369
<i>Сафина А.Р., Коркина Е.К.</i> БПЛА-съёмка почвенного покрова в условиях темнохвойной тайги .....	374
<i>Сипач В.А., Люштык В.С., Семенов О.А.</i> Применение ГИС в управлении территорией национального парка «Нарочанский».....	380
<i>Усманов Б.М., Гафуров А.М., Иванов М.А. Хомякова П.В.</i> Организация дистанционного мониторинга на полигоне «Карбон-Поволжье» .....	385

<i>Фруль Е.С., Киндеев А.Л.</i> Использование лазерного сканирования для определения эрозионно-опасных земель в детальном масштабе .....	391
<i>Киндеев А.Л., Сазонов А.А., Яскельчик В.В.</i> Геостатистическая интерпретация неоднородности кислотности почвенного покрова основных видов земель Республики Беларусь .....	395
<i>Чекалов И.А.</i> Построение карты-задания для дифференцированного внесения азотных удобрений на основе индекса NDVI .....	401

# РАЗДЕЛ I

## ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ ПОЧВЕННОЙ НАУКИ И УНИВЕРСИТЕТСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 001.891 (476)

### ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА КАФЕДРЕ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И ГИС В XXI ВЕКЕ

**А. А. Карпиченко**

*Белорусский государственный университет (БГУ), 220030, г. Минск,  
ул. Ленинградская, 16, email: karpi@bsu.by*

Показаны основные направления научных исследований в области геохимии ландшафтов, которые выполнялись на кафедре почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета за последние двадцать лет. Основное внимание уделено достижениям в области оценки современных изменений природной среды и ландшафтов территории Беларуси, прогнозирования и оптимизации воздействия антропогенной деятельности на природные комплексы. Показаны перспективы дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** научные результаты; геохимия ландшафтов; геохимия урбандиафтов; геохимия торфяников; тяжелые металлы; геохимия водоемов

В 2001–2023 гг. ландшафтно-геохимические исследования на кафедре почвоведения и ГИС шли в рамках заданий ряда Государственных программ ориентированных фундаментальных исследований (ГПОФИ) и Государственных программ научных исследований (ГПНИ) природоохранной направленности.

В рамках научно-исследовательской работы (НИР) «Оценка геохимической структуры ландшафтов Беларуси и устойчивости осушенных природных комплексов для целей разработки прогноза их эволюции» ГПОФИ «Природные комплексы» (2001–2005 гг.) сотрудниками кафедры была разработана типология латеральной и радиальной геохимической структуры ландшафтов и оценки геохимического разнообразия ландшафтов по количеству и частоте встречаемости геохимических структур [1]. Полученные результаты позволили дать предварительную эколого-геохимическую оценку ландшафтов Беларуси. Составленные карты природных латеральных и радиальных геохимических барьеров Беларуси в совокупности с данными по геохимической структуре ландшафтов использованы как основа для разработки мероприятий по нейтрализации токсических веществ

и оптимизации природной среды. Для Национального атласа Республики Беларусь (2002) Н.К. Чертко составлена первая карта геохимических ландшафтов Беларуси М 1 : 2 000 000 [2], в которой в обобщенной форме представлены результаты предыдущих ландшафтно-геохимических исследований и отражено геохимическое состояние ландшафтов республики во второй половине XX столетия.

При выполнении НИР «Комплексная оценка антропогенной трансформации ландшафтов проблемных регионов Беларуси» (ГПОФИ) «Природопользование» (2006–2010 гг.) изучались проблемные выработанные торфяные месторождения Белорусского Полесья. В результате исследований выявлен химический состав остаточного торфа и подстилающих пород выработанных торфяников Полесья, рассчитано среднее содержание исследуемых элементов в золе торфа, на основе которых составлена ландшафтно-геохимическая карта выработанных торфяных месторождений Белорусского Полесья. Была разработана форма ландшафтно-геохимического паспорта как основного оценочного документа состояния торфяной выработки, составлены ландшафтно-геохимические паспорта по ряду объектов в Брестской и Гомельской областях и рекомендации по геохимической оптимизации выработанных торфяных месторождений [3].

В 2011–2013 гг. сотрудники кафедры участвовали в выполнении научно-исследовательской работы (НИР) «Геоэкологическая оценка ландшафтных и техногенных ситуаций проблемных регионов Беларуси» подпрограммы «Природопользование-2» ГПНИ «Природно-ресурсный потенциал» (2011–2015 гг.). За время выполнения задания установлены закономерности в формировании техногенных ситуаций в агроландшафтах Белорусского Полесья в зависимости от величины техногенной нагрузки [4]. Составлена серия карт по техногенной нагрузке и ландшафтно-техногенным ситуациям в Белорусском Полесье. Отдельные сотрудники кафедры являлись исполнителями еще одной НИР в рамках данной ГПНИ, выполняемой в других структурных подразделениях факультета, например, «Геоэкологическая оценка природно-ресурсного потенциала озерных бассейнов и выявление закономерностей химического загрязнения донных отложений рек и озер промышленными производствами различных типов для целей устойчивого хозяйственного использования и охраны» (2011–2013 гг.), в рамках которой определены особенности аккумуляции химических элементов в отложениях рек [5] и закономерности переноса металлов в зонах размещения предприятий химической промышленности.

С 2014 г. основным направлением исследований стало изучение геохимии урбандшафтов Беларуси. В 2014–2015 гг. выполнялась НИР «Типология и эколого-геохимическая оценка урбандшафтов промышленных центров Беларуси для целей оптимизации городской среды» подпрограммы

«Природопользование-2» ГПНИ «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный потенциал» (2013–2015 гг.). Составлены карты распространения тяжелых металлов (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti) и суммарного загрязнения почвенного покрова, эколого-геохимической оценки урболандшафтов для городов Пинск и Жодино [6]. Предложены способы геохимической оптимизации урболандшафтов городов, включающие создание искусственных сорбционных геохимических барьеров и фитомелиорацию. При выполнении НИР «Геоэкологическая оценка природно-ресурсного потенциала антропогенно нарушенных озерных бассейнов, разработка принципиальных схем технологии его восстановления и создание базы данных загрязнения современных донных отложений рек и озер Беларуси тяжелыми металлами» (2013–2015 гг.) создана база данных загрязнения современных донных отложений рек и озёр Беларуси тяжёлыми металлами [7].

В дальнейшем (2016-2018 гг.) выполнялись исследования по НИР «Ландшафтная структура зон влияния промышленных центров и адаптация растительности к техногенному воздействию» подпрограммы «Природные ресурсы и экологическая безопасность» ГПНИ «Природопользование и экология» (2016-2020 гг.). За это время созданы карты содержания тяжелых металлов в почвах г. Молодечно [8] и г. Гомель. Разработаны карты суммарного загрязнения и эколого-геохимической оценки урболандшафтов городов. Произведена оценка состояния растительности и установлено, определены индикаторы адаптации растительности и предложены способы усиления адаптационных свойств древесных растений к техногенному воздействию [9]. Установлены границы зон слабого и активного геохимического влияния города Молодечно на пригородные ландшафты. При выполнении НИР «Выявление закономерностей и взаимосвязей накопления тяжёлых металлов в донных отложениях и высшей водной растительности рек и озёр Беларуси» были проанализированы пространственные и видовые особенности содержания элементов Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Mo, Pb в высшей водной растительности водоемов и водотоков Беларуси, составлены картосхемы загрязнения донных отложений и высшей водной растительности рек и озёр Беларуси тяжёлыми металлами [10].

В 2019–2020 гг. выполнена НИР «Урбанизированные ландшафты городов и их влияние на пространственную структуру теплового и химического загрязнения городской среды», подпрограммы «Природные ресурсы и экологическая безопасность» ГПНИ «Природопользование и экология», в рамках которой проводилось изучение накопления тяжелых металлов в верхних горизонтах почв Орши, Слуцка, Кобрина, выявлены особенности их пространственной дифференциации в т.ч. и помощью статистических методов (кластерный и факторный анализ). К той же подпрограмме относилась выполненная НИР «Оценить загрязнение тяжелыми металлами



донных отложений и высшей водной растительности рек и озер Беларуси для определения их экологического статуса», в рамках которой установлен ряд особенностей геоаккумуляции ТМ, исследованы связи между увеличением содержания Cr, Ni, Cu, Zn, Pb в донных осадках и их накоплением в тканях погруженных макрофитов озер и водохранилищ [11], разработаны рекомендации по методам определения интегральных показателей оценки загрязнения донных осадков и высшей водной растительности рек и озёр тяжелыми металлами и определения их экологического статуса.

В настоящее время сотрудниками кафедры выполняется НИР «Оценить средоформирующие функции и экологические риски городских ландшафтов, предложить меры по их оптимизации (на примере промышленных центров Беларуси)» (2021–2025 гг.) в рамках комплексного задания «Оценка современных изменений природной среды и ландшафтов территории Беларуси с учетом социально-экономических и экологических факторов для целей устойчивого природопользования» подпрограммы «Природные ресурсы и их рациональное использование» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» (2021–2025 гг.). За это время получены новые данные по накоплению тяжелых металлов в верхних горизонтах почвенного покрова г. Гродно и г. Бобруйска, в 2023 г. будут получены сведения по г. Барановичи, составлены карты накопления тяжелых металлов и обменной кислотности для данных городов. С помощью статистических методов ведется установление техногенного характера накопления элементов, выполняется оценка эколого-геохимических рисков [12].

В настоящее время подготовлена к изданию настенная карта «Республика Беларусь. Геохимические ландшафты» (масштаб 1:500 000), рекомендованная в качестве наглядного пособия для учреждений высшего образования Республики Беларусь, идет подготовка карты геохимических ландшафтов Беларуси для нового издания «Национального атласа», планируемого к изданию в 2024 г.

### Библиографические ссылки

1. *Карпиченко А. А.* Геохимическая структура основных родов ландшафтов Беларуси // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2010. № 2. С. 83–86.
2. *Чертко М. К.* Геохімічныя ландшафты Рэспублікі // Нацыянальны атлас Рэспублікі Беларусь. Мінск: РУП “Белкартаграфія”, 2002. С. 166.
3. *Чертко Н. К., Карпиченко А. А., Жумарь П. В.* Ландшафтно-геохимическое состояние выработанных торфяных месторождений Белорусского Полесья, их оптимизация и рациональное использование // Агроэкологічний журнал. 2017. № 2. С. 83–88.
4. *Чертко Н. К., Карпиченко А. А.* Техногенные нагрузки на ландшафты Белорусского Полесья // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2013. № 2. С. 62–65.
5. Содержание химических элементов в современных донных отложениях рек Беларуси (техногеохимический аспект) / О. В. Лукашёв, Н. В. Жуковская, Н. Г. Лукашёва,

Д. Л. Творонович-Севрук, С. В. Савченко // Природопользование. 2015. №. 27. С. 109–117.

6. Карпиченко А. А., Чертко Н. К. Особенности накопления титана, марганца и хрома в поверхностных горизонтах почв г. Жодино (Беларусь) // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А. И. Перельмана): Доклады Всеросс. науч. конф., Москва, 18–20 окт. 2016 г. М.: Географический факультет МГУ, 2016. С. 247–250.

7. Жуковская Н. В., Лукашёв О. В., Лукашёва Н. Г. Структура базы данных химического загрязнения рек и озёр Беларуси // Актуальные вопросы инженерной геологии, гидрогеологии и рационального недропользования: Материалы IX Универ. геол. чтений, Минск, 03 апр. 2015 г. Минск: БГУ, 2015. С. 120–125.

8. Семенюк А., Карпиченко А., Чертко Н. Оценка экологического состояния территории города Молодечно с помощью ГИС-технологий // Земля Беларуси. 2018. № 2. С. 32–38.

9. Тюлькова Е. Г., Карпиченко А. А. Эколого-геохимическая оценка условий развития и адаптация древесных растений к техногенному воздействию // Природные ресурсы. 2020. № 2. С. 70–77.

10. Жуковская Н. В., Власов Б. П., Ковальчик Н. В. Содержание тяжелых металлов в высшей водной растительности водоемов и водотоков Беларуси: пространственные и видовые особенности // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2019. № 1. С. 22–34.

11. Жуковская Н. В., Ковальчик Н. В., Власов Б. П., Моленда Т. Пространственная изменчивость содержания тяжелых металлов в макрофитах озер Беларуси // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2019. № 2. С. 40–51.

12. Формирование и оценка экологических рисков урболандшафтов в промышленных городах Беларуси / Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая, А. А. Карпиченко, Д. С. Воробьев // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2021. № 2. С. 45–62.

## НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ В БЕЛАРУСИ

Т.А. Романова

*Общество почвоведов имени В.В. Докучаева*

В статье обобщена информация по становлению научных школ почвоведения в Беларуси. Проведена периодизация развития почвоведения, выделен ряд научных направлений, которые являются как продолжением классической, «докучаевской» школы, так и вызваны потребностями практики (мелиоративное почвоведение). Основателем почвоведения в Беларуси можно считать Я.Н. Афанасьева. В настоящее время в стране развивается научно-производственная школа почвоведения, ориентированная прежде всего на исследование антропогенных трансформаций почв.

**Ключевые слова:** научная школа; почвоведение; научное направление; почвенное картографирование; мелиорация почв.

Научная школа – это система научных взглядов, с которыми согласны все члены научного сообщества. С развитием науки формировались разные научные школы. В естественных науках, в том числе в почвоведении, выделяются школы «направления», сложившиеся на основе трудов одного ученого, имя которого закрепляется за этой школой. Так, в почвоведении с конца XIX века признание получила школа русского ученого Василия Васильевича Докучаева. «Докучаевская» школа до сих пор остается ведущей в России, Беларуси, и многих других странах. В Беларуси развитие этой школы связано с именем Якова Никитовича Афанасьева, занявшего в 1921 году место заведующего кафедрой почвоведения Горы-Горецкого сельскохозяйственного института. Ученик Н.М. Сибирцева и последователь В.В. Докучаева, Я.Н. Афанасьев, имея опыт составления почвенных карт в России, в Беларуси также вместе с группой студентов с 1921-го по 1926-й год занимался картографированием почв. Согласно одному из положений докучаевской школы, в регионах, где количество атмосферных осадков превышает испарение, преобладает промывной водный режим почв, подзолообразовательный процесс, дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы разной степени оподзоленности, с делением последних на глееватые и глеевые. Однако в Беларуси, относящейся к области ледниковой аккумуляции с большим разнообразием поверхностных отложений, при картографировании почв оказалось, что характер почвообразующих пород представляет разнообразие почв лучше, чем их оподзоленность. Почвообразующие породы стали первостепенным объектом

исследований. В 1926-м году Я.Н. Афанасьев опубликовал «Очерк о почвенных породах Белоруссии». А.Г. Медведев описал 13 вариантов почвообразующих пород (Очерк почв Белоруссии с картой, Минск, 1926).

В 1930-м году вышла статья Я.Н. Афанасьева «Из области анаэробных и болотистых процессов» (материалы к геологическому и почвенному изучению Белоруссии), посвященная сходству проявления процессов оподзоливания и оглеения. Статья вызвала много дискуссий, оказавших влияние на развитие учения об увлажнении и водном режиме почв.

Материалы, собранные в довоенный период почвоведом Горы-Горечко сельскохозяйственного института, послужили основой монографии «Почвы БССР», с картой масштаба 1: 1200000 (Минск, 1952). В этой монографии описаны 15 разновидностей *дерново-подзолистых* глинистых, суглинистых, супесчаных и песчаных почв, дифференцированных по степени оподзоленности и по литологии поверхностных отложений, приведены также обобщенные характеристики *дерновых, дерново-подзолистых заболоченных, болотных (торфяных) и пойменных* почв.

Наряду с научными школами «направления», существуют школы «научно-производственные», когда новые (фундаментальные) знания формируются в процессе трудовой деятельности. В Беларуси обращение к такой школе связано с потребностью научных данных для решения целого ряда практических задач по восстановлению и развитию хозяйства республики после Великой Отечественной войны. В 1952–1955 гг. такой задачей был «Проект осушения и освоения Полесской низменности». Проект требовал составления почвенно-ботанических карт на весь бассейн реки Припять (2000000 га.). В исследованиях почв (под руководством В.И. Пашина) принимали участие выпускники почвенного факультета Белорусского государственного университета и ведущие научные сотрудники Украинского ботанического института – составлены карты с пояснительными записками (30 томов) и очерк «Почвы и растительность Полесской низменности» (800 страниц) под редакцией И.С. Лупиновича. В целом, почвы характеризовались так же, как в монографии 1952 года, но разнообразие пород уменьшилось до 13, а по увлажнению, кроме используемых ранее «*глееватых*» и «*глеевых*», априорно выделяются почвы «*временно избыточно увлажненные*», «*контактно-*» и «*глубоко-оглеенные*».

В 1957–1964 гг. в развитии докучаевского (генетического) и научно-производственного почвоведения большую роль сыграло Постановление правительства СССР о проведении крупномасштабного картографирования почв всех хозяйств, занимающихся сельскохозяйственным производством (в Беларуси картографировались также лесохозяйственные земли). К 1964 году составлены почвенные и геоботанические карты в масштабе

1:10000 на земли колхозов и совхозов, а к 1969 году съемкой покрыта практически вся территория Республики.

На основе крупномасштабных (1:10000) карт составлены среднемасштабные карты почв административных районов (1:50000) и областей (1:200000), в 1974-му году (после разработки специальной методики) – почвенная карта Беларуси в масштабе 1:600000 (авторы Н.И. Смяян и И.Н. Соловей).

В процессе картографирования почв выполнено огромное количество химических анализов и определений водно-физических свойств. Обработка фактологических данных позволила получить обобщающие сведения о признаках и свойствах почв, в том числе о содержании и природе гумуса в почвах Беларуси (1971). Использованы 22000 определений общего гумуса в совокупности с названиями почв, их гранулометрическим составом, кислотностью ( $\text{pH}_{\text{КС}}$ ) и насыщенностью основаниями. Анализировалась связь между содержанием гумуса, перечисленными показателями и степенями увлажнения почв, выделенными в Проекте осушения Полесской низменности. Результаты показали, что содержание гумуса настолько тесно коррелирует с гидроморфизмом почв, что равносильно одобрению научным сообществом принятой градации почв по степени увлажнения.

Это свидетельствует, что в Беларуси «докучаевская» научная школа при сохранении основных традиций отличалась особым вниманием к роли почвообразующих пород и к гидроморфизму почв.

Новый стимул развития «докучаевской» школы в Беларуси создан фундаментальными исследованиями, выполняемыми в порядке подготовки к V съезду всесоюзного общества почвоведов в 1977 году в Минске. Помимо массовых характеристик почв, исследовалась минералогия, микробиология почв, содержание и состав гумуса, водно-физические свойства, эрозия почв и их изменения при окультуривании. Материалы, собранные к тому времени, представлены в монографии «Почвы Белорусской ССР» (1974). Этот труд отличается от монографии «Почвы БССР» (1952) детальными характеристиками *дерново-подзолистых* почв, развивающихся на 7 вариантах почвообразующих пород, без деления по оподзоленности, но с учетом 4 степеней увлажнения. Каждому описанию почв под естественной растительностью соответствуют аналоги пахотных почв. В теоретическом плане общее представление о почвах Беларуси здесь мало отличается от сложившегося в 1952 г. и заключается, кроме впервые описанных *бурых лесных* почв, в доминировании *дерново-подзолистых* вместе с *дерново-подзолистыми заболоченными* (68 %), в распространении *дерновых заболоченных* и *торфяно-болотных* (23 %) почв.

Итоги исследований почв, выполнявшихся после 1974 года, подведены в 2019 году. Собран очень большой фактологический материал, превраща-

ющий монографию «Почвы Республики Беларусь» (Минск, 2019) в энциклопедический справочник. Насыщенность информацией способна удовлетворить самые строгие требования, но описательный характер состава и свойств дерново-подзолистых почв на 5 вариантах пород без объяснения их природы и сущности агрогенной трансформации мало способствует развитию научной школы. Применены новейшие методы исследований и представления данных, но почвы различаются в основном по литологии почвообразующих пород, и нет научных выводов о природных свойствах и сущности трансформации почв (кроме удобрения).

Научно-производственная школа почвоведения в Беларуси имеет выраженный географический аспект и проявляется прежде всего в картографировании, необходимом в связи с широким развитием гидромелиорации. В Белорусском государственном университете с конца прошлого века мелиоративная география с почвоведением стали предметом преподавания (В.С. Аношко, 1981, 1987). В Брестском государственном техническом университете в 2020 году введена научная дисциплина – «Мелиоративное почвоведение».

Мелиорация торфяно-болотных почв требовала изучения их природы и свойств, что содержалось в трудах многих белорусских ученых (С.Г. Скопанов, 1950, И.С. Лупинович и Т.Ф. Голуб, 1958, А.С. Мееровский и др.).

После 1974 г. особенно оживился интерес к мелиорации минеральных заболоченных почв. В Белорусском институте почвоведения и агрохимии организованы фундаментальные исследования (научно-производственные по назначению и генетические по сути) почв разного увлажнения на связных и рыхлых почвообразующих породах, а также на почвах, сходных по увлажнению, но на разных породах. Общее количество числовых показателей, характеризующих состав, свойства и динамику почв, развивающихся на связных породах, составляет 15000, на рыхлых породах – 22000. Интерпретация этих данных, прежде всего, позволила обосновать выделение пяти типов водного режима почв с идентификацией их по результатам химических анализов. Количественная оценка степеней увлажнения почв, впервые опубликованная в 1974 году, получила надежное подтверждение. Особое значение имело освоение данных мониторинга содержания влаги в пахотных почвах Беларуси, осуществляемого Метеослужбой на 21 метеостанции (83 участка наблюдений) за 30 лет (1952–1982) – 500000 определений. Все материалы, относящиеся к типам водного режима и увлажненности почв, приведены в соответствии в монографии «Водный режим почв Беларуси» (Минск, 2015). В ней обобщены результаты фундаментальных исследований и мониторинга. В совокупности это позволило надежно характеризовать направление движения или застой влаги в профилях, аргументировать типы водного режима и количество влаги, участвующей в формировании каждой почвы (увлажненность), то есть представить водный режим в полном объеме (А.А. Роде, 1969). Следует отметить,

что 5 типов водного режима охватывают весь возможный диапазон увлажнения почв и актуальны не только для Беларуси, но и для почв всей гумидной зоны северного полушария, кроме мерзлотных. Водный режим как важнейшее свойство почв (Роде, 1972) является маркером генезиса, но пока этому вопросу уделялось недостаточно внимания, и рассматривался он только с позиций подзолообразования. География почв как научная дисциплина проявляется в картографировании почв, составлении почвенных карт, в разных видах районирования и в том числе в изучении структуры почвенного покрова (СПП), сравнительно новом аспекте почвоведения, возрожденном В.М. Фридландом в монографии «Структура почвенного покрова» (Москва, 1972). География почв из описательной науки превращается в инструментальную. Это привлекло к ней множество последователей, в том числе и в Беларуси – составлены карты СПП практически на всю территорию Республики. При этом установлено, что показанная на карте структура почвенного покрова совмещается с природными особенностями Беларуси. Контурные линии на карте СПП представляют закономерно организованные, повторяющиеся почвенные комбинации (геосистемы) с определенным рисунком (геометрией ареала), в деталях различимые на аэрофотоснимках и узнаваемые на снимках со спутников. Тот факт, что они повсеместно обладают сходным потенциалом природопользования и однозначной реакцией на антропогенные воздействия, предполагает возможность разработки общих направлений использования земельных ресурсов с разработкой типовых проектов природоподобных технологий.

Можно ли относить к научно-производственным школам мелиоративное почвоведение и учение о структуре почвенного покрова, должна решать научная общественность.

Приведенная информация дает представление о состоянии белорусского почвоведения в ряду наук о Земле, но в Институте почвоведения и агрохимии с 1958 года активно развивается почвенно-агрохимическое направление, входящее, скорее, в категорию сельскохозяйственных наук. Предметом исследований являются не свойства почв, а их качество, критерием которого служит урожай с гектара. Составленная в 2004 году классификация ориентирована на учет антропогенных трансформаций почв. Важность этого направления несомненна, но чтобы изучать преобразования почв, надо знать их природу. Генетическое почвоведение содержит много сведений о свойствах почв, необходимых в почвенно-агрохимических исследованиях, и, в свою очередь, может использовать данные об антропогенных изменениях для дополнительной информации об особенностях естественных почв.

## ПОЛВЕКА ФОРМИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ПАХОТНЫХ И ЛУГОВЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

**И.М. Богдевич, Ю.В. Путятин, И.С. Станилевич**

*Институт почвоведения и агрохимии, ул. Казинца 90, Минск, 220108, Беларусь,  
email: [ibogdevitch@gmail.com](mailto:ibogdevitch@gmail.com)*

Представлен обзор динамики агрохимических показателей плодородия почв за 50-летний период, в зависимости от гидротехнических и химических мелиораций, интенсивности применения органических и минеральных удобрений. Рассматриваются перспективы цифровизации технологий применения удобрений для расширенного воспроизводства плодородия почв.

**Ключевые слова:** плодородие; мелиорация; известкование; удобрения; гумус; рН; подвижные формы макро- и микроэлементов.

Детальная информация о свойствах почв стала доступна земледельцам Беларуси с 1964 года, когда был завершен первый тур крупномасштабного почвенно-агрохимического обследования земель и все хозяйства получили карты почв в масштабе 1:10000 с подробным описанием сложения и агрохимических свойств всех слоев (горизонтов) до глубины 2 м. В прилагаемых очерках были краткие рекомендации по учету свойств почв при размещении возделываемых культур, проведению гидротехнических и химических мелиораций. В 1965 году организована Государственная агрохимическая служба и крупномасштабное обследование верхнего горизонта пахотных и улучшенных луговых земель стало системным, сначала через пять, а затем через четыре года.

Целью настоящей работы является анализ изменения агрохимических свойств пахотных и луговых почв под влиянием факторов интенсификации земледелия по материалам 14 туров крупномасштабного обследования, а продуктивности земель – по статистическим отчетным данным.

Мониторинг агрохимических свойств почв стимулировал развитие научных исследований. Потребовалось расширение перечня определяемых показателей, установление зон их оптимума и градаций степени кислотности почв, насыщенности их основаниями, подвижными формами макро- и микроэлементов [1]. Высока роль ученых кафедры почвоведения и геоинформационных систем БГУ в создании теоретической основы формирования параметров



плодородия почв и подготовки кадров высшей квалификации. Особенно высок вклад научных школ известных ученых, руководителей кафедры разных лет: И.С. Лупиновича, А.Г. Медведева, В.С. Аношко, Н.В. Клебановича.

Уровень плодородия преобладающих дерново-подзолистых почв определяется комплексом свойств. Одним из важнейших является содержание и качество гумуса, которые определяют многие агрономические свойства и энергетический потенциал почвы [1, 2]. Достоверные изменения содержания гумуса в почвах можно увидеть только за длительный период времени. Динамика содержания гумуса в пахотных почвах за рассматриваемый период имеет сложный характер и зависит от многих факторов (табл. 1). В течение 30 лет формировался сильно положительный баланс гумуса за счет ввода мелиорированных земель, повышения доли многолетних трав до 25 % от посевной площади, высоких доз навоза на торфяной подстилке. В период 1970–2000 гг. в пашню включили около 1 млн. га осушенных дерново-болотных и дерново-подзолистых заболоченных почв с высоким содержанием органического вещества [3]. В итоге, средневзвешенное содержание гумуса в пахотных почвах было повышено с 1,77 % в 1970 г. до 2,28 % в 2000 г. В последующий период (2001–2020 гг.) средневзвешенное содержание гумуса находилось в динамическом равновесии в диапазоне 2,23–2,27 % с тенденцией к снижению в отдельных районах (табл. 1).

Таблица 1

**Динамика содержания гумуса, структуры посевов и доз навоза на пахотных почвах Беларуси**

Показатель	1970	1980	1988	1996	2000	2004	2012	2020
Гумус, %	1,77	1,93	2,18	2,25	2,28	2,25	2,23	2,27
Доля многол. трав, %	16,9	19,1	24,0	24,7	25,1	21,0	12,7	16,5
Доля пропашных, %	16,5	17,1	17,1	9,3	13,2	15,1	23,8	25,0
Доза навоза, т/га	8,0	13,4	14,4	8,9	7,0	6,2	10,0	10,2

Напряженный баланс гумуса обусловлен сокращением площади многолетних трав и расширением доли пропашных культур с 9,3 % в 1996 г. до 25,0 % в 2020 г. за счет посевов кукурузы и сахарной свеклы. Для бездефицитного баланса гумуса (при 10 т/га навоза), нужно иметь в структуре посевов не менее 23% многолетних трав, при соотношении их к пропашным  $\approx 1,5$ –2,0.

Оптимизация степени кислотности почв является важным условием повышения урожайности сельскохозяйственных культур и предпосылкой эффективного применения минеральных удобрений. В 1970 г., после первого цикла известкования, на пашне преобладали ( $\geq 66\%$ ) сильно- и среднекислые почвы с  $pH_{KCl} < 5,0$ . После девяти циклов известкования в 2004 г. доля проблемных почв ( $pH < 5,0$ ) снизилась до 4,5 % (табл. 2). Известкование доломитовой мукой позволило насытить поглощающий комплекс почв обменными

формами кальция и магния с близким к оптимуму эквивалентным соотношением  $Ca^{2+}:Mg^{2+} = 3,5-4,0$ . Благоприятный диапазон кислотности почв для возделываемых сельскохозяйственных культур поддерживается на 70–90 % площади пахотных и луговых земель.

Таблица 2

**Динамика известкования кислых почв, содержания обменных форм кальция и магния в пахотных почвах Беларуси**

Период	CaCO <sub>3</sub> млн т в год	% пло- щади pH<5,0	Ca		Mg	
			мг/кг почвы	% слабо обеспеч.	мг/кг почвы	% слабо обеспеч.
1966-1970	2,7	66,8				
1976-1980	5,6	30,8			56	50,9
1985-1988	5,4	11,8	771	52,7	95	23,4
1993-1996	2,5	5,8	762	28,4	112	9,6
2001-2004	1,9	4,5	743	32,9	118	7,8
2009-2012	1,8	7,1	844	14,7	156	2,9
2013-2016	1,3	9,1	839	17,7	151	4,5
2017-2020	1,1	9,8	822	18,1	146	5,3

Недостаточное финансирование в последние годы, обусловило уменьшение объемов работ по известкованию. Доля проблемных сильно- и среднекислых почв увеличилась до 9,8 % от общей площади пашни. Необходимо обеспечить требуемый объем внесения извести для предотвращения дальнейшего подкисления почв.

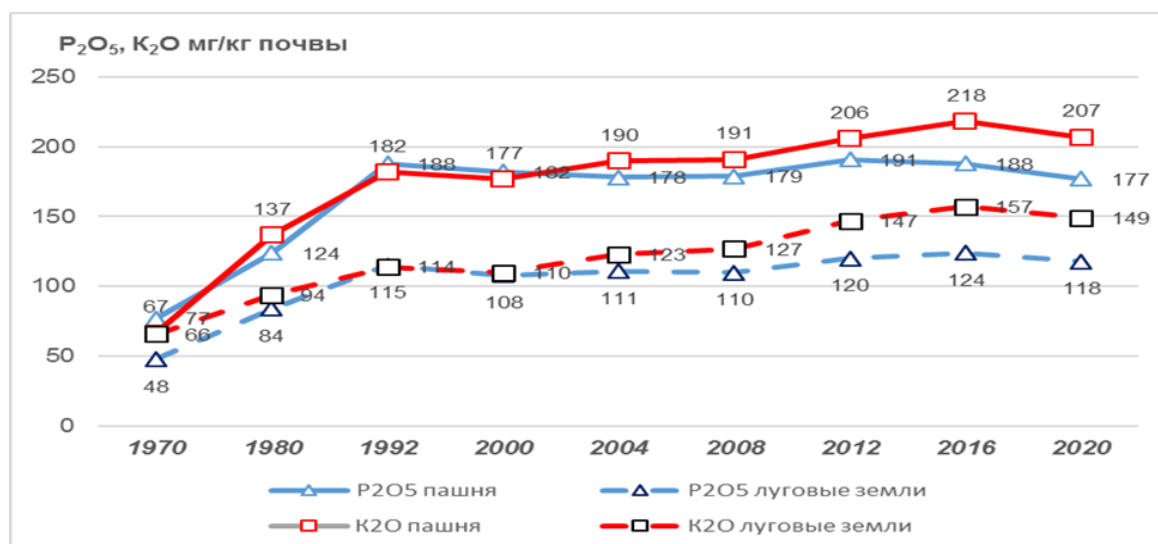


Рис. 1. Динамика средневзвешенных показателей содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотных и луговых почвах Беларуси за 1970–2020 гг.

Показатели содержания подвижных форм фосфора и калия являются информативными признаками окультуренности почв, коррелирующими с

величиной урожайности возделываемых культур и качеством продукции. Заметны два периода повышения запасов фосфора и калия в пахотных и луговых почвах, 1966–1992 и 2001–2016 гг. (рис. 1).

В настоящее время средневзвешенные показатели содержания подвижных фосфатов (177 мг/кг) и калия (207 мг/кг) в пахотных почвах уже достигли нижней части диапазонов оптимума, а обеспеченность луговых почв фосфором необходимо повысить. Предстоит преодолеть значительную пестроту содержания фосфора и калия и оптимизировать их содержание по полям севооборотов и рабочим участкам, для чего потребуется массовое использование цифровых технологий применения удобрений. Важно поддерживать положительный баланс фосфора и калия на суглинистых и торфяных почвах, с высоким потенциалом плодородия. Одновременно, следует уменьшить накопление непроизводительных запасов элементов питания растений на участках малопродуктивных почв.

Средневзвешенные показатели содержания подвижных форм бора, меди и цинка в пахотных почвах Беларуси повышались до 1996 года. В дальнейшем до 2008 года они заметно снизились: В – на 14 %, Cu – на 18 %, Zn – на 25 %, а затем стабилизировалось в динамическом равновесии. Теперь доля слабо обеспеченных почв (1 группа) составляет: В – 3,2 %, Cu – 53,6 %, Zn – 64,3 %. Значительный дефицит микроэлементов в почвах говорит о возросших резервах повышения урожайности и качества продукции многих культур за счет применения микроудобрений. Возросший уровень плодородия позволяет обеспечивать высокую продуктивность севооборотов на уровне 45 ц к. ед. с гектара в последние годы даже при уровне применения минеральных удобрений NPK менее 200 кг/га (рис. 2).

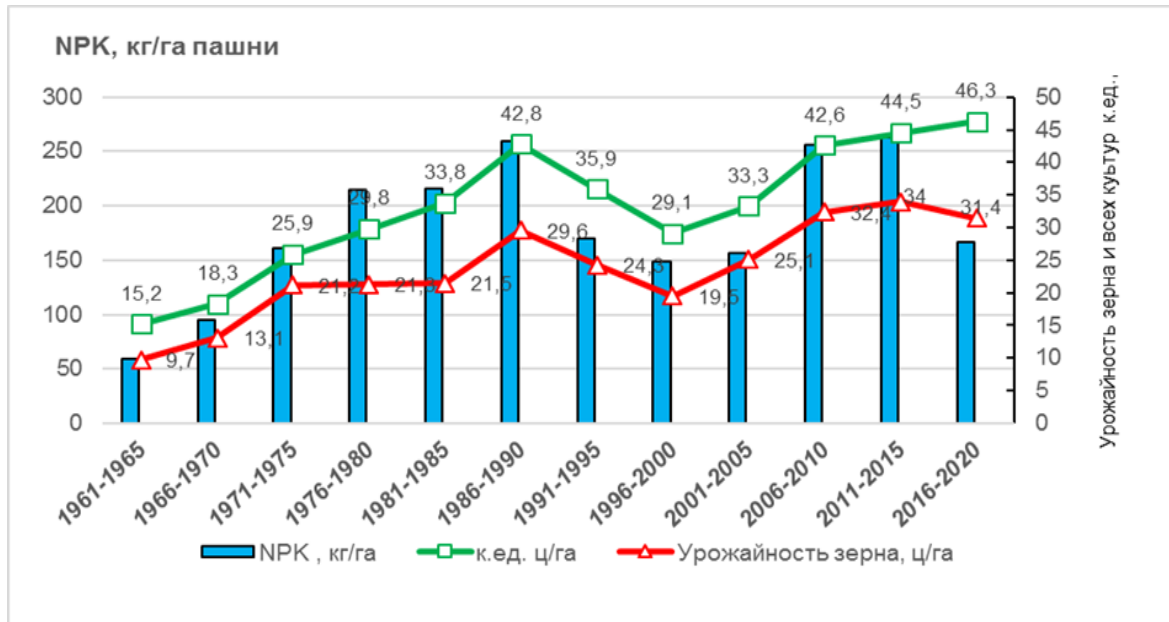


Рис. 2. Динамика среднегодовых доз минеральных удобрений и продуктивности пахотных почв Беларуси

В нынешний период воспроизводство плодородия почв должно базироваться на принципах самокупаемости почвоулучшающих мер. Поэтому особое внимание должно уделяться объемам, составу и дозам используемых макро- и микроудобрений в соответствии с агрохимической характеристикой, не только каждого поля, но и элементарного участка. В 1920 г. усовершенствована методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв с учетом требований цифровых технологий в земледелии [4]. Диапазоны размеров элементарных участков для отбора смешанных образцов почв уменьшены с 3-20 до 0,5-10 га. Расширен перечень агрохимических анализов с каждого элементарного участка до 10 показателей, а на загрязненных радионуклидами землях, дополнительно определяется активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

Результаты крупномасштабного агрохимического обследования почв выдаются землепользователям в виде оцифрованных карт с координатной привязкой и паспортов полей с выделенными элементарными участками на электронных носителях и бумажных аналогах. Результаты каждого тура обследования анализируются в сопоставлении с предыдущими турами до уровня районов и публикуются в открытой печати [5]. Узким местом использования цифровых технологий в сельском хозяйстве является недостаточная техническая оснащенность и квалификация специалистов. Представляется целесообразным организовать на базе кафедры почвоведения и геоинформационных систем БГУ специальные курсы для ведущих преподавателей аграрных ВУЗов, намеренных освоить геоинформационные технологии.

### Библиографические ссылки

1. Оптимальные параметры плодородия почв / Т. Н. Кулаковская [и др.]. М.: Колос, 1984. 272 с.
2. *Кирюшин В. И.* Экологизация земледелия и техническая политика. М.: Изд-во МСХА, 2000. 473 с.
3. Земля Беларуси 2001: справочное пособие / И. М. Богдевич, Н. Н. Бамбалов [и др.]. Под ред. Г. И. Кузнецова. Минск, 2001. 120 с.
4. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. 48 с.
5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии», 2022. 275 с.

## СТАНОВЛЕНИЕ ПАЛЕОПОЧВОВЕДЕНИЯ БЕЛАРУСИ

В.В. Махнач, А.Н. Мотузко

*Белорусский государственный университет, г. Минск, ул. Кальварийская 9, 220030  
Республика Беларусь, email: [mahnahcv@bsu.by](mailto:mahnahcv@bsu.by)*

В статье сделана попытка обобщения информации по спорадическому изучению палеопочв территории Беларуси. Проведена периодизация развития палеопедологии. Основателем палеопочвоведения в Беларуси можно считать академика Г.И. Горецкого. Палеопочвы Беларуси представлены лессовыми почвенными сериями, палеоторфяниками, голоценовыми погребенными почвами и др. В настоящее время в стране развивается геохимическое направление изучения голоценовых палеопочв.

**Ключевые слова:** палеопочвоведение; мюль; второй гумусовый горизонт (Н); погребенный торфяник.

Палеопочвоведение (палеопедология) – наука, изучающая ископаемые почвы прошлых геологических эпох, их свойства, условия формирования и распространения для понимания эволюции природной среды и изучения реликтовых признаков в современных почвах и понимания эволюции почвообразования [1].

По объектам исследования, практическому и научному значению палеопочвоведение сходно с палеонтологией и исторической геологией. Палеопочвоведение междисциплинарное направление, требующее привлечения специалистов разного профиля [2].

Изучение палеопочв на территории Беларуси носит спорадический характер. В истории становления палеопочвоведения Беларуси можно выделить несколько этапов: а) XIX век – этап появления первой информации о палеопочвах, б) начало XX века – попытки первого изучения палеопочв, в) вторая половина XX века до 1990 года – этап становления палеопочвоведения Беларуси, г) 1990 г – по настоящее время – этап становления геохимического изучения голоценовых палеопочв.

Гродненщина стала местом рождения палеопедологии Беларуси. Первое упоминание об ископаемой почве принадлежит ученому-минерологу В.М. Севергину (1803 г.), который описывает погребенный торфяник в районе Гродно. При посещении Гродно в 1873 году академик Г.П. Гильмерсен упоминает выходы погребенных торфяников у д. Жидовщизна (ныне Принеманская). Летом 1883 года в ходе изучения региона А.Э. Гедройц описывает межледниковые обнажения с погребенными почвами у деревень Богатыревичи, Жидовщизне, Щетинове и Понемуни [3, с. 22].

Первое изучение погребенной почвы можно найти в работах А.Б. Миссуны, (1904, 1909 гг.), в Верхненеманской низменности она описала погребенный торфяник у д. Богатыревичи. Позже в овраге, который пересекает д. Пышки, был найден выходящий аналогичный торфяник. В 1910 г. В.Н. Сукачев по данным А.Б. Миссуны установил муравинский возраст погребенных почв. Перу Анны Болеславовны принадлежит геологический очерк геологии Новогрудского уезда, где описан разрез с лессовыми почвенными сериями у д. Тимошковици [3, с. 36].

В 1929 году А.М. Журмунский описывает разрез Деснениново на левом Берегу Западной Двины, он отмечает что между моренными отложениями представлены здесь «ископаемой почвой» и «ископаемым торфом» [3, с 87].

К сожалению, в период с 1930 по 1950 г. данные о новых находениях палеопочв отсутствуют.

Новую эпоху с палеопочвоведения следует связать с именем Г.И. Горецкого и его учениками. Отцом палеопочвоведения на территории Беларуси следует по праву считать Г.И. Горецкого [4,5], который при изучении продолин крупных рек обратил внимание на погребенные почвы. Аналогичные почвы представляющие суглинистые горизонты с торфом Гаврила Иванович устанавливает в долине р. Волги. В 1967 году Г.И. Горецкий изучает четвертичные разрезы в районе г. Гродно. А в 1970 г. при изучении александрийский отложений обращает внимание на линзы старичных гиттий и торф, которые были погребены и представляют собой аллювиальные свиты. На основе многочисленных данных развивается новое направление палеопалеонтология в Беларуси и попутно с исследованиями продолин крупных рек появляются новые данные о палеопочвах. При Институте геохимии и геофизики АН БССР Г.И. Горецкий создает школу геологов четвертичников, которые продолжают изучение современных отложений

В 1980 году А.Ф. Санько описал новый разрез лессов с погребенными почвами на северо-востоке Беларуси [6]. В разрезе Кобеляки погребенная почва была представлена прослоями супесей желтовато-серых и бурых. Толща была затронута мерзлотными процессами в виде косм и клиньев. В слоях встречаются зерна гравия. Позже образцы с разреза были переданы на палинологическое изучение. Я.К. Еловичева, которая исследует образцы разреза Кобеляки придет к выводу, что почва формировалась в переходных условиях от суровых перегляциальных к межледниковым.

В лаборатории геологии и палеопалеонтологии антропогена Г.И. Горецкого набирает мощь палеопалинологическое направление. На основе палеоботанических данных в 1986 году была проведена реконструкция динамики почвенного покрова [7], проделана с учетом общих закономерностей формирования почвенного профиля. На основе этих данных для всех

междюниковий установлена сходная смена растительности, в соответствии с которой происходила последовательная смена почв: тундрово-болотные, подзолистые, дерново-подзолистые, серые лесные или лесные буроземы, дерново-подзолистые, тундровые.

В начале 1990 годов вместе с перестройкой появляется новое направление в изучении палеопочв - геохимическое. Оно было начато в 1990 годы [8,9] и продолжается до настоящего времени. Объектами изучения явились поймы крупных рек Беларуси (Западной Двины, Немана, Днепра и Припяти и др.). На данном этапе важным стало изучение педогенеза, установление пространственного распределения химических элементов в почвах с целью палеогеографических реконструкций [10].

Геологи-четвертичники, палеонтологи А.Ф. Санько и Г.И. Литвинюк установили в 1997 году, что в позднем голоцене, около  $3310 \pm 110$  лет назад, эрозия на склонах ложбины в долине р. Птичь привела к фоссилизации почвы. Погребенная почва сначала была перекрыта горизонтом делювия, который накопился в результате переработки этой почвы и залегающего выше по склону поозерского делювия, а затем субатлантическим делювием (мощность 0,55 м), поступавшим при размыве современной почвы и частично из верхней части склона [11].

Большой вклад в изучение вещественного состава голоценовых палеопочв внесли Л.Н. Рябова и В.Н. Кузнецов (2001). Они установили второй гумусовый горизонт (Н), который существенно отличается по морфологии от современного ( $A_1$ ). Л.Н. Рябовой и В.Н. Кузнецову принадлежит нахождение гумуса типа мюль – глубоко гумифицированного органического вещества, образование которого связывают с длительным периодом биологической активности почв, в течение которого создавались благоприятные условия вегетации растений, активной микробиологической деятельности и биохимических процессов [12].

Итогом обобщения данных с 1990 по 2000 года об ископаемых почвах стала монография в составе коллектива авторов В.А. Кузнецова, Н.Н. Петухова, Л.Н. Рябовой, М.П. Оношко, В.А. Генералова, С.Н. Веремчук, Я.К. Еловичевой, И.Н. Вершицкая - Голоценовые палеопочвы речных долин Беларуси: геохимические аспекты исследования, которая вышла в свет в 2004 году [13].

Изучением содержания органического вещества и азота в почвах голоцена занималась М.П. Оношко. Она установила, что погребённые почвы нередко встречаются среди голоценовых отложений и приурочены к аккумулятивным и транзитно-аккумулятивным ландшафтам: поймы рек, овраги и лоцины, на склонах и их подножиях. Захоронение почв происходит в результате протекания аллювиальных, пролювиальных, делювиаль-

ных и эоловых процессов. Для погребённых почв среднеголоценового возраста речных долин характерно повышенное (в 1,3—1,7 раза) содержание азота [14].

При помощи палинологического метода Я.К. Еловичева описала условия формирования погребённых голоценовых почв в районе д. Стайки в долине Днепра. Она установила, что развитие почвы происходило в период SA-3 (1600 л. н. - современность)) в условиях прохладного и сухого климата, затем умеренно теплого и сухого – в предоптимальное время, теплого и влажного в оптимуме голоцена, умеренно теплого и влажного, сменившегося умеренно теплым и сухим в постоптимальное время. Ядвиге Казимировне удалось установить сукцессионный ряд, который повлиял на формирование почвы [15].

В настоящее время, несмотря на уже достаточно большой объем накопленных знаний, мы стоим у истоков становления палеопочвоведения Беларуси.

### Библиографические ссылки

1. Paleopedology Glossary // Paleopedology Commission Newsletter. 1997. № 14. Режим доступа: <http://fadg.msu.ru/inqua/nl-14/> Дата доступа: 15.08.2023.
2. *Махнач В. В., Мотузко А. Н.* Значение изучения палеопочв в учебном процессе для целей развития палеогеографической науки // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение: мат. Межд. науч.-практ. конф., 6–8 июня 2012 г, г. Минск / редкол.: И. И. Пирожник (гл. ред.), [и др.]. Мн.: БГУ, 2012. С. 123–125.
3. История геологических наук в Белорусской ССР / Г. В. Богомоллов [и др.]. Мн.: Наука и техника, 1978. 272 с.
4. *Горецкий, Г. И.* О возрасте древних аллювиальных свит антропогена, погребённых в долинах Волги и Камы / Г. И. Горецкий // Доклады АН СССР. 1956. Т. 110, № 5. С. 825–827.
5. *Горецкий Г. И.* Погребённые почвы, погребённый почвенный делювий и трещины усыхания как стратиграфические документы при инженерно-геологических изысканиях / Труды Гидропроекта. 1963. Сб. 9.
6. *Санько А. Ф.* Новый разрез лессов с погребёнными почвами на северо-востоке. ... Геологические исследования земной коры Белоруссии / Мн.: Наука и техника, 1980. С. 82–86.
7. *Гурский Б. Н., Ковхута М. Г., Калечиц Е. Г.* Река Сож. Минск: Наука и техника, 1986. 96 с.
8. *Кузнецов В. А., Рябова Л. Н.* Геохимическая характеристика погребённых почв голоцена // Докл. АН Беларуси. 1995. Т. 39, № 6. С. 96–100.
9. *Петухова Н. Н., Кузнецов В. А., Никитин А. Б.* О геохимической эволюции голоценовых почв бассейна Припяти // Всерос. совещ. по изуч. четверт. периода: Тез. докл. М., 6–11 июня 1994 г. М., 1994. С. 189.
10. *Петухова Н. Н., Веремчук С. Н.* Геохимическая характеристика пойменных почв бассейна Зап. Двины. Літасфера. Мн., 2001. С. 137–144.



11. *Kalicki T., Sanko A. F., Litvinjuk G. I.* Zapis poznoglacjalnych i holocenskich zmian klimatu i dzialalnosci clowieka w osadach dna i sboczy doliny Pтыczy kolo Minska // *Badania ewolucji dolin rzecznych na Bialorusi – I. Dok. Geogr.*, N 6. Pod red. T. Kalickiego. Wroclaw, 1997. S. 83–104.

12. *Рябова Л. Н., Кузнецов В. А.* Органическое вещество голоценовых почв: состав, трансформация, индикационные признаки. Літасфера. Мн., 2001. С. 131–136.

13. *Кузнецов В. А., Петухова Н. Н., Рябова Л. Н., Оношко М. П., Генералова В. А., Веремчук С. Н., Еловичева Я. К., Вершицкая И. Н.* Голоценовые палеопочвы речных долин Беларуси: геохимические аспекты исследования / ИГН НАН Беларуси. Мн, 2004. 187 с. Монография депонирована БелИСА, № Д200432.

14. *Оношко М. П.* Органическое вещество и п в погребённых почвах голоцена / Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых: материалы Межд. науч.-практ. конф., 14–16 марта 2007 г., Мн. / под. ред. О. В. Лукашёва ; редкол. : А. А. Махнач (пред.) [и др.]. Мн : Изд. центр БГУ, 2007. С. 47–49.

15. *Еловичева Я. К.* Возраст и условия формирования погребённых почв в разрезе у д. Стайки по данным палинологических исследований / Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2017. №1. С. 137–145.

## ПОЧВЕННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А.П. Теренёва, О.В. Симанков

*Республиканское унитарное предприятие «Проектный институт Белгипрозем»,  
Минск, Беларусь, email: [otdel5@belgiprozem.by](mailto:otdel5@belgiprozem.by)*

В статье представлена обзорная информация об особенностях почвенного обследования земель сельскохозяйственных организаций в Республике Беларусь. Дана аналитическая информация по типам и видам эрозии на землях сельскохозяйственных организаций Несвижского района Минской области, с учетом направленности эрозионных процессов в районе и распространении эродированных почв.

**Ключевые слова:** почва; обследование земель; земельные ресурсы; эрозия.

Рациональное использование земель, повышение их продуктивности во многом зависят от точности и достоверности сведений о почвах и почвенном покрове территории, от качественного и количественного учета земельных ресурсов [1].

В 1965 году в Беларуси начались крупномасштабные почвенные обследования, которые продолжаются уже многие годы. На сельскохозяйственных землях они были в основном завершены уже к 1967 г., что дало возможность создать районные, а к 1968–1972 гг. – областные почвенные карты. В 1977 г. была составлена почвенная карта Беларуси. Работы по подсчету площадей почв всех земель по районам и областям были впервые проведены в 1968 г. К 1980-м гг. материалы успели в какой-то мере устареть, поэтому на части площадей было проведено повторное обследование, а на многих других – корректировка имеющихся материалов. Материалы II тура (1966–1984) крупномасштабного почвенного картографирования послужили основой для уточнения площадей почв сельскохозяйственных земель по состоянию на 1985 год. Основная работа по III туру почвенных обследований (1985–2004) сводилась к корректировке почвенных карт и обновлению сводных почвенных материалов.

В Республике Беларусь почвенное обследование сельскохозяйственных земель проводится с целью изучения и корректировки результатов, получения сведений о компонентном составе и состоянии почвенного покрова земель, а также площадях распространения типов и разновидностей почв, создания и обновления почвенных карт с использованием ГИС-технологий [2].

Результаты почвенного обследования земель используются для целей землеустройства, кадастровой оценки сельскохозяйственных земель, агрохимического и радиологического обследования сельскохозяйственных земель и иных целей.

В ходе почвенных обследований и изысканий формируется почвенный очерк и почвенная карта, отображающая размещение почв (их типов, подтипов, видов), а также гранулометрический состав почв и почвообразующие породы.

С 2005 года и по настоящее время УП «Проектный институт Белгипрозем» проводит работу по корректировке почвенных материалов осушенных и прилегающих к ним земель сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь. Объектом обследования являются осушенные сельскохозяйственные земли и неосушенные сельскохозяйственные земли с торфяным и дерготорфяными почвами и сельскохозяйственные земли, имеющие связно-супесчаный, суглинистый и глинистый гранулометрический состав.

Это связано со степенью антропогенной трансформации профиля зональных почв, так как он обусловлен исходными особенностями почвенного покрова и характером деятельности человека. Многочисленными исследованиями доказано, что особенно экологически неустойчивыми являются осушенные торфяные почвы. Гидротермическая деградация этих почв определяет сработку торфа, приводит к образованию новых почв, вызывает закономерное снижение плодородия сельскохозяйственных земель [3].

В настоящее время основное направление работ – это почвенное обследование эрозионно опасных и подверженных эрозии земель сельскохозяйственных организаций в рамках реализации мероприятий Государственной программы «Земельно-имущественные отношения, геодезическая и картографическая деятельность» на 2021–2025 годы. Это связано с высоким экономическим ущербом, который наносят эрозионные процессы сельскохозяйственному производству и окружающей среде.

Проблема эрозии почв является одним из основных факторов, влияющих на их плодородие. Виды, типы, факторы, а также интенсивность эрозионных процессов во многом определяются рельефом местности, составом почв и их образующих пород, растительным покровом, климатом, а также уровнем антропогенной нагрузки на почвенный покров.

Кроме этого, от эрозионных процессов значительно снижается продуктивность сельскохозяйственных культур. По данным лаборатории агрофизических свойств почв и защиты почв от эрозии Института почвоведения и агрохимии установлено, что снижение урожайности сельскохозяйственных культур связано с потерей элементов минерального питания. С 1 га с поверхностным стоком смывается или выносится ветром в среднем до 10–15

т твердой фазы почвы, 150–180 кг гумусовых веществ, безвозвратно теряется до 10 кг азота, 4–5 кг фосфора и калия, 5–6 кг кальция и магния [4].

Сложность и специфичность этих работ обусловлена необходимостью отображения вновь выделенных почвенных таксонов на планово-картографической основе среди ранее выделенных при проведении почвенного обследования на основании диагностики в полевых условиях более 130 почвенных разновидностей различного генезиса, гранулометрического состава, степени увлажнения почвообразующих и постилающих пород, степени эродированности, формирование которых происходило под воздействием природно-антропогенных факторов, имеющих региональные особенности проявления.

В Республике Беларусь водной эрозии подвержено 473,3 тыс. га. Эродированные почвы приурочены преимущественно к пахотным землям – 414,1 тыс. га (9,5 % от общей площади пашни). Из общей площади почв, подверженных водной эрозии, 268,3 тыс. га (57 %) составляют слабосмытые почвы, 120,0 тыс. га (25 %) – среднесмытые почвы, 20,2 тыс. га (4 %) – сильносмытые почвы и 64,7 тыс. га (14 %) – намытые почвы [5, 6].

По данным корректировки результатов почвенного обследования, проведенного в 2021 году в Несвижском районе Минской области, было установлено, что площадь почв, подверженных эрозии, составляет 6554 га (рис. 1, 2). Основная доля почв подвержена водной эрозии и составляет 9,6 % от общей площади сельскохозяйственных земель в районе.

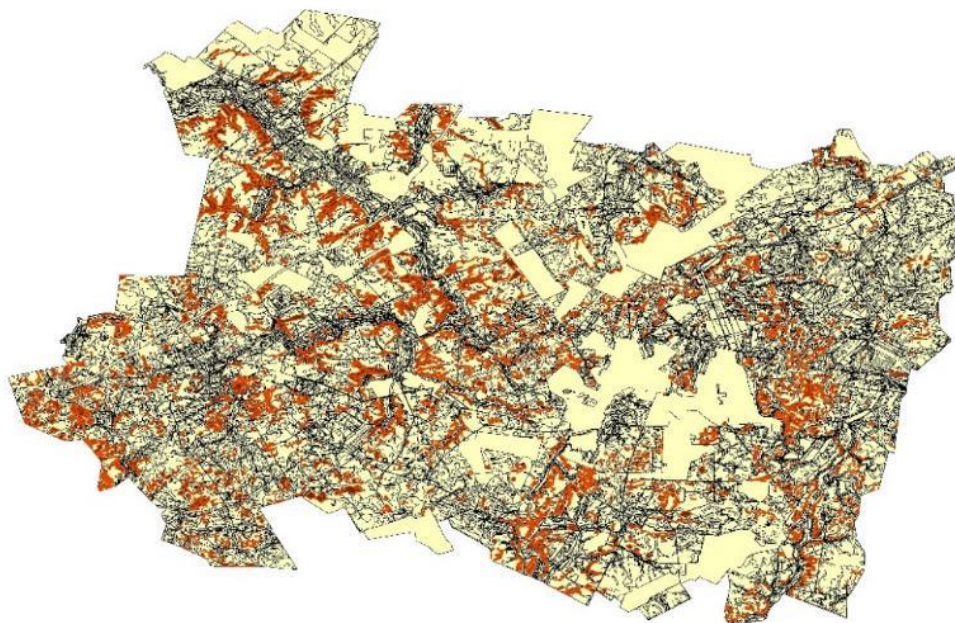


Рис. 1. Распределение эродированных почв на территории Несвижского района Минской области

В течении года смыв почвы может наблюдаться в два периода – во время зимних оттепелей и весеннего снеготаяния, а также в период стокообразующих дождей. Водная эрозия проявляется на склонах в виде смыва верхней части почвенного покрова или в виде размыва в глубину [5].

По степени подверженности водной эрозии распределение данных почв представлено на рис. 2. Доля слабосмытых почв составляет 71,6 % от площади почв, подверженных водной эрозии. Среднесмытые и сильносмытые почвы занимают 10,1 % и менее 1 % соответственно.

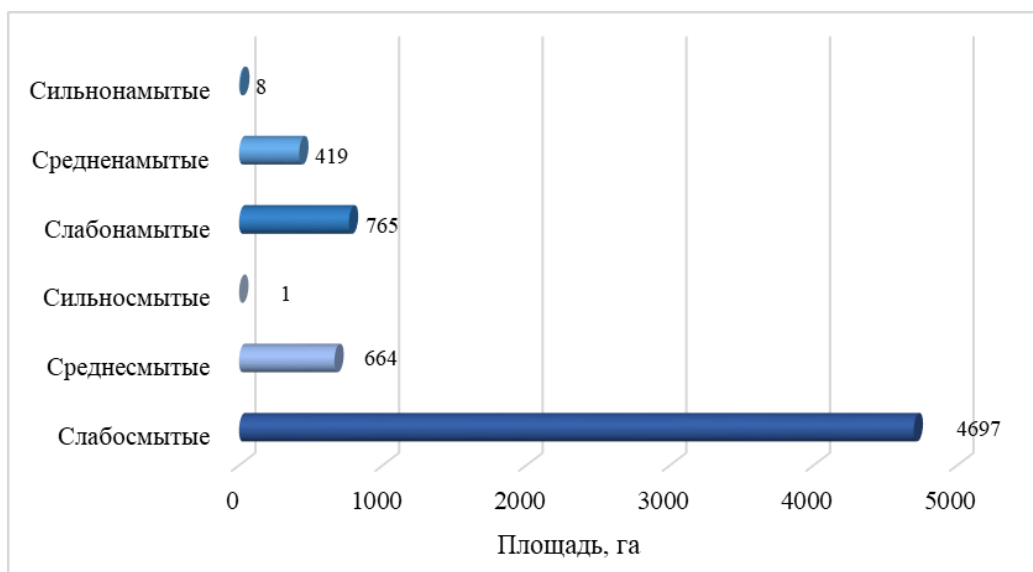


Рис. 2. Распределение почв Несвижского района Минской области по степени подверженности эрозии

Слабонамытые почвы занимают площадь 765 га, что составляет 11,7 % от площади эродированных земель. Средне- и сильнонамытые почвы занимают в районе 419 га и 8 га соответственно.

С учетом данных анализа эродированных почв Несвижского района необходимо использовать комплекс противоэрозионных мероприятий, направленных на формирование сбалансированной структуры посевных площадей и внедрение дифференцированных почвозащитных севооборотов. Работы, проводимые РУП «Проектный институт Белгипрозем» по почвенному обследованию сельскохозяйственных земель, помогают сельскохозяйственным организациям рационально использовать земли и сохранять их плодородие.

## Библиографические ссылки

1. Полевое исследование и картографирование почв БССР : методические указания / БелНИИПА. Минск : Ураджай, 1990 . 220 с.
2. ТКП 651 – 2020 (33520) Почвенное обследование земель и создание, обновление почвенных карт. Порядок и технология работ. Минск: Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, 2020. 66 с.
3. *Смеян Н. И., Цытрон Г. С., Шибут Л. И., Бубен И. И.* Методические указания по корректировке почвенных материалов осушенных и прилегающих к ним земель в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь : метод. указания. Минск : Ин-т почвоведения, РУП «Проектный институт Белгипрозем», 2005. 17 с.
4. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионно-опасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации / под общ. ред. А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. Минск, 2005. 52 с.
5. *Цыбулько Н. Н.* Водная эрозия почв сельскохозяйственных земель Беларуси // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2022. № 3. С. 102–109.
6. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. Минск: ИВЦ Минфина, 2017. 170 с.

## РАЗДЕЛ II

# АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ. ВОПРОСЫ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 631.459.21

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ПОЧВЕННОЙ СЪЕМКИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИИ ПАШНИ НА ЗЕМЛЯХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ПОЧВЕННОЙ ЭРОЗИИ

**А.О. Аввакумова**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань,  
ул. Кремлевская, 18, 420008, Россия, email: avvakumova\_alina@mail.ru*

Развитие эрозионных процессов на территории сельскохозяйственных земель обуславливает необходимость более эффективного использования эродированных и эрозионно-опасных почв, совершенствования методики противозерозионной организации территории сельскохозяйственных организаций. В исследовании представлены методические подходы к организации пашни на землях, подверженных водной эрозии, как одной из составных частей проекта внутрихозяйственного землеустройства, с использованием данных крупномасштабной почвенной съемки на примере территории коллективного сельскохозяйственного предприятия «Игенче» Алексеевского района Республики Татарстан. В ходе работы проанализированы картографические материалы, схемы территориального планирования муниципального района, организационно-производственная структура хозяйства и предложена система севооборотов, противозерозионных мер, отвечающих специализации сельскохозяйственного предприятия, почвенным характеристикам, особенностям рельефа.

**Ключевые слова:** почвенная эрозия; внутрихозяйственное землеустройство; почвенная карта; карта почвенной эрозии; севооборот.

За последние десятилетия на территории Российской Федерации наблюдается неуклонное увеличение площадей земель сельскохозяйственного назначения, подверженных водной эрозии. При этом наблюдается значительное уменьшение распашки земель. Так, в 1960 году эта цифра составляла 82,6 % от общей территории, а на сегодняшний день происходит сокращение до 77 %. Такое снижение обуславливается также переводом пашни в пастбища и сенокосы.

Проект внутрихозяйственного землеустройства определяет новую форму организации территории, которая должна способствовать росту эффективности землепользования. Важно не только определить наилучший состав и площади земельных угодий в хозяйстве, разработать мероприятия по их

дальнейшему улучшению, но и провести внутреннее устройство территории каждого севооборота, сельскохозяйственного угодья, участка земли с целью организации их рационального использования, осуществления производственных процессов. При этом материалы крупномасштабных почвенных и почвенно-эрозионных обследований, позволяют не только охарактеризовать почвенный покров, но и выделить участки сельскохозяйственных угодий, которые нуждаются в проведении работ по коренному и поверхностному улучшению [1]. В России крупномасштабное картографирование почвенного покрова производится согласно единой общесоюзной методике, принятой еще в 1973 г. Степень эродированности почв устанавливаются в поле в процессе картографирования почв и уточняются в камеральный период по результатам лабораторных анализов. При разделении почв, подверженных водной эрозии (смытых), пользуются различными диагностическими показателями, подразделяя почвы на несмытые, слабосмытые, среднесмытые и сильносмытые [2].

Территория исследования – коллективное сельскохозяйственное предприятие «Игенче» Алексеевского района Республики Татарстан, расположенное на берегу Куйбышевского водохранилища, в 108 км. к юго-востоку от г. Казани. Регион находится в подзоне смешанных и широколиственных лесов и лесостепных ландшафтах востока Русской равнины и характеризуется крайне высокой интенсивностью процессов склоновой (почвенной и овражной) эрозии. В качестве исходных материалов в исследовании использовались данные почвенного картографирования масштаба 1:10000 за 2001 г., предоставленные ОАО РКЦ «Земля».

Доминирующими типами почв являются черноземы (рис. 1). Они занимают площадь размером около 3000 га, или около 3/4 площади всего хозяйства. Это черноземы выщелоченные, оподзоленные и типичные, с преобладанием выщелоченных. Также представлены светло-серые, серые и темно-серые лесные, болотно-подзолистые, лугово-черноземные, лугово-болотные и аллювиальные дерновые почвы. Хорошо развита овражно-балочная сеть. Почвообразующие породы представлены в основном глинами и суглинками.

На основе цифровой почвенной карты была составлена карта почвенной эрозии (рис. 2). Средствами ГИС MapInfo Professional 10.5 были подсчитаны площади, занятые всеми категориями смывности почв и выявлены типы почв, подверженных эрозии. На исследуемой территории эрозионным процессам больше всего подвергаются почвы, мощность гумусового горизонта которых очень мала (черноземы выщелоченные и серые лесные).

Выделение территории пашни производилось с использованием данных дистанционного зондирования Земли и Публичной кадастровой карты.



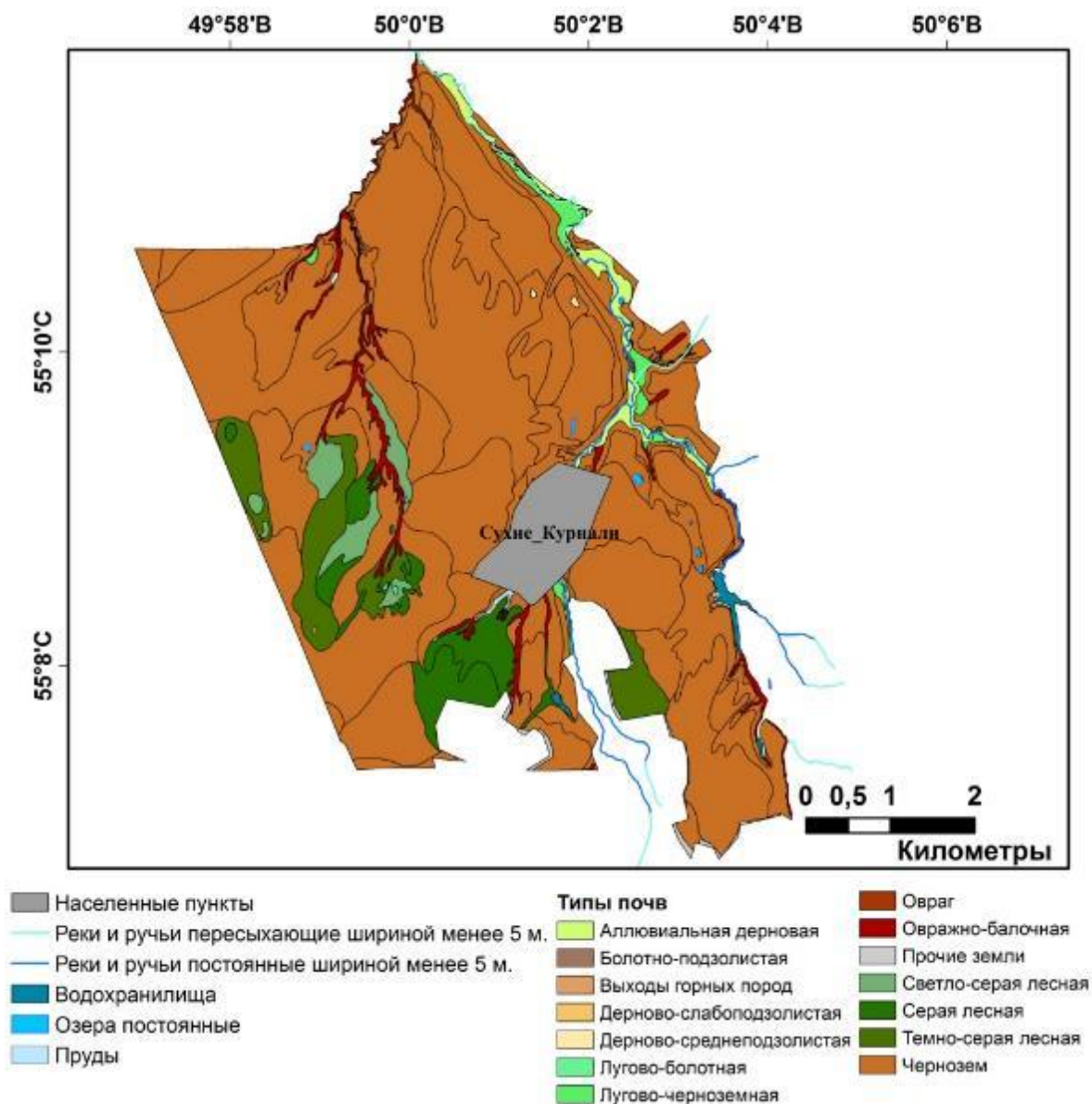


Рис. 1. Почвенная карта КСХП «Игенче» Алексеевского района (2001 г.)

Поскольку от рельефа местности зависят производительность работ сельскохозяйственных машин, орудий, транспорта, характер мероприятий по борьбе с эрозией, устройство оросительных и осушительных систем, сроки проведения сельскохозяйственных работ, при организации территории пахотных земель необходимо учитывать крутизну и направление склона. Карта уклонов была составлена средствами ГИС ArcMap 10 на основе гидрологически корректной цифровой модели рельефа.

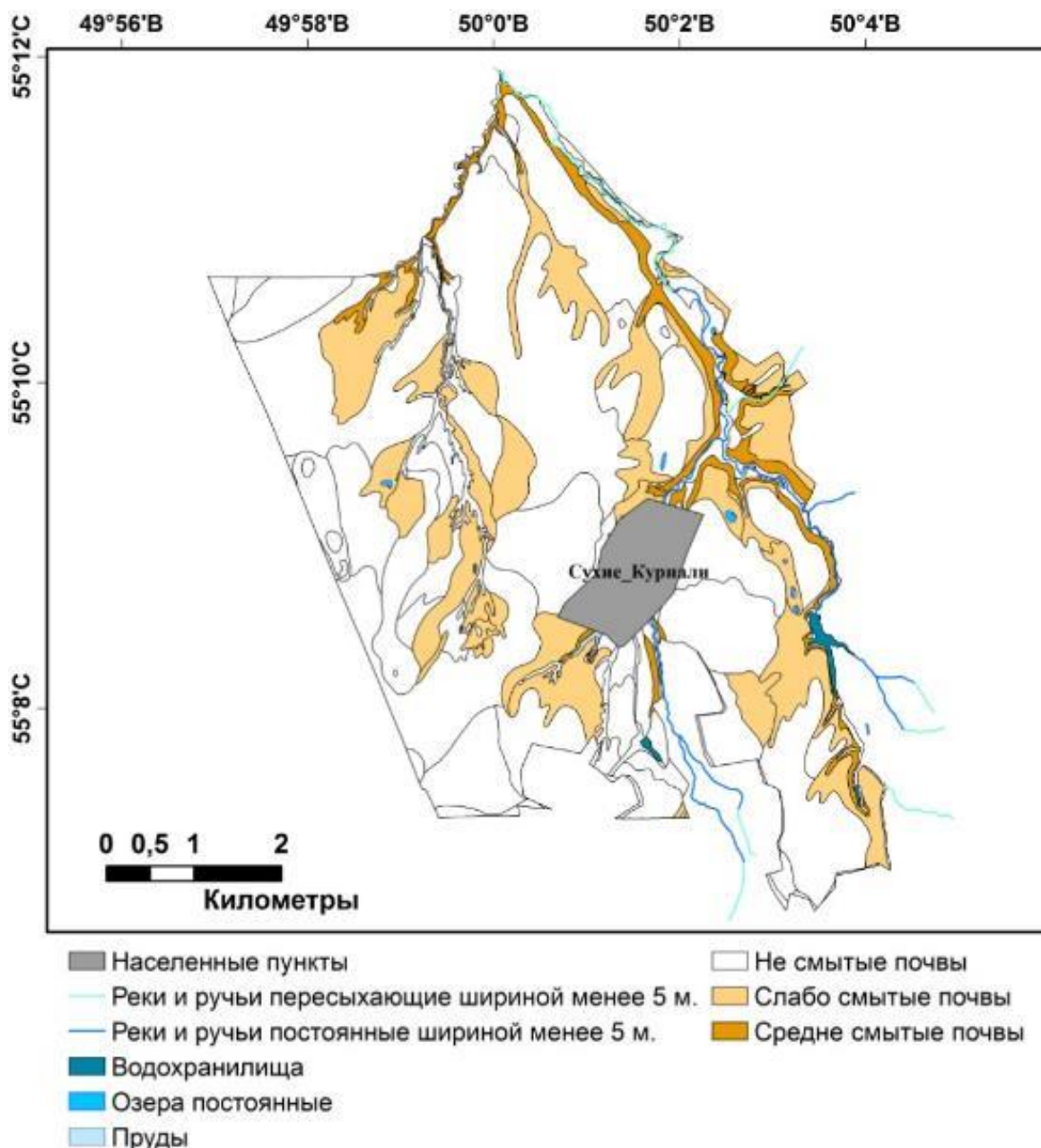


Рис. 2. Карта почвенной эрозии КСХП «Игенче» Алексеевского района (2001 г.)

На основе анализа картографических материалов, схемы территориального планирования муниципального района, организационно-производственной структуры хозяйства на проектируемых участках (рис. 3) были выбраны севообороты и система противоэрозионных мер, которые отвечают специализации сельскохозяйственного предприятия, почвенным характеристикам, особенностям рельефа.



Рис. 3. Расположение рабочих полей на участках проектирования севооборотов

Данные исследования являются неотъемлемой частью составления проекта внутрихозяйственного землеустройства для организации рационального использования и охраны земель и связанных с ней средств производства в сельскохозяйственных организациях [3].

### Библиографические ссылки

1. Землеустройство. Землеустроительное проектирование. Т. 2 : учеб. пособ. для студ. вузов / С.Н. Волков [и др.]. Москва : КолосС, 2002. 328 с.
2. Федорин Ю.В. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт. Москва : Колос, 1973. 97 с.
3. Барсукова Г.Н., Радчевский Н.М., Хлевная А.В., Юрченко К.А. Землеустроительное проектирование : учеб. пособие. Ч. 1. Краснодар : КубГАУ, 2016. 185 с.

## ОЦЕНКА ВТОРИЧНО ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВ В ОСУШЕННЫХ АГРОЛАНДШАФТАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

**О.А. Анциферова**

*ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,  
Калининград, email: [anciferova@inbox.ru](mailto:anciferova@inbox.ru)*

Предложена система оценки переувлажненных почв на основе учета их потенциальных и актуальных площадей. Проведен анализ степени гидроморфизма осушенных почв сельскохозяйственных угодий по административным и геоморфологическим районам Калининградской области. На основе генетической принадлежности глеевых почв показаны различия ландшафтных условий сельскохозяйственных угодий. Сопоставлены площади потенциальных и актуальных почв, подверженных вторичному переувлажнению и поверхностному заболачиванию. Обнаружена сильная пространственная вариабельность доли экологически неблагоприятных почв с систематическим неудовлетворительным водно-воздушным режимом в составе пахотных угодий в пределах холмисто-моренных и озерно-ледниковых равнин.

**Ключевые слова:** гидроморфизм почв; оглеение; ландшафтные районы; глеевые почвы; переувлажнение.

Переувлажненные пахотные почвы составляют 38,3 % в Северо-Западном Федеральном округе [1, 2]. Наибольшая опасность переувлажнения почв наблюдается в Архангельской, Псковской, Калининградской областях и Республике Коми. Переувлажнение и подтопление на осушаемых землях являются деградационными процессами, снижающими количество и качество сельскохозяйственной продукции [3]. Целью работы явилась оценка потенциальных и актуальных площадей оглеенных осушенных почв, подверженных переувлажнению в агроландшафтах Калининградской области на основании анализа картографических материалов, дистанционного и наземного мониторинга.

В настоящее время наблюдается неопределенность в оценке площадей почв сельскохозяйственных угодий, подверженных переувлажнению. Официальные источники оперируют данными Калининградского отделения СевЗапГипрозема, которое было ликвидировано в начале XXI в. Сведения ФГБУ «Управление «Калининградмелиоводхоз» показывают, что площади осушенных почв сельскохозяйственных угодий, попадающих в категорию «неудовлетворительное состояние» ввиду несвоевре-



менного отвода поверхностных вод и поднятия уровня грунтовых вод варьируют от 27,5 до 38,5 % в зависимости от степени увлажненности года. При этом никакой научной основы и информации о генетической принадлежности данных почв не приводится. На фоне развития современных технологий такая ситуация тормозит формирование информационной базы о переувлажненных почвах (землях) и препятствует оценке агроландшафтов по их пригодности для введения адаптивно-ландшафтных систем и точного земледелия.

В связи с этим нами предлагается система оценки переувлажненных почв на основе генетических признаков гидроморфизма, в первую очередь степени оглеения. Морфологические проявления оглеения возникают в результате переувлажнения и заболачивания различной длительности [4]. Анализ крупномасштабных карт дает информацию о потенциальных площадях почв, подверженных переувлажнению. Так как речь идет об агроландшафтах с регулируемым водным режимом путем осушительной мелиорации, то отрицательный экологический потенциал оглеения может и не проявиться. Поэтому требуется учет динамических компонентов (степени эффективности работы осушительных систем и мониторинг очагов вымочек на полях), которые приводят к возникновению переувлажнения на оглеенных почвах. Эта задача решается с помощью дистанционного мониторинга и наземного обследования (рис. 1).



Рис. 1. Схема оценки почв, подверженных переувлажнению на сельскохозяйственных угодьях

Большой фактический материал, накопленный в результате многочисленных исследований в Нечерноземной полосе Европейской части России

и сопредельных стран (Прибалтика, Беларусь) показывает четкую агроэкологическую закономерность в почвах агроландшафтов по урожайности большинства полевых культур, которая снижается в ряду: неоглеенные → глееватые → глеевые [3]. Многолетний сопряженный мониторинг гидрологического режима и биологической продуктивности зерновых культур и рапса в условиях производственных полей самой увлажненной западной части Калининградской области позволил выявить различную вероятность снижения в зависимости от степени оглеения и геоморфологических условий. К первой группе относятся осушенные глееватые зональные почвы (буроземы, дерново-подзолистые), которые составляют основной пахотный фонд региона. Производственно значимая вероятность снижения урожайности на фоне интенсивных агротехнологий возникает от переувлажнения в годы с превышением осадков над среднегодовой нормой (влажные годы), единовременным выпадением экстремального количества осадков. Наиболее опасным периодом является август и осенние месяцы.

Ко второй группе относятся осушенные дерново-подзолистые и дерново-глеевые почвы в открытых понижениях. Данные почвы испытывают переувлажнение от намывных склоновых вод, верховодок, частичной подпитки грунтовыми водами. Урожайность сельскохозяйственных культур на почвах открытых понижений отличается контрастностью. Снижение урожайности на 47–62 % происходит при сырых условиях весны и осени. Значительный потенциал плодородия почв вследствие повышенного содержания гумуса, доступных форм калия, фосфора и особенно азота (за счет миграции со склонов) реализуется в максимальном урожае только в вегетационные сезоны с ГТК 0,8–1,1; оптимумом влажности и аэрации. Однако полная спелость зерновых и рапса наступает на неделю позже по сравнению с вершинами и склонами.

К третьей группе относятся осушенные дерново-глеевые и болотные низинные почвы в замкнутых понижениях. Особенностью почв является поверхностное затопление в позднеосенний – ранневесенний период в сочетании с верховодками и подпиткой от грунтовых вод. Замкнутые понижения являются основными очагами вымочек, где происходит систематическая гибель посевов еще на стадии всходов или в фазе кущения вне зависимости от количества выпавших осадков.

Таким образом, в условиях Калининградской области наиболее вероятным является развитие переувлажнения на глеевых почвах с последующим снижением урожая. Оценку доли таких почв в составе почвенного покрова сельскохозяйственных угодий области проводили путем статистического анализа массива данных [5]. Выяснилось, что распределение почв

по степеням оглеения следующее: условно неоглеенные – 14,8 %, глееватые – 55,2 %, глеевые – 30,1 %. Расчет проведен без учета почв овражно-балочного комплекса и лесов на землях сельхозназначения. Территория Калининградской области относится к бореальному поясу, зоне дерново-подзолистых почв южной тайги и включает 12 физико-географических районов [6]. Для выяснения роли геоморфологических условий провели наложение схемы административных единиц на карту физико-географических районов. По ландшафтным условиям выделили четыре группы административных районов: 1) с преобладанием холмисто-моренных возвышенностей (хм возвышенности); 2) примерно с равной долей холмистых возвышенностей и озерно-ледниковых равнин (смешанные хм + озк); 3) с преобладанием озерно-ледниковых равнин (озк равнины); 4) с доминированием приморских дельтовых низменных равнин (пм низменности). Распределение почв внутри этих групп показало, что доля глеевых почв составляет 30–31 % в агроландшафтах холмисто-моренных и озерно-ледниковых равнин и резко возрастает (52,3 %) на сельскохозяйственных угодьях приморских низменностей (рис. 2).

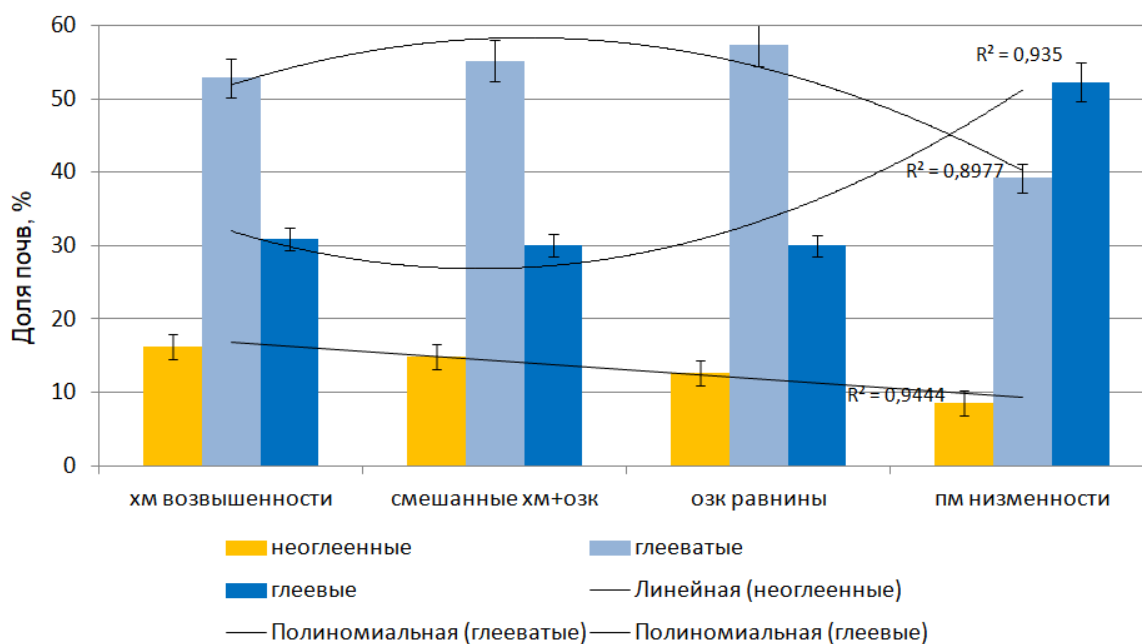


Рис. 2. Долевое участие почв разной степени оглеения на сельскохозяйственных угодьях в зависимости от ландшафтных условий

В составе группы глеевых почв, потенциально подверженных переувлажнению на холмисто-моренных и озерно-ледниковых равнинах, выстраивается убывающий ряд: дерново-подзолистые глеевые (12,3–15,7 %) → дерново-глеевые (7,0–8,7 %) → аллювиальные глеевые и болот-

ные суммарно (3,3–6,2 %) → болотные низинные (2,3–4,7 %). Существенное отличие наблюдается на приморских низменностях, где доля аллювиальных глеевых почв возрастает до 34,3 %.

Для выявления актуальных площадей переувлажненных почв на сельскохозяйственных угодьях проводили анализ космических снимков на тестовых полях в пределах различных холмисто-моренных и озерно-ледниковых равнин (осенне-зимний и весенний периоды). Для расчета площадей почв использовали программу Quantum GIS. В результате сопоставления с почвенными картами установили, что доля осушенных почв, подверженных систематическому переувлажнению и поверхностному затоплению меньше, чем потенциальные площади глеевых почв. Обнаружен факт сильной вариабельности вымочек на полях в зависимости от количества замкнутых западин, глубины их вреза, водосборной площади. Постоянные очаги переувлажнения и затопления приурочены к участкам нарушения дренажа и глинистым линзам в подпахотном слое. В зависимости от комплекса природно-антропогенных и погодных условий доля вторично переувлажненных почв варьирует от 10 до 37 % от общей площади почв на пахотных угодьях. В связи с этим необходим мониторинг и составление эколого-гидрологических паспортов полей для принятия адресных экономически обоснованных решений по оптимизации водно-воздушного режима почв.

### Библиографические ссылки

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 г.». М.: Минприроды РФ, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.
2. Переувлажнение и подтопление земель в регионах России / под ред. В.В. Разумова. Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2018. 279 с.
3. *Анциферова О. А.* Гидрологический режим и агроэкологическая оценка почв агроландшафтов Самбийской равнины. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. 356 с.
4. *Зайдельман Ф. Р.* Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. Москва: КДУ, 2009. 720 с.
5. *Панасин В. И., Депутатов К. В., Вихман М. И.* Почвы Калининградской области и их агрохимические свойства. Калининград: Изд-во БФУ им. Канта, 2020. 240 с.
6. Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В. В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. 276 с.



## СПОСОБ ОСВОЕНИЯ СОЛОНЧАКОВ В УСЛОВИЯХ ТЕРСКО-КУМСКОЙ РАВНИНЫ

**Р.Р. Баширов, Г.Н. Гасанов, К.М. Гаджиев, А.С. Абдулаева,  
Р.З. Усманов**

*Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала,  
ул. М. Гаджиева, 45, 367000, Россия, email: [pakduik100@mail.ru](mailto:pakduik100@mail.ru)*

Целью данного исследования является изыскание такого способа освоения солончака типичного автоморфного в условиях развития дефляционных процессов, при котором исключается механическое воздействие на почву и усиление ее дефляции и не требуется проведение затрат труда и средств на накопление, перевозку навоза, песка, земли или химических мелиорантов, запахивание их в почву, а также на проведение посева и ухода за пастбищными травами до достижения ими укосной спелости.

**Ключевые слова:** солончак типичный автоморфный; способ освоения солончака; эоловый слой; солеобразующие ионы; эфемеры; солянки; видовой состав; проективное покрытие; продуктивность/

Терско-Кумская низменность является наиболее крупным ландшафто-геоморфологическим районом равнинного Дагестана. Территория ее, площадью 1,55 млн. га, является естественной кормовой базой для двух миллионов овец и сотен тысяч голов крупного рогатого скота [1]. Около 16 % этой территории (19,2 тыс. га) приходится на солончаки. Это тип почвы характеризуется наличием в поверхностном горизонте 0,5–1,2 % водорастворимых солей, полным отсутствием растительности, либо наличием заросших специфических видов, не образующих сомкнутого растительного покрова[2]. Продуктивность солончаков очень низкая, они используются как низко продуктивные пастбища. Поэтому решение проблемы повышения их продуктивности имеет важное народнохозяйственное значение. Повышение продуктивности солончаков в сельском хозяйстве возможно лишь при проведении специальных мелиоративных мероприятий.

Ранее известные способы освоения солончаков неприемлемы в полупустынных дефляционных ландшафтах, поскольку любое механическое воздействие на почву машинами и орудиями при заашке химикатов, смеси навоза с землей, предпосевной подготовке почвы и при посеве трав вызывает усиление процессов дефляции и опустынивания территории.

Целью настоящего исследования было изыскание способа освоения солончака типичного автоморфного в условиях развития дефляционных процессов, при котором: исключается механическое воздействие на почву

и усиление ее дефляции; не требуются затраты труда и средств на проведение химических и агромелиоративных приемов.

Исследования проводились на Кочубейской биосферной станции ПИБР ДНЦ РАН в 2013–2022 годах и основывались на материалах полевых исследовательских, опытно-экспериментальных и лабораторных химико-аналитических данных с использованием методик, применяемых в выбранной и смежных областях знаний [6].

Запасы надземного и подземного растительного вещества учитывались по методике А.А. Титляновой [7]. Надземную массу определяли укосным методом, с выделением фракций: живая фитомасса, ветошь (мертвые части растений, не лишенные связи с растениями), надземная мортмасса (мертвые остатки растений на поверхности почвы, лишенные связи с растениями). Подземную массу определяли в эти же сроки на тех же учетных площадках (после скашивания надземной массы) до глубины 60 см методом монолита. Размер монолитов 10x10x10 см, повторность 4-кратная. Список растений составлен по С.К. Черепанову [8].

**Результаты исследования.** В условиях Терско-Кумской низменности постоянно дуют ветры, меняющие свое направление в течение суток, как минимум, дважды. В летний период вектор, формирующегося над степью прохладного воздуха, в утренние часы направлен в сторону Каспийского моря, а в полуденные часы, перегретые над поверхностью почвы воздушные массы, поднимается в верхние слои атмосферы, уступая пространство над степью относительно прохладному воздуху, поступающему с моря.

В зимний период, в большинстве случаев, преобладает направление более холодного воздуха с материка в сторону моря. Эти воздушные массы, постоянно перемещающиеся над поверхностью почвы, одновременно переносят с собой 10–15 т/га эолового материала с запасом семян растений, которых накапливается достаточно много на поверхности почвы. Этот материал, встретив на своем пути препятствие в виде кустарника, куста злакового растения, группы растений, или любого другого предмета, оседает вокруг этих предметов на поверхности солончака и образует бугры разных форм и размеров.

При выпадении осадков семена растений, содержащиеся в указанном материале, прорастают, закрепляя своими корнями почву, и образуют на поверхности солончака, заросшего первоначально эфемерами, а в последующем разнотравьем и солянками, бугры разных размеров.

Задача создания на поверхности солончака, вместо единичных кочек и бугров, сплошного слоя наносного почвенного материала, в последующем зарастающего растениями, на наш взгляд, может быть решена путем устройства на его поверхности сплошной ветрозащитной полосы из досок, сухих веток деревьев и других предметов.

Проблемным в научном плане является вопрос: как влияет созданный на поверхности солончака эоловый слой на влажность и содержание солеобразующих ионов в почве в условиях полупустыни.

Нашими исследованиями установлено, что влажность солончака типичного под эоловым слоем имеет более низкие показатели чем на площадке не укрытой эоловым слоем.

Увеличение влажности почвы солончака в слое 0–70 см, не укрытом эоловыми отложениями, объясняется тем, что «капиллярно-осмотический поток» влаги из области с относительно низкой концентрацией водорастворимых солей под эоловым слоем перемещается к области с повышенной их концентрацией на солончаке типичном автоморфном без этого слоя [9].

Резкое снижение испарения влаги из солончака типичного под эоловым слоем предотвращает капиллярный подъем влаги с растворенными в ней солеобразующими ионами из более глубоких слоев почвы и дополнительное их накопление в верхнем корнеобитаемом слое. Более того, из этого слоя солончака одновременно с почвенной влагой солеобразующие ионы перемещаются в область с относительно высоким осмотическим давлением на прилегающей открытой части того же солончака. Этим объясняется увеличение общего количества катионов и анионов, особенно  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  на открытой части солончака и уменьшение их количества под эоловым слоем.

Создание эолозащитного слоя с помощью деревянных щитов (шириной 20 см, толщиной 2 см) на поверхности солончака способствовало появлению на его поверхности уже в течение первого года 58 экземпляров растений. Урожайность воздушно-сухой фитомассы составила 0,65 т/га.

В видовом составе в первый год преобладают эфемеры: полевичка малая (*Eragrostic minor* Host.), мортук восточный (*Eremopyrum orientale*(L.) Jaub. Et. Spach.), бурачок пустынный (*Alussum desertorum* Stapf.), мятлик однолетний (*Poa annua* L.), мятлик луковичный (*Poa bulbosa* L.), костер растопыренный (*Bromuss quarrosus* L.), костер кровельный (*Anisantha tectorum* L.), а во втором году появляются еще и петросимония (*Petrosimonia* sp.), верблюжья колючка обыкновенная (*Alhagipseudalhagi* (Bieb.) Fisch.), дурнишник колючий (*Xanthium spinosum*), полынь таврическая (*Artemisia taurica* Willd.).

В течение второго года использования эолозащитного слоя количество растений на площадке увеличилось в два раза, проективное покрытие – в 2,2 раза, их видовой состав расширился в 1,3 раза, урожайность воздушно-сухой биомассы повысилась в 2,4 раза. Появившиеся растения и зоонаселение способствовали закреплению почвы. На поверхности солончака коркового в течение 7–9 лет сформировался эолово-аккумулятивный гумусовый горизонт с растительным покровом. К девятому году растений

насчитывалось 134 экз./м<sup>2</sup>, а урожайность воздушно-сухой фитомассы достигла 2,1 т/га (табл.).

Таким образом, данный способ освоения солончака способен обеспечить получение уже на второй год более 1,5 т/га воздушно-сухой фитомассы, и в дальнейшем мы предполагаем, что урожайность будет только расти. Впервые в условиях Терско-Кумской полупустыни разработан и апробирован новый способ освоения солончака типичного автоморфного в условиях развития дефляционных процессов. При этом исключается механическое воздействие на почву и усиление ее дефляции, не требуются затраты труда и средств на проведение агромелиоративных и химических мелиораций.

#### Основные показатели продуктивности фитоценозов при трансформации *solonchak nudipetric* в *solonchak areninovic*

Годы наблюдений	Количество растений, экз./м <sup>2</sup>	Количество видов, шт.	Проективное покрытие, %	Урожайность воздушно-сухой фитомассы, т/га
Первый	58	9	27	0,65
Второй	115	12	60	1,58
Третий	127	15	74	2,05
Четвертый	127	16	76	1,98
Пятый	128	16	76	1,84
Восьмой	128	15	79	2,08
Девятый	134	15	88	2,1

Солончак типичный автоморфный может быть освоен и использоваться под кормовые угодья в полупустынных ландшафтах, обеспечивая получение уже во второй год более 1,5 т/га, а к девятому году – 2,1 т/га воздушно-сухой фитомассы.

**Выводы.** Таким образом, предлагаемый способ освоения солончаков будет способствовать рациональному управлению продукционными процессами в природных экосистемах и повышать плодородие почв, а в конечном счете продуктивность таких ландшафтов.

Получен патент на изобретение № 2610708 «Способ освоения солончака типичного автоморфного под кормовые угодья в полупустынных ландшафтах» от 14.02.2017 г.

#### Библиографические ссылки

1. Добровольский Г. В., Федоров К. Н., Стасюк Н. В. Об особенностях структуры почвенного покрова равнинного Дагестана // Экологические проблемы Прикаспийской низменности. Махачкала. 1991. С.12–25.

2. Баламирзоев М. А. Почвы Дагестана. Экологические аспекты их рационального использования. Махачкала: Дагкнигоиздат, 2008. 336 с.
3. Фитомелиорация засоленных почв Западного Прикаспия / Г. Н. Гасанов [и др.]; отв. ред. Ш. И. Исмаилов. М.: Наука, 2004. 270 с.
4. Качинский Н. А. Почва, ее свойства и жизнь. М.: Наука, 1975. 291 с.
5. Ревут И. Б. Физика почвы. Л.: Колос, 1964. 319 с.
6. Практикум по агрохимии / под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
7. Биологическая продуктивность травяных экосистем / А. А. Титлянова [и др.]. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1988. 134 с.
8. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. Ленинград. 1995. 992 с.
9. Системы земледелия / под ред. А. Ф. Сафонова. М.: Колос, 2006. 447 с.

## ОЦЕНКА ЭРОЗИОННЫХ ПОТЕРЬ ПОЧВЫ НА ВОДОСБОРЕ ПРУДА ПЕСКОВСКИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОЦЕЗИЕВОГО МЕТОДА

**В.Н. Голосов<sup>1)</sup>, А.В. Федин<sup>2)</sup>, С.В. Харченко<sup>3)</sup>, М.М. Иванов<sup>2, 3)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт географии РАН, Старомонетный пер, 29, Москва, 119017;  
МГУ им. Ломоносова, Ленинские горы, 1, 119991, Россия,  
e-mail: gollossov@gmail.com;*

<sup>2)</sup> *Институт географии РАН, Старомонетный пер, 29, Москва, 119017;*

<sup>3)</sup> *МГУ им. Ломоносова, Ленинские горы, 1, 119991, Россия;*

Предгорная зона Северного Кавказа является одной из активно развивающихся в сельскохозяйственном отношении территорий РФ. В тоже время особенностью данной территории является значительная пестрота почвенного покрова, обусловленная многообразием почвообразующих пород и сочетанием в пределах небольших водосборов склонов различной крутизны. В этой связи размещение пашни, садов и других сельскохозяйственных угодий должно учитывать развитие процессов водной эрозии. На основе детальных исследований перераспределения наносов на водосборе пруда Песковский с использованием набора методов определены среднесуточные темпы смыва с площади водосбора. Установлено, что в пределах пашни потери почвы достигали, а в отдельные периоды и превышали 7-10 т/га в год. Показано, что при учёте морфологических особенностей склонов и склоновых водосборов, типа почв и путей перераспределения стока воды и наносов можно минимизировать эрозионные потери на основе оптимизация размещения различных угодий в пределах водосбора.

**Ключевые слова:** эрозия почв, землепользование, предгорная зона, Предкавказье.

Предкавказье является важным сельскохозяйственным регионом Российской Федерации, благодаря удобным для выращивания различных сельскохозяйственных культур почвенно-климатическим условиям. В этой связи сохранение плодородия почв в данном регионе имеет особое значение. Данная территория является областью развития водной и ветровой эрозии, причём интенсивность последней наиболее значительна на Ставропольской возвышенности, а также равнинных территориях, расположенных на некотором удалении от предгорий Кавказа. Процессы водной эрозии распространены повсеместно, причём несколько десятилетий назад фиксировалась эрозия почв, как в период снеготаяния, так и при выпадении стокоформирующих ливней в тёплое время года [1]. Темпы эрозии на отдельных участках достигали 30-50 т/га в течение эрозионного события. При этом наиболее сильный смыв отмечался на участках под паром

и посевах пропашных [1]. В последние десятилетия в связи с климатическими изменениями талый сток и смыв практически не наблюдается, так как устойчивый снежный покров не формируется. С другой стороны, повышение зимних температур воздуха привело к увеличению продолжительности тёплого времени года, когда выпадают стокоформирующие ливни. В настоящее время он начинается уже в марте и продолжается до конца октября. Одновременно в последние десятилетия происходит значительная трансформация землепользования, затронувшая в наибольшей мере предгорную зону. Это связано с пестротой почвенного покрова, значительными колебаниями мощности почв, а также сочетанием склонов различной крутизны в пределах небольших водосборов. Между тем, в этот же период в данной части Предкавказья практически не проводилось специализированных исследований по оценке интенсивности водной эрозии почв, в отличие от равнинных территорий, где подобные исследования и наблюдения всё же эпизодически проводятся [2]. В частности, они стали основанием для рекомендации более широкого применения нулевой обработки почвы, так как она приводит к снижению потерь почвенного плодородия от развития водной и ветровой эрозии [3]. При этом в связи с отсутствием количественных оценок темпов смыва почв остаётся открытым вопрос о целесообразности расширения данной технологии на другие территории Предкавказья, в том числе на предгорную зону [4]. На фоне значительной доли эродированных почв в пределах крупнейшего региона Южного федерального округа – Ставропольского края [5], а также в связи с программой расширения фруктовых садов в предгорьях Кавказа, представляется крайне важной задачей оценка фактических потерь почв от водной эрозии почв при современных климатических условиях в пределах водосборов предгорной зоны.

Особенностью предгорных территорий, протягивающихся широкой полосой вдоль всего Северного мегасклона Кавказа, является большая контрастность рельефа, когда в пределах одного водосбора располагаются склоны с большим спектром уклонов и конфигураций, что обусловлено различиями в составе коренных пород и историей развития рельефа территории. Это определяет и разнообразие почв, а также условия их увлажнения, которые тесно связаны с изменениями внутригодового распределения осадков. Природные условия предгорной зоны определяют весьма специфическое развитие процессов водной эрозии, особенно в пределах пахотных земель. При этом исследований по изучению особенностей формирования стока воды и наносов на малых сельскохозяйственно освоенных водосборах предгорной зоны не проводилось. Данное исследование посвящено оценке эрозионных потерь с обрабатываемых склонов

малого водосбора, расположенного на юго-востоке Ставропольского края к югу от г. Пятигорск.

Водосбор пруда Песковский, общей площадью 1550 га, располагается в верховьях одноимённого правобережного притока р. Юцы. Отличительной особенностью водосбора является большое разнообразие склонов и склоновых водосборов различной конфигурации и уклонов, что связано с геологическим строением территории исследования. В его восточной части преобладают водосборы крупных ложбин структурного происхождения, с хорошо выраженным днищем и достаточно крутыми бортами. В своих приустьевых частях ложбины выполаживаются и сочленяются с днищем долины, в котором располагается сухое русло, в настоящее время сохранившиеся фрагментарно по которому ранее сток со склонов водосбора в концентрированном виде поступал в верховья р. Песковского. Склоны западной части водосбора более крутые, преимущественно выпукло-вогнутой формы, а местами более сложной конфигурации, обусловленной развитием оползневых процессов на переувлажнённом участке склона северной экспозиции. Они опираются на котловинообразное расширение верховьев водосбора. В 1970–1980-е годы на водосборе был проведён комплекс мелиоративных мероприятий, призванных обеспечить осушение днища котловины, а также регулировать сток воды и наносов со склонов юго-восточной части водосбора, расчленённых ложбинами. Для этого в котловинообразном расширении была создана сеть дренажных канав глубиной 1,5–1,8 м, а вдоль грейдерной дороги, пересекающей водосбор с севера на юг была заложена водосбросная канава, собирающая сток воды и наносов с ложбинных водосборов юго-восточной части исследуемого бассейна. В связи с этим произошло отделение их нижних частей от больших по размерам верхних частей. Тем самым кардинально изменилась структура формирования стока воды и наносов на водосборе. Сток воды и наносов с западной части и центральной частей водосбора перестал поступать в верховья р. Песковская. При этом, упростилось поступление воды и наносов в днище сухой долины западной части водосбора, так как он проходит по водосбросной дренажной канаве. Существовавший в истоках р. Песковская небольшой пруд, собирающий сток наносов с водосбора был спущен во второй половине 1980-х годов, а на его месте в 1997 г была создана более высокая земляная плотина, и возник ныне существующий пруд Песковский. Ёмкость пруда достаточная для сбора стока воды и наносов с водосбора площадью склонов 325 га.

Для оценки суммарных потерь почвы с площади водосбора пруда Песковский был проведён комплекс исследований, включая: 1) измерение объёма наносов, отложившихся в пруду за период его существования с па-



раллельным отбором колонки донных отложений для измерения плотности и содержания в них  $^{137}\text{Cs}$ ; 2) измерение площадей участков аккумуляции наносов в днище долины выше пруда и в приустьевых частях склоновых ложбин на участках выше грейдерной дороги с послойным отбором проб почвы из разрезов, заложенных на этих участках аккумуляции, для определения слоя аккумуляции за период с 1986 г.; 3) реконструкция путей доставки наносов со склонов в днище долины; 4) восстановление структуры землепользования водосбора современного пруда за различные временные интервалы; 5) сбор и обработку данных метеорологических наблюдений с акцентом на анализ повторяемости стокоформирующих ливней разного слоя в различные периоды тёплого времени года.

На основе интерпретации эпюр вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  в донных наносах пруда Песковского, конусах выноса и шлейфах наносов, сформировавшихся в днище долины выше по течению от пруда, и площадей каждой зоны отложения эродированных с пашни частиц почв общая масса отложившихся за период с 1997 г. наносов была оценена в 27 000 тонн. Таким образом, среднегодовой смыв за 25-летний период существования пруда с площади его водосбора составил 3,3 т/га. Следует учитывать, что площади пашни, садов и лугов значительно изменялись год от года в период 1997–2022 годы. В связи с тем, что основной смыв формируется в пределах пашни, то существенно варьировала и протяжённость участков, на которых происходило переотложение наносов внутри склонов. В итоге изменялась доля наносов, транспортируемых в днище долины и в пруд. Фактические эрозионные потери почвы с пашни были существенно выше и в отдельные годы могли превышать 7–10 т/га. Данные оценки подтверждаются наличием крупных линейных размывов на пашне, которые хорошо дешифрируются на космических снимках. Детальный анализ особенностей конфигурации склонов и склоновых водосборов, а также учёт выпадения стокоформирующих ливней в течение тёплого времени года позволил разработать оптимальную систему структуры землепользования для исследованного водосбора, при которой будут минимизированы эрозионные потери плодородного слоя почв. Разработанный подход может применяться для сельскохозяйственных земель всей предгорной зоны Северного Кавказа и существенно сократить потери плодородия почв из-за проявления водноэрозионных процессов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект №19-17-00181

## Библиографические ссылки

1. *Полужтов Е. В.* Эрозия почв и плодородие. Новочеркасск: Лик, 2020.
2. *Дридигер В. К., Белобров В. П., Антонов С. А. Юдин С. А. Гаджиумаров Р. Г., Лиходиевская С. А., Ермолаев Н. Р.* Защита почв от водной эрозии и дефляции в технологии No-till // *Земледелие*. 2020. № 6. С. 11–17.
3. *Цховребов В. С., Тетенищев А. Б., Фаизова В. И., Лысенко В. Я., Новиков А. А.* Эффективность применения технологии No-till на черноземах обыкновенных Ставропольского края // *Земледелие*. 2021. № 3. С. 15–19.
4. *Иванов А. Л., Кулинцев В. В., Дридигер В. К., Белобров В. П.* О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. № 4. Том 35. С. 8–16.
5. *Цховребов В. С. Есаулко А. Н., Новиков А. А.* Современные проблемы плодородия почв Ставрополья // *Агрехимический вестник*. 2017. №4. С. 3–8.

## ВЛИЯНИЕ СКЛОНОВЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

**В.В. Двойных**

*ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», ул. Карла Маркса, 70 б,  
305021 Курск, Россия, email: viktoria.dvoinyh@yandex.ru*

В данной статье рассматривается биологическая активность почвы – важнейший показатель уровня ее плодородия и условий роста и развития растений. Содержание и активность микроорганизмов в почве зависит как от почвенных режимов, так и от агрогенной нагрузки на почву. Широко используемым показателем биологической активности почв является оценка скорости разложения клетчатки целлюлозоразрушающими микроорганизмами (целлюлозолитическая активность почв). Это один из немногих интегральных показателей интенсивности микробиологических процессов непосредственно в природных условиях. Скорость разложения клетчатки в почве зависит от наличия в ней легкодоступного азота, поэтому определение целлюлозолитической активности почвы позволяет судить об энергии мобилизации почвенных процессов в целом. Проведены исследования по изучению целлюлозоразлагающей активности почв методом аппликаций. Исследования проводились на территории опытного производственного хозяйства Курского федерального аграрного научного центра.

**Ключевые слова:** биологическая активность почвы; показатели; контроль; разложение; плодородие; склон.

Процесс разложения органического вещества является важным неотъемлемым звеном мирового биогеохимического круговорота элементов, во многом определяющим плодородие почв. Скорость разложения целлюлозы влияет на скорость разложения органики в целом. Данный показатель можно рассматривать как количественную меру почвенного плодородия, а чистую целлюлозу рассматривать как модельный субстрат для разложения, на фоне которого определяется действие факторов внешней среды и изучаются свойства почвы. В настоящее время в рамках контроля за состоянием окружающей среды и оценки воздействия на неё, особое место занимает биологический мониторинг - контроль состояния окружающей природной среды с помощью живых организмов. Главный метод биологического мониторинга – биоиндикация, которая заключается в регистрации любых изменений в биоте, вызванных антропогенными факторами. При проведении биомониторинга и биодиагностики почв ведущими являются показатели биологической активности, под которой подразумевают интенсивность протекающих в ней биологических процессов. Цел-

люлозоразлагающая активность почвы обусловлена суммарным содержанием в почве определенного запаса ферментов, как выделенных в процессе жизнедеятельности растений и микроорганизмов, так и аккумулярованных почвой после разрушения отмерших клеток. Биологическая активность почв характеризует размеры и направление процессов превращения веществ и энергии в экосистемах суши, интенсивность переработки органических веществ и разрушения минералов [1, 2, 3].

Исследования проводились с 2019 по 2022 гг. на производственном участке с куполообразной формой рельефа (86 га, п. Панино, Медвенский район, Курская область). Полигон расположен на Среднерусской возвышенности на высоте 190–217 м над уровнем моря. Рельеф полигона типично эрозионный с выраженной волнистостью, особенно в нижних частях склонов. Почвы – чернозем типичный и выщелоченный различной степени смытости и намытости на лёссовидных суглинках. Характер комплексности почвенного покрова меняется от вершины вниз по склону. В исследовании целлюлозолитической активности почв были сделаны выводы по результатам полевого опыта, основанного на использовании аппликационного метода. В литературе описано несколько способов закладки льняных полотен в почву. Нами использованы полотна чистой, белой льняной ткани массой 1,5 г. Льняные аппликаторы закладывали в почвенный разрез в вертикальном положении, повторность опыта трехкратная. Для исследования выбрано 4 склона: северо-восточный, юго-восточный, юго-западный и северо-западный.

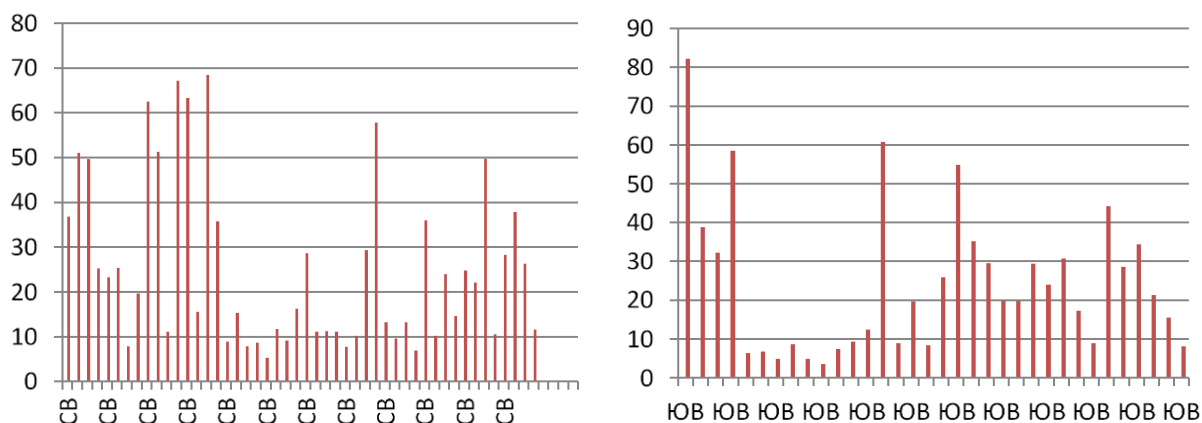


Рис. 1. Изменение биологической способности почвы в сгруппированных данных по северо-восточной и юго-восточной экспозициям склона с 2019 по 2022 гг.

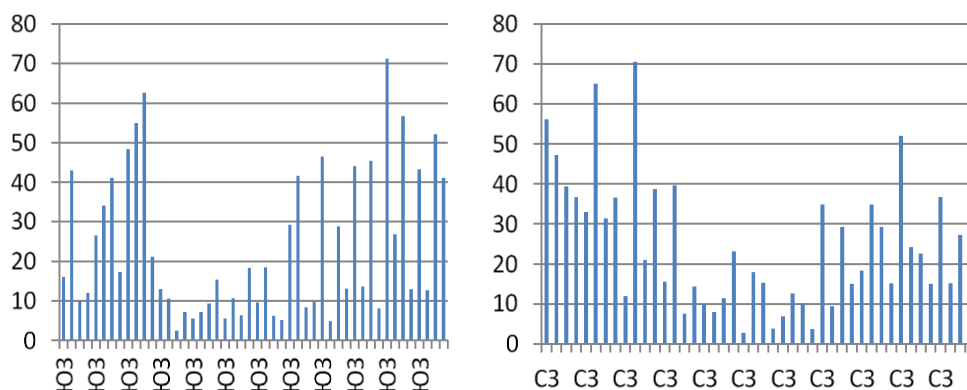


Рис. 2. Изменение биологической способности почвы в сгруппированных данных по юго-западной и северо-западной экспозициям склона с 2019 по 2022 гг.

Более интенсивное разложение растительных остатков складывалось в 2020 году на всех экспозициях склона. Пик целлюлозолитической активности почв наблюдался на юго-восточном склоне в весенне-летний период и составил 82,2 %. Значения показателей биологической активности почвы в большинстве случаев несколько увеличиваются в нижних частях склона.

Засушливые погодные условия привели к снижению целлюлозолитической способности почвы на всех экспозициях склона в 2019 г. и 2022 г. Это можно объяснить уменьшением степени аэробности почвы, а микрофлора, осуществляющая разложение целлюлозы, представлена в основном аэробными формами — это плесневые грибы и разлагающие целлюлозу бактерии. Показатели разложения органического вещества и целлюлозоразлагающей активности почвы не коррелируют между собой потому, что растительные остатки представляют собой комплекс органических веществ. А показатель разложения льняного полотна характеризует лишь трансформацию чистой целлюлозы. В связи с этим использовать для характеристики биологической активности почвы один показатель разложения целлюлозы, что встречается довольно часто, недостаточно, так как он не отражает в полной мере интенсивность микробиологических процессов [4].

Таким образом, определение показателей биологической активности почвы при оценке агротехнических приемов весьма перспективно с точки зрения сохранения и воспроизводства почвенного плодородия. Целлюлозолитическая активность является важным показателем интенсивности деструкционных процессов в почве. Интенсивность разложения целлюлозы в почве определена совместным действием нескольких факторов: погодными условиями, характером растительного покрова, объемом органического вещества, поступающего в почву, типом почв, её физическими свойствами, химическим составом, экспозицией склона.

## Библиографические ссылки

1. *Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М.* Биология почв. М.: МГУ, 2005. 445 с.
2. *Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф.* Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2003. 204 с.
3. *Коваленко М. В.* Биологические показатели и плодородие почвы // Актуальные вопросы агрономической науки в XXI веке. Самара, 2004. С. 424–430.
4. *Миненко А. К.* Регулирование биологической активности дерново-подзолистых почв (на примере Центральных районов Нечерноземной зоны) : автореф. дисс. докт. биол. наук. М., ТСХА. 1991. 41 с.

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ В КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Г.М. Дериглазова

ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» Россия, Курск,  
email: [g\\_deriglazova@mail.ru](mailto:g_deriglazova@mail.ru)

Цель исследования - выявить влияние технологий возделывания полевых культур на агрохимические свойства почв в Курской области. Исследования проводились в многолетнем полевом стационарном опыте Курского ФАНЦ в девятипольном севообороте. Сельскохозяйственные культуры в опыте возделывались по экстенсивной, интенсивной и биотехнологии. После 11 ротаций севооборота проводились наблюдения за изменением агрохимических свойств пахотного горизонта почвы. В результате проведенных исследований выяснено, что произошло подкисление почвы на всех вариантах опыта, но при применении биотехнологии с внесением только органических удобрений почва подкислялась в меньшей степени, и из близкой к нейтральной перешла в разряд слабокислой. Обеспеченность культур азотом изменяется, от очень низкой на контроле, до средней. При внесении как органических, так и минеральных удобрений наблюдалось повышение показателя. Повышение содержания подвижного фосфора было обусловлено в большей степени применением минеральных удобрений. По характеристике обеспеченности почв подвижным калием, все варианты опыта обладают повышенной обеспеченностью.

**Ключевые слова:** технологии возделывания; кислотность почвы; щелочногидролизующий азот; подвижный фосфор; подвижный калий.

Сельскохозяйственное использование почвы предусматривает антропогенное воздействие на нее, в результате чего происходит изменение ее свойств [1, 2]. Постоянный мониторинг состояния почв является важной задачей почвоведения и земледелия [3]. Агрохимический анализ почвы позволяет вести наблюдения за изменением показателей плодородия почвы и способствует научному обоснованию применения технологии возделывания сельскохозяйственных культур [4].

Цель исследования – выявить влияние технологий возделывания сельскохозяйственных культур на агрохимические свойства почв в Курской области.

Исследования проводились в многолетнем полевом стационарном опыте Курского ФАНЦ в девятипольном севообороте. Чередование культур в севообороте: 1) клевер, 2) озимая пшеница, 3) сахарная свекла, 4) яровая пшеница, 5) горох, 6) озимая рожь, 7) гречиха, 8) овес, 9) ячмень

+ клевер. Повторность опыта – трехкратная. Расположение делянок систематическое, размер посевной делянки – 189 м<sup>2</sup> (5,4 х 35 м), учетная площадь – 100 м<sup>2</sup> (4 м х 25 м).

Полевые работы на опытном участке проводились в лучшие агротехнические сроки. Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1

**Схема опыта и содержание вариантов**

Варианты	Обработка почвы	Внесение удобрений
<b>Экстенсивная технология</b>		
1. Контроль	Вспашка на 20–22 см	Без удобрений
2. 50 % обеспеченности за счет МИН. удобрений	Вспашка на 20–22 см	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>
<b>Интенсивная технология</b>		
3. 100 % обеспеченности за счет МИН. удобрений	Вспашка на 20–22 см	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>
<b>Биотехнология</b>		
4. 100 % обеспеченности за счет ОРГ. удобрений	Плоскорез на 20–22 см	20 т/га навоза
5. 100 % обеспеченности за счет ОРГ. удобрений	Вспашка на 20–22 см	20 т/га навоза

Почва опытного участка представлена черноземом типичным мощным тяжелосуглинистым (табл. 2).

Таблица 2

**Исходная агрохимическая характеристика почвы опытного участка**

Показатели	Горизонт, см				
	0-10	20-30	50-60	70-80	90-100
Гумус, %	6,2	6,0	5,9	4,3	3,1
pH водной суспензии	5,9	6,3	6,6	7,2	7,9
Общий азот, %	0,34	0,34	0,26	0,19	0,16
Гидролизуемый азот, мг/кг	75	67	--	--	--
Валовой фосфор, %	0,14	0,14	0,13	0,11	0,13
Подвижный фосфор по Чирикову, кг/га	145	146	101	99	82
Обменный калий по Масловой, кг/га	164	168	146	138	133

По содержанию гумуса во всех вариантах опыта обеспеченность растений была средняя.



Почва опытного участка в начале исследований имела кислотность близкую к нейтральной. В результате проведения исследований (11 ротаций севооборота) было отмечено подкисление пахотного горизонта почвы на всех вариантах опыта, но при применении биотехнологии с внесением только органических удобрений почва подкислялась в меньшей степени, и из близкой к нейтральной перешла в разряд слабокислой (табл. 3). На остальных вариантах опыта степень кислотности была средней.

Таблица 3

**Изменение рН по вариантам опыта в пахотном горизонте**

Вариант	рН	Степень кислотности	+/-
<b>Экстенсивная технология</b>			
1	5,0±0,1	среднекислая	
2	4,9±0,1	среднекислая	-0,1
<b>Интенсивная технология</b>			
3	5,0±0,1	среднекислая	0
<b>Биотехнология</b>			
4	5,3±0,1	слабокислая	+0,3
5	5,2±0,1	слабокислая	+0,2

Щелочногидролизуемый азот, определяемый по методу Корнфилда, является по существу легкогидролизуемым азотом почвы и характеризует содержание потенциально доступного для растений азота.

В опыте обеспеченность культур азотом изменяется от очень низкой на контроле до средней (табл. 4). При внесении как органических, так и минеральных удобрений наблюдалось повышение показателя обеспеченности азотом.

Таблица 4

**Изменение N щ. г. по вариантам опыта**

Вариант	N щ.г.	Обеспеченность почвы питательными элементами	+/-
<b>Экстенсивная технология</b>			
1	80,5±11,3	очень низкая	
2	111,0±15,7	низкая	30,5
<b>Интенсивная технология</b>			
3	153,0±21,7	средняя	72,5
<b>Биотехнология</b>			
4	159,5±17,7	средняя	79,0
5	159,0±17,4	средняя	78,5

Содержание подвижного фосфора (по Чирикову) в зависимости от технологии возделывания варьировалось от 79 до 125 мг/кг почвы и характеризовалось средней и повышенной обеспеченностью (табл. 5). Повышение показателя было обусловлено в большей степени применением минеральных удобрений.

Таблица 5

**Изменение P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> подв. (по Чирикову) по вариантам опыта**

Вариант	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подв.	Обеспеченность почвы питательными элементами	+/-
<b>Экстенсивная технология</b>			
1	79,0±11,0	средняя	
2	118,0±14,0	повышенная	39,0
<b>Интенсивная технология</b>			
3	125,0±15,0	повышенная	46,0
<b>Биотехнология</b>			
4	95,0±11,0	средняя	16,0
5	97,0±11,0	средняя	18,0

По характеристике обеспеченности почв подвижным калием (по Чирикову), все варианты опыта обладают повышенной обеспеченностью (табл. 6). Но выделяется один вариант опыта при проведении вспашки на интенсивной технологии, у которого показатель был несколько выше (118,0±12,0 мг/кг почвы), чем у остальных вариантов.

Таблица 6

**Изменение K<sub>2</sub>O подв. (по Чирикову) по вариантам опыта**

Вариант	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подв.	Обеспеченность почвы питательными элементами	+/-
<b>Экстенсивная технология</b>			
1	84,0±8,7	повышенная	
2	10,6,0±11,0	повышенная	22
<b>Интенсивная технология</b>			
3	118,0±12,0	повышенная	34
<b>Биотехнология</b>			
4	105,0±10,7	повышенная	21
5	97,0±15,0	повышенная	13

В результате проведенных исследований выяснено, что произошло подкисление почвы на всех вариантах опыта, но при применении биотехнологии с внесением только органических удобрений почва подкислялась

в меньшей степени, и из близкой к нейтральной перешла в разряд слабокислой. Обеспеченность культур азотом изменяется от очень низкой на контроле до средней. При внесении как органических, так и минеральных удобрений наблюдалось повышение показателя содержания азота. Повышение содержания подвижного фосфора было обусловлено в большей степени применением минеральных удобрений. По характеристике обеспеченности почв подвижным калием все варианты опыта обладают повышенной обеспеченностью.

### Библиографические ссылки

1. *Ковязин В. Ф.* Динамика агрохимических свойств почв Санкт-Петербурга // Плодородие. 2008. № 3. С. 34–36.

2. *Митрохина О. А., Караулова Л. Н.* Анализ содержания микроэлементов в различных типах почв и их взаимосвязи с урожайностью сельскохозяйственных культур на территории ЦЧР // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 4 (388). С. 355–357.

3. Роль технологий возделывания культуры в варьировании питательного режима чернозема типичного / *А. Г. Ступаков [и др.]* // Белгородский агромир. 2016. № 3 (98). С. 33–36.

4. *Стахурлова Л. Д., Громовик А. И., Дериглазова Г. М.* Изменение основных показателей плодородия черноземов типичных под действием различных агротехнических приемов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 3. С. 31–34.

## КОМПЛЕКСНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ В МЕСТАХ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

М.А. Ересько

*Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие  
«Бел НИЦ «Экология», г. Минск, e-mail: kisa\_marina@mail.ru*

Как показывает практика, не существует однозначного пути решения проблемы восстановления земель в местах добычи полезных ископаемых. Действующие нормы права, регулирующие процедуру рекультивации территорий, содержатся в природоресурсных кодексах и законах [1–3], подзаконных нормативных правовых актах [4, 5], а также технических нормативных правовых актах [6–9]. Однако ни одна из действующих норм не содержит четких критериев выбора направления рекультивации, возможности сочетания нескольких направлений, и, самое главное, восстановления нарушенных экосистем. Научная новизна данной работы заключается в разработке научно-методического подхода к комплексному восстановлению нарушенных экосистем в местах добычи полезных ископаемых, характеризующихся значительной глубиной горной выработки, одновременно с продолжением добычи полезного ископаемого. Получен практический опыт моделирования комплексного функционального использования территории с учетом экологических рисков, обусловленных изменением гидрологических, гидрогеологических, ландшафтно-геохимических условий территории в процессе добычи полезного ископаемого, а также после окончания выработки.

**Ключевые слова:** комплексное восстановление; экосистема; территория.

Основой комплексного восстановления земель в местах добычи полезных ископаемых является моделирование вариантов комплексного функционального использования территории с учетом альтернатив, обусловленных динамикой ландшафтно-геохимических условий территории.

Объектом исследования явились нарушенные экосистемы в местах добычи полезных ископаемых, характеризующихся значительной глубиной горной выработки. Методологическая база исследования основана на гипотезах, научных концепциях, иных данных об оценке экологического состояния и устойчивости экосистем.

В рамках исследования разработан научно-методический подход к комплексному восстановлению нарушенных экосистем в местах добычи полезных ископаемых, реализация которого включает:

- оценку исходного состояния объекта и территории его размещения;
- натурные исследования грунтов, почв, вод, растительности;
- оценку динамики экологического состояния объекта с оценкой устойчивости нарушенных экосистем;

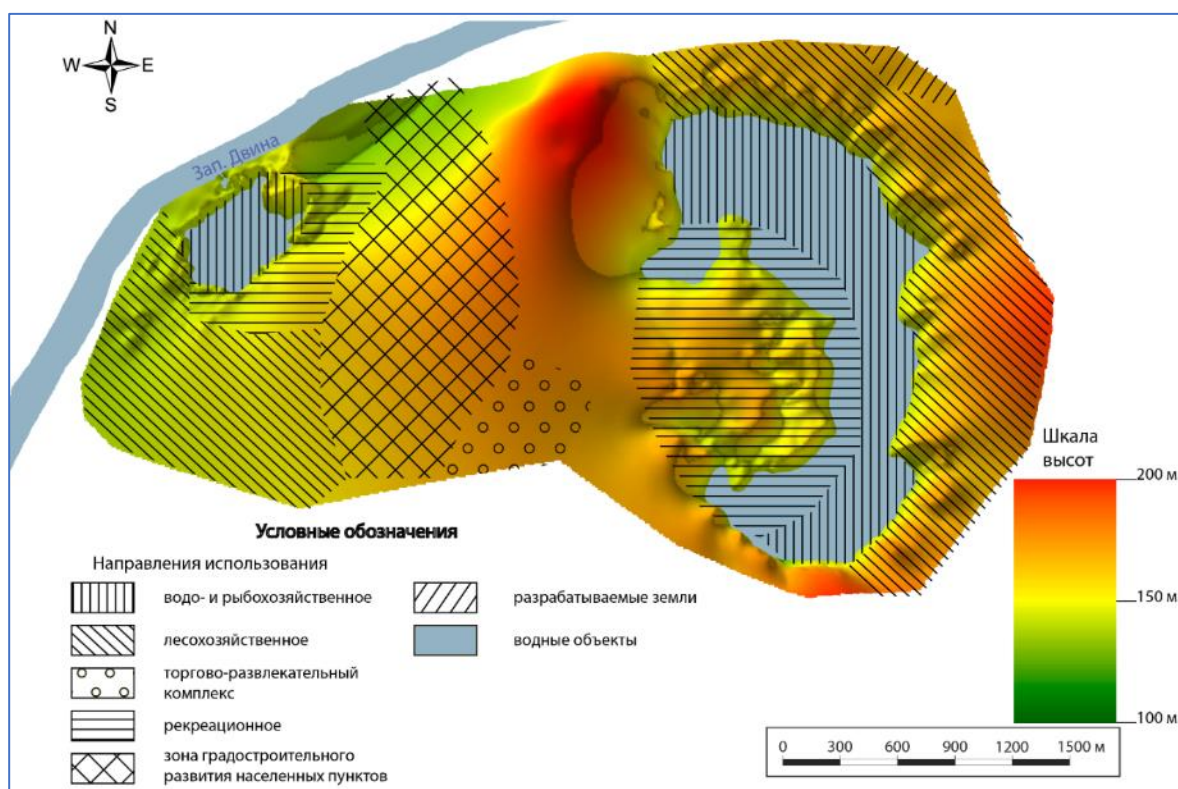
- выбор и обоснование перспективных направлений экономически эффективного и экологически безопасного хозяйственного использования территории на основе анализа комплекса критериев;
- оценка альтернатив прогнозируемого состояния нарушенных экосистем восстанавливаемой территории;
- создание и внедрение модели комплексного функционального использования территории, подлежащей восстановлению;
- внедрение системы мониторинга окружающей среды восстанавливаемой территории для оценки динамики экологического состояния и эффективности внедрения комплексного подхода к восстановлению.

Вся информация о состоянии объекта и его динамике, устойчивости экосистем территории его размещения должна быть положена в основу оценки перспективности использования этой территории после окончания добычи полезного ископаемого. Взаимосвязанная совокупность гидрологических, гидрогеологических, ландшафтно-геохимических условий устанавливает облик экосистем, направленность и динамичность их видоизменения, интенсивность внутренних и внешних потоков вещества и энергии, в связи с чем направления хозяйственного использования в краткосрочном и долгосрочном периодах могут быть неодинаковы.

Оценку перспективности направлений хозяйственного использования необходимо проводить по комплексу критериев. Ввиду сложности и мозаичности условий восстанавливаемой территории выбранные перспективные направления хозяйственного использования целесообразно сочетать для получения наиболее экономически обоснованного результата.

Например, использование участков восстанавливаемой территории в сельскохозяйственных целях (пашни, сенокосы, пастбища) будет перспективным в случае, если характеристики почв обеспечат необходимый уровень плодородия и, как следствие, развития растений, а также если буферная способность почв будет достаточной для сохранения этих характеристик при внешнем воздействии. Использование восстанавливаемой территории в лесном хозяйстве регламентировано качественными характеристиками почв, а также особенностями рельефа ввиду того, что для закрепления и произрастания древесной и кустарниковой растительности существуют морфометрические ограничения по крутизне и форме склонов. Для использования территории в направлениях водного и рыбного хозяйства первостепенными являются качественные характеристики подземных (химический состав, минерализация, динамика уровня) и поверхностных (скорость течения водотоков, проточность водоемов) вод.

Природоохранное и рекреационное направления использования территории может быть реализовано посредством вовлечения участков, характеризующихся уникальностью и неповторимостью сочетания природных компонентов, формирующих ландшафт, наиболее подходящий для целей сохранения биологического разнообразия, а также природоохранных, научно-исследовательских, для отдыха и туризма, в образовательно-воспитательных целях.



Пример модели комплексного функционального использования восстановленной территории

На этапе оценки альтернатив прогнозируемого состояния нарушенных экосистем были сопоставлены данные о фактическом состоянии территории, устойчивости экосистем, существующих и потенциальных природных и антропогенных факторах. Получены следующие результаты: созданы модели комплексного функционального использования территории на краткосрочный и долгосрочный периоды (рисунок) с учетом альтернатив, обусловленных динамикой ландшафтно-геохимических условий территории; разработан алгоритм проведения мониторинга окружающей среды территории для оценки динамики состояния экосистем и оценки эффективности внедрения комплексного подхода восстановления нарушенных экосистем; осуществлен расчет экономической эффективности.

Собственно, создание модели комплексного функционального использования территории осуществлено на основании результатов проведенных исследований путем анализа альтернатив функционального использования территории исследования с нарушенными экосистемами, определения локализации ареалов разной хозяйственной направленности на краткосрочный и долгосрочный периоды, построения 3D-моделей средствами ArcCatalog, ArcMap и ArcScene.

Процедура построения полноценной 3D-модели комплексного функционального использования территории, выполненной в трех измерениях, включала следующие этапы: обработка и оцифровка массивов данных; приведение данных в требуемый формат; расчет модели рельефа в плоскости методом обратно-взвешенных расстояний; расчет 3D-модели рельефа в модуле ArcScene; нанесение слоя данных о направлениях хозяйственного использования территории; дифференцирование слоя данных о направлениях хозяйственного использования территории для краткосрочного и долгосрочного периодов.

При осуществлении процедуры моделирования комплексного функционального использования территории на краткосрочный и долгосрочный периоды при разработке слоя «направление функционального использования» в качестве основополагающих (базовых) были использованы критерии «абсолютная отметка уровня подземных вод», «абсолютная отметка уровня поверхностных вод», «густота и глубина расчленения», «крутизна склонов», «интенсивность развития геологических процессов», отражающие гидрогеологические, гидрологические, ландшафтно-геохимические условия территории исследования и определяющие альтернативы возможных видов хозяйственной деятельности.

Ввиду того, что горная выработка имеет значительную площадь и глубину, а также неоднородность ландшафтно-геохимических условий, хозяйственное использование территории может быть только комплексным – сочетающим одновременно несколько направлений. Анализ построенных 3D-моделей показал практическую возможность реализации концепции комплексного функционального использования территории, совмещающей следующие направления, установленные ГОСТ 17.5.1.02-85 [8]: лесохозяйственное – под лесные насаждения общего хозяйственного и полезного назначения; водохозяйственного – карьерные водоемы для хозяйственно-бытовых, промышленных целей, рыбохозяйственных целей; рекреационного – зоны отдыха: сочетания парков и лесопарков с водоемами для оздоровительных и туристских целей; природоохранное и санитарно-гигиеническое – участки самозарастания и самовосстановления экосистем (специально не благоустраиваемые), под древесно-кустарниковой растительностью или травянистыми многолетними растениями.

## Библиографические ссылки

1. Об охране окружающей среды: Закон Республики Беларусь, 26 ноября 1992 г., № 1982-ХІІ: В ред. Закона Республики Беларусь от 30.12.2022 г. // ИПС «Эталон» [Электронный ресурс]. / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
2. Кодекс Республики Беларусь «О земле»: принят Палатой представителей 17 июня 2008 г.: одобр. Советом Респ. 28 июня 2008 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.07.2022 г. // ИПС «Эталон» [Электронный ресурс]. / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
3. Кодекс Республики Беларусь «О недрах»: принят Палатой представителей 10 июня 2008 г.: одобр. Советом Респ. 20 июня 2008 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 15.02.2022 г. // ИПС «Эталон» [Электронный ресурс]. / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
4. Положение о рекультивации земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых и торфа, проведении геологоразведочных, строительных и других работ: Приказ Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь, 25 апреля 1997 г., № 22 // ИПС «Эталон» [Электронный ресурс]. / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
5. Положение о порядке передачи рекультивированных земель землевладельцам, землепользователям субъектами хозяйствования, разрабатывающими месторождения полезных ископаемых и торфа, а также проводящими геологоразведочные, изыскательские, строительные и иные работы, связанные с нарушением почвенного покрова: Приказ Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь, 25 апреля 1997 г., № 22 // ИПС «Эталон» [Электронный ресурс]. / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
6. Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения: ГОСТ 17.5.1.01-83. – Введ. 01.07.1984. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2023. – 12 с.
7. Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель: ГОСТ 17.5.3.04-83. – Введ. 01.07.1984. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2023. – 16 с.
8. Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации: ГОСТ 17.5.1.02-85. – Введ. 01.01.1986. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2023. – 20 с.
9. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности: ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. – Введ. 01.10.2017. – Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2023. – 188 с.



## СООТНОШЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ БАЛАНСА НАНОСОВ ДЛЯ БОЛЬШИХ РЕК: ЭРОЗИЯ И АККУМУЛЯЦИЯ, РУСЛОВАЯ И ВОДОСБОРНАЯ ЭРОЗИЯ

**В.А. Иванов, С.Р. Чалов**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, 1, 119991, Россия, email: [viktoro.1998@yandex.ru](mailto:viktoro.1998@yandex.ru)*

В данной работе представлены результаты исследования баланса наносов крупнейших рек Северной Евразии – Оби, Енисея и Лены. Для расчета водосборной эрозии использовалась модель RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) и модель Ларионова-Краснова с использованием цифровой модели рельефа GMTED 2010 с разрешением 250 м. Русловая эрозия была оценена на основе сравнения разновременных космоснимков интегрированной с оценкой высоты берега, полученной по цифровой модели рельефа ArcticDEM. Сток наносов был оценен по данным мониторинга мутности воды Росгидромет с 1936 по 2021 год. Аккумуляция наносов в бассейне была рассчитана как разница между эрозией на водосборе и стоком наносов в устьевом створе. Данный подход позволил численно оценить все основные потоки вещества в единицах тонн в год, что дает новое понимание соотношения скоростей данных процессов для водосборов больших рек.

**Ключевые слова:** русловые процессы; дистанционное зондирование; Сибирь.

Развитие эрозионно-русловых систем связано с тремя неразрывными процессами переноса вещества: эрозией, транспортом и аккумуляцией речных наносов [1]. Наносы, поступающие в речную сеть, и последующее перемещение частиц от источника к стоку определяются комплексом природных и антропогенных процессов, которые изменяются во времени и неравномерно распределяются по речному бассейну. Существенной частью количественного описания этих процессов является определение баланса наносов, который является одним из наиболее важных параметров эрозии и осаждения водосбора.

Используя методы численного моделирования почвенной эрозии при помощи моделей, чей принцип работы основан на решении универсального Уравнения Потери Почв [2], была рассчитана бассейновая эрозия для водосборов рек Обь, Енисей, Лена. Так, для водосбора Оби суммарная бассейновая эрозия составила 1 471 000 000 тонн в год (1471 Мт/год), для Енисея 882 Мт/год, для Лены 880 Мт/год. Объем русловой эрозии был получен через расчет площадей русловых деформаций, которые была оце-

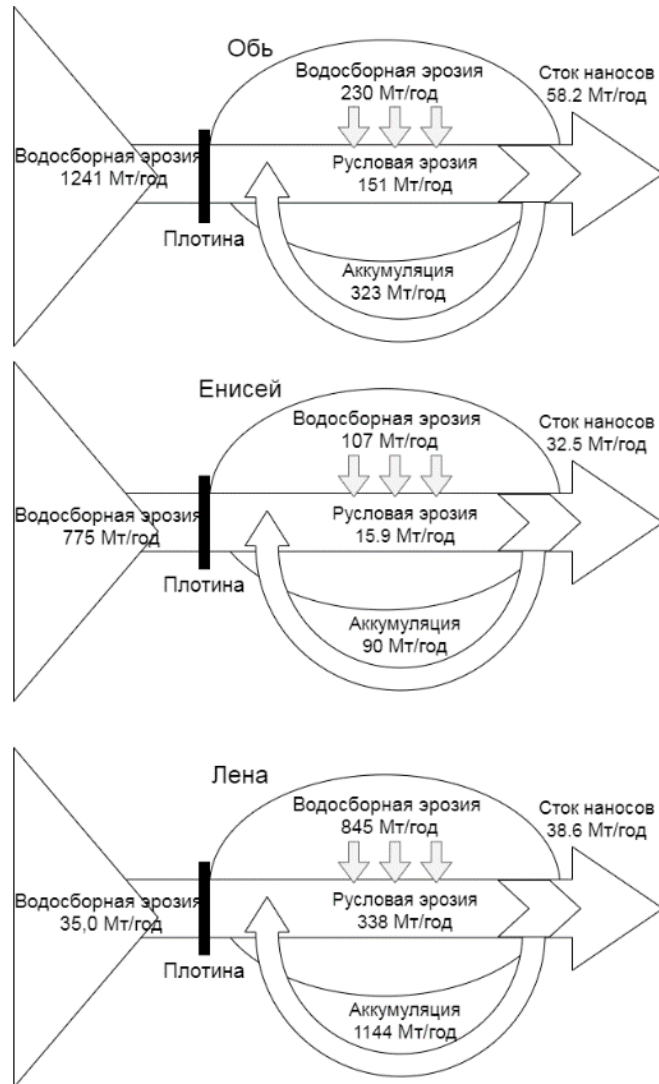
нена при помощи сравнения данных спутниковых снимков Landsat при помощи ресурса GSWE [3], а также цифровой модели рельефа ArcticDEM [4] для получения данных о высоте берегов. Для всех трех рек русловая эрозия была рассчитана для нижних течений рек, севернее 66° с.ш. и составила 151 Мт/год для водосбора Оби, 15,9 Мт/год для р. Енисея, и 338 Мт/год для р. Лены. Сток наносов был оценен по данным мониторинга мутности воды Росгидромет с 1936 по 2021 год. Для р. Обь он составляет 58,2 Мт/год, 32,5 Мт/год, 38,6 Мт/год. Аккумуляция наносов в бассейне была рассчитана как разница между эрозией на водосборе и стоком наносов в устьевом створе, для р. Оби данное значение было оценено как 323 Мт/год, для р. Енисея 90 Мт/год, для р. Лены 1144 Мт/год.

Так, для всех рек объем водосборной эрозии значительно превышает русловую эрозию. Для водосбора р. Обь водосборная эрозия превышает русловую в 10 раз, учитывая только нижнее течение, превышение составляет лишь 1,5 раза; для р. Енисея данные соотношения равны 55 и 6,7 раз; для р. Лены, в связи с отсутствием крупных водохранилищ, не имеет смысла оценка лишь нижнего течения, по всему бассейну водосборная эрозия превышает русловую в 2,6 раз. Такие различия в подобных соотношениях связаны прежде всего с тем, что для р. Енисей наблюдается низкая эрозия берегов (15,9 Мт/год), что связано с врезанным характером русла, где развитие русловых процессов ограничено слабо-размываемыми породами. Также, стоит отметить, что среди трех водосборов Обь имеет значительную сельскохозяйственную освоенность в ее верхнем течении, в отличие от Оби и Енисея. Это приводит к максимальным значениям водосборной эрозии в 1471 Мт/год.

Все вышеуказанные значения отображены в виде схемы (рис.). Стоит отметить, что в данном исследовании водосборная эрозия была рассчитана отдельно для областей выше и ниже крупнейших водохранилищ, что также определено на схеме. Так, для водосборов Оби и Енисея отчетливо прослеживается, что большая часть эрозии почв расположено в верхней части водосборов, где расположены горные участки с большими уклонами, разреженной растительностью и большей сельскохозяйственной нагрузкой. Строительство плотин на данных реках привело к тому, что частицы, переносимые потоком, осаждаются в водохранилищах и не могут быть «доставлены» вниз по течению, что снижает сток наносов и усиливает роль русловой эрозии в нижнем бьефе [5].

Обращаясь к теме аккумуляции наносов на водосборе можно сказать что, расчеты баланса наносов показывают, что лишь небольшая часть общего размываемого материала покидает речные водосборы. При нынеш-

них гидроклиматических условиях около 96–97 % запасов оседает в различных буферных зонах водосбора и речной сети: склонах речных долин, поймах, конусах выноса оврагов.



Расчет компонентов баланса наносов рр. Обь, Енисей, Лена

Приводя данные значения к соотношениям вида (1), коэффициента редукиции стока наносов [6], характеризующего соотношение между эрозией и аккумуляцией,

$$K_{\text{red}} = \frac{W_w + W_{ch}}{W_s} \quad (1)$$

где  $W_w$  – водосборная эрозия,  $W_{ch}$  – русловая эрозия,  $W_s$  – сток наносов, можно получить следующие значения. Для р. Оби  $K_{\text{red}}$  составляет 27,9,

для р. Енисея – 27,6, для р. Лены – 31,6. Если брать в расчет лишь нижние течения рек, ниже всех водохранилищ, то для р. Оби  $K_{red}$  составляет 6,55, для Енисея – 3,78, для р. Лены – 30,6.

**Благодарности.** Работы выполнены при поддержке гранта РФФ №21-17-00181 «Интегральная оценка баланса наносов речной системы р. Лена».

### Библиографические ссылки

1. Эрозионно-русловые системы: монография / Р. С. Чалов, А. Ю. Сидорчук, В. Н. Голосов. Москва: ИНФРА, 2017. 698 р.
2. *Wischmeier W., Smith D.* Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning // U.S. Department of Agriculture Handbook No. 537. 1978.
3. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes / J. F. Pekel [et al.] // *Nature*. 2016.
4. ArcticDEM; A Publically Available, High Resolution Elevation Model of the Arctic / P. Morin [et al.] // *Geophysical Research Abstracts*. 2016.
5. *Магрицкий Д. В.* Годовой сток взвешенных наносов российских рек водосбора Северного Ледовитого океана и его антропогенные изменения // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2010. С. 17–24.
6. *Алексеевский Н. И.* Формирование и движение речных наносов. Москва: Московский государственный университет, 1998. 202 с.

**АНАЛИЗ ИСТОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ, ИЗМЕНЕНИЙ  
СИСТЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И СТРУКТУРЫ ПОСЕВОВ В  
РЕГИОНАХ ЕТР С РАЗЛИЧНЫМИ ПРИРОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ  
И ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОГО ОСВОЕНИЯ  
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ  
ТЕМПОВ И ОБЪЕМОВ СМЫВА ЗА ПОСЛЕДНИЕ СТОЛЕТИЯ**

**Н.Н. Иванова**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Москва, Ленинские горы, 1, 119991, Россия, email: [nadine\\_iv@mail.ru](mailto:nadine_iv@mail.ru).*

На основании анализа литературных и архивных источников и картографических материалов разных лет создания реконструирована динамика и пространственное положение границ пахотных угодий, а также почвозащитная способность посевных культур с конца XVIII в. до наших дней для ключевых участков, расположенных в регионах с различными природными условиями, длительностью и характером массового земледельческого освоения. Выявлены общие черты и различия для районов юга лесной, севера лесостепной и юга лесостепной зон европейской территории России (ЕТР).

**Ключевые слова:** почвенный покров; трехпольная система земледелия; перелог; границы пашни.

Активизация эрозионно-аккумулятивных процессов, изменение водного режима распаханых территорий приводят к радикальной перестройке потоков вещества на водосборах по сравнению с их естественным состоянием. Под влиянием длительной распашки и сопутствующих ей процессов на огромных пространствах произошло изменение морфологии и свойств почвенных профилей, а сами почвы зачастую полностью или частично потеряли свой первоначальный облик. В структуре почвенного покрова и строении почвенных профилей в агроландшафтах записаны изменения характера и пространственной локализации агрогенной нагрузки за всю историю земледельческого освоения. Для создания экологически безопасных схем землепользования, основанных на понимании того, как преобразуется почвенный покров в долгосрочной перспективе, необходима ретроспективная оценка изменений площади пашни, ее пространственного положения относительно основных элементов рельефа, эволюции систем землепользования, а также изменений почвозащитной способности высеваемых культур в региональном аспекте. Такого рода исследования были проведены в районах европейской территории России с различными

природными условиями, длительностью и характером массового земледельческого освоения.

Ключевой участок «Ельдигино» находится на юге лесной зоны к северо-востоку от Москвы на юго-западных отрогах Клинско-Дмитровской гряды. Среднегодовое количество осадков 600–700 мм, почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами разной степени оглеения, оподзоленности и эродированности на покровных суглинках. Содержание органического вещества в пахотных горизонтах современных почв составляет 1,5–2 %. Первое упоминание населенных пунктов датируется 1501 г. Пашня, находящаяся в постоянной обработке, занимала к этому времени несколько сотен десятин, т.е. первые проценты от площади ключевого участка [1]. Участок «Плавск» расположен на севере лесостепной зоны в южной части Тульской области в пределах самой приподнятой части Среднерусской возвышенности. Количество осадков уменьшается до 525–630 мм в год, в почвенном покрове доминируют черноземы выщелоченные и оподзоленные на покровных и лессовидных суглинках. Содержание  $C_{орг}$  в пахотном горизонте современных почв в среднем составляет 5,6 %, изменяясь от 7,5 % до 1,9 % при сильной степени смывости. По косвенным данным (сведениям из писцовых книг, положению засечных черт) установлено, что массовая распашка началась не ранее середины XVII в. [2]. Участок «Жердевка» представляет собой бассейн малой реки на юге Тамбовской области, в юго-восточной части Окско-Донской низменности. В ландшафтном отношении это юг лесостепной зоны. Среднегодовое количество осадков колеблется от 480 до 630 мм, почвенный покров достаточно однородный, представлен черноземами типичными и выщелоченными. Содержание органического вещества в пахотном горизонте колеблется от 7,5 % до 5 %, вариабельность в основном определяется степенью смывости почв.

Реконструкция длительности и характера земледельческого освоения проведена на основании анализа литературных и архивных источников, пространственное изменение границ угодий установлено по крупномасштабным картам разного времени создания. В России первым картографическим источником, отражающим положение границ угодий, были планы Генерального межевания (ГМ). В пределах участка «Ельдигино» межевые работы проводились летом и осенью 1790 г., на участке «Плавск» в период между 1776-1780 гг., на юге современной Тамбовской области – с 1782 по 1790 гг.

Длительность освоения участка «Ельдигино» более 5 столетий, максимальная распаханность была в конце XVIII в. Распашка носила «очаговый» характер, в основном обрабатывались территории, прилегающие к населенным пунктам. Вплоть до середины XIX в. была широко развита

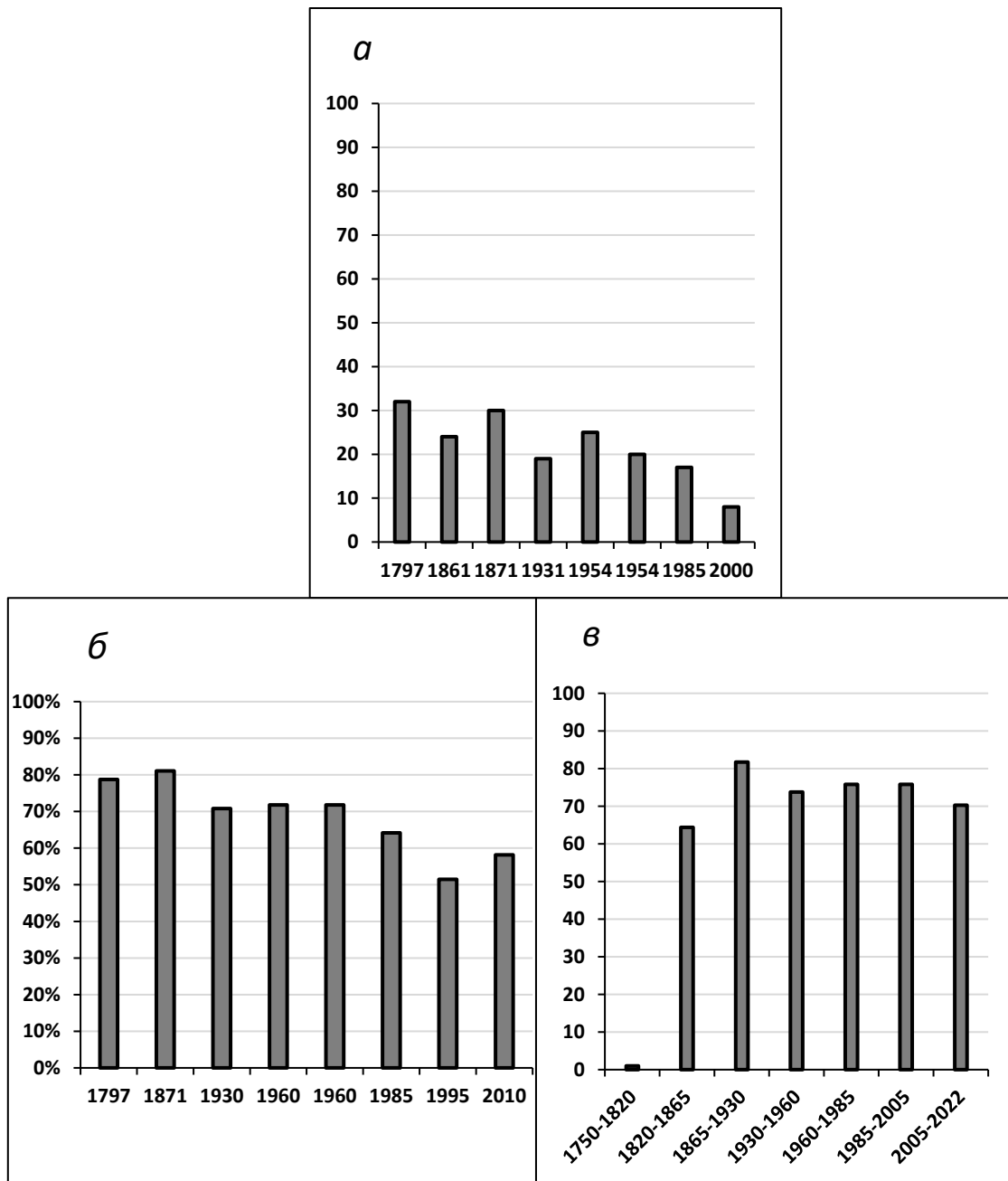
практика перелога. Таким образом антропогенная нагрузка была «скользящей», участки пашни забрасывались, зарастали лесом и вновь вводились в эксплуатацию. Подобная ситуация характерна и для других регионов юга лесной зоны ЕТР [3]. Непрерывной земледельческой обработке за все время освоения подвергалась очень незначительная часть ключевого участка, доля земель, непрерывно распаханавшихся более 200 лет, составила 4% территории.

Земледельческое освоение юга Тульской губернии до середины XVII в. лимитировалось угрозой татарских набегов. Массовое освоение земель началось после завершения строительства Белгородской укрепленной линии и было по историческим меркам стремительным. С конца XVII по конец XIX вв. было распаханно более 64% территории губернии. В пределах участка «Плавск» к моменту Генерального межевания пашня занимала 79 % территории, т.е. с учетом площади под долинно-балочной сетью (11 %), селитебными территориями и лесами (10 %) освоены были все пахотнопригодные участки. В связи с отсутствием свободных земель перелог не практиковался, агрогенная нагрузка была постоянной. Максимальная распаханность зафиксирована в период после реформы 1861 г. (рис.), незначительный прирост запашки был достигнут за счет освоения бортов долинной сети. Это вызвало значительное увеличение объемов эрозионных потерь [4].

В пределах участка «Жердевка» на юге Тамбовской области до начала XIX в. сохранялись целинные степи. На Плане генерального межевания Борисоглебского уезда ключевой водосбор покрыт лугами, местами заболоченными, и зарослями кустарника на бортах долинной сети. В связи с отсутствием точных данных, на основании анализа темпов прироста населения Борисоглебского уезда по данным III-VIII подушных ревизий (1763-1833 гг.) за дату начала массовой распашки бассейна был принят 1820 г. К началу 1850-х гг. пахотные угодья занимали уже 65% площади. Максимальные размеры пашни, как и на участке «Плавск», были отмечены после реформы 1861 г. (рис.) за счет освоения бортов долинной сети. Факт запашки склонов долин и балок зафиксирован на картах Экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России [5]. В начале освоения большой резерв свободных земель обусловил широкое развитие практики перелога (залежи). Поэтому вплоть до середины XIX в. агрогенная нагрузка в какой-то степени носит «скользящий» характер.

Состав и структуру севооборотов за все время земледельческого использования территории восстановить невозможно. Количественные данные о площадях под разными культурами появились только в 80-х гг. XIX в. в результате проведения поземельных переписей. В литературных источниках были собраны сведения о составе культур, когда-либо высевавшихся в исследуемых регионах. Список культур был разбит на группы по

степени их почвозащитной способности – озимые, яровые густопокровные, пропашные и пр. Ретроспективная оценка площадей, занятых группами культур, проводилась с учетом использовавшихся систем земледелия.



Динамика распаханности ключевых участков  
(а – «Ельдигино», б – «Плавск», в – «Жердевка»)

Вплоть до начала XX в. во всех исследованных регионах, несмотря на различие природных условий и характера освоения, господствовала трехпольная система. В XVIII – начале XIX вв. на юге лесной зоны и на юго-востоке лесостепной это было трехполье с элементами перелога, на севере



лесостепной зоны – классическое трехполье. В озимом клину вплоть до середины XX в. на всех исследованных участках преобладала рожь, причем в Тульской области эта тенденция сохранялась до 1970-х гг. Региональные различия проявились в основном в составе посевов ярового клина. На юге лесной и севере лесостепной зон до середины XIX в., когда появились первые посевы пропашных, культивировались в основном овес, ячмень и в небольшом количестве гречиха. В уездах юга Тамбовской губернии значительная часть ярового поля отводилось под просо, которое считается пропашной культурой. Однако вопрос об отнесении той или иной культуры к пропашным, т.е. тем, которые для нормального развития нуждаются в широких междурядьях и нескольких междурядных обработках почвы, в историческом разрезе является достаточно сложным. Строчный посев стал практиковаться в исследованных регионах только на рубеже XIX и XX вв. с появлением механических сеялок [6], до этого сеяли вручную вразброс. Поэтому невозможно точно оценить, как выдерживалось требование широких промежутков между растениями и обработок в течение вегетации для посевов проса и гречихи. В отношении сахарной свеклы известно, что ее высевали рядами и пропалывали, а такие пропашные культуры как подсолнечник и кукуруза получили широкое распространение уже в XX в.

Наши исследования показали, что набор посевных культур и практикуемые системы земледелия оказались достаточно консервативными величинами как в пространственном, так и во временном отношении. В районах, массовое земледельческое освоение которых началось в эпоху господства натурального крестьянского хозяйства, паровое трехполье сохранялось вплоть до первой четверти XX в. Было установлено, что после реформы 1861 г. в пределах ключевых участков лесостепной зоны «Плавск» и «Жердевка», где к этому времени отсутствовал резерв свободных земель, при наделении крестьян землей были частично распаханы борта долинно-балочной сети. Наличие для участка «Жердевка» карты пахотных угодий, составленной во время работ Экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России, позволили точно оценить площадь введенных в земледельческий оборот крутосклонных участков.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 22-27-00170).

### Библиографические ссылки

1. Иванова Н. Н., Фомичева Д. В., Шамигурина Е. Н. Изменение ареалов пахотных угодий за 250 лет (на примере ключевого участка в Московской области) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 3. С. 52–67.

2. Иванова Н. Н., Фомичева Д. В., Рухович Д. И., Шамигурина Е. Н. Ретроспективный анализ истории земледельческого освоения и оценка темпов эрозии почв в бассейне р. Локна, Тульская область // Почвоведение. 2023. № 7. С. 872–886.

3. Энгельгардт А. Н. Из деревни. 12 писем. 1872–1887. М.: Мысль, 1987.

4. Zhidkin A., Gennadiev A., Fomicheva D., Shamshurina E., Golosov V. Soil erosion models verification in a small catchment for different time windows with changing cropland boundary // Geoderma. 2023. V. 430. P. 116–322.

5. Труды Экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. Бассейны Савалы и Битюка: Исслед. Лесоводственного отд. 1899 г. М.: Типо-лит. т-ва И. Н. Кушнерев и К<sup>о</sup>, 1902.

6. Россия. Полное географическое описание нашего отечества: настольная и дорожная книга для русских людей. / Под ред. В. П. Семенова / Т. 2. Среднерусская Черноземная область (Курская, Орловская, Тульская, Рязанская, Тамбовская, Воронежская и Пензенская губернии). СПб.: Типография А. Ф. Девриен, 1902.

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ПРИ ХРАНЕНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Н.Н. Костюченко<sup>1)</sup>, М.М. Дашкевич<sup>1)</sup>, А.А. Волчек<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,  
ул. Советских пограничников, 41, 224030, Брест, Беларусь, email: [kost-n@rambler.ru](mailto:kost-n@rambler.ru)

<sup>2)</sup> Брестский государственный технический университет,  
ул. Московская, 267, 224017, Брест, Беларусь

В настоящее время мониторинг сельскохозяйственных земель, расположенных вблизи животноводческих комплексов, проводится нерегулярно, данных по хранению отходов животноводства на различных типах почвах недостаточно. Поэтому целью наших исследований являлась оценка влияния длительного хранения подстилочного навоза крупного рогатого скота на содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве. Установлено, что складирование данного органического удобрения в полевых условиях в течение 8–20 месяцев приводит к накоплению в ней изучаемых элементов. При хранении подстилочного навоза 20 месяцев, на расстоянии 1 м от штабеля навоза, обнаружено превышение фонового уровня содержания в пахотном слое почвы меди в 1,4 раза, цинка и хрома в 1,1 раз, но их концентрации не превышали предельно допустимый уровень для незагрязненных почв.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва; подстилочный навоз; тяжелые металлы; фоновое содержание; предельно допустимая концентрация.

Химическое загрязнение является одним из видов деградации почв, приводящее к устойчивому изменению и ухудшению их свойств, что отрицательно сказывается на качестве растениеводческой продукции. Большую опасность для агроландшафтов представляют тяжелые металлы. Они достаточно быстро накапливаются в почве и медленно из нее выводятся. Употребление в пищу продуктов, в которых содержание тяжелых металлов превышает допустимую норму, негативно воздействует на здоровье животных и человека. Кроме того, на легких по гранулометрическому составу почвах (песчаные и супесчаные разновидности почв подзолистого типа), вследствие их низкой адсорбционной способности, малой буферности, высокой кислотности [1], возникает угроза загрязнения вышеуказанными элементами подземных вод.

Одним из источников поступления в агроэкосистему тяжелых металлов являются органические удобрения [2]. Это связано с обогащением кормов микроэлементами и иными веществами с целью повышения продук-

тивности животных. Иногда хранение органических удобрений осуществляется на сельскохозяйственных угодьях, что допускается при соблюдении определенных требований [3]. Однако данных о влиянии такого способа хранения удобрений на химический состав почвы недостаточно, поэтому возникает необходимость проведения мониторинга для разработки мероприятий по рациональному использованию земель сельскохозяйственного назначения.

Исследования проводили в 2021–2022 гг. на территории ОАО «Племзавод Мухавец» Брестского района. Почва сельхозугодий – дерново-подзолистая песчаная легкого гранулометрического состава, типичная для юго-запада Беларуси. Объектом исследований являлся участок пашни, отведенный для складирования и хранения подстилочного навоза крупного рогатого скота (КРС). Размеры штабеля – 127×9×1,5 м.

Отбор проб проводили на расстоянии 1 м и 5 м от места складирования навоза: с пахотного (0–25 см) и подпахотного (25–40 см) горизонтов.

На содержание тяжелых металлов пробы анализировали методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе iCAP 7200 по ГОСТ ISO 22036-2014. В качестве экстрагирующего раствора использовали смесь азотной и соляной кислот в соотношении 1:3 (ISO 11466:1995).

Содержание большинства тяжелых металлов преобладало в пахотном слое почвы в непосредственной близости от штабеля навоза, но их численные значения не превышали порогового уровня, характерного для незагрязненных почв [4].

Результаты исследований, проведенных в 2021 году, по истечении 8 месяцев хранения подстилочного навоза в полевых условиях, показали, что в почве на расстоянии 1 м от места складирования органического удобрения концентрации тяжелых металлов в ее верхнем слое увеличились по сравнению с 5 м, однако не выходили за пределы фонового содержания, свойственного для дерново-подзолистых почв юго-запада Беларуси [5]. Так, концентрация цинка в пахотном слое почвы в 1 м от штабеля навоза возросла в 1,6 раз и была на уровне 10,51 мг/кг, свинца, никеля и кобальта – в 1,4 раза и оказалась равной соответственно 5,40, 1,23 и 0,65 мг/кг, меди – в 1,2 раза, хрома – в 1,1 раза и составила соответственно 2,25 мг/кг и 4,17 мг/кг (табл.).

На основании данных по химическому составу почвы, полученных в 2021–2022 гг., можно утверждать, что содержание всех исследуемых тяжелых металлов при длительном хранении навоза на почве возрастает. Так концентрация марганца в пахотном слое почвы, отобранном в 1 м от штабеля, хранившегося в течение 20 месяцев, увеличилась в 1,8 раз, меди в 1,6 раз, никеля и хрома в 1,5 раз, кадмия в 1,4 раза, цинка и кобальта в 1,3 раза

по сравнению с предыдущим годом. В подпахотном слое содержание вышеуказанных элементов также возросло: марганца в 2,8 раз, меди в 2,7 раз, цинка в 2,1 раза, свинца в 2,0 раза, никеля в 1,5 раз, хрома в 1,2 раза. Полученные численные значения содержания тяжелых металлов в почве были значительно ниже предельно допустимой концентрации.

**Содержание валовых форм тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве при продолжительном хранении подстилочного навоза в полевых условиях**

Расстояние от штабеля, м	Глубина отбора образца, см	Тяжелые металлы, мг/кг							
		Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr
1	0–25	<u>5,40</u> 5,69	<u>0,05</u> 0,07	<u>2,25</u> 3,58	<u>10,51</u> 13,54	<u>19,25</u> 34,65	<u>1,23</u> 1,88	<u>0,65</u> 0,88	<u>4,17</u> 6,38
	25–40	<u>2,92</u> 5,98	<u>н.о</u> 0,08	<u>1,05</u> 2,89	<u>4,51</u> 9,73	<u>11,54</u> 31,91	<u>1,26</u> 1,91	<u>н.о</u> 0,85	<u>5,71</u> 6,63
5	0–25	<u>4,00</u> 5,22	<u>0,05</u> 0,07	<u>1,82</u> 2,38	<u>6,43</u> 8,04	<u>18,55</u> 30,57	<u>0,85</u> 1,44	<u>0,47</u> 0,63	<u>3,82</u> 5,28
	25–40	<u>н.о</u> 1,96	<u>н.о</u> н.о	<u>0,49</u> 1,80	<u>3,01</u> 7,51	<u>9,05</u> 31,08	<u>0,62</u> 1,50	<u>н.о</u> 0,71	<u>3,33</u> 5,03
Фоновое содержание для пахотных почв юго-запада Беларуси		5,98	0,18	2,52	12,65	115,2	1,80	1,10	5,55
Валовое содержание в незагрязненной почве, не более		35,5	0,94	28,2	72,1	1220	21,5	24,0	45,5

*Примечания.* В числителе – данные, полученные в 2021 г., в знаменателе – в 2022 г.; н.о – не обнаружено.

Если сравнивать данные исследований с фоновым уровнем содержания тяжелых металлов, то концентрация меди в пахотном слое почвы на расстоянии 1 м от штабеля, хранившегося в полевых условиях 20 месяцев, оказалась в 1,4 раза выше фона и составила 3,58 мг/кг, концентрации цинка и хрома превысили фоновый уровень в 1,1 раза и оказались равными 13,54 и 6,38 мг/кг соответственно.

Анализируя содержание исследуемых элементов в пахотном слое почвы на расстоянии 1 и 5 м от штабеля навоза, установлено, что на более дальнем расстоянии от складываемого удобрения концентрация цинка в среднем за два года оказалась в 1,7 раз, меди в 1,4 раза, хрома 1,2 раза ниже, по сравнению концентрациями, полученными на расстоянии 1 м и не превышали фоновые значения для данного типа почвы.

Таким образом, длительное хранение подстилочного навоза КРС в полевых условиях (8–20 мес.) приводит к накоплению в почве тяжелых металлов. При хранении органического удобрения в течение 20 месяцев в пахотном слое почвы на расстоянии 1 м от штабеля концентрация меди составила 3,58 мг/кг, цинка – 13,54 мг/кг, хрома – 6,38 мг/кг, что в 1,4, в 1,1, 1,1 раз, соответственно, выше их фонового содержания. Полученные численные значения не превышали порогового уровня, характерного для незагрязненных почв. Исходя из вышесказанного, не рекомендуется хранить подстилочный навоз в полевых условиях более года.

### Библиографические ссылки

1. Тяжелые металлы в песчаных почвах Псковской области / А. И. Иванов [и др.] // *Агрохимия*. 2017. № 1. С. 71–79.
2. *Обухов А. И., Попова А. А.* Баланс тяжелых металлов в агроценозах дерново-подзолистых почв и проблемы мониторинга // *Вест. МГУ. Сер. 17, Почвоведение*. 1992. № 3. С. 31–39.
3. *Шариунов В. А.* Органические удобрения из отходов животноводства и птицеводства. Минск : Мисанта, 2021.
4. Экологические нормы и правила 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. Введ. 01.07.2022. Минск : Минприроды, 2021.
5. *Михальчук Н. В., Мялик А. Н.* 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 // *Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике*. Минск: СтройМедиа-Проект, 2019. С. 266–781.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА ЭРОЗИОННООПАСНОМ СКЛОНЕ

**А.В. Прущик**

*Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, ул. К. Маркса, 70Б, 305021,  
Россия, email: model-erosion@mail.ru*

Проведена оценка эффективности водорегулирующей тополевой двухрядной лесной полосы на склонах западной экспозиции по сравнению с контролем без лесных насаждений многолетнего стационарного полевого опыта по контурно-мелиоративному земледелию ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Курская область, Российская Федерация). Применяли метод физического моделирования – дождевания стоковых площадок с применением портативной и лабораторно-полевой дождевальной установки. С помощью QGis 3.16.11 были рассчитаны потери почвы при ливневых дождях, установлены площадки с одинаковыми потерями на изучаемых склонах. Определена установившаяся скорость впитывания и величина смыва почвы при физическом моделировании дождя для чернозема типичного. Сравнивая данные между весенним и осенним исследованиями, можно отметить, что интенсивность впитывания почвы снизилась в два раза в осенний период.

**Ключевые слова:** эрозия почвы; метод дождевания стоковых площадок; водорегулирующие лесные полосы.

Для определения эффективности лесных полос, размещенных на эрозионно-опасном склоне, необходимо применение комплексного подхода, включающего анализ различных факторов и параметров: проведение измерений различных свойств почвы, например, содержания органического вещества, плотности, структурно-агрегатного состава и впитывающей способности. Кроме этого, важно учитывать эрозионно-гидрологические показатели, включающие высоту снега, глубину промерзания, сток и смыв почвы. Комбинирование результатов различных методов позволит получить всестороннюю оценку эффективности лесных полос и их роль в сокращении эрозионных потерь почвы на эродируемых склонах.

Большое внимание уделялось изучению эрозии почвы при снеготаянии [1–5]. Однако в последние годы на территории Курской области наблюдаются мягкие зимы, характеризующиеся небольшой глубиной промерзания почвы и малой высотой снежного покрова. При таких условиях не формируется интенсивный сток талой воды и отсутствует смыв почвы. В то же время увеличилось количество дней с выпадением жидких осадков высокой интенсивности. Например, за весенне-летний период 2023 года, зарегистрировано 4 дня с интенсивными осадками слоем от 21

до 63 мм. В связи с этим актуально изучение последствий ливневой эрозии.

Цель исследования – провести оценку эффективности водорегулирующей лесной полосы на эрозионно-опасном склоне.

Работа проведена на склонах многолетнего стационарного полевого опыта по контурно-мелиоративному земледелию ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Курская область, Российская Федерация).

На опыте были выбраны склоны западной экспозиции двух водосборов. На контроле отсутствуют лесные полосы. На другом водосборе лесные полосы посажены по контуру поперек склона. Они имели 2 ряда, усилены простыми гидротехническими сооружениями: водоулавливающей канавой в междурядье деревьев и насыпного вала по нижней опушке. Расстояние между лесными полосами составляет 216 м. Высота деревьев в среднем 30 м, состояние древостоя удовлетворительное.

Почва – чернозем типичный и выщелоченный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лёссовидных суглинках, слабоэродированный в нижней части склонов.

Выпадение дождей высокой интенсивности – случайное явление, которое невозможно запланировать. Для натуральных экспериментов необходимо организовывать стационарные стоковые площадки, но получение необходимых данных в этом случае может занять не одно десятилетие. Поэтому нами был выбран метод физического моделирования ливневой эрозии с помощью портативной лабораторно-полевой дождевальная установка (патент на полезную модель РФ № 184625) и лабораторно-полевой дождевальная установка (патент на изобретение РФ № 2417578).

Портативная лабораторно-полевая дождевальная установка предназначена для исследования впитывающей способности почвы и выноса растворенных форм химических веществ с поверхностным стоком. Дождь, создаваемый этой установкой, имеет следующие параметры: диаметр капель –  $3,99 \pm 0,30$  мм, диапазон регулируемой интенсивности 1,2-2,8 мм/мин при стабильности дождя в течение часа – 3%, высота падения капель – 0-1,5 м. Рабочая площадь орошения 0,07 м<sup>2</sup>.

Лабораторно-полевая дождевальная установка предназначена для исследования влияния ливневых осадков на сток воды и смыв почвы. Характеристика, создаваемого ею дождя: диаметр капель –  $4,50 \pm 0,30$  мм, диапазон регулируемой интенсивности 1,0-1,9 мм/мин при стабильности дождя в течение часа – 3%, высота падения капель – 0-2,5 м. Рабочая площадь орошения 3 м<sup>2</sup>.

С помощью дождевальных установок возможно моделирование естественных дождей для различных климатических условий, где проявляется дождевая эрозия. В качестве критерия подобия использован эрозионный

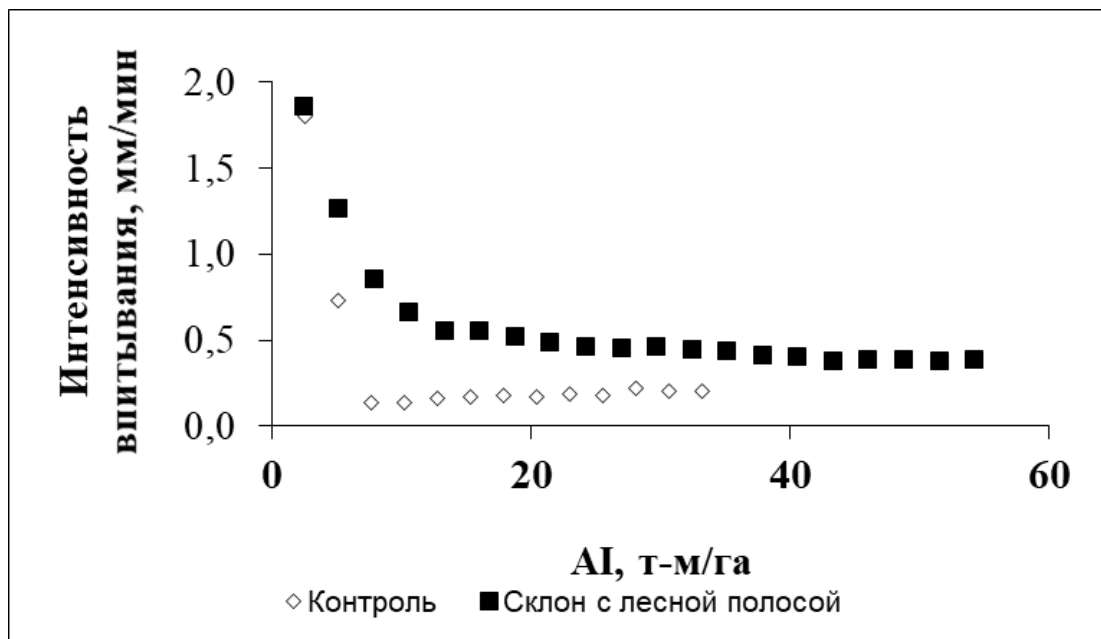


индекс дождя  $AI$  (Дж/кв.м), при его одинаковом значении для естественного и искусственного дождя получается одинаковый эрозионно-гидрологический эффект.

С использованием программы QGIS 3.16.11 была создана цифровая модель рельефа для изучаемых нами склонов. На ее основе рассчитаны уклоны, линии стока при выпадении ливней. Расчеты произведены по среднемноголетним данным потери почвы. Затем были определены площадки с одинаковым смывом почвы на контроле и склоне с лесными полосами. На данных площадках были проведена серия экспериментов с портативной лабораторно-полевой дождевальная установка для определения впитывающей способности почвы весной до посева культуры и после уборки.

Анализ данных показал, что весной, при одинаковой влажности и плотности почвы пахотного горизонта (в пределах погрешности), впитывающая способность почвы не отличалась на склоне с лесными полосами и на контроле и была равна  $0,71 \pm 0,13$  мм/мин.

Осенью при после уборки урожая была получена достоверная разница между интенсивностью впитывания на склоне с лесными полосами и контролем (рис.).



Зависимость интенсивности впитывания от эрозионного индекса дождя

Интенсивность впитывания для почвы, расположенной на склоне с лесными полосами выше в два раза по сравнению с контролем. Сравнивая данные между весенним и осенним исследованиями, можно отметить, что интенсивность впитывания почвы снизилась в два раза в осенний период.

Это может быть связано с более низкой влажностью почвы и структурно-агрегатным составом верхнего слоя почвы.

Исходя из этих выводов, можно предположить, что наличие лесных полос на склоне влияет на интенсивность впитывания почвы. Лесные полосы, улучшают структуру и водоудерживающие свойства почвы, что способствует более эффективному впитыванию влаги. Также, сезонные изменения могут оказывать существенное влияние на этот процесс.

С помощью лабораторно-полевой дождевальная установка проведено искусственное дождевание стоковой площадки (3 м<sup>2</sup>) для физического моделирования дождя с интенсивностью 1,33±0,03 мм/мин в течение 1 часа со стабильностью осадков в пределах 3%. Уклон площадки был 2,6°. Начало стока отмечено через 5 минут. Смыв почвы со стоковой площадки в переводе на гектар получен 3,2 тонны. Этот показатель превышает допустимую норму эрозии для чернозема типичного неэродированного.

Из полученных данных следует, что при заданных условиях, включая интенсивность осадков и уклон стоковой площадки, происходит значительный смыв почвы, превышающий допустимые нормы, на контрольном водосборе. Лесные полосы представляют собой линейные рубежи, препятствующие усилению эрозионных процессов.

### Библиографические ссылки

1. Лисецкий Ф. Н., Светличный А. А., Черный С. Г. Современные проблемы эрозиоведения. Белгород: Константа, 2012. 456 с.
2. Ивонин В. М. Эрозия почв при талом стоке на склонах с лесными полосами // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11. № 2. С. 126–143.
3. Литвин Л. Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002.
4. Влияние эрозионных процессов на изменение параметров основных агрохимических показателей плодородия почв склоновых сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. А. Логачев [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2022. № 2 (69).
5. Система нормативных показателей для прогноза и оценки эколого-экономических потерь в результате эрозионных процессов / А. М. Устинова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2023. № 1 (70).

## ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ПОЧВАХ В ЗОНАХ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ: МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ

Т.И. Кухарчик, В.Д. Чернюк, К.О. Рябычин

*Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, ул. Ф. Скорины, 10, 220076,  
Беларусь, email: [ryabychin.ltp.bas@gmail.com](mailto:ryabychin.ltp.bas@gmail.com)*

Исследования выполнены на промплощадке и в зонах воздействия предприятий по производству пенополистирола в гг. Минск и Борисов (Беларусь). Цель работы – апробация методов пробоподготовки почв и выделения частиц микропластика полистирола из почвы. Пробы почв отбирались с учетом техногенных и природных факторов с различной глубины. Определение содержания частиц полистирола (размером менее 5 мм) в пробах почв осуществлялось с использованием методов просеивания, флотации, удаления органических веществ и нагревания. Количество частиц оценивалось визуально и с использованием микроскопии. Обсуждаются пути перераспределения частиц микропластика с различными потоками.

**Ключевые слова:** микропластик; загрязнение почв; флотация; фильтрация; микроскопия.

Загрязнение почв пластиком и микропластиком, наряду с загрязнением пресноводных систем и Мирового океана, носит глобальный характер как по проявлению, так и необходимости совместных усилий по минимизации последствий [1]. В последние годы повышенное внимание уделяется наземным экосистемам в связи с осознанием преобладания источников загрязнения на суше, а также опасности аккумуляции пластика в депонирующих компонентах и его негативного воздействия на живые организмы [2–4].

В настоящее время под определение «микропластик» попадают частицы пластика размером менее 5 мм [5], хотя споры о размерах частиц продолжаются. В некоторых исследованиях [6] микропластик подразделяется на крупный (от 1 до 5 мм) и мелкий (от 1 мкм до 1 мм).

Важными источниками загрязнения почв частицами микропластика являются предприятия по производству первичных полимеров и их использованию. Среди всего разнообразия полимерных материалов полистирол представляет собой один из приоритетных по масштабам производства и применения (после полиэтилена, полипропилена и поливинилхлорида). Именно гранулы полистирола (размером от 0,1 до 2 мм) были

впервые идентифицированы в прибрежных водах южной части Новой Англии [7].

В Беларуси полистирол не производится, однако широко используется на промышленных предприятиях в качестве сырья. Нами в качестве объектов исследования выбраны предприятия по производству пенополистирольных плит и других изделий из пенопласта, расположенные в Минске и Борисове (Беларусь). При отборе проб почв учитывались источники поступления частиц полистирола, уклоны поверхности, наличие водотоков и другие факторы. В ряде случаев на поверхности почвы визуальными диагностировались вспененные гранулы полистирола и фрагменты пенополистирольных плит (рисунок). Отбирались смешанные и точечные пробы; глубина отбора составляла 0–2, 0–5, 0–10, 0–20 см.



Вспененные гранулы полистирола на поверхности почвы вблизи предприятия по производству пенополистирола, г. Минск

Для определения содержания частиц микропластика полистирола выбраны и применялись следующие методы: просеивание с использованием стандартного набора сит, флотация в дистиллированной воде и нагревание. После просеивания пробы отмечалось наличие частиц пластика во фракции более 5 мм. Для удаления естественных органических остатков проба обрабатывалась 30 % раствором перекиси водорода (в соотношении 1:5). После полного растворения органического вещества и добавления дистиллированной воды раствор отстаивался, а затем подогревался в сушильном шкафу до полного испарения воды и получения сухой почвы. Под действием температуры гранулы сырья полистирола начинали набухать и вспениваться, что в дальнейшем позволяло визуальным образом определить их количество в выбранной навеске.

В случаях сильного скрепления полистирола с почвой во избежание его дробления пропускалась фаза фракционирования. Навеску почвы за-

ливали дистиллированной водой в соотношении почва:вода – 1:5 и тщательно взбалтывали для высвобождения полистирола. Затем повторялась процедура с нагревом и последующим подсчетом вымытых водой и/или вспененных гранул полистирола.

Результаты исследований показали, что количество частиц микропластика достигает сотен и тысяч единиц в пересчете на килограмм сухого вещества, при этом доминирующей фракцией является микропластик размером менее 1 мм, которыми вероятно представлены различные типы сырья [8]. Микропластик зафиксирован как в верхних горизонтах почвы (до 5 см), так и на глубине до 15–20 см. Показано, что рассеяние гранул сырья полистирола и отходов производимой продукции (в виде вспененных гранул и крошки пенопласта) приводит к загрязнению почв не только на промплощадках, но и за их пределами. Полученные данные указывают на потенциальную опасность переноса частиц полистирола с воздушными и водными потоками, а также при рассеянии отходов.

### Библиографические ссылки

1. *Bank M. S.* Microplastic in the Environment: Pattern and Process. 2022. P. 131–153.
2. Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review/ R. Qi [et al.] // *Sci. Total Environ.* Elsevier. 2020. Vol. 703. P. 134722.
3. *Helmberger M. S., Tiemann L. K., Grieshop M. J.* Towards an ecology of soil microplastics // *Funct. Ecol.* Blackwell Publishing Ltd. 2020. Vol. 34, № 3. P. 550–560.
4. *Kim Y. N., Yoon J. H., Kim K. H.* Microplastic contamination in soil environment – a review // *Soil Sci. Annu.* Soil Science Society of Poland. 2021. Vol. 71, № 4. P. 300–308.
5. Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite / C. M. Rochman [et al.] // *Environ. Toxicol. Chem.* John Wiley & Sons, Ltd. 2019. Vol. 38, № 4. P. 703–711.
6. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know / M. Wagner [et al.] // *Environ. Sci. Eur.* Springer Verlag. 2014. Vol. 26, № 1. P. 1–9.
7. Polystyrene Spherules in Coastal Waters / E. J. Carpenter [et al.] // *Science.* American Association for the Advancement of Science. 1972. Vol. 178, № 4062. P. 749–750.
8. *Кухарчик Т. И., Чернюк В. Д.* Загрязнение почв микропластиком при производстве пенополистирола // *Почвоведение.* РАН. 2022. № 3. С. 370–380.

## ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ В РАЙОНЕ АРАРАТСКОГО ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА

С.А. Унанян<sup>1)</sup>, А.Р. Сукиасян<sup>2)</sup>, Т.А. Джангирян<sup>1)</sup>, А.А. Киракосян<sup>2)</sup>

1) Национальный аграрный университет Армении,  
ул. Теряна, 74, Ереван, 0009, Армения

2) Национальный политехнический университет Армении,  
ул. Теряна, 105, Ереван, 0009, Армения, email: [sukiasyan.astghik@gmail.com](mailto:sukiasyan.astghik@gmail.com)

Загрязняющие вещества антропогенного происхождения, попадая в окружающую среду, вызывают необратимые и неконтролируемые последствия для биоты в целом. Особую озабоченность вызывает загрязнение почв и земель при антропогенном увеличении содержания в них ряда химических веществ, изменяя естественный региональный фоновый уровень последних и способствуя деградации почвенной структуры. В статье обсуждается экологическое состояние почв окрестностей Араратского цементного завода. Целью наших исследований было изучение загрязнения почвы по содержанию меди, цинка, свинца, железа. Опытные участки были расположены соответственно на удалении до 0,5; 2; 5; 10 и 20 (контроль) км от источника загрязнения в направлении розы ветров. Было установлено, что наиболее сильно загрязнены тяжелыми металлами почвы до 5 км от эмиссии. Их количество превышает фоновое содержание валовой формы меди от 2,90–1,99 и, соответственно, подвижной формы – 4,89–1,92 раза. Для остальных изменение по содержанию валовых форм в сравнении с их подвижными формами составило: 1,62–1,13 и 2,66–1,38 раза для цинка; 3,7–1,73 и 5,77–4,08 раза для свинца; 1,31–1,94 и 1,37–1,60 раза для железа, 2,40–1,60 и 1,63–1,70 раза для никеля. Техногенные выбросы цементного завода оказывают негативное влияние на агрохимические показатели почв, значительно превышающие уровень ПДК, на основании которых эколого-токсикологическое состояние почв не является благоприятным для использования.

**Ключевые слова:** почва; агрохимические показатели; тяжёлые металлы; удалённость от источника загрязнения; антропогенное загрязнение.

Техногенные выбросы являются одним из основных источников ухудшения состояния земельных ресурсов, необратимая деградация которых неизбежно приводит к снижению плодородия почв, непосредственно угрожая продовольственной безопасности [1]. Особое место среди загрязняющих веществ по масштабам загрязнения и воздействию на биологические объекты занимают тяжелые металлы (ТМ), особенно в почве вблизи промышленных предприятий [2]. Оседая на поверхности почвы, ТМ и их соединения имеют тенденцию накапливаться в ее верхних слоях, оказывая

непосредственное влияние на метаболические процессы роста и развития растений, снижая урожайность и качество продукции [3].

Территория Армении относится к тем регионам, где экология находится в кризисном состоянии в связи с интенсивным развитием горнодобывающей промышленности, цветной металлургии и других отраслей промышленности. Процесс деградации окружающей среды происходит здесь под влиянием неконтролируемой эксплуатации природных ресурсов и промышленного загрязнения атмосферы, воды, почвы в условиях горного рельефа, маловодности и небольших площадей сельскохозяйственных угодий. По данным О.А. Джугаряна, на Араратском цементном заводе (АЦЗ) в клинкере, цементе и пыли отсутствуют Cd, Co, Cr, а присутствие Pb зарегистрировано только в цементе и пыли. Наряду с этим многие из ТМ (Cu, Zn, Ni, Fe, Mn) также были обнаружены в клинкере, цементе и пыли [4]. В проведенном исследовании в качестве антропогенного фактора воздействия на окружающую среду рассматривались прилегающие территории АЦЗ.

Целью исследования являлась оценка степени загрязнения почв тяжелыми металлами на территориях, расположенных на различном удалении от источника загрязнения – АЦЗ, с учетом розы ветров для данного региона.

Экспериментальные исследования проводились путем совмещения полевых и лабораторных агрохимических анализов почв. Среди тяжелых металлов определялось содержание меди, цинка, свинца, железа. Опытные участки располагались на расстоянии 0,5; 2,0; 5; 10 км от источника загрязнения по направлению розы ветров. Контрольный участок был расположен на расстоянии 20 км от АЦЗ. Исследования проводили в ходе полевых, камеральных работ лабораторными агрохимическими анализами почвенных и растительных образцов в весенне-летний период 2023 г. При проведении полевых исследований по определению уровня загрязнения почв техногенными выбросами через атмосферу работ придерживались методики [5]. Смешанные почвенные образцы отбирались на эталонных участках на глубине 0–30 см. Один образец смешанной почвы состоит из 5 проб почвы, отобранных методом "конверта" по углам эталонного участка и в его центре. Образцы лугово-бурых почвы высушивались на воздухе и пропускались через сито с отверстиями диаметром 1 мм. Анализы почв проводились по общепринятым в агрохимической практике методикам: механический состав почв по Робинсону, гумус по Тюрину, сумма щелочноземельных катионов в карбонатных почвах по Иванову, реакция среды по потенциометру, подвижный азот по Тюрину-Коновой, фос-

фор по Мачигину, калий по Масловой. Содержание валовых форм тяжелых металлов определяли спектрально-эмиссионным методом, нейтронной активацией, подвижных форм – атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре "ААС-1". Все проведенные эксперименты имели до 10 аналитических повторностей и статистически обработаны [6].

АЦЗ расположен в юго-восточной части Армении в окрестностях города Арарат, который расположен в полупустынной зоне с сухим, резко континентальным климатом. Высота над уровнем моря составляет 800–1000 м. Почвы орошаемые, полупустынные, полупустынные малогумусные, которые сформировались в равнинной зоне Араратской котловины в условиях резко континентального сухого климата. Почвообразующими породами служили аллювиальные отложения реки Аракс, перекрывающие древние осадочные изверженные породы.

АЦЗ выпускает сублиматные и пуццолановые цементы, которые относятся к группе гидравлических вяжущих веществ. За многие десятилетия интенсивных работ под влиянием его антропогенных выбросов значительно изменились физико-химические свойства близлежащих почв. Это выразилось в разрушении почвенного поглощающего комплекса, в повышении обменной кислотности, в изменении степени насыщенности основаниями, в снижении/повышении содержания поглощенного кальция и магния. Все эти процессы способствуют ослаблению и разрушению связей гумусового вещества с минеральной частью почвы, увеличению скорости разложения органического вещества, эрозии почвы, нарушению соотношения элементов минерального питания, повышению электропроводности.

Согласно полученным нами результатам (табл. 1), влияние техногенных выбросов АЦЗ на агрохимические и физико-химические показатели почв в основном зависит от удаленности источника загрязнения. Так, в сильно загрязненных почвах (удаленность до 5 км от АЦЗ) содержание гумуса снизилось в среднем на 9 % по сравнению с фоном, при этом реакция почвы стала более щелочной. Содержание карбонатов увеличилось:  $\text{CO}_2$  до 2,3 раз,  $\text{CaCO}_3$  – 2,16–1,42 раза,  $\text{MgCO}$  – 2,55–1,68 раза. Обменные катионы: Ca – 1,90–1,48, Mg – 1,26–0,93, Na – 1,70–1,62 раза. Что касается техногенного влияния на подвижные формы биогенных элементов, то оно различно, а именно, наблюдается снижение подвижного азота и незначительное увеличение фосфора и калия (табл. 1).

Полученные результаты по содержанию валовых и подвижных форм исследуемых ТМ в образцах почвы вблизи АЦЗ с учетом розы ветров в данном регионе представлены в таблице 2.



Таблица 1

**Агрехимические показатели образцов почв в зоне влияния Араратского цементного завода**

R, км	pH	Гумус, %	Содержание подвижных питательных элементов, мг на 100г почвы			Обменные катионы, мг-экв на 100г почвы			Карбонаты, %		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	CO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>
0,5	8,9	1,9	2,1	3,8	40,0	27,0	11,0	3,4	13,8	28,5	8,4
2,0	8,6	1,9	2,2	3,3	37,7	20,0	10,8	3,7	11,0	24,0	7,0
5,0	8,7	2,0	3,4	2,9	37,1	18,2	8,1	2,1	9,0	18,7	5,0
20	8,2	2,2	3,3	2,9	36,1	14,2	8,7	2,9	6,0	13,2	3,3

*Примечание.* R – удаленность от источника загрязнения. тока короткого замыкания.

Таблица 2

**Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в образцах почв в зоне влияния Араратского цементного завода**

R, км	Формы тяжелых металлов, мг/кг									
	Cu		Zn		Pb		Fe		Ni	
	V <sub>TM</sub>	П <sub>TM</sub>	V <sub>TM</sub>	П <sub>TM</sub>	V <sub>TM</sub>	П <sub>TM</sub>	V <sub>TM</sub>	П <sub>TM</sub>	V <sub>TM</sub>	П <sub>TM</sub>
0,5	90,4	13,1	81,2	18,9	74,1	15,2	5180,2	667,3	36,2	4,9
2,0	85,6	12,4	76,3	18,3	58,1	13,8	4963,3	660,4	35,4	4,6
5,0	61,8	7,1	63,4	9,8	38,3	10,6	4700,2	684,2	24,1	5,1
20,0 (контроль)	31,0	3,7	56,3	7,1	20,4	2,6	3940,4	487,3	15,2	3,4
ПДК	55,0	3,0	55,0	23,0	32,0	6,0	-	-	85,3	4,4

*Примечание.* R – удаленность от источника загрязнения. тока короткого замыкания, V<sub>TM</sub> – валовая форма тяжелого металла, П<sub>TM</sub> – подвижная форма тяжелого металла, ПДК – предел допустимых концентраций.

Установлено, что повышенное содержание ТМ на территории завода, а также на расстоянии до 5 км находится в диапазонах: для Cu – 90,4–61,8 и 18,1–7,1 мг/кг; для Zn – 81,2–63,4 и 18,9–9,8 мг/кг; для Pb – 74,1–38,3 и 15,2–10,6 мг/кг; для Fe – 5180,2–4700,2 и 687,4–684,2 мг/кг; для Ni – 36,2–24,1 и 4,9–5,1 мг/кг. При этом содержание ТМ как валовых, так и подвижных по сравнению с фоном больше соответственно: для Cu – в среднем 2,5 и 3,4 раза; для Zn – 1,4 и 2,02 раза; для Pb – 2,7 и 4,9 раза; для Fe – 1,3 и 1,5 раза; для Ni – 2 и 1,7 раза. На отметке 20 км содержание ТМ в почве близко к ПДК значениям (табл. 2). В процентном соотношении в исследуемых образцах почв содержание подвижных форм ТМ

было больше содержания их валовых форм. Очевидно, что эколого-токсикологическое состояние почв в зоне влияния Араратского цементного завода до 5 км оценивается как неблагоприятное.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке РА в рамках научного проекта № 21Т-2Н216 «Оценка геоэкологических рисков многокомпонентного воздействия техногенного загрязнения природно почвенных поясов РА и разработка комплексных мер по их предотвращению».

### Библиографические ссылки

1. *Sukiasyan A.* Influence of heavy metals content in water of small rivers used for irrigation of maize of Armenian population // *Theoretical and Applied Ecology*. 2018. No. 4. P. 40–45 (in Russian). DOI: 10.25750/1995-4301-2018-4-040-045.

2. *Sukiasyan A. R., Kroyan S. Z., Skugoreva S. G., Kirakosyan A. A., Ghazaryan H. Gh.* Consequences of the impact of some industrial plants on the content of heavy metals in soils // *Theoretical and Applied Ecology*. 2021. No. 4. P. 90–97 (in Russian). DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-090-097.

3. *Hunanyan S. A.* Accumulation of heavy metals in vegetable crops in the environs of technogenic zones of Alaverdi, Lori Marz of RA // *Proceedings of Agrarian Science*. 2012. V. 10, No. 3. P. 104–108 (in Russian).

4. *Dzhugaryan O. A.* Plants as indicators and biomonitors of atmospheric pollution // *Nature, City, Man*. Yerevan, 1987. P. 260–262.

5. *Vazhenin I. G.* Diagnostics of soil fertility subjected to technogenic pollution // *Bulletin. Soil Institute named after V.V. Dokuchaev*. 1987. V. 40. P. 30–32.

6. *Kirakosyan A. A., Sukiasyan A. R.* Using MATLAB as an express method for evaluating experimental results // *International Youth Conference: Information Technologies*. Yerevan, 2005. P. 34–37 (in Russian).

## АГРЕГАТНАЯ СТРУКТУРА ЕСТЕСТВЕННЫХ И ПАХОТНЫХ ПОЧВ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**З. Тюгай, О.А. Салимгареева, А.В. Иванов, И.Я. Сидорова**

*Факультет почвоведения МГУ, Москва, Россия, e-mail: zemfira53@yandex.ru*

Исследованы микроморфологические и структурные характеристики серой лесной и каштановой почв разного землепользования. Установлено, что длительная распашка почв привела к изменениям как на мезо-, так и на микроуровнях их организации: изменяется микроагрегированность частиц и меняется гидрофильность поверхности твердой фазы почв. В пахотном горизонте серой лесной и каштановой почв отмечается нарушение агрегированности горизонта на 1–2 порядка, исчезновение крупных пор аэрации, биогенных ходов и межагрегатных пор и трещин, частично заполненных глинистым веществом, уменьшение количества растительных остатков и органического вещества в целом.

**Ключевые слова:** серые лесные почвы; каштановые почвы; структурная организация почвы; водоустойчивость; многопорядковость агрегатов; удельная поверхность почв.

Структура почвы на агрегатном уровне ее организации формируется в процессе почвообразования и для каждого типа почв характерны свои особенности ее пространственной организации и свойства, унаследованные от материнской породы в процессе педогенеза. При сельскохозяйственном использовании земель происходит трансформация структуры почв: изменяется пористость, плотность, что сказывается на гидрофизических свойствах почв.

Цель нашей работы – исследование морфологических изменений серой лесной и каштановой почв и их физико-химических характеристик при длительной распашке.

Объектами исследования явились серая лесная почва Тульской области под лесом и пашней, каштановая почва Волгоградской области под залежью и пашней. Для определения основных физических и физико-химических свойств почв были выполнены следующие анализы почв: агрегатный состав почв на виброгрохоте (Германия), содержание водоустойчивых агрегатов – методом мокрого просеивания, содержание общего углерода – методом сухого сжигания на экспресс-анализаторе на углерод АН-7529М (Белоруссия). Определена удельная поверхность общая – по сорбции па-

ров воды по Кутелику; внешняя – по адсорбции паров азота на аналитическом комплексе для определения текстурных характеристик дисперсных систем Vapor 100, Messo 222, 3P INSTRUMENTS (Германия). Смачиваемость почв определяли на анализаторе формы капли воды DSA-100 (Германия) [1, 2]. Микроморфологический анализ почв проводили с использованием почвенных шлифов на поляризационных микроскопах ПОЛАМ P113 и Soptop CX40P с камерой SIMAGIS TC-5CU [3].

Интенсивное сельскохозяйственное использование исследованных почв привело к изменениям в структурной организации как на мезоуровне, так и на микроуровне. Снизилось содержание углерода органического вещества (табл. 1), сформировалась плужная подошва и произошло уплотнение верхнего слоя.

Таблица 1

**Физико-химические свойства исследованных почв**

Тип земле- пользования	Горизонт, глубина, см	C, %	S общая по H <sub>2</sub> O м <sup>2</sup> /г	S общая по N, м <sup>2</sup> /г	КУС, в гра- дусах
Серая лесная почва					
лес	AУ 1-15	1,99	51,4	2,8	83,6
	AEL 15-32	1,04	36,8	3,6	81,8
	BEL 32-63	0,72	86,6	26,7	76,2
	BT 63-90	0,26	90,2	14,5	73,8
	BC > 90см	0,21	72,2	15,9	68,5
пашня	P 0-32	1,03	48,4	5,8	63,2
	BEL 32-70	0,37	91,6	27,9	62,0
	BT 70-92	0,37	99	32,3	57,8
	BC > 92	0,32	104,1	24,3	48,2
Каштановая почва					
залежь	AJ 1-15	1,42	101,1	11,94	42,3
	BMK 15-32	0,73	137,1	38,67	24,4
	CAT 32-63	2,01	89,6	24,97	25,6
	BC 63-90	1,98	86,7	22,84	39,2
пашня	PУ 0-32	0,85	101,0	24,49	35,1
	CAT 32-70	1,34	89,8	24,7	40,2
	BC 70-92	1,54	102,0	25,75	65,4

В пахотном горизонте серой лесной почвы отмечено более плотное сложение, которое проявляется как в уменьшении межагрегатной порозности, так и в сокращении количества пор во внутриведной массе по сравнению с верхними горизонтами серой лесной почвы под лесом (рис. 1). В исследованных почвах производилась вспашка до глубины 32 см, при которой происходило вовлечение в пахотный горизонт и перемешивание как верхней части горизонта АЕL с характерной для него слоистой структурой агрегатов (рис. 1d), так и нижней части АЕL, в которой наблюдались обломки кутан и анизотропность глинистой плазмы в зонах обогащения (рис. 1e-f). В пахотном горизонте участки ориентированной глинистой плазмы встречаются локально (рис. 1a-b) и плазма в основном анизотропная, как в горизонте АУ под лесом (рис. 1c). Анализ шлифов выявил изменение структуры порового пространства пахотных горизонтов серой лесной почвы на микроуровне в связи с разрушением агрегатов, исчезновением крупных пор аэрации, биогенных ходов и межагрегатных пор и трещин, частично заполненных глинистым веществом.

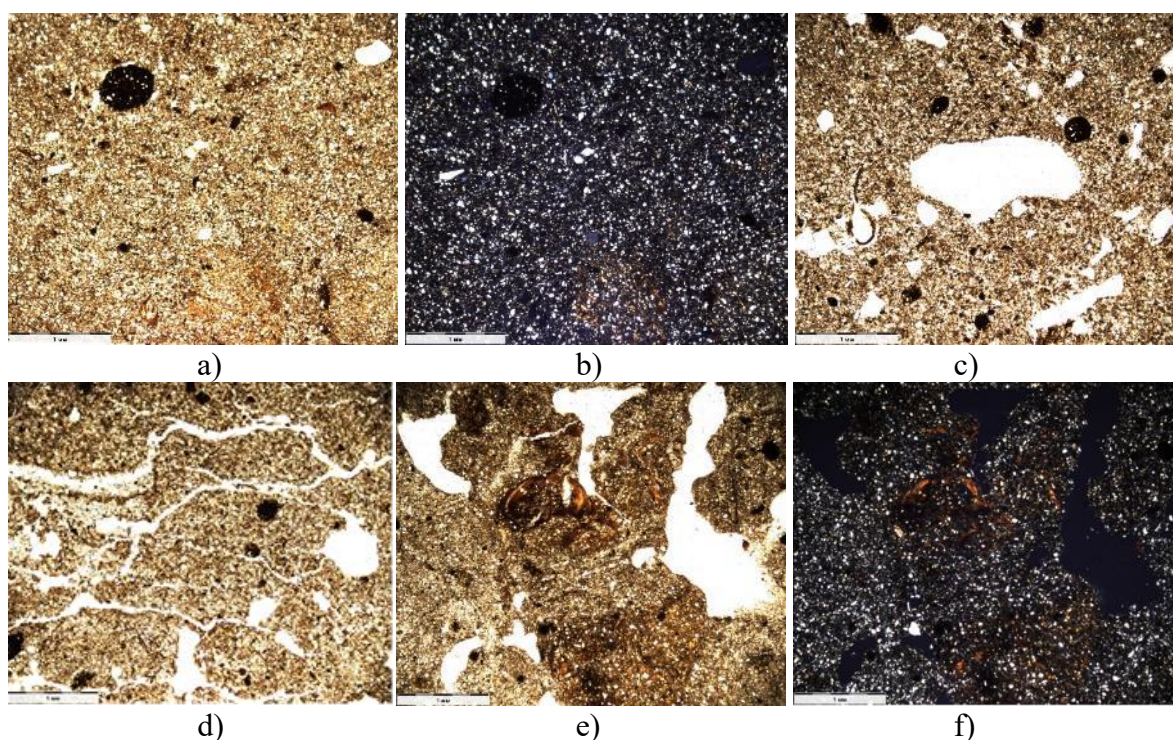


Рис. 1. Фото шлифов серой лесной почвы: внутриведная масса (ВПМ) пахотного горизонта Р а-б); под лесом – ВПМ АУ с); верхняя часть АЕL d); нижняя часть АЕL e-f) x40. Фото b, f) с анализатором. Масштабный отрезок 1 мм.

В светло-каштановой почве на мезоуровне обнаружены следующие изменения пахотного горизонта по сравнению с аналогом на залежи: отмечается более плотное сложение горизонта, агрегаты преимущественно



меньшего порядка. На микроморфологическом уровне в пахотном горизонте наблюдаются следующие изменения: нарушение агрегированности горизонта на 1–2 порядка, уменьшение количества пор, трещин, растительных остатков и органического вещества в целом (рис. 2). Плазма карбонатно-глинистого состава без признаков оптической ориентации. Местами вокруг порового пространства и по трещинам просматриваются карбонаты в виде микрокристаллического кальцита.

Согласно классификации Н.А. Качинского, оба варианта серой лесной почвы относятся к суглинку среднему. Содержание физической глины (фракции  $<0.01$  мм) по всему профилю  $\sim 36\text{--}45\%$ . Содержание тонких

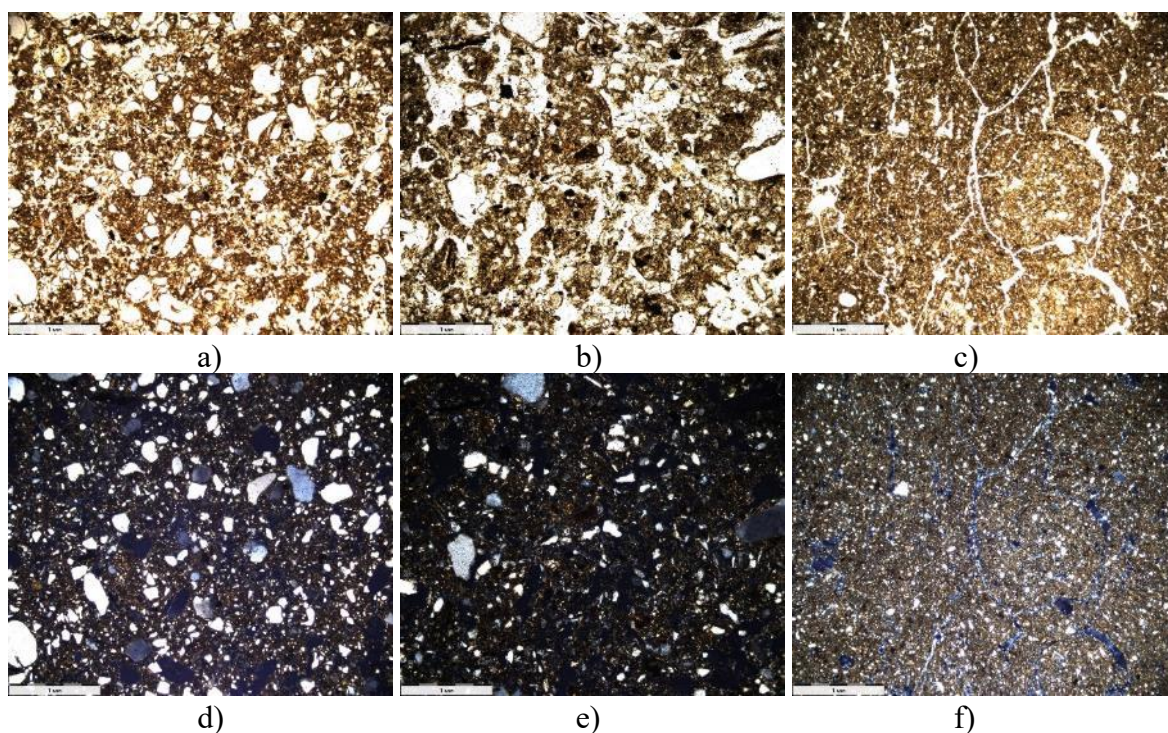


Рис. 2. Фото шлифов каштановой почвы: ВПМ пахотного горизонта РУ а), d); под залежью – ВПМ АJ b), e); ВМК с), f)  $\times 40$ . Фото а-с) – без анализатора, d-f) – с анализатором. Масштабный отрезок 1 мм.

фракций  $<0,001$  мм незначительное –  $1,5\text{--}4,3\%$ . Из всех фракций преобладает фракция крупной пыли (фракции размерами  $0,01\text{--}0,05$  мм). Оба варианта каштановой почвы относятся к суглинку тяжелому. Содержание физической глины (фракции  $<0,01$  мм по всему профилю  $\sim 41\text{--}53\%$ . Содержание тонких фракций  $<1$  мкм  $4,91\text{--}8,71\%$ . Из всех фракций преобладает фракция крупной пыли (фракции размерами  $0,01\text{--}0,05$  мм). Гранулометрический состав почв в результате длительной распашки не изменился. Агрегатный состав в результате распашки изменился (табл. 2). В серой лесной почве распашка привела к увеличению глыбистости структуры и почва под пашней

перешла в другую градацию по сравнению с целинным аналогом. В каштановой почве распашка, наоборот способствовала снижению глыбистости структуры. Установлено снижение содержания водопрочных агрегатов в верхних гумусо-аккумулятивных горизонтах пашни. Верхние гумусо-аккумулятивные горизонты характеризуются наименьшими величинами общей удельной поверхности, что связано с высоким содержанием органического вещества в них (табл. 1). Наиболее ярко заметно влияние органического вещества на степень дисперсности почвенных частиц при определении величины внешней удельной поверхности по адсорбции паров азота. Вовлечение почвы в севооборот в нашем случае не привело к увеличению общей степени дисперсности почвы. Величина внешней удельной поверхности на пашне увеличилась в 1,5–2 раза. Что свидетельствует об изменении микроагрегированности почвенных частиц. Об этом же и свидетельствуют данные по величинам краевых углов смачивания. Почвенные частицы при длительной распашке характеризуются более низкими величинами углов смачивания по сравнению с их целинными аналогами.

Таблица 2

**Свойства структуры исследованных почв**

Тип землепользования	Горизонт, см	Сумма агрегатов (10-0,25 мм), %	Агрегаты >10мм, %	Оценка структуры
Серая лесная почва				
лес	АУ 1-15	61,6	20,8	отличное
пашня	Р 0-32	53,6	47,9	хорошая
Каштановая почва				
залежь	АЖ 1-15	49,2	39,68	неудовлетворительное
пашня	РУ 0-32	49,4	27,4	неудовлетворительное

Длительная распашка почв привела к изменениям как на мезо- так и на микроуровнях их организации: изменяется микроагрегированность частиц и гидрофильность поверхности твердой фазы почв.

Исследование проведено по темам НИР: «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления» (№ 121040800146-3) и «Почвенные информационные системы и оптимизация использования почвенных ресурсов» (№ 121040800147-0).

Авторы статьи выражают огромную благодарность заведующей кафедрой физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ про-

фессору Умаровой Аминат Батальбиевне за предоставленную возможность провести исследования на Аналитическом комплексе Vapor100, Meso 222, 3P INSTRUMENTS.

### **Библиографические ссылки**

1. *Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А.* Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М. : Изд-во Высшая школа, 1973. 399 с.

2. *Хайдапова Д. Д., Милановский Е. Ю., Тюгай З. Н., Бутылкина М. А., Шейн Е. В., Дембовецкий А. В.* Практикум по физике твердой фазы почв : учебное пособие. М. : Издательство ООО «Буки-Веди», 2022. ISBN 978-5-4465-3536-1. 132 с.

3. Методическое руководство по микроморфологии почв. Учеб. пособие / Под ред. Г. В. Добровольского. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1983. 80 с.



**ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ  
СОЧЕТАНИЯ ЭРОЗИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И  
ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОТКРЫТОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ НА КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКАХ  
В ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

**А.П. Жидкин, Д.В. Фомичева, Д.И. Рухович**

*Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва, Россия, email: [gidkin@mail.ru](mailto:gidkin@mail.ru)*

Совершенствование эрозионных моделей и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) дает новые возможности оценок текущей степени деградации почвенного покрова и прогноза рисков эрозии почв в будущем. Сопоставление различных подходов к оценкам эрозии почв позволило выявить, что в условиях высокой неоднородности почвенного покрова модель отражательной способности открытой поверхности почв в значительной степени применима для выделения разных типов почв, однако имеет ряд ограничений для оценки степени деградации почвенного покрова. В условиях относительно однородного почвенного покрова модель открытой поверхности почвы имеет высокий потенциал для диагностики степени деградации почвенного покрова от эрозии.

**Ключевые слова:** WaTEM/SEDEM; темпы эрозии почв; открытая поверхность почвы; содержание органического вещества; мощности гумусированной толщи.

Деградация почвенного покрова, снижение урожайности и качества сельскохозяйственной продукции во многих регионах России преимущественно обусловлены развитием эрозии почв. Несмотря на большие достижения в области эрозиоведения на сегодняшний день ощущается дефицит количественных данных о современных темпах эрозии почв и степени эродированности почвенного покрова. На сегодняшний день благодаря глобальному применению новых методов и подходов становится возможным получать новые количественные и качественные оценки интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на разных масштабных уровнях.

Цель исследования заключалась в сопоставлении оценок эродированности почвенного покрова на основе эрозионных моделей и модели отражательной способности открытой поверхности почвы.

В качестве объекта исследования были выбраны сельскохозяйственные поля, располагающиеся в Мценском районе Орловской области и в Шебекинском районе Белгородской области.

Мценский участок расположен на границе лесной и лесостепной зон. Для участка исследования характерен неоднородный почвенный покров.

Почвы сменяются от светло-серых лесных к черноземам оподзоленным и выщелоченным. Шебекинский участок располагается в лесостепной зоне и имеет относительно однородный почвенный покров, представленный черноземами выщелоченными и черноземами типичными карбонатными.

Расчет ливневого смыва проводился по WaTEM/SEDEM [1]. Данная модель является пространственно-распределенной, то есть оценивает не только объем и темпы эрозии почв, но также позволяет моделировать пространственную структуру протекания эрозионно-аккумулятивных процессов, в отличие от многих других эрозионных моделей. Алгоритм расчета базируется на модифицированном универсальном уравнении смыва почв RUSLE. В качестве входных параметров эрозионной модели использовались величины эрозионного потенциала осадков и противоэрозионной устойчивости севооборотов из литературных источников. Коэффициент эродированности почв был рассчитан по результатам определения содержания органического углерода и гранулометрического состава пахотных горизонтов почв. Расчет эрозионных потерь почвы при талом смыве проводился с использованием модели Государственного гидрологического института, модифицированной Г.А. Ларионовым [2]. Расчетные темпы эрозионных потерь для Мценского участка представлены на рисунке 1А, для Шебекинского участка на рисунке 2А.

Модель отражательной способности открытой поверхности почвы была построена по авторской методике [3, 4, 5, 6]. На основе обработки большого количества (big data analyse) данных дистанционного зондирования. Результаты моделирования представлены на рисунке 1Б и 2Б.

В целом по Мценскому участку можно отметить довольно четкие различия между отражательной способностью светло-серых лесных почв и черноземов (рис. 1Б). На карте светло-серые лесные почвы тяготеют к участкам желто-красного цвета, средние значения отражательной способности открытой поверхности почв варьируют от 0,28 до 0,32. В то время как черноземы располагаются в основном на участках зеленого цвета и средние значения их отражательной способности изменяются от 0,18 до 0,21, серые- и темно-серые лесные почвы занимают промежуточное положение (рис. 1В). Модель отражательной способности открытой поверхности почвы также показывает высокую корреляцию с содержанием органического вещества в пахотных горизонтах почв.

Сравнительный экспертный анализ позволил обнаружить некоторую корреляцию между отражательной способностью открытой поверхности почвы и расчетными темпами смыва. Однако статистически для всего массива данных элементов регулярной сетки (пикселей растровой карты) с пространственным разрешением 30 м на Мценском участке данная взаи-

мосьязь не подтверждается. Также в пределах Мценского участка не обнаруживается четкой зависимости между мощностью гумусированной толщи и отражательной способностью открытой поверхности почвы.

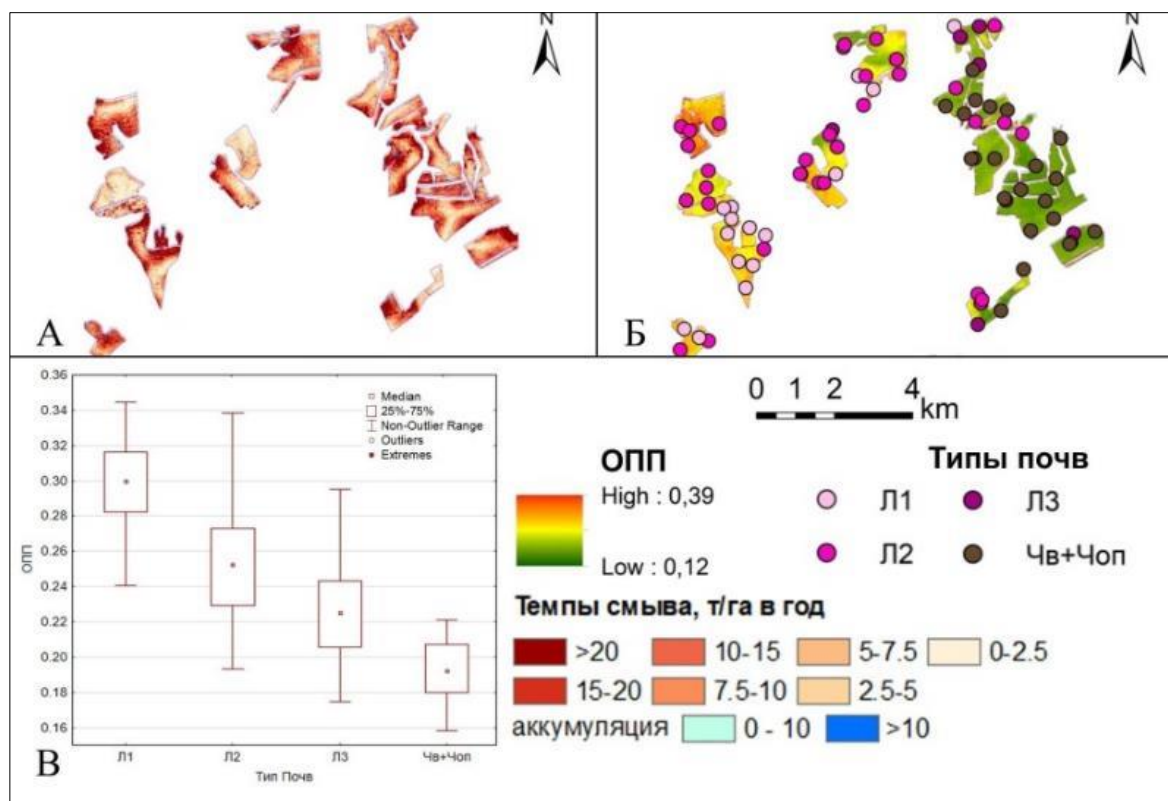


Рис. 1. Фрагмент карты расчетных темпов смыва/намыва почв Мценского участка (А); открытой поверхности почв (ОПП) Мценского участка с указанием подтипов почв в точках обследования; график значений ОПП Мценского участка для разных подтипов почв в 185 точках обследования (В)

На Шебекинском участке связь между отражательной способностью открытой поверхности почвы и расчетными темпами смыва выражена гораздо сильнее. Однако, при сравнение всего массива данных во всех пикселях растров статистически не было получено значимой зависимости. В ходе дальнейшего анализа выявлено, что связь между отражательной способностью открытой поверхности почвы и расчетными темпами смыва более заметно выражена на склонах южной и западной экспозиции. Вероятнее всего весомую роль играет экспозиционный эффект [7]. На склонах южной экспозиции активнее происходят процессы смыва, а процессы самовосстановления почвы и прироста гумусового горизонта ниже, чем на склонах северной экспозиции. Поэтому почвы на склонах южной экспозиции более эродированы и при этом больше подвержены риску смыва в относительно засушливых условиях южной лесостепи. Однако в ходе стати-

стической обработки данных высокой корреляции между значениями темпов смыва и отражательной способности почвы выявлено не было. При анализе полевых данных о степени эродированности почв было определено, что наиболее контрастные значений отражательной способности имеют среднесмытые и сильносмытые почвы (рис. 2В). Поэтому в дальнейшем анализе использовались значения отражательной способности почвы  $>0.195$  и значения темпов эрозии  $>10$  т/га в год. Для каждого поля было рассчитано долевое участие (по площади) пикселей с отражательной способностью  $>0.195$  и пикселей с темпами эрозионных потерь  $>10$  т/га в год. Таким образом, двумя независимыми методами была оценена доля площадей потенциально эродированных почв. Сравнительный анализ выявил количественную прямую статистически значимую связь между двумя данными показателями (рис. 2Г).

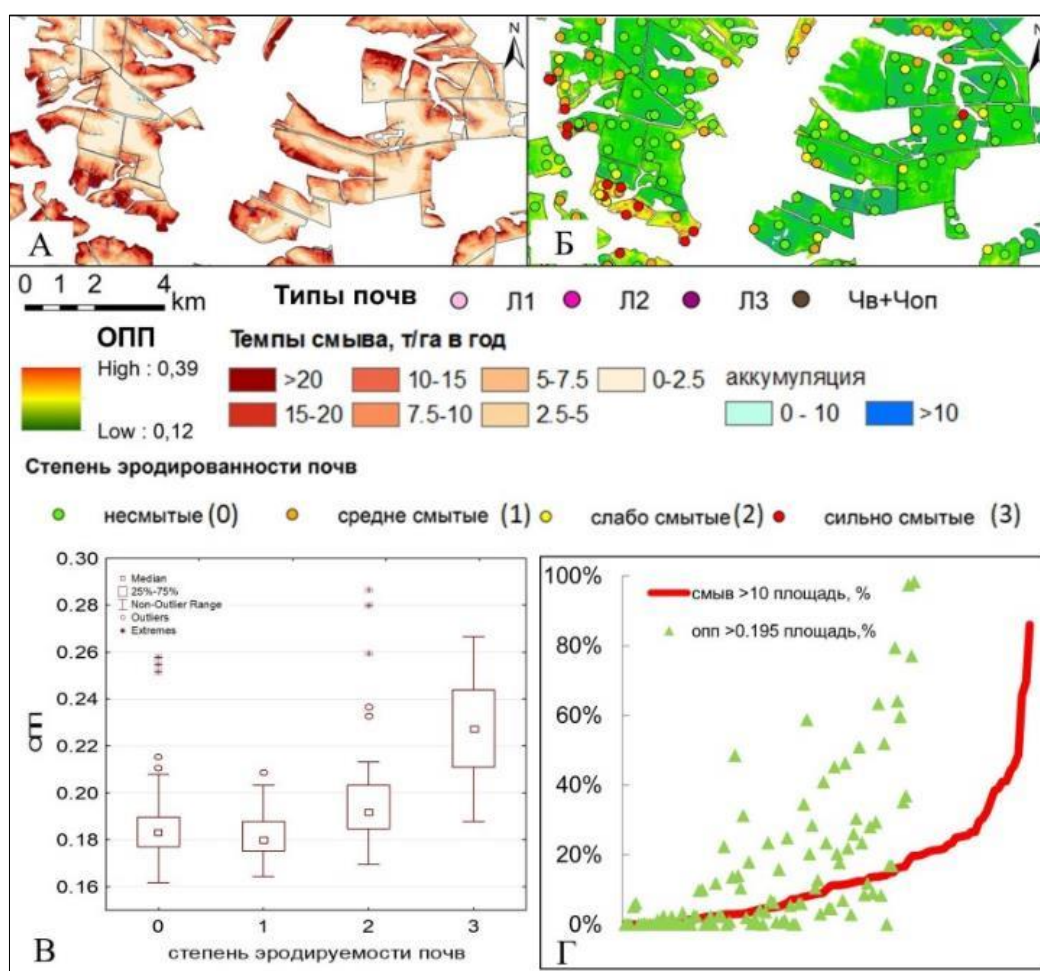


Рис. 2. Фрагмент карты расчетных темпов смыва/намыва Шебекинского участка (А); открытой поверхности почв (ОПП) Шебекинского участка (Б); график значений ОПП для почв разной степени эродированности в 344 точках полевого обследования (В); график долевого участия на полях потенциально эродированных почв по ОПП и расчетным темпам эрозии почв на склонах южной и западной экспозиции (Г).

Таким образом, в условиях относительно высокой степени таксономического разнообразия почвенного покрова модель отражательной способности открытой поверхности почв имеет высокий потенциал для картографирования типов и подтипов почв. Однако контрастный почвенный покров значительно осложняет использование данной модели для диагностики степени их эродированности.

В условиях относительно однородного почвенного покрова с доминированием черноземов модель открытой поверхности почвы имеет высокий потенциал для диагностики степени деградации почвенного покрова от водной эрозии, особенно на склонах южной и западной экспозиции.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 22–17-00071, <https://rscf.ru/project/22-17-00071/>).

### Библиографические ссылки

1. *Van Rompaey A. J. J., Verstraeten G., Van Oost K., Govers G. & Poesen J.* Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2001. Vol. 26. P. 1221–1236.

2. Методические указания по составлению крупномасштабных карт эрозионно-опасных земель для обоснования почвозащитных мер при внутрихозяйственном землеустройстве. 1996. М.: МГУ, 50 с.

3. *Королева П. В., Рухович Д. И., Рухович А. Д., Рухович Д. Д., Куляница А. Л., Трубников А. В., Калинина Н. В., Симакова М. С.* Местоположение открытой поверхности почвы и линии почвы в спектральном пространстве RED-NIR // *Почвоведение*. 2017. № 12. С. 1435–1446.

4. *Куляница А. Л., Рухович А. Д., Рухович Д. Д., Королева П. В., Рухович Д. И., Симакова М. С.* Применение кусочно-линейной аппроксимации спектральной окрестности линии почв для анализа качества нормализации материалов дистанционного зондирования // *Почвоведение*. 2017. № 4. С. 401–410.

5. *Рухович Д. И., Рухович А. Д., Рухович Д. Д., Симакова М. С., Куляница А. Л., Брызжев А. В., Королева П. В.* Информативность коэффициентов а и в линии почв для анализа материалов дистанционного зондирования // *Почвоведение*. 2016. № 8. С. 903–917.

6. *Рухович Д. И., Рухович А. Д., Рухович Д. Д., Симакова М. С., Куляница А. Л., Королева П. В.* Применение технологии спектральной окрестности линии почв для анализа интенсивности использования почвенного покрова в 1985–2014 гг. (на примере трех районов Тульской области) // *Почвоведение*. 2018. № 3. С. 357–371.

7. *Жидкин А. П., Геннадиев А. Н., Кошовский Т. С., Чендев Ю. Г.* Пространственно-временные параметры латеральной миграции твердофазного вещества почв (Белгородская область) // *Вестник Московского университета. Серия 5*. 2016. № 3. С. 9–17.

## РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЮГА ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА В ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Д.В. Фомичева, Н.Н. Иванова, Е.Н. Шамшурина

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,  
email: [daria\\_fomicheva@bk.ru](mailto:daria_fomicheva@bk.ru)

Антропогенно-ускоренная эрозия почв является одной из основных угроз дальнейшей деградации почвенного покрова. Продолжающийся рост сельскохозяйственного освоения территорий в мире способствует повышению интереса к прогнозу развития эрозионно-аккумулятивных процессов и деградации почвенного покрова. Однако прогнозные оценки требуют знания исторических трендов изменения данных процессов. В данном исследовании проведена реконструкция исторических трендов эрозии почв в регионе недавнего сельскохозяйственного освоения. Выявлено, что быстрый рост площади пашни привел к резкому увеличению темпов и объемов эрозионных потерь. Незначительная вариабельность основных факторов эрозионно-аккумулятивных процессов за все время земледельческого использования участка исследования способствовала небольшим изменениям темпов и объемов смыва.

**Ключевые слова:** ретроспективный анализ; севообороты; землепользование; эрозия почвы, эрозионный потенциал осадков, эродруемость почв.

Эрозия почв – одна из основных угроз дальнейшей деградации почвенного покрова [1]. Распашка способствует многократному усилению темпов и объёмов эрозионно-аккумулятивных процессов. В последние столетия с ростом численности населения неуклонно возрастают площади распаханых земель, увеличивая риск эрозионных потерь. В России потери плодородного почвенного вещества в результате эрозионных процессов превышают 500 млн. тонн [2]. За последние 20 лет площади эродированных земель ежегодно увеличиваются на 1.5 млн га в год [3].

В условиях продолжающегося роста сельскохозяйственного освоения территорий особый интерес вызывают прогнозные оценки развития эрозионно-аккумулятивных процессов и деградации почвенного покрова. Но прогноз развития процесса невозможен без знания исторических трендов изменения эрозии почв.

Цель данного исследования заключалась в исторической реконструкции изменений факторов и трендов эрозии почв на ключевом участке в Тамбовской обл.



Предметом данного исследования является ключевой участок в Тамбовской области, массовое сельскохозяйственное освоение которого началось относительно недавно, около 200 лет назад. Водосборный бассейн р. Калешня общей площадью 5,5 тыс. га расположен в 12 км на северо-запад от г. Жердевка.

Участок приурочен к юго-восточной части Окско-Донской низменности. Особенностью современного рельефа междуречий этой области являются широкие плоские пространства, местами осложненные западинами. Крутизна даже придолинных склонов не превышает  $5^\circ$ , а преобладающие уклоны составляют  $0-3^\circ$ . Специфической региональной особенностью рельефа данной территории является развитая сеть мелких распахиваемых ложбин, которые продолжаются на склонах балок и малых долин.

Климат территории умеренно-континентальный с теплым летом без ярко выраженного сухого сезона. Среднегодовые температуры положительные и составляют порядка  $+5,5^\circ\text{C}$ , среднегодовое количество осадков находится в пределах 480-660 мм. Снежный покров устанавливается в среднем после 23 октября и может сохраняться до поздней весны. Его характерная высота составляет порядка 25 см.

Почвенный покров территории исследования в значительной степени однороден и представлен черноземами выщелоченными и типичными. В западинах и понижениях встречаются луговатые и луговые черноземы.

Для расчета ливневого смыва использовалась WaTEM/SEDEM [4]. Порядок расчетов и входные параметры основаны на алгоритме RUSLE. Данная модель достаточно широко используется в последние годы, в том числе для ретроспективных оценок темпов эрозионных процессов [5]. В качестве входных параметров модели использовались величины эрозионного потенциала осадков и противоэрозионной устойчивости севооборотов, реконструированные для всего периода земледельческого использования. Коэффициент эродированности почв был рассчитан по результатам определения содержания  $S_{\text{орг}}$  и гранулометрического состава пахотных горизонтов современных почв.

История земледельческого освоения участка исследования восстанавливалась по литературным и картографическим данным. К моменту Генерального межевания Тамбовской губернии (1782–1797 гг.) бассейн р. Калешни был занят целинными степями. К 1851 году, когда проводилась съемка силами офицеров Генштаба (так называемая карта Менде), распаханность ключевого бассейна уже достигла 65 %. Максимальные значения распаханности (82 %) были в 60-70-х гг. XIX в., когда после реформы 1861 г. крестьянские наделы нарезались в том числе на бортах долинной сети. На карте Экспедиции по исследованию источников главнейших рек Евро-

пейской России, составленной в 1899 г., показаны участки долины Калешни и ее притоков, где пашня доходила практически до уреза. Позднее крутосклонные участки бортов были заброшены. В течение почти всего XX и начала XXI веков площадь пашни изменялась незначительно, пашня занимала 70-76 % площади бассейна.

В большинстве районов ЕТР в XVIII–XIX вв. практиковалась трехпольная система земледелия (озимые, яровые и пар). Кроме того, вследствие большого массива свободных земель в этот период на участке исследования был распространен перелог. В середине XX века произошло уменьшение противоэрозионной устойчивости севооборотов в результате увеличения доли пропашных культур. Однако в последующие годы, вплоть до настоящего времени, происходило планомерное увеличение противоэрозионной устойчивости сельскохозяйственной растительности в основном за счет почти полного исчезновения черного пара. Забрасывание пашни, происходившее в начале 2000-гг., также можно рассматривать, как современный аналог перелога.

При ретроспективной оценке основных факторов эрозии наибольшую сложность представляет реконструкция эрозионного потенциала осадков. Инструментальные измерения суточного слоя осадков проводятся с конца XIX века. Большинство метеорологических станций на ЕТР содержат данные только с середины XX века. Поэтому оценить динамику эрозионного потенциала осадков до 30-ых годов прошлого века можно только качественно на основе косвенных данных. По литературным данным об относительно стабильной урожайности сельскохозяйственных культур на территории ЕТР и повторяемости влажных и сухих лет можно сделать предположение, что в XVIII–XIX вв. вариабельность эрозионного потенциала осадков была невелика [6]. В течение периода инструментальных наблюдений эрозионный потенциал осадков варьировал в пределах 17 %. Наибольших значений этот показатель достиг на рубеже XX–XXI веков.

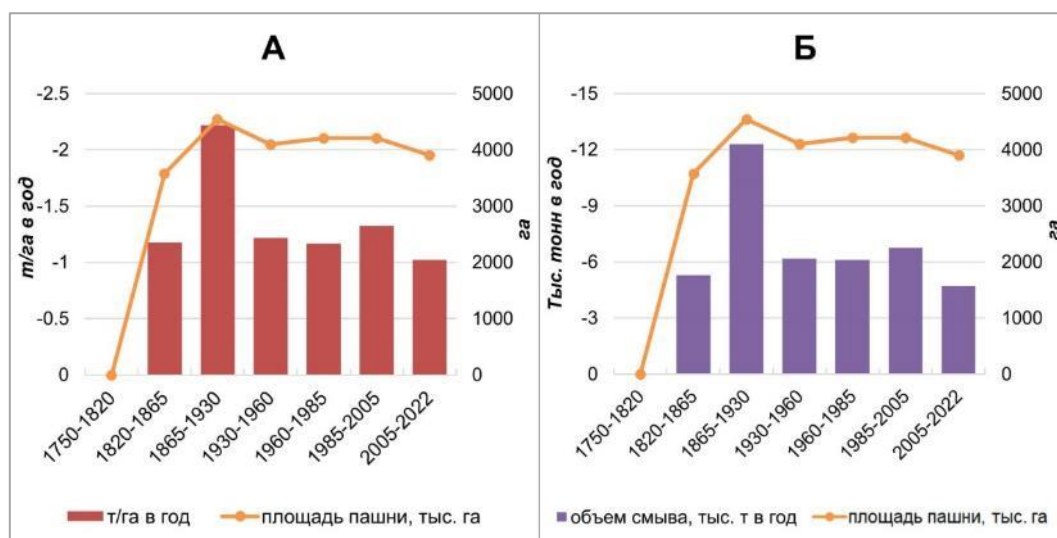
Так как почвенный покров территории достаточно однородный, вариабельность коэффициента эродированности почв на участке исследования невелика. Черноземы типичные и выщелоченные имеют высокое содержание органического вещества (5–8 %) и тяжелосуглинистый гранулометрический состав, что способствует низкой эродированности почв. Из-за особенностей морфологии территории эрозионный потенциал рельефа на участке исследования невысок. Однако распашка склонов балок и основной долины во второй половине XIX века способствовала увеличению эрозионного потенциала рельефа в этот период.

Участок исследования характеризуется низкими современными темпами (1,1 т/га в год) и объемами (4,7 тыс. т с участка в год) эрозионных



потерь. Очень быстрое увеличение площади пашни в начале освоения территории привело к активизации эрозионных процессов. В 1865–1930 годах продолжающийся рост площади пашни и увеличение эрозионного потенциала рельефа за счет распашки склонов долинно-балочной сети привели к резкому, более чем в два раза, росту темпов и объемов эрозионных потерь, которые в этот период были максимальными: 2,2 т/га в год и 12,3 тыс. тонн в год для всего бассейна р. Калешня. В последующие годы темпы смыва варьировали в пределах 1–1,5 т/га в год, а объемы смыва изменялись от 5 до 7 тыс. тонн в год (рис.). Проявления эрозионно-аккумулятивных процессов на участке исследования приурочены в основном к крутым склонам балок и речных долин и распаханной ложбинной сети на полях.

Увеличение доли пропашных в составе севооборотов в 30-х годах прошлого столетия не оказало большого влияния на темпы и объемы эрозионных потерь, вероятнее всего из-за низкой эродированности почв. Увеличение эрозионного потенциала осадков в 1985–2005 гг. способствовало небольшому увеличению темпов и объемов эрозии почв по сравнению с предыдущими периодами.



Динамика площади пашни и темпов (А) и объемов (Б) эрозионно-аккумулятивных процессов за последние 200 лет на участке исследования

Таким образом, исследования показали незначительную вариабельность основных факторов эрозионно-аккумулятивных процессов и, следовательно, небольшие изменения темпов и объемов смыва за все время земледельческого использования бассейна р. Калешни. Исключением явился период 1865–1930 гг., когда увеличение площади пашни за счет освоения крутосклонных участков вызвало значительный рост эрозионных потерь.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-27-00170) <https://rscf.ru/project/22-27-00170/>

### Библиографические ссылки

1. World's soils are under threat / L. Montanarella [et al.] // *Soils*. 2016. № 2, P. 79–82.

2. Иванов А. Л., Савин И. Ю., Столбовой В. С., Аветян С. А., Шишконокова Е. А., Каштанов А. Н. Карта агрогенной эродированности почв России // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 493. № 2. С. 99–102.

3. Глушко А. Я. Влияние водной и ветровой эрозии на земельный фонд юга европейской части России // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2010. № 1. С. 75–85.

4. Van Rompaey A., Verstraeten G., Van Oost K., Govers G., Poesen J. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2001. V. 26. P. 1221–1236.

5. Zhidkin A., Fomicheva D., Ivanova N., Dostal T., Yurova A., Krasa J. A detailed reconstruction of changes in the factors and parameters of soil erosion over the past 250 years in the forest zone of European Russia (Moscow region) // *Int. Soil Water Conservation Res.* 2022. V. 10. P. 149–160.

6. Иванова Н. Н., Фомичева Д. В., Рухович Д. И., Шамиурина Е. Н. Ретроспективный анализ истории земледельческого освоения и оценка темпов эрозии почв в бассейне р. Локна, Тульская область // *Почвоведение*. 2023. № 7. С. 872–886.

# РАЗДЕЛ III

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 631.46:631.445.4

### БИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ

Н.А. Чуян

ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», Курск, Россия, email:  
natalia-chuyan@yandex.ru

В условиях современного развития сельского хозяйства активизация растительно-микробных систем возможна путем применения живых микроорганизмов. Инокуляция семян, обработка ими почвы и посевов культур способствует ускоренному разложению побочной продукции, что обеспечивает оптимизацию биологического состояния почвы и повышения ее эффективного плодородия. Целью наших исследований являлось изучение влияния агrobiотехнологии с использованием микробиологических препаратов на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* и совместного их внесения с азотными удобрениями на биологическое состояние чернозема типичного. В опыте представлено совместное действие двух биологических препаратов: биопрепарат, содержащий споры и мицелий гриба *Trichoderma viride* и биологический препарат, содержащий ризосферные бактерии *Pseudomonas aureofaciens*. По результатам исследований установлено, что за период вегетации озимой пшеницы и гречихи проявилось положительное влияние всех факторов опыта (биопрепаратов, азотных удобрений), внесенных с побочной продукцией на интенсивность эмиссии CO<sub>2</sub> почвы. Максимальный эффект, фиксируемый по количеству, выделившегося CO<sub>2</sub> отмечен при совместном применении биопрепаратов и минерального азота. Увеличению выделения CO<sub>2</sub> также содействовала инокуляция семян, обработка послеуборочных остатков биопрепаратами, что в среднем за вегетацию гречихи и озимой пшеницы превышало контроль на 37,7 и 48,7 %, соответственно. Эффективность биопрепаратов проявилась по изменению целлюлозолитической активности почвы, где в среднем за вегетацию наблюдалось увеличение степени разложения целлюлозы по отношению к контролю по гречихе на 23,5 % и на 46,1 % по озимой пшенице.

**Ключевые слова:** побочная продукция; биопрепараты; азотные удобрения; эмиссия CO<sub>2</sub>; целлюлозолитическая активность.

Об интенсивности минерализации органического вещества и напряженности микробиологических процессов в почве можно судить по интенсивности эмиссии CO<sub>2</sub> [1, с. 58]. Выявлено, что применение регуляторов

роста и водорастворимых микробиоудобрений оказывало стабильное стимулирующее действие на целлюлозоразрушающую активность почвенных микроорганизмов [2, с. 3599].

Введение аборигенного штамма целлюлозолитического микромицета и дополнительных компонентов в систему способствует ускорению разложения соломы, что обеспечивает оптимизацию микробного сообщества почвы и повышения ее эффективного плодородия [3, с. 70].

Отмечено, что эффективность биопрепаратов увеличивается в комбинации с компенсирующими дозами азота [4, с. 3060]. В процессе биотрансформации побочной продукции экспериментально подтверждена стимулирующая роль минерального азота, внесенного в форме аммиачной селитры по результатам нашего опыта.

Цель исследований – изучить влияние агробиотехнологии с обработкой семян, почвы и побочной продукции микробиологическими препаратами на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* и совместного их внесения с азотными удобрениями на биологическое состояние чернозема типичного.

Исследования проводили в 2018–2021 гг. на опытном поле ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Курская обл., Медвенский р-н, с. Панино), расположенном в стационарном полевом опыте с биопрепаратами на северном склоне. В 2021 году в зерновом севообороте «ячмень – гречиха – кормовые бобы – озимая пшеница» была размещена озимая пшеница сорта «Леонида», в зернопропашном севообороте «подсолнечник – ячмень – соя – гречиха» находилась гречиха сорта «Деметра». Влияние обработки семян, почвы и измельченной побочной продукцией культур биопрепаратами на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* и совместного их использования с азотными удобрениями из расчета 10 кг д.в. N на 1 т соломы на интенсивность эмиссии CO<sub>2</sub>, целлюлозолитическую активность и микробиологический состав чернозема типичного изучали на четырех вариантах научно-производственного опыта в трехкратной повторности.

**Схема опыта** включала следующие варианты:

**1.** измельченная побочная продукция культур; **2.** измельченная побочная продукция культур+ азотные удобрения из расчета 10 кг д.в. N на 1 тонну соломы; **3. агробиотехнология** - измельченная побочная продукция + биопрепараты (БП) (обработка семян БП на основе *Trichoderma viride* (2 л/т) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/т) перед посевом + обработка почвы перед посевом БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га) + обработка посевов 2 раза в течение вегетации БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га) + обработка побочной продукции перед заделкой БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га); **4. агробиотехнология**

- измельченная побочная продукция + биопрепараты (БП) (обработка семян БП на основе *Trichoderma viride* (2 л/т) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/т) перед посевом + обработка почвы перед посевом БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га) + обработка посевов 2 раза в течение вегетации БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га) + обработка побочной продукции перед заделкой БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га) + азотные удобрения из расчета 10 кг д.в. N на 1 тонну соломы. Во избежание конфликта интересов производителей марки препаратов и наименования производителей не указываются.

В опыте представлено совместное действие двух биологических препаратов: биопрепарат, содержащий споры и мицелий гриба *Trichoderma viride* и биологический препарат, содержащий ризосферные бактерии *Pseudomonas aureofaciens*.

Почва исследуемого поля представлена черноземом типичным тяжело-лосуглинистым на карбонатном лессовидном суглинке.

Обработку почвы и побочной продукции культур биопрепаратами проводили опрыскивателем ОП-2000/24. Внесение аммиачной селитры осуществляли навесным разбрасывателем РН-0,8 перед заделкой пожнивно-корневых остатков. Измельченные растительные остатки заделывали в почву дисковой бороной на глубину 10...12 см. Через 40 дней после этого проводили основную отвальную обработку почвы под зерновые культуры на глубину 20...22 см.

Определение эмиссии CO<sub>2</sub> проводили с помощью портативного газоанализатора модели – 7752, адаптированного для оценки дыхания почвы. Целлюлозолитическую активность почвы определяли по методу Мишустина и др. [5, с. 118].

Экспериментальные данные обрабатывали методами математической статистики с использованием программных средств Microsoft office EXCEL 2010.

Из результатов исследований следует, что максимальные величины продуцирования углекислоты почвой под озимой пшеницей зафиксированы при совместном внесении азотных удобрений и биопрепаратов, что превышало таковые по сравнению с контролем на 57,2 %

В посевах гречихи сохранялась тенденция преимущества комплексного использования азотных удобрений с биопрепаратами по отношению к контролю в 1,8 раза. Биопрепараты на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* для обработки побочной продукции несколько уступали внесению азотных удобрений с побочной продукцией, но способствовали увеличению эмиссии двуокси углерода в среднем за период вегетации гречихи на 45,2 % по сравнению с контролем (неинокулированной

соломы). Полученные данные полевых исследований согласуются с результатами некоторых исследователей [1, с. 57], согласно которым в варианте с соломой, обработанной биопрепаратами отмечено увеличение дыхания почвы (эмиссии  $\text{CO}_2$ ) по сравнению с необработанной соломой.

Выявлено, что наибольшая активность процессов разложения и минерализации растительного субстрата наблюдалось при действии азотных удобрений и совместного их внесения с биопрепаратами, независимо от сроков определения в течение вегетации озимой пшеницы и гречихи.

Период проведения исследований перед уборкой озимой пшеницы и гречихи складывался не лучшим образом: отсутствие осадков, пересыхание верхнего слоя пашни - способствовали слабому развитию минерализационного процесса, о чем свидетельствуют результаты по продуцированию  $\text{CO}_2$  почвы. В этот период в посевах озимой пшеницы наблюдалось некоторое увеличение эмиссии  $\text{CO}_2$  от 2,6 кг/час/га на контрольном варианте до 5,0 кг/час/га на варианте с совместным применением биопрепаратов и азотных удобрений.

Иначе представлен процесс минерализации побочной продукции в период перед уборкой гречихи нежели озимой пшеницы, где максимальный синергический эффект, фиксируемый по количеству выделившегося  $\text{CO}_2$ , отмечен на удобренных вариантах при применении азотных минеральных удобрений и при совместном их внесении с биопрепаратами,

Внесение биопрепаратов по гречихе несколько уступало по интенсивности эмиссии  $\text{CO}_2$  на 21% действию азотных удобрений, на 64 % комплексному внесению их с биопрепаратами, но на 11 % превышало контроль.

Дисперсионный анализ показал, что по доли вклада в варьирование в продуцирование углекислоты почвой в посевах озимой пшеницы в фазу кущения азотные минеральным удобрения опережали действие биопрепаратов на 7,4 %, лишь в фазу колошения биопрепаратам удалось реализовать свой потенциал и превысить долю своего участия на 11,0 % по отношению к азотным минеральным удобрениям.

В посевах гречихи преимущество по доли вклада в варьирование в продуцирование углекислоты почвой сохранялось за действием азотных удобрений по сравнению с биопрепаратами, соответственно в фазы всходов и бутонизации.

Показатель целлюлозолитической активности по озимой пшенице в среднем за вегетационный период культуры по биопрепаратам был выше на 11,4 % по сравнению с азотными удобрениями. По гречихе наибольшая доля в варьировании интенсивности целлюлозоразлагающих микроорганизмов наблюдалась по азотным удобрениям по отношению к биопрепаратам 17,2 %.

**Доля вклада (%) изучаемых факторов в варьирование изменений показателей биологической активности почвы за вегетационный период озимой пшеницы и гречихи**

Культуры	Факторы	Доля вклада, %		
		СО <sub>2</sub> , кг/га/час		Целлюлозолитическая активность, %
		Кущение	Колошение	
Озимая пшеница	Биопрепараты	41,8	47,0	49,5
	Азотные удобрения	49,2	36,0	38,1
Гречиха		Всходы	Бутонизация	
	Биопрепараты	23,9	36,6	33,4
	Азотные удобрения	63,8	61,1	50,6

Таким образом, наибольшая эффективность совместного внесения биопрепаратов и азотных удобрений проявилась в фазы колошения по озимой пшенице и бутонизации по гречихе. По показателю целлюлозолитической активности в среднем за вегетацию эффективнее оказались азотные удобрения, что превышало по гречихе на 17,0 % и 25,7 % по озимой пшенице по сравнению с биопрепаратами.

### Библиографические ссылки

1. *Русакова И. В., Московин В. В.* Микробная деградация соломы под влиянием биопрепарата Барс и приемы повышения эффективности его применения на разных типах почв // *Агрохимия*. 2016. № 8. С. 56–61.
2. *Esther O. J., Hong T. X., Hui G. C.* Influence of straw degrading microbial compound on wheat straw decomposition and soil biological properties // *African Journal of Microbiology Research*. 2013. Vol. 7 (28). P. 3597–3605.
3. *Черепухина И. В., Безлер Н. В., Колесникова М. В.* Зависимость эффективности использования соломы зерновых культур с дополнительными компонентами от погодных условий года // *Агрохимия*. 2019. № 6. С. 64–71.
4. *Abro S., Tian X., You D., Ba Y., Li M., Wu F.* Influence inoculants on soil response to properties with and without straw under different temperature regimes // *African Journal of Microbiology Research*. 2011. Vol. 4 (19). P. 3054–3061.
5. *Звягинцев Д. Г., Асеева И. В., Бабьева И. П., Мирчинк Т. Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии // Под ред. Д. Г. Звягинцева. М., 1980. 229 с.

## ДИАГНОСТИКА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА КОМПЛЕКСОМ ДИСТАНЦИОННЫХ И НАЗЕМНЫХ МЕТОДОВ

А.П. Гусев

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель,  
Республика Беларусь, email: [andi\\_gusev@mail.ru](mailto:andi_gusev@mail.ru)*

Цель исследований – оценка загрязнения верхней части геологической среды на основе комплекса наземных и дистанционных индикаторов. Разработан и апробирован комплекс методов, состоящий из многозональной космической съемки и наземных геоэлектрических исследований (резистивиметрия поверхностных вод, съемка потенциала естественного электрического поля, вертикальное электрическое зондирование методом сопротивлений). В качестве индикаторов загрязнения использованы: вегетационные индексы (NDVI, NBR, SWVI) и удельное электрическое сопротивление поверхностных вод и компонентов геологической среды (почвогрунты, подземные воды, породы зоны аэрации). Разработанный комплекс позволяет быстро и эффективно оценить химическое загрязнение верхней части геологической среды, определить направление движения загрязнения от источника, площадь и глубину загрязнения.

**Ключевые слова:** химическое загрязнение; геологическая среда; вегетационный индекс; геоэлектрический метод; кажущееся электрическое сопротивление.

Тестовый участок, на котором проводились исследования, расположен в водно-ледниковом ландшафте, характеризующимся волнистым рельефом и литогенной основой, представленной водно-ледниковыми песками и супесями, моренными суглинками. Абсолютные высоты в пределах участка – 131–132 м.

Вероятным источником загрязнения является склад серы, находящейся на территории крупного предприятия химической промышленности. В зоне влияния склада серы находится геосистема заболоченного леса (мелколиственный лес разнотравный на дерново-глеевых супесчаных почвах). Фоновая геосистема представляет собой мелколиственный лес разнотравный на дерново-глеевых почвах. Древесный ярус представлен ольхой черной, березой повислой, осинкой. Подлесок – крушина ломкая, ивы. В травяном ярусе – тростник обыкновенный, рогоз широколистный, хмель обыкновенный, подмаренник цепкий, крапива двудомная, сныть обыкновенная, вербейник обыкновенный, осоки.

Под воздействием загрязнения в окружающем ландшафте сформированы техногенные модификации исходной геосистемы:

ТМ-2 – участок с мозаичным тростниково-березовым фитоценозом;



ТМ-1 – участок, полностью лишенный растительного покрова.

Площадь фоновой геосистемы составляет 1,4 га, зоны ТМ-2 – 1,1 га, зоны ТМ-1 – 0,9 га. Склад серы находится на расстоянии 50 м от зоны ТМ-1 и на расстоянии 120 м от границы фоновой геосистемы (по прямой). Площадь склада серы составляет 0,18 га.

Техногенные модификации отделены от фоновой геосистемы насыпью железной дороги (высота насыпи 1,5 м, ширина 10 м).

Методика работ включала: расчет вегетационных индексов (NDVI, NBR, SWVI) по данным многозональной космической съемки (летние снимки спутников Sentinel-2); резистивиметрия поверхностных вод (в лужах и канавах); съемка методом потенциала естественного электрического поля (шаг между точками наблюдения 10 м); вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) методом сопротивлений на постоянном токе (размеры питающих линий АВ от 3 до 300 м, приемных линий MN – от 1 до 20 м, расстояние между точками наблюдения – 100 м).

Обработка и атмосферная корреляция космических снимков выполнена с помощью геоинформационной системы QGIS.

Для проведения геоэлектрических работ использована электроразведочная аппаратура ERA-MAX. Для съемки методом естественного электрического поля применены неполяризующиеся электроды системы ВИРГ. Интерпретации данных ВЭЗ проводилась с помощью программы IPI2Win. Для резистивиметрии использован портативный резистивиметр, позволяющий определять удельную электрическую проводимость и соответствующую ей минерализацию воды (в мг/дм<sup>3</sup>).

Установлено, что наиболее низкие значения вегетационных индексов приурочены к зоне ТМ-1. По сравнению с фоновой геосистемой значение NDVI здесь снижается в 2–2,25 раза, значение NBR – 2,31–3,15 раза, а значение SWVI – в десятки раз. В зоне ТМ-2 по сравнению с фоновой геосистемой значение NDVI снижается в 1,33–1,34 раза, значение NBR – в 1,65–1,7 раза, значение SWVI – 4,28–8,03 раза. Изменения вегетационных индексов по градиенту воздействия отражают процессы деградации растительного покрова под воздействием химического загрязнения (таблица).

Химическое загрязнение фиксируется в водах луж и каналов: по данным резистивиметрии в зоне ТМ-1 минерализация вод превышает 10 г/дм<sup>3</sup> (удельное электрическое сопротивление – менее 1 ом/м). В зоне ТМ-2 минерализация поверхностных вод снижается до 0,5–1,5 г/дм<sup>3</sup>. В пределах фоновой геосистемы минерализация ниже 1 г/дм<sup>3</sup>, за исключением одной точки наблюдения, расположенной непосредственно напротив зоны ТМ-1.

### Индикаторы химического загрязнения в зоне влияния склада серы

Индикатор	Градиент химического воздействия		
	Фоновая геосистема	ТМ-2	ТМ-1
Вегетационные индексы			
NDVI	0,773*	0,580	0,343
	0,763**	0,570	0,383
NBR	0,536	0,315	0,170
	0,509	0,308	0,220
SWVI	0,241	0,03	-0,08
	0,214	0,05	0,01
Геохимические показатели			
Минерализация поверхностных вод, г/дм <sup>3</sup>	0,3-1,1	0,5-1,5	3,5-10,0
рН поверхностных вод	5,5-6,0	4,0-5,0	<3,0

*Примечания.* \* снимок 11.07.2020 г.; \*\* среднее значение по снимкам 20.06.2018, 11.08.2018, 26.08.2018.

Указанные методы четко фиксируют пространственную структуру загрязнения почв и поверхностных вод, однако, не позволяют однозначно определить источник и механизм распространения загрязняющих веществ в ландшафте. Для изучения особенностей движения поверхностных и подземных вод, их взаимосвязи, а также распространения фронта загрязнения в геологической среде были использованы геоэлектрические методы – естественного электрического поля и вертикальное электрическое зондирование на постоянном токе.

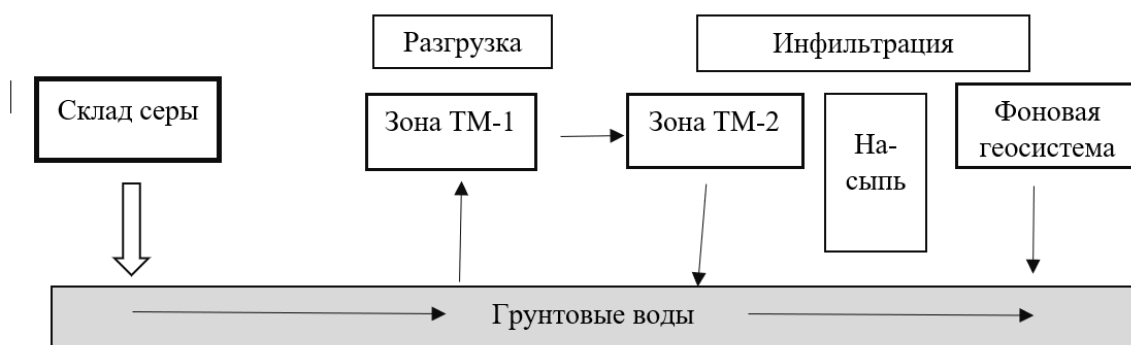
Метод естественного электрического поля используется для определения мест повышенной инфильтрации поверхностных вод, мест разгрузки подземных вод, прослеживания направления миграции неглубоко залегающих подземных вод. По данным изучения потенциала естественного электрического поля нами установлено, что зона ТМ-1 характеризуется положительными значениями потенциала (т.е. здесь происходит разгрузка грунтовых вод), а остальная часть территории – отрицательными (инфильтрация поверхностных вод в грунтовый горизонт). Исходя из этого, можно предположить, что загрязняющие вещества с земной поверхности мигрируют в грунтовые воды, которые затем разгружаются в зоне ТМ-1, вызывая засоление поверхностных почвогрунтов и гибель растительности. Для зоны ТМ-2 характерна инфильтрация осадков в грунтовые воды, и, как следствие, меньшая степень воздействия загрязненных грунтовых вод на растительность. Насыпь железной дороги, выполняя роль геохимического барьера, защищает фоновую геосистему от воздействия со стороны склада серы.

Для выяснения распространения загрязнения в глубины были выполнены вертикальные электрические зондирования. Выявлены существенные изменения в геоэлектрических характеристиках геологической среды. Так, кажущееся электрическое сопротивление в зоне ТМ-1 на глубине, соответствующей разному АВ=3 м (т.е. 0,3–0,75 м), отличается от аналогичного показателя в фоновой геосистеме в 15,6 раза, на глубине, соответствующей разному АВ=6 м (0,6–1,5 м), – в 11,3 раза, на глубине, соответствующей разному АВ=10 м (1–2,5 м), – в 10,7 раза.

На основе выполненных ВЭЗ был построен разрез кажущегося электрического сопротивления (псевдоразрез), после интерпретации кривых ВЭЗ – геоэлектрический разрез. В фоновой геосистеме и на участке ТМ-2 самый верхний слой, характеризующийся высоким сопротивлением (400–500 ом/м) и мощностью 1,1–1,3 м, соответствует песчаными почвам. Второй слой в фоновой геосистеме имеет сопротивление 230 ом/м и мощность 9,7 м – грунтовый водоносный горизонт в водно-ледниковых песках. Третий слой, в котором сопротивление снижается до 19 ом/м, представляет собой моренные отложения (супеси и суглинки с гравием и галькой) и подморенный водоносный горизонт, распространенные до глубины 22 м. Ниже залегающий слой характеризуется высоким сопротивлением (287 ом/м) и, вероятно, представляет собой отложения харьковской свиты палеогена (пески, алевриты). На участке ТМ-2 второй слой имеет сопротивление 83 ом/м и мощность 3,2 м – грунтовый водоносный горизонт. Третий слой (233 ом/м) имеет мощность 11,3 м. По сравнению с фоновой геосистемой более четкое выделение грунтового водоносного горизонта обусловлено его загрязнением, вызвавшее снижение удельного электрического сопротивления. Ниже залегают моренные отложения и подморенный водоносный горизонт (20 ом/м). С глубины 26 м они подстилаются отложениями палеогена (200 ом/м).

Геоэлектрический разрез на участке ТМ-1 резко отличается от вышеописанных. С поверхности до глубины около 20 м разрез характеризуется низким электрическим сопротивлением – до 5 ом/м. Ниже сопротивление увеличивается до 80-100 ом/м. Снижение сопротивления по всему разрезу обусловлено высокой минерализацией вод: поверхностных, и подземных грунтового и подморенного водоносных горизонтов. Анализ результатов ВЭЗ показал, что на участке ТМ-1 загрязнение охватывает всю зону аэрации, грунтовый и подморенный водоносные горизонты (до глубины 20 м). На участке ТМ-2 загрязнение фиксируется только в грунтовом водоносном горизонте (в районе размещения точки ВЭЗ).

На основе анализа выполненных исследований разработана модель распространения загрязнения в зоне влияния склада серы (рис.).



Модель распространения загрязнения в зоне влияния склада серы

Таким образом, комплексирование методов позволило получить достаточно полную картину химического загрязнения:

дистанционные методы – по вегетационным индексам картировать зоны техногенной трансформации, определить их границы и площади;

метод потенциала естественного электрического поля – установить закономерности движения грунтовых вод и соответственно миграции загрязняющих веществ;

резистивиметрия поверхностных вод – определить минерализацию поверхностных вод и ее пространственные изменения в зависимости от расстояния до источника;

вертикальное электрическое зондирование методом сопротивлений – оценить глубину зоны загрязнения и описать ее вертикальную структуру.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ТИПИЧНЫХ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ КАК ПЕРВЫЙ ЭТАП СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ СЦЕНАРИЕВ ОЦЕНКИ РИСКА ПЕСТИЦИДОВ

А.А. Кокорева<sup>1), 2)</sup>, Н.В. Клебанович<sup>3)</sup>, В.Н. Колупаева<sup>2)</sup>,  
М.А. Никитина<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, email: kokoreva.a@gmail.com

<sup>2)</sup> ФГБОУ ВО «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (ВНИИФ), Россия, 143050, Московская область,

Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5

<sup>3)</sup> Белорусский государственный университет (БГУ), 220030, Минск, ул. Ленинградская, 16

В оценке риска при прохождении процедуры государственной регистрации пестицидами и агрохимикатами математические модели используются для расчет прогнозных концентраций веществ в объектах окружающей среды (почва, грунтовые и поверхностные воды, воздух). Процесс адаптации и настройки почвенной части математических моделей перед внедрением ее в национальный регистрационный процесс весьма долгая и дорогая процедура, предусматривающая калибровку водного блока моделей по результатам мониторинга влажности реальных почв. Для территории республики Беларусь выбраны эталонные разрезы наиболее распространенных сельскохозяйственных почв, проведено послойное исследование физических свойств. Выполнена параметризация модели PEARL с использованием рассчитанных (SRMSE=0,6 и выше) и экспериментально определенных ОГХ (SRMSE=0,3-0,6). Калибровка с учетом особенностей каждого эталонного профиля позволила снизить ошибки прогноза до SRMSE=0,1-0,2 на протяжении большей части вегетационного сезона.

**Ключевые слова:** динамическая модель; основная гидрофизическая характеристика; коэффициент фильтрации; педотрансферные функции; граничные условия; экспериментальное обеспечение модели.

На сегодняшний день количество применяемых в сельском хозяйстве средств защиты растений растет год от года. По данным Россельхозцентра в 2019 г. было использовано 68,07 тыс. тонн [1]. Остатки пестицидов и удобрений по данным мониторинга, проводимого Гидрометцентром, находят в высоких концентрациях, свыше принятого в ЕС порогового значения 0,1 мкг/л [2, 3]. Для прогноза вымывания пестицидов из почвы используются преимущественно потоковые модели (PEARL, MACRO, HYDRUS) в

совокупности с национальными стандартными сценариями (совокупность параметров почвенного экспериментального обеспечения, климатических условий так, же агроэкономические факторы, которые характеризуют определенный сельскохозяйственный регион).

Для создания национальных сценариев для Республики Беларусь были выбраны четыре почвы на уровне разновидностей (Минская область): агро-дерновоподзолистая типичная род ненасыщенная (основная) глубоко пахотная среднесуглинистая на покровных суглинках, торфянозем, торфяно-окисленный-глеевый глубоко пахотный на озерных отложениях (осушенный), агро-дерновоподзол литобарьерный ненасыщенный глубоко пахотный, супесчаный на флювиогляциальных отложениях подстилаемой мореной, агро-дерновоподзол иллювиально-железистый глубоко пахотный, песчаный на флювиогляциальных отложениях.

По классификации USDA почвы попадают в текстурный класс Sandy loam (опесчаненный суглинок) за исключением горизонта G разреза 2 с повышенным содержанием фракции silt (0,002–0,05 мм), равным 83,2 % (Silt (пыль), пылеватая глина), и горизонта C разреза 4 с более высоким содержанием фракции sand (0,05–1,0 мм), равным 77,36 %.

Первый разрез с 30 см слабо дифференцирован по плотности. Глубина пахоты в Республике Беларусь достигает 40 см, затем на нижней границе формируется плужная подошва, характерная для всех пахотных почв (плотность на глубине 40 см – 1,5 г/см<sup>3</sup> при 0,8 г/см<sup>3</sup> в верхних слоях). Легкие почвы имеют дифференцированность в верхней толще, в этом случае пахотные горизонты обеих почв рыхлые в верхней части, а для полугидроморфных почв даже излишне рыхлые – 1,1 г/см<sup>3</sup>.

Органический углерод в торфяных слоях разреза 2 достигает 35 %. В профиле 1, 3, 4 минеральных почв содержание углерода в пахотных горизонтах не превышает 3 %.

Для прогноза вымывания пестицидов из почв в целях оценки риска необходимо использовать в качестве условий на верхней границе метеопараметры, соответствующие годам с низкой обеспеченностью осадками и низкими температурами. В этом случае будут соблюдаться условия сценария «наихудшего случая» (worst case) для оценки поведения ядохимикатов в экстремальных погодных условиях [3]. Ежесуточные данные метеорологической станции государственной сети наблюдений Белгидромета были взяты из открытого источника.

Водный режим за вегетационный сезон 2022 г. для всех исследованных почв имеет особенности, связанные с морфологическим строением, физическими свойствами, а также положением в рельефе. Отмеченные ниже особенности необходимо учитывать при параметризации калибровки модели:

Агро-дерновоподзолистая почва находится в автоморфной позиции. Профиль хорошо увлажнен в осеннее и весеннее время, однако в наиболее жаркий и сухой период (середина июля) наблюдается крайнее иссушение профиля. Это вызвано активным испарением влаги в результате роста и развития злаковой растительности.

Торфянозем хорошо увлажнен в начале года, после снеготаяния, а затем происходит постепенное стекание влаги и ее аккумуляция в середине профиля (что связано с высокими влагосохраняющими свойствами торфа).

Агро-дерновоподзол автоморфный наоборот имеет низкие запасы влаги весной в верхней части профиля, а в летнее время наблюдаются длительные засушливые периоды, вызванные провальными значениями коэффициента фильтрации, излишней рыхлостью пахотного горизонта, низкой влагоудерживающей способностью. Наоборот, полугидроморфная почва западины в течении всего вегетационного сезона имеет достаточное для растений количество влаги в верхней части профиля, что может быть связано с дополнительным увлажнением ввиду стекания осадков с вышележащих отметок рельефа.

Первичная параметризация модели PEARL включала введение данных о плотности почвы, содержания органического вещества, pH, гранулометрического состава. Эти данные получены экспериментально и в основном описывают передвижение пестицида в профиле. Основное физическое обеспечение для прогноза водного режима – ОГХ. С использованием классических ПТФ на основе гранулометрического состава и плотности получены параметры аппроксимации ОГХ для каждого слоя почвы. Прогноз проводился для 10-летнего периода и начинался в 2013 году для, поскольку хорошей практикой по работе моделей считается ее прогон в течение несколько месяцев или лет до моделирования выбранного периода с целью уравнивания модели относительно содержания воды в профиле. В результате прогноза расчетные влажности значительно не соответствовали экспериментальным. Модель завышала влажность на 20 и более объемных процентов, а среднеквадратическая нормированная ошибка SRMSE достигала 0,3, что слишком много для прогноза влажности.

В случае отсутствия экспериментальных данных модель возможно калибровать по данным мониторинга влажности отталкиваясь от рассчитанных параметров аппроксимации. Однако, предпочтительно использовать экспериментальные данные для ориентирования на более достоверные значения полной влагоемкости, которые не должны корректироваться значительно. При использовании экспериментальных ОГХ значительные ошибки до 20 % объемной влажности наблюдались в средней части профиля. Калибровка затронула три параметра: коэффициент фильтрации,  $n$  и альфа. Остальные параметры корректировались незначительно. При этом

удалось снизить абсолютную ошибку влажности до 1–5 % и нормированную среднеквадратическую ошибку до 0,2. Отдельная проблема калибровки состояла в задании растительности, поскольку для стран СНГ нет исследований, касающихся блока растение-почва-атмосфера. Введение зерновой культуры и калибровка параметров развития, таких как глубина и объем корневой системы, параметры развития надземной части растения, позволило адекватно отразить особо засушливую часть на хроноизоплетах влажности в июльский засушливый и жаркий период.

Наибольшие вопросы параметризации вызывал разрез торфянозема. Для торфов нет удачных и доступных ПТФ. В мировой практике имеются отдельные разработки таких расчетных уравнений (Miaogun Wang, Haojie Liu, Bernd Lennartz, 2021), однако опыт их использования оказался неудачным. Поэтому для органогенных горизонтов альтернативы полученным экспериментальным кривым ОГХ не существует, что повышает ценность отработки стандартных сценариев влажности в данной почве. Необходимо отметить, что даже без калибровки модель с большими ошибками отражала водный режим после периода снеготаяния ( $SRMSE=0,6$ ), однако в ранневесенний период и во время осенних дождей ошибка составляла  $SRMSE$  0,2–0,3. Калибровка с увеличением влагопроводящих свойств верхней части профиля и влагозапасающих свойств нижней части снизила ошибку прогноза в вегетационный сезон ( $SRMSE=0,1–0,3$ ) верхней толщи профиля, но привело к значительным ошибкам в минеральном глеевом горизонте (переоценка влажности,  $SRMSE$  0,4–0,6). Вероятнее всего, невозможность задать дренаж в сценарии приводит к необходимости излишней корректировки параметров аппроксимации ОГХ.

Агро-дерновоподзол автоморфный имел наименьшие ошибки прогноза при экспериментальных параметрах ОГХ ( $SRMSE=0,1–0,3$ ), которые при калибровке, учитывающей изменение влагоудерживающих и влагопроводящих свойств из-за присутствия гравия в почве, снизились до  $SRMSE=0,1–0,2$ .

При калибровке параметров для агро-дерновоподзола полугидроморфного калибровка хорошо работает в летний период. Но при поступлении в профиль талых вод экспериментальные данные по влажности намного выше прогнозных. С большой долей вероятности это связано с мезорельефом, в западину поступают большие объемы талых вод с автоморфных отметок. Специальной функции в модели для задания поверхностного стока не предусмотрено, кроме условия на верхней границе, соответствующего образованию слоя воды на поверхности почвы без стекания (Max ponding depth), что, однако, не может компенсировать дополнительный приток воды помимо прямых осадков. Поэтому при общих низких ошибках в течение вегетационного сезона до  $SRMSE=0,1–0,2$  в период



снеготаяния наблюдаются рекордно высокие ошибки прогноза до SRMSE=0,6.

Итоговые стандартные сценарии для модели PEARL территории Республики Беларусь включают:

1. Верхняя граница – метеорологические данные (осадки, температура, радиация, скорость ветра, влажность. Эвапотранспирация рассчитывается по уравнению Пенмана).

2. Нижняя граница – свободный дренаж.

3. Экспериментальные послойные данные (ОГХ, определенные тензиометрически, с получением параметров аппроксимации уравнением Ван-Генухтена. Плотность почвы. Гранулометрический состав. Содержание органического вещества. Калибровку проводили по значениям коэффициента фильтрации, параметрам аппроксимации ОГХ ( $n$  и  $\alpha$ )).

4. Включен растительный блок.

### Библиографические ссылки

1. *Говоров Д. Н., Живых А. В., Шабельникова А. А.* Применение пестицидов. Год 2019-й. Защита и карантин растений. № 7. Год 2020. С. 7–8.

2. *Kolupaeva V. N., Kokoreva A. A., Belik A. A., Pletenev P. A.* Study of the behavior of the new insecticide cyantraniliprole in large lysimeters of the Moscow State University. Open Agriculture, Walter de Gruyter (Berlin, Germany), 2019, b 4, № 1. P. 599–607.

3. *Kolupaeva V., Kokoreva A., Bondareva T.* The study of metribuzin migration in lysimeters. E3S Web of Conferences, EDP Sciences (France), 2020, b 175. P. 1–6.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ ТЕРСКО-КУМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

**Т.А. Асварова, Г.Н. Гасанов, К.М. Гаджиев, Р.Р. Баширов,  
А.С. Абдулаева**

*Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала, ул. М.  
Гаджиева 45, 36700, Россия, email: [tatacvar@mail.ru](mailto:tatacvar@mail.ru)*

На территории Терско-Кумской низменности значения гидротермического коэффициента (ГТК) Г.Т. Селянинова за период 2011–2022 гг. соответствуют природной зоне полупустыни и пустыни. Показана прямая связь продуктивности фитоценоза от гидротермических факторов в условиях опустынивания и аридизации. Урожайность фитоценоза является результатом действия экологических факторов: осадков, температуры воздуха, ее относительной влажности, испаряемости, коэффициента увлажнения (КУ), степени и химизма засоления почвы. Определены уравнения множественной регрессии зависимости между климатическими факторами и урожайностью фитоценоза.

**Ключевые слова:** климат; ГТК; фитоценоз; продуктивность; вид растений.

Климат почвы – это многолетний режим температуры и влажности почв и их географическое распределение, зависящее от комплекса природных факторов и производственной деятельности человека. Процессы опустынивания усиливаются в последние годы, и в 2019–2020 гг. более 24 % территории Северо-Западного Прикаспия занимают песчаные массивы, около 50 % почв отнесены к солончакам [1].

Современное усиление аридизации климата на юге России способствует деградации почвенного покрова, приводит к образованию бесструктурных почв и переуплотненных почвенных горизонтов. Основные факторы, способствующие формированию классификационных признаков аридных почв юга России – острозасушливый климат, засоление, дефляция и щелочная среда [2].

Цель исследований: определение динамики почвенно-растительного покрова Терско-Кумской низменности в условиях усиливающегося климатического антропогенного воздействия.

Исследования проведены на Кочубейской биосферной станции ПИБР ДФИЦ РАН, которая расположена в юго-восточной части Терско-Кумской низменности. Координаты размещения экспериментального участка: 44.40720 с.ш., 46.24771 в.д. Исследования проводились на заповедных экспериментальных участках площадью 100 м<sup>2</sup>, обнесенных железной сеткой

во избежание потрав фитомассы скотом. Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова:

$$\text{ГТК}=10R/\Sigma t,$$

где  $R$  – месячное количество осадков;  $\Sigma t$  – сумма температур за месяц. Определение накопления органической массы фитоценозов по блокам растительного вещества (зеленая масса, ветошь, степной войлок, живые и мертвые корни) в экосистемах проводили по А.А. Титляновой [3]. Латинские названия видов растений даны по Р.А. Муртазалиеву [4].

По последним данным (2021 г.) площадь отгонных пастбищ Дагестана, подверженных опустыниванию, составляет 1,5 млн га – 94,6 % всей территории. Если в 1960 г. средняя урожайность пастбищ составляла 1,5–3,5 ц/га, в настоящее время она равна 0,5 ц/га. При этом площадь сбитых (т.е. полностью выбитых овцами) участков увеличилась с 17 до 90 %. Но на снижение продуктивности влияет совокупность многих факторов. Так, за последние 50 лет температура в регионе увеличилась на 1,5–2,0<sup>0</sup> С. Скорость ветра выросла в 1,8 раза, при этом уменьшилось количество осадков.

С климатической точки зрения, согласно Международной Конвенции по борьбе с опустыниванием, зона риска опустынивания находится в следующих пределах: ГТК=0,05–0,65. Признаками опустынивания являются сокращение степени проективного покрытия почвы растительностью, значительная потеря многолетних растений, кустарников, деградация и эрозия почвы, наступление песков и засоление почв, которые приближают к критическому состоянию территорию Терско-Кумской низменности [5].

Для классификации уровней тепло- и влагообеспеченности использованы градации ГТК < 0,2 – очень сильная засуха, 0,21–0,39 – сильная засуха, 0,4–0,6 – средняя засуха, 0,61–0,75 – слабая засуха, 0,76–1,0 – недостаточная. Гидротермический коэффициент в среднем за годы исследований 2011–2020 гг. составлял 0,12, что по классификации Г.Т. Селянинова соответствует полупустынной зоне. В то же время в разные годы за этот период ГТК изменялся от 0,07 до 0,21 (табл.).

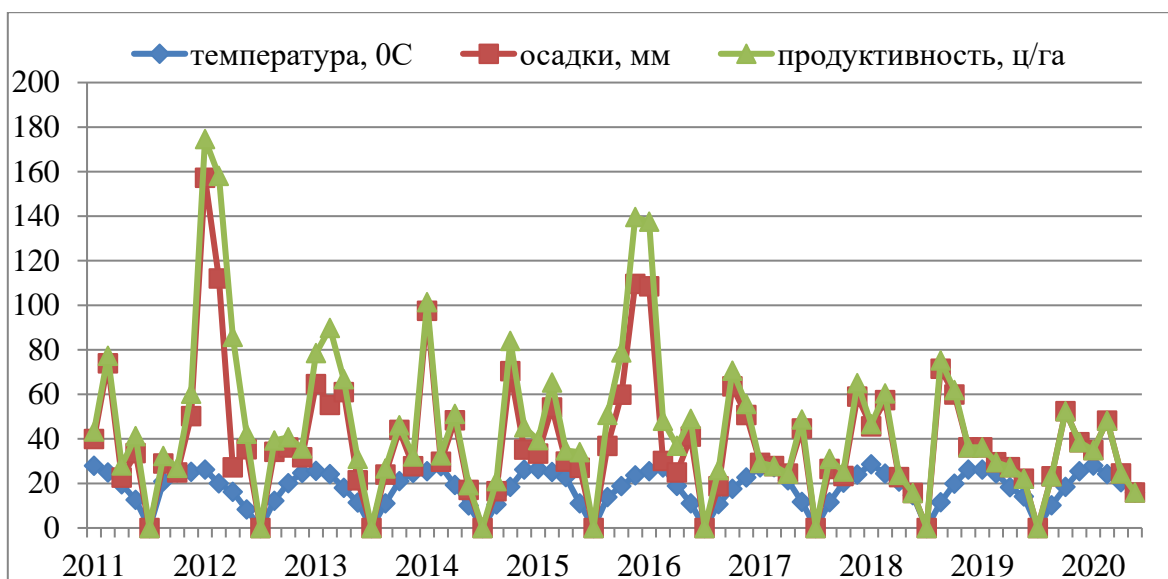
Анализ факторов, влияющих на продуктивность фитоценоза Терско-Кумской низменности, показывает, что в период 2011–2012 и 2016 гг. при сумме осадков 238–272 мм складываются более благоприятные условия для формирования урожая. ГТК за данный период составляет 0,19–0,21. В 2017–2022 гг. (апрель – октябрь) при среднемесечном количестве осадков 18,6 мм складываются неблагоприятные условия для продуктивности фитоценоза: в соответствии с данной шкалой наблюдается очень сильная за-

суха (ГТК=0,07–0,10). При незначительном выпадении осадков во взаимосвязи с высокой температурой воздуха в период вегетации происходит резкое падение ГТК и продуктивности фитоценоза (рис.).

ГТК за вегетационный период апрель – октябрь 2011–2022 гг.

Год	М ср. t0C	М ср. осадки, мм	∑ осадки, мм	∑ t0C	ГТК
2011	19,6	33,8	238	136	0,19
2012	20,2	42	287	147,4	0,21
2013	19,4	24	168	136,2	0,12
2014	19,9	21,3	155	139,3	0,11
2015	20,0	18	125	140,5	0,09
2016	19,8	38,8	272	138,2	0,2
2017	19,8	17,2	119	138,5	0,07
2018	20,6	15,1	106	144,3	0,07
2019	20,1	20,3	140	140,8	0,1
2020	20,4	13,6	94	142,7	0,07
2021	20,4	28,3	197	142,5	0,14
2022	20,6	17,3	121	144,4	0,08

Показана прямая связь продуктивности от количества осадков и температуры в течение 10 лет. Необходимо отметить, что на формирование продуктивности фитоценоза влияет распределение осадков по периодам вегетации. Климатические характеристики в период апрель – май 2011 г. (сумма осадков 85 мм, температура воздуха 13,8<sup>0</sup>С, относительная влажность воздуха 73 %) определили высокую урожайность фитоценоза за счет эфемеров и эфемероидов до 1,57 т/га, что не характерно для данного региона. В период вегетации июль – август (соответственно 64 мм, 27,4<sup>0</sup>С, 58 %) 2011 г. происходит резкое снижение продуктивности до 0,89 т/га. Минимальная урожайность (0,17 т/га) наблюдается в период апрель – май 2012 года (соответственно 25 мм, 18<sup>0</sup>С, 61 %), и это недостаточно для развития эфемеров и эфемероидов. Однако осадки, выпавшие в более поздние периоды вегетации 2012 г., (в июле – сентябре было 102 мм, 25,8<sup>0</sup>С, 62 % соответственно) способствовали наибольшей урожайности (6,95 т/га) за счет солянки грузинской – курая (*Salsola iberica* Sennenet Paи.). В 2016 году продуктивность составила 3,0 т/га.



Связь между урожайностью и климатическими факторами 2011–2021 гг.

В 2012 году (август – сентябрь) доминировала полынно-солянковая ассоциация, здесь произошла смена доминирующих видов в сообществе. Доминантой становится солянка грузинская, оказавшаяся более солевыносливым и засухоустойчивым видом. Полыни таврическая и Лерха стали субдоминантами. Доля курая в суммарной фитомассе была преобладающей – 53,6–68,1 ц/га. Надземная фитомасса солянок в 2012 г. превысила показатель 2011 г. в 20,1 раз. Такого обилия растений (60–76 экз./м<sup>2</sup>) курая, такого интенсивного роста (до 1,0–1,2 м) и формирования фитомассы, как в 2012 г., ранее в рассматриваемых условиях не наблюдалось, хотя очаги их встречались ежегодно на значительных площадях.

За годы исследований доминантами сообщества являлись полукустарнички: *Artemisia taurica* Willd. и *A. lercheana* Web.ex Stechm., (*Salsola iberica* Sennenet Paiv.), *Bromus squarrosus* L., *Anisantha tectorum* L., *Eragrostic minor* Host., *Poa bulbosa* L., *Eremopyrum triticeum* (Gaertn.) Nevski., *Eremopyrum orientale* (L.) (Jaub.et Spach) *Alyssum desertorum* Stapf и др.

Таким образом, формирование фитомассы и ее видового состава на территории Терско-Кумской низменности является результатом совокупного действия различных экологических факторов, основными из которых являются осадки, температура и относительная влажность воздуха, испаряемость, коэффициент увлажнения (КУ), а также степень и химизм засоления почвы. Зависимости между указанными факторами выражаются уравнениями множественной регрессии:

для эфемеровой синузии:

$$Y=17,13+0,0425X_1+0,0087X_2-4,66X_3-20,65X_4+0,6X_5;$$

для разнотравья и солянок:

$$Y=9,65+0,18X_1-0,0147X_2-15,54X_3+45,78X_4-21,44X_5,$$

где  $Y$  – урожайность воздушно-сухой фитомассы, ц/га;  $X_1$  – осадки за вегетационный период, мм;  $X_2$  – испаряемость, мм;  $X_3$  – КУ;  $X_4$  – содержание  $Cl^-$ , мг-экв./100 г почвы;  $X_5$  – соотношение  $Cl^-:SO_4^{--}$  в слое 0–20 см.

Влияние климатических факторов в условиях опустынивания и аридизации приближает почвенно-растительный покров Терско-Кумской низменности к критическому состоянию и требует посадки фитомелиорантов, а также регламентирования выпаса скота.

### Библиографические ссылки

1. Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2019 год. М.: Росгидромет. 2020. 97 с.
2. Залибеков З. Г., Мамаев С. А., Биарсланов А. Б., Курбанисмаилова А. С. Почвы аридных регионов юга России в базовой классификации почв мира // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28, № 1 (90). С. 42–52.
3. Титлянова А. А. Продуктивность травяных экосистем // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Новосибирск. 1988. С. 109–127.
4. Муртазалиев Р. А. Конспект флоры Дагестана / отв. ред. чл.-корр. РАН Р. В. Камелин. Махачкала: 2009. Т. I. 320 с.; Т. II. 248 с.; Т. III. 304 с.; Т. IV. 232 с.
5. Экологические аспекты формирования солончака реградированного в Терско-Кумской низменности Прикаспия / Г. Н. Гасанов [и др.] // Юг России. 2019. Т. 14, № 4. С. 86–97.

## КАДАСТРОВАЯ СТОИМОСТЬ АГРОЛАНДШАФТОВ РОССИИ, ГРАНИЧАЩИХ С РЕСПУБЛИКОЙ БЕЛАРУСЬ

П.М. Сапожников<sup>1)</sup>, Н.И. Данилова<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва,  
Ленинские горы, д. 1, стр. 12, 119991, Россия, email: Sap-petr@yandex.ru

<sup>2)</sup> Русское общество оценщиков, Россия, Москва,  
1-й Басманный переулок, д. 2А, офис 5, 105066, Россия

Определены удельные показатели кадастровой стоимости агроландшафтов Псковской, Смоленской и Брянской областей, граничащих с Республикой Беларусь. Максимальные показатели кадастровой стоимости характерны для дерново-карбонатных, серых лесных почв, минимальные показатели отмечены для дерново-подзолистых и аллювиальных слоистых супесчаных почв. Осушенные ландшафты характеризуются большими значениями кадастровой стоимости. Деградационные процессы в почвах (переувлажнение, эрозия) значительно снижают показатели кадастровой стоимости. Показаны возможные изменения кадастровой стоимости земель Республики Беларусь.

**Ключевые слова:** агроландшафты; агроклиматические условия; негативные свойства почв; удельные показатели кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения.

В Российской Федерации вот уже более 20 лет развивается институт кадастровой оценки. Кадастровая оценка является массовой и так же, как и кадастр объектов недвижимости, имеет государственный статус. Такой высокий статус кадастровой оценки придаёт ей особую значимость, приоритет, а заодно и возлагает большую ответственность на организаторов и исполнителей работ. Государственная кадастровая оценка в Российской Федерации берет свое начало с 1999 года с выхода Постановления правительства РФ № 945 «О государственной кадастровой оценке земель». В 2000 году Правительством Российской Федерации установлены Правила проведения государственной кадастровой оценки земель, в 2001 году введен в действие новый Земельный кодекс Российской Федерации и в этом же году Правительством Российской Федерации принята Федеральная целевая программа «Создание автоматизированной системы ведения государственного земельного кадастра и государственного учета объектов недвижимости» [1]. Характеристики качества почв являются источником информации для вычисления кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения. Базой для этих данных служат материалы крупномасштабных почвенных исследований, проведенных во всех субъектах

нашей страны в середине 90-х годов прошлого века [2]. Почвы, находящиеся в различных агроклиматических условиях, в различных элементах ландшафта, будут дифференцированы по кадастровой стоимости, и изучение характера такой дифференциации является весьма актуальной задачей, имеющей практическую (экономическую) значимость.

Целью настоящей работы является выявление характера дифференциации кадастровой стоимости агроландшафтов, граничащих с Республикой Беларусь, а также выявление возможных изменений кадастровой стоимости агроландшафтов Республики Беларусь.

Общая протяженность границ Российской Федерации с Республикой Беларусь составляет 1239 км. Границы проходят по территориям Псковской (305 км), Смоленской (463 км) и Брянской (471 км) областей. Агроклиматический потенциал [3], характеризующий влияние климатических условий на урожайность, и, соответственно, вносящий существенный вклад в определение величины нормативной урожайности, и, как следствие, кадастровой стоимости, находится в пределах от 7,1 в Псковской области до 8,1 в Брянской. Необходимо отметить, что, чем выше величина агроклиматического потенциала, тем выше значения кадастровой стоимости земель.

Объектом изучения являлись почвы земель сельскохозяйственного назначения Псковской, Смоленской и Брянской областей.

Методы исследования включали в себя работу со шкалами ВИСХАГИ (областные списки почв), расчет удельных показателей кадастровой стоимости (УПКС) в соответствии с приказом № П/0336 «Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке» (от 17 декабря 2021 года) [4], работа с системным программным обеспечением «Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения» [5].

Величины удельных показателей кадастровой стоимости (УПКС) представлены в таблице.

Для агроландшафтов Псковской области наиболее высокие показатели УПКС зафиксированы для осушенных дерново-карбонатных и пойменных почв (9,6 и 10,8 руб./м<sup>2</sup> соответственно). Минимальные показатели отмечены для супесчаных и сильноосмытых почв. Для осушенных торфяных почв величины кадастровой стоимости варьируют от 2,8 до 3,6 руб./м<sup>2</sup>.

Для агроландшафтов Смоленской области максимальные показатели отмечены для дерново-подзолистых осушенных почв (7,6 руб./м<sup>2</sup>), а минимальные для пойменных слоистых супесчаных почв (0,1 руб./м<sup>2</sup>).



**Удельные показатели кадастровой стоимости земель Псковской,  
Смоленской и Брянской областей**

Почвы	УПКС, руб./м <sup>2</sup>
Почвы Псковской области	
Подзолистая суглинистая осушенная	6,1
Подзолистая суглинистая осушенная среднесмытая	0,5
Дерново-подзолистая суглинистая	3,9
Дерново-подзолистая супесчаная	0,6
Дерново-карбонатная суглинистая	5,2
Дерново-карбонатная суглинистая осушенная	9,6
Торфяно-глеевая болотная низинная осушенная	3,6
Торфяно-болотная низинная осушенная	2,8
Аллювиально-дерновая насыщенная осушенная	10,8
Почвы Смоленской области	
Дерново-подзолистая суглинистая осушенная	7,7
Дерново-подзолистая суглинистая осушенная сильносмытая	3,9
Дерново-подзолистая суглинистая	3,0
Дерново-подзолистая суглинистая глеевая	2,3
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	1,5
Аллювиальная дерновая кислая песчаная слоистая	0,1
Почвы Брянской области	
Дерново-подзолистая суглинистая	3,6
Дерново-подзолистая суглинистая сильносмытая	2,0
Дерново-подзолистая суглинистая глеевая	1,9
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	2,0
Серая лесная суглинистая	7,6
Серая лесная сильносмытая	2,4

Максимальные величины УПКС в агроландшафтах Брянской области характерны для серых лесных почв и составляют 7,6 руб./м<sup>2</sup>. Для дерново-подзолистых почв УПКС составляет 3,6 руб./м<sup>2</sup>. Эрозионные процессы снижают величины УПКС на 40–70 %.

Полученные выше закономерности подтверждают вывод, сделанный нами ранее [6], что для гумидных территорий ранжирование удельных по-

казателей кадастровой стоимости почв располагается в следующей последовательности: дерново-карбонатные>аллювиальные>серые лесные>дерново-подзолистые>торфяные>подзолистые.

Природно-климатические условия Республики Беларусь сходны с граничащими территориями России. Для территории Беларуси характерны достаточно благоприятные для развития сельского хозяйства агроклиматические условия. По совокупности природных условий территория Республики Беларусь подразделяется на три агроклиматические области, в состав которых входят шесть физико-географических провинций [7].

**Северная умеренно тёплая влажная агроклиматическая область** (Восточно-Прибалтийская и Белорусско-Валдайская провинции) охватывает большую часть Витебской и северо-западную часть Минской области. Более тяжелые почвы, чем в других областях, недостаточно благоприятны для выращивания картофеля, однако на них лучше растёт лён. Термические условия и особенности увлажнения позволяют выращивать зерновые культуры, лён, кормовые травы и корнеплоды.

**Центральная теплая умеренно влажная область** включает Восточно-Белорусскую, Предполесскую и Западно-Белорусскую провинции. В среднем на 100 га пашни приходится 30–50 га сенокосов и пастбищ. Здесь более благоприятные условия для выращивания пожнивных культур (после уборки зерновых и льна) на зелёную массу. Природные условия позволяют выращивать с/х культуры умеренного пояса, в том числе и сахарную свеклу.

**Южная тёплая неустойчиво влажная агроклиматическая область** включает Полесскую провинцию и охватывает Белорусское Полесье, хорошие условия для животноводства. Область лучше обеспечена теплом, что благоприятствует выращиванию сахарной свеклы, кукурузы, скороспелых сортов винограда, овощей и фруктов.

На территории Республики Беларусь выделены следующие основные типы почв: дерново-карбонатные, бурые лесные, аллювиальные (пойменные) дерновые, дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболоченные, болотно-подзолистые, дерновые заболоченные, торфяно-болотные почвы низинного типа, торфяно-болотные почвы верхового типа. В составе земель Республики среди типов преобладают дерново-подзолистые (34,3 %) и дерново-подзолистые заболоченные (37,2 %) почвы. Значительно меньшие площади занимают дерновые заболоченные и дерново-карбонатные почвы (10,2 %), торфяно-болотные (1,3 %), пойменные дерновые заболоченные (3,7 %) и антропогенно-преобразованные (3,3 %).

Исходя из значений кадастровой стоимости регионов, граничащих с Республикой Беларусь, можно сделать следующие выводы. Максимальные

показатели кадастровой стоимости для Республики Беларусь будут для дерново-карбонатных и пойменных почв (более 10 руб./м<sup>2</sup>). Диапазон изменений для серых лесных почв будет составлять 5,0–7,6 руб./м<sup>2</sup>, а для дерново-подзолистых почв суглинистых почв – 3,0–3,9 руб./м<sup>2</sup>. В супесчаных почвах будет отмечаться значительное снижение кадастровой стоимости. Значительное увеличение кадастровой стоимости будет наблюдаться в осушенных ландшафтах, а деградационные процессы, такие как эрозия и переувлажнение, будут значительно снижать величины кадастровой стоимости.

Работа выполнена по теме государственного задания номер ЦИТИС: 121040800146–3 «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления».

### Библиографические ссылки

1. Сапожников П. М., Рыбальский Н. Г. Двадцатилетие кадастровой оценки в России — основные проблемы и трудности // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2019. № 4. С. 93–97.

2. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации. / Под ред. П. М. Сапожникова, С. И. Носова. М., 2012. 157 с.

3. Справочник агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации. Учеб. практическое пособие // Под ред. С. И. Носова. М., 2010. 200 с.

4. Методические указания о государственной кадастровой оценке / утверждены Приказом Росреестра от 7 августа 2021 г. №П/0336. М., 2021. 149 с.

5. Пшеничников А. П., Носов С. И., Оглезнев А. К., Сапожников П. М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019611028 «Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения», 2019. С. 1–5.

6. Сапожников П. М., Шехтер К. П., Данилова Н. И. Дифференциация кадастровой стоимости земель в агроландшафтах гумидных, аридных и полуаридных территорий Российской Федерации // Вестник МГУ, серия 17, почвоведение. 2023. №2. С. 46–55.

7. Логинов В. Ф. Климатические условия Беларуси за период инструментальных наблюдений // Наука и инновации. 2016. № 163. С. 25–29.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ФОРМАЦИЙ

А.М. Гафуров, Б.М. Усманов

*Казанский федеральный университет, ул. Таварищеская 5,  
Казань, Россия, email: amgafurov@kpfu.ru*

Мониторинг экзогенных процессов на участках, покрытых лесными формациями, является принципиально отличающейся задачей от такового на непокрытых лесом территориях. В статье описывается использование воздушного лазерного сканирования (ВЛС) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга опасных экзогенных процессов, таких как овражная эрозия и оползни, на территориях, покрытых лесом. Эксперименты проводились на двух ключевых участках в Республике Татарстан, и результаты показали, что эти технологии позволяют успешно производить съемку рельефа даже на полностью залесенных участках. Это открывает новые возможности для мониторинга и предупреждения опасных экзогенных процессов в сложных лесных условиях.

**Ключевые слова:** воздушное лазерное сканирование; беспилотные летательные аппараты; мониторинг экзогенных процессов; овражная эрозия; оползни; лесные территории; дистанционное зондирование

Мониторинг опасных экзогенных процессов на территориях, покрытых лесом, представляет значительные трудности. Прежде всего, плотный лесной покров затрудняет визуальное обнаружение таких процессов, как овражная эрозия и оползневые процессы. Кроме того, сезонность и изменчивость погодных условий могут значительно влиять на активность и видимость этих процессов, что усложняет их систематический мониторинг [1]. Некоторые лесные территории могут быть удалены или труднодоступны, что делает процесс мониторинга затратным или даже невозможным. Наконец, несвоевременное обнаружение и контроль опасных экзогенных процессов может привести к серьезному вреду для биоразнообразия лесных экосистем [2].

Для решения вышеупомянутых проблем можно использовать ряд подходов. Технологии дистанционного зондирования Земли, включая спутниковые изображения и дроны [3], могут помочь обнаружить изменения в ландшафте и покрове растительности, указывающие на активность экзогенных процессов. Внедрение технологий Интернета вещей (IoT), включая установку сети датчиков, может обеспечить непрерывный мониторинг и своевременное обнаружение таких процессов. Создание систем предупреждения может также способствовать своевременному обнаружению и контролю экзогенных процессов.

Эти системы могут анализировать данные, полученные от датчиков и дистанционного зондирования, и предупреждать о возможных опасностях. Наконец, важность систематического исследования и мониторинга этих процессов не может быть недооценена. Они помогут ученым лучше понять природу и механизмы этих процессов, что, в свою очередь, может помочь разработать более эффективные стратегии их контроля.

Лидарная съемка (Light Detection and Ranging) является современной технологией дистанционного зондирования, которая обладает значительным потенциалом для мониторинга опасных экзогенных процессов на лесных территориях. Эта технология использует излучение лазерных импульсов и анализ отраженного света для измерения расстояния от датчика до объектов, что позволяет создавать детальные трехмерные изображения поверхности Земли. Создание трехмерных моделей ландшафта является одним из ключевых преимуществ лидарной съемки [4]. Эти модели обеспечивают детальное представление о топографии, что позволяет обнаруживать изменения, связанные с экзогенными процессами, такими как оползни и эрозия почвы. Лидарный луч способен проникать сквозь вегетационный покров, предоставляя данные о поверхности земли под деревьями и кустарниками. Эта особенность особенно важна при мониторинге лесных территорий, где визуальное наблюдение может быть затруднено плотным растительным покровом. Лидарная съемка обеспечивает высокую пространственную точность и разрешение, позволяя отслеживать детальные изменения в топографии с течением времени. Это позволяет своевременно обнаруживать даже небольшие изменения в ландшафте, которые могут быть признаками активации опасных экзогенных процессов [5]. В рамках пилотных проектов по организации мониторинга экзогенных форм на ряде ключевых участков были проведены работы с использованием воздушного лазерного сканирования с беспилотных летательных аппаратов.

Для проведения работ были выбраны два участка. Первый – лесной участок карбонового полигона «Карбон-Поволжье», расположенный в Зеленодольском район Республики Татарстан. Данный участок представляет собой эталонную систему, расположенную на осложненном оврагами рельефе. Второй участок расположен в Тетюшском районе Республики Татарстан. Участок расположен на правом берегу р. Волги и осложнен оползневыми формами блокового типа (Рис. 1).

Работы по оценке интенсивности экзогенных процессов можно разделить на два этапа: полевой и камеральный. Работы проводились с использованием беспилотного летательного аппарата (БЛА) Геоскан 401, оснащенного воздушным лазерным сканером (ВЛС) АГМ МС-1.200. Для обеспечения точного определения координат на ключевом участке 1 использовалась базовая станция ЕАОЗ Астрономической обсерватории им. В.П. Эн-

гельгардта КФУ. Для участка 2 была установлена базовая станция с использованием приемника ГНСС E-Survey E300PRO и определены ее координаты. Погрешность определения координаты базовой станции составила 0.006 м по широте, 0.004 м по долготе и 0.017 м во высоте. Сканирование с БПЛА осуществлялось в обоих случаях согласно единой методике – высота сканирования – 150 м относительно рельефа, продольное и поперечное перекрытие соседних галсов составило 70 % и 50 %, соответственно.

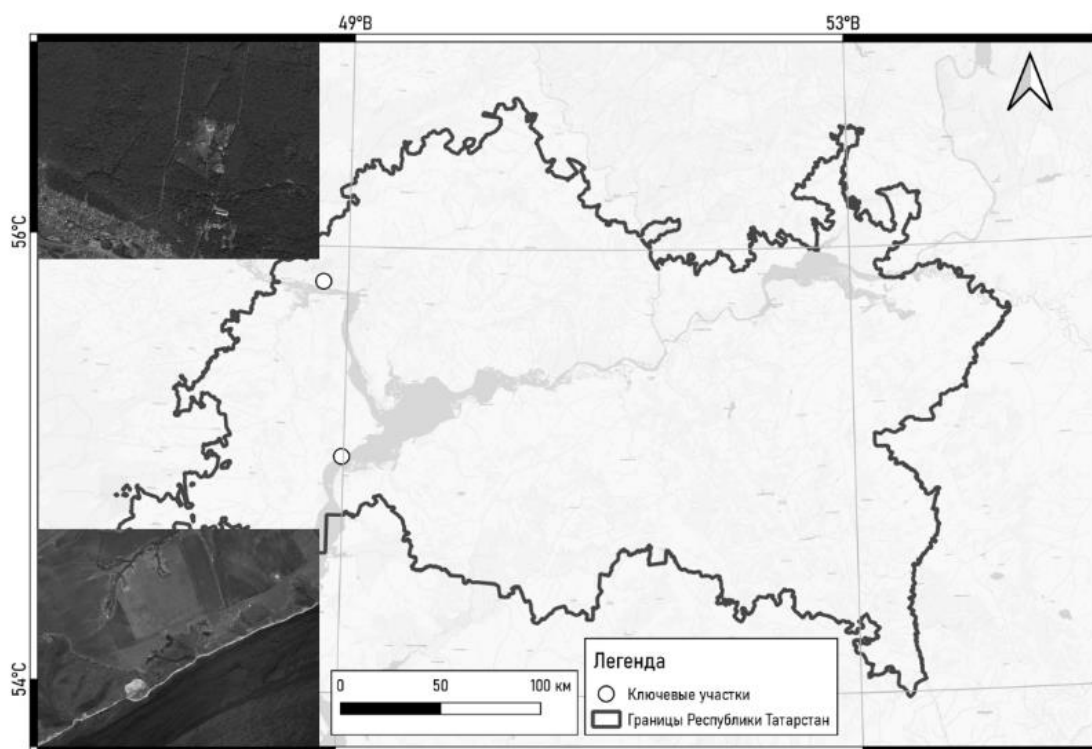


Рис. 1. Расположение ключевых участков сканирования

Камеральная обработка результатов сканирования производилась в два этапа. На первом этапе производилось уравнивание траекторий полета БЛА относительно базовой станции и конвертация облаков точек в обменный формат LAS в программном обеспечении (ПО) ScanWorks Pro. На втором этапе с использованием ПО Lidar360 была произведена процедура удаления шумов, отдельных выбросов, выравнивание облаков точек различных галсов относительно друг друга с использованием траекторий полета БПЛА. Очищенные облака точек классифицировались на основные классы «земля», «растительность», «строения» и т.д., после чего строились цифровые модели рельефа по облакам точек с классом «земля».

В результате были проведены установочные мероприятия по организации мониторинговой сети опасных экзогенных процессов с использованием ВЛС с БЛА на покрытых лесом территориях. Погрешность определения координат сканирования в большинстве своем не превышает

2 мм (Рис. 2). В результате обработки результатов сканирования были получены ЦМР на оба залесенных участка (Рис. 3–4).

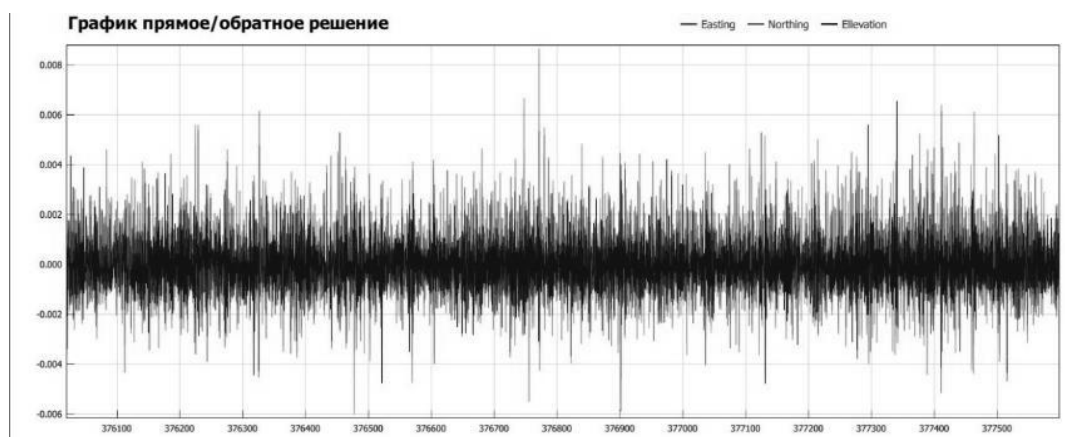


Рис. 2. График погрешности определения координат сканирования

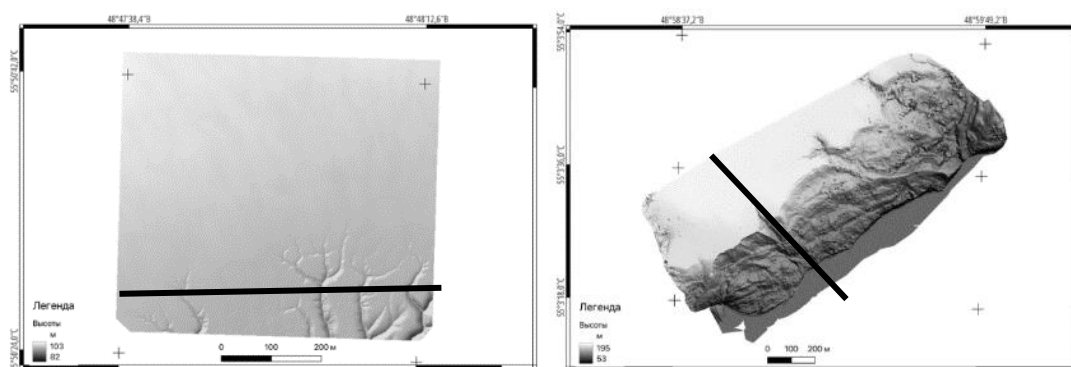


Рис. 3. ЦМР на овражный участок (слева) и оползневой участок (справа) с нанесенными профилями

Использование ВЛС позволило организовать мониторинговую сеть экзогенных процессов на примере двух ключевых участков, расположенных в Республике Татарстан. Использование ВЛС с БЛА позволило успешно производить съемку рельефа на полностью залесенных участках, что невозможно при использовании фотограмметрии. Стоит отметить, что точность позиционирования во время сканирования позволяет производить съемку без дополнительного обоснования и необходимости в установке реперных точек при съемке таких крупных форм, как овраги и оползни. Перспективы съемки объектов, подверженных почвенной эрозии еще предстоит выяснить, но, как показал опыт проведения аналогичных работ с использованием наземного лазерного сканирования, точность позиционирования разновременных съемок является принципиально важной метрикой и, на наш взгляд, работы по съемке эрозионных форм рельефа на пашне будут требовать установки дополнительных опорных знаков [6].

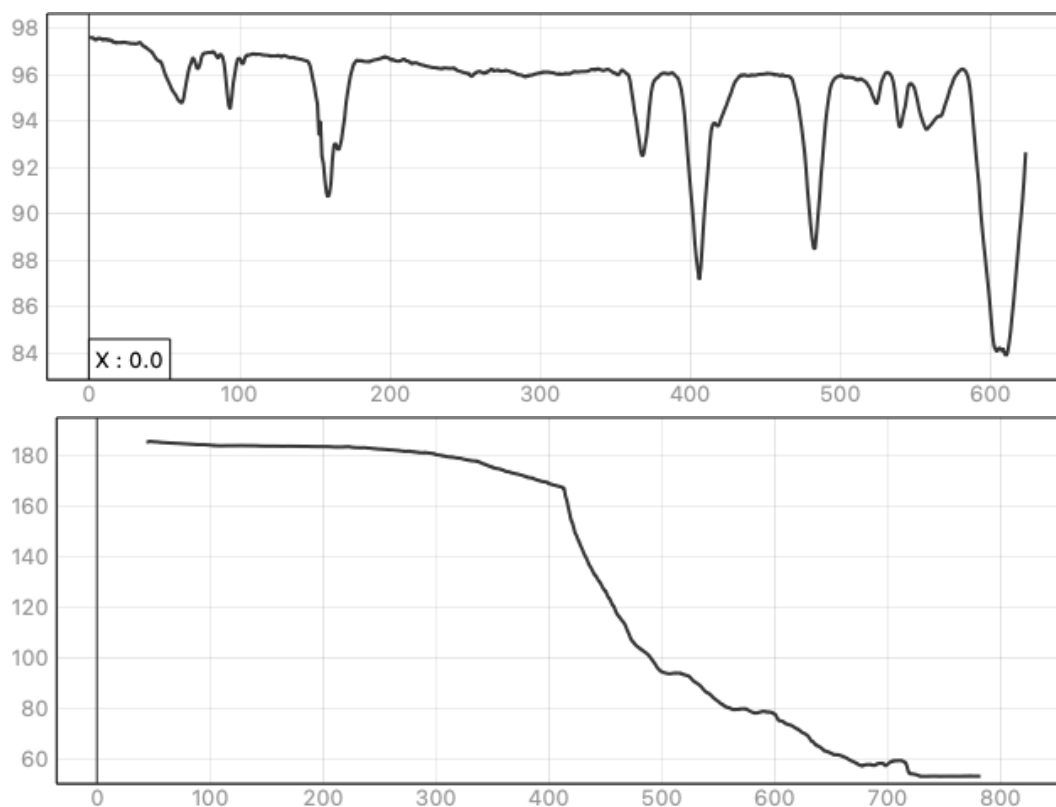


Рис. 4. Профили на основных характерных элементах овражного (сверху) и оползневого (снизу) участков

**Благодарности:** Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2022-0003.

### Библиографические ссылки

1. Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama / L. Wang [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. 2004. № 3–4 (91). P. 432–440.
2. Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests / J. Hyypä [et al.] // *International Journal of Remote Sensing*. 2008. № 5 (29). P. 1339–1366.
3. Gafurov A. The Methodological Aspects of Constructing a High-Resolution DEM of Large Territories Using Low-Cost UAVs on the Example of the Sarycum Aeolian Complex, Dagestan, Russia // *Drones*. 2021. № 1 (5). P. 7.
4. Effects of Topographic Variability and Lidar Sampling Density on Several DEM Interpolation Methods / Q. Guo [et al.] // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2010. № 6 (76). P. 701–712.
5. Anderson K., Gaston K. J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2013. № 3 (11). P. 138–146.
6. Yermolaev O. P., Gafurov A. M., Usmanov B. M. Evaluation of Erosion Intensity and Dynamics Using Terrestrial Laser Scanning // *Eurasian Soil Science*. 2018. № 7 (51). P. 814–826.



## ИЗУЧЕНИЕ РУСЛОВЫХ И ОВРАЖНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

И.И. Григорьев<sup>1)</sup>, И.И. Рысин<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, email: ivangrig@yandex.ru

<sup>2)</sup>Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, email: rysin.iwan@yandex.ru

Представлены современные технологии и результаты многолетних (1978–2022 гг.) исследований овражной эрозии и русловых процессов (2000–2022 гг.) на территории Удмуртии. На графике среднегодовых скоростей роста вершин оврагов за 44 летний период максимумы прироста относятся к 1979 (2,8 м), 1990 (1,9 м), 1991 (2,3 м) и 1994 (1,8 м) годам. Отчетливо выражен отрицательный тренд в развитии оврагов. Размыв берегов рек различается как по годам, так и отдельным ее участкам и зависит от морфолого-морфометрических параметров русла, руслоформирующих расходов и др. Современные методы исследования опасных эрозионных процессов включают комбинированное использование наземных геодезических измерений и аэрофотосъемок. Получены количественные показатели по линейному, площадному и объемному приросту овражной и русловой эрозии за многолетний период. Используемая методика позволила получить надежные результаты и планируется к дальнейшему использованию в мониторинговых наблюдениях в республике.

**Ключевые слова:** овражная эрозия, русловые размывы, геодезические работы, аэрофотосъемка, Удмуртская Республика.

На территории Удмуртской Республики (УР) проявляются различные типы опасных эрозионных процессов. Наиболее активны почвенная и овражная эрозия, русловые размывы берегов. В меньшей степени представлены оползневые и абразионные процессы, крип и др.

Современные технологии исследования данных процессов представлены главным образом комплексом полевых и камеральных топографо-геодезических работ, проводимых нами для изучения прироста оврагов за 44-летний период и динамики русловых размывов с начала 2000-х годов. Они заключаются в выполнении высокоточной ( $\pm 0,01$  м) топографической съемке оврагов, уступов при вершинах, их бровок и тальвегов. Путем ежегодного сравнения топографических съемок измеряется линейный прирост вершин оврагов и изучается характер изменений очертаний бровок и тальвегов в плане и по высоте. Геодезические приборы для проведения данных работ регулярно совершенствовались. В период 1978–2002 гг. это были оптико-механические геодезические инструменты (теодолиты Т30 и 2Т30). С

2003 года начали использовать электронные инструменты с лазерными дальномерами (тахеометры “Trimble 3305”, затем “Nicon NPR-332”) [1].

С 2019 года для изучения некоторых эрозионных процессов нами применяется спутниковый приемник «EFT» вместе с квадрокоптером «DJI Phantom 4». Снимки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) отличаются сверхвысоким пространственным разрешением и имеют высокую скорость получения. Имеются и определенные недостатки: время полета ограничено емкостью батареи (20-30 минут в зависимости от модели), площадь исследуемого участка относительно небольшая (до 100 га), зависимость от погоды (ветер, осадки). Использование квадрокоптера «DJI Phantom 4» дает возможность точной привязки аэрофотоснимков в разных системах координат. Это позволяет получать высокоточные количественные данные о различных эрозионных процессах. Точность определения координат центров снимков квадрокоптером в СК WGS-84 составляет около 2–3 метров. Такой точности измерений явно недостаточно. Для повышения итоговой точности ортофотопланов нами используется привязка к наземным маркерным пунктам, координаты которых определяются с помощью спутниковых приемников. Таким способом точность ортофотопланов достигает 5-10 см. Для осуществления аэрофотосъемочных работ квадрокоптером «DJI Phantom 4» определены следующие параметры: высота полета в диапазоне 50-80 м, перекрытие снимков в продольном направлении - не менее 80%, в поперечном – не менее 70%, для съемки линейных объектов требуется выполнение не менее 3 галсов [2]. Последующая обработка аэрофотоснимков проводится в программе Agisoft Metashape Professional. В исследованиях выполнялось построение 3d-моделей, ортофотопланов и цифровых моделей местности (ЦММ).

На нескольких оврагах, отличающихся активным линейным приростом, каждый год выполняются исследования по измерению площади вершин и вычислению их объемного прироста. То же самое относится и к проявлениям русловой эрозии. Использование аэрофотосъемки в исследованиях позволяет получить достаточно точные количественные данные по развитию различных опасных эрозионных процессов (линейный прирост, площадной размыв и объем вынесенного материала), что повышает качество итоговых результатов за весь период наблюдений.

На 2022 г. в систему мониторинга на землях сельскохозяйственного назначения входят 168 вершин оврагов, которые располагаются на 28 ключевых участках в различных ландшафтных условиях юга Вятско-Камского междуречья.

Все овраги, входящие в сеть мониторинга, разделяются традиционно на две группы: первичные и вторичные. Первичные овраги нами разде-

лены на 3 типа: приводораздельные, к которым отнесены все овраги, развивающиеся на склонах междуречных пространств, а также прибалочные и придолинные (береговые), которые различаются по месту своего развития на бортах балок и речных долин (террас) соответственно. К вторичным отнесены донные (в средней и нижней части днищ древних эрозионных форм), вершинные (в верховьях древних эрозионных форм) и пойменные овраги [3].

Обобщенный график среднегодовых темпов линейного прироста агрогенных оврагов получен на основе использования данных по всем оврагам, включенным в систему мониторинга. За весь период наблюдений (1978–2022 гг.) на фоне общего нисходящего тренда отчетливо выделяются 4 пика с максимальными значениями, которые все относятся к первому этапу наблюдений 1978–1997 годы: 1979 (2,8 м/год), 1990 (1,9 м/год), 1991 (2,3 м/год) и 1994 (1,8 м/год) годы. Усиление темпов отступления вершин оврагов в эти годы было обусловлено высокой интенсивностью половодного стока и значительной долей пашни на их водосборах [3]. После 1996 г. среднегодовые темпы отступления вершин оврагов резко уменьшились и только в 1997, 1998 и 2001 гг. превышали значение 0,5 м/год, достигнув минимума в 2008 г. При этом более активным ростом характеризуются вторичные овраги (рис. 1).



Рис. 1. Динамика среднегодовых скоростей прироста первичных, вторичных и всех типов оврагов на юге Вятско-Камского междуречья за 1978–2022 годы

Ежегодное создание ортофотопланов на основе аэрофотосъемочных работ дает возможность со значительной точностью получать данные по

динамике эрозионных процессов без наземных работ, занимающих достаточно много времени и ресурсов. В 2019-2022 гг. нами изучалась возможность совмещения аэрофотосъемки и проведенных ранее наземных геодезических съемок участков размываемых береговых линий на р. Кырыкмас (лев. приток р. Иж) в Киясовском районе, на р. Сива (прав. приток р. Кама) в Воткинском районе, на р. Нылга (лев. приток р. Вала) в Увинском районе и на р. Вала (лев. приток р. Кильмезь) в Вавожском районе УР. Это позволило выявить особенности развития русловой эрозии. Кроме того, нами получены количественные данные по линейному и площадному размыву на указанных реках за период с 2003 по 2022 годы (рис. 2). На итоговом ортофотоплане фиксируется положение береговых линий изучаемого участка русла реки и появляется возможность создания топографических планов различных масштабов с целью осуществления более полных изысканий.

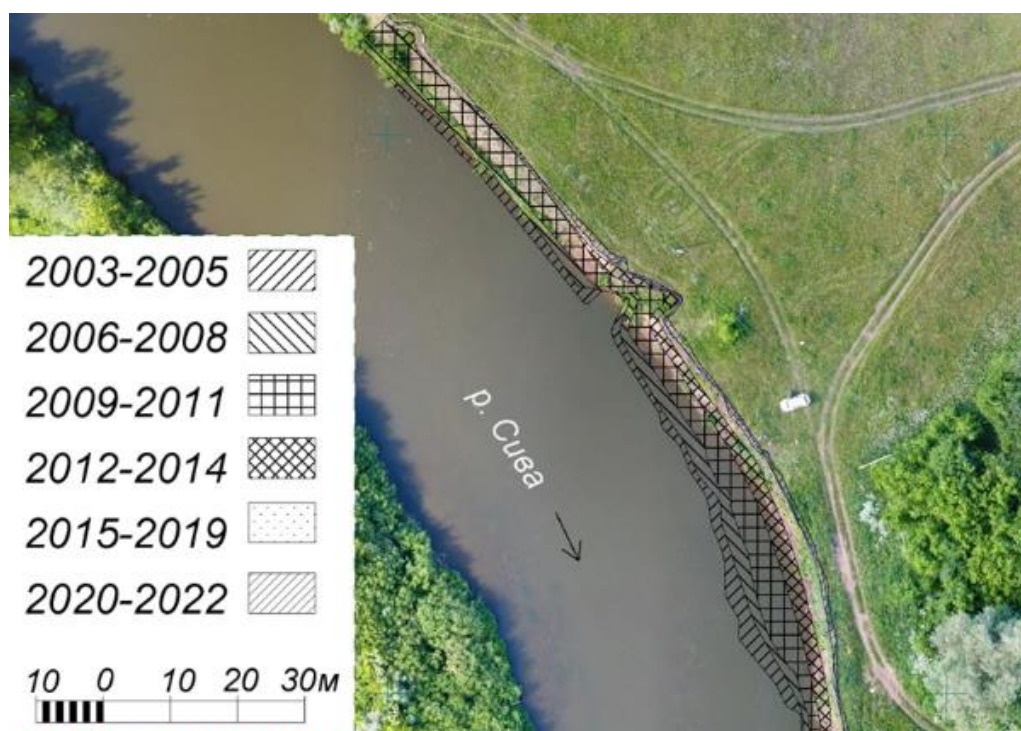


Рис. 2. Совмещение фрагмента наземной съемки береговой линии р. Сива за период 2003–2022 гг. с ортофотопланом (залет 2020 г.)

Аналогичные исследовательские работы за период 2003–2022 гг. с определением линейного и площадного прироста проведены и по нескольким оврагам [4]. Кроме того, нами определен объем выносимого материала в пределах активно размываемой вершинной части оврагов. При этом наиболее активно растущая часть оврага (привершинная) соответствует участкам выполнения топографических съемок. В привершинных частях

оврагов очень редко фиксируется аккумуляция размываемых грунтов. Возможные конуса выноса и аккумуляция наносов обычно сосредоточены в нижних и средних частях оврага. Однако эти участки нами пока не исследовались.

Таким образом, съемка с помощью БПЛА позволяет контролировать и дополнять наземные геодезические методы исследования овражно-русловой эрозии и показывает общую картину развития того или иного наблюдаемого процесса.

Следует отметить, что в настоящее время интенсивно развиваются геоинформационные технологии, появляются в свободном доступе космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения. Это позволит выполнить следующий этап наших исследований, заключающийся в изучении динамики структуры землепользования в разных природно-климатических и антропогенных условиях и влияния ее на развитие овражных и русловых эрозионных процессов на территории Удмуртии.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00194, <https://rscf.ru/project/23-27-00194>

### **Библиографические ссылки**

1. *Григорьев И. И.* Использование программного комплекса «Credo» для определения объемов и площадей оврагов // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2009. Вып. 2. С. 141–145.

2. *Григорьев И. И., Рысин И. И.* Оценка линейного и площадного прироста оврагов с применением инструментальных методов (на территории Удмуртии). Геоморфология. 2021. Вып. 3. С. 64–78.

3. *Рысин И. И.* Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.

4. *Григорьев И. И., Рысин И. И.* Многолетняя динамика линейного, площадного и объемного прироста оврагов на территории Удмуртии. Геоморфология. 2022. Вып. 53 (4). С. 56–73.

# РАЗДЕЛ IV ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ И ХИМИКО-МЕЛИОРАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ СВОЙСТВ ПОЧВ

УДК 631.43

## ОБ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

О.А. Салимгареева<sup>1)</sup>, Н.О. Ковалева<sup>1)</sup>, В.А. Вытовтов<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, 119234 Москва, Россия, email: [salimgareevaoo@my.msu.ru](mailto:salimgareevaoo@my.msu.ru)

<sup>2)</sup> ФГБНУ «Курский ФАНЦ», ул. Карла Маркса, д. 70б, 305021, Курск, Россия

Исследована полная удельная поверхность (Спол) верхних горизонтов чернозема типичного в различных агроэкологических условиях. Установлено, что происходит уменьшение Спол пахотных горизонтов почвы при интенсивной распашке типичных черноземов вследствие потери органического вещества, ухудшения агрегатного, микроагрегатного состояния и структуры порового пространства, особенно значительное на бессменном пару. Пахотные типичные черноземы опыта по контурно-мелиоративному земледелию (КМЗ) имеют величины Спол ниже, чем на целине и залежи, но значительно выше по сравнению с бессменным паром. На водоразделе участка с ЛП превышение с Спол пахотного горизонта чернозема типичного является незначительным по сравнению с контролем.

**Ключевые слова:** черноземы типичные; удельная поверхность; контурно-мелиоративное земледелие; степень агрегированности по Бэйверу.

Удельная поверхность почв является важнейшей характеристикой, позволяющей судить как о дисперсности почвы, так и состоянии поверхности почвенных частиц. Её динамика позволяет отследить малейшие изменения, происходящие в почве в процессе антропогенного воздействия, комплексно оценить по свойствам поверхности изменение направления элементарных почвенных процессов. Поэтому использование удельной поверхности почв в качестве маркера может позволить прогнозировать процессы трансформации структуры почв, начиная с микроуровня, и бороться с деградацией почв.

Работы по трансформации удельной поверхности черноземов при длительной распашке неоднозначны. Установлено, что длительное внесение органических и минеральных удобрений, различное использование чернозема типичного привели к формированию некоторых различий в его адсорбционной способности на различных вариантах опыта с монокультурами [1, с. 1342]. Власенко с соавторами [2, с. 118] было показано, что тип использования почв в сельскохозяйственном производстве не оказал

существенного влияния на удельную поверхность в случае черноземов выщелоченных пахотных и залежных. Противоречивость сведений по вопросу изменения удельной поверхности черноземов при антропогенном воздействии делает актуальной работу в этом направлении.

Целью нашей работы явилось исследование изменений удельной поверхности чернозема типичного Курской области в различных агроэкологических условиях. Объектами исследования являются верхние горизонты черноземов типичных среднетяжелосуглинистых на лессовидных суглинках. Исследования были проведены:

на двух научных стационарах Стрелецкого участка территории Центрально-Черноземного государственного природного биосферного заповедника имени профессора В.В. Алехина (далее ЦЧГБЗ) разного режима заповедания: абсолютно заповедный участок некосимой степи (НС – N 51,5715360, E 36,0943290); бессменный пар (БП – N 51,5700920, E 36,0895320);

на участке залежи Курской биосферной станции (КБС) ИГ РАН (N 51,53983, E 36,08663), где почва была описана как чернозем типичный перерытый среднетяжелосуглинистый на лессовидных суглинках, подстилаемых лессовидными суглинками с брянской палеопочвой [3];

на двух вариантах опыта по контурно-мелиоративному земледелию (КМЗ) «Курского ФАНЦ» КМЗ в Медвенском районе Курской области близ х. Черниченские дворы: на плакоре контрольного водосбора (К) – разрез 1 (N 51,521180 E 036,042832); на плакоре водосбора, где через 216 м посажены узкие 2-хрядные стокорегулирующие лесные полосы (ЛП) с канавами между рядами деревьев глубиной 1,5 м – разрез 3 (N 51,510470 E 036,041615).

В лаборатории были определены такие свойства верхних гумусово-аккумулятивных горизонтов черноземов: гранулометрический и микроагрегатный состав методом пипетки по Качинскому [4], содержание общего гумуса по ГОСТ 26213-91, произведено микроморфологическое описание шлифов при помощи поляризационного микроскопа модели Soptop CX40P факультета почвоведения МГУ, приобретенного по «Программе развития Московского университета». По результатам микроагрегатного и гранулометрического анализа были вычислены коэффициент дисперсности по Качинскому (Кд) и степень агрегированности по Бэйверу (Аг) [4]. Полная удельная поверхность черноземов была определена по адсорбции паров воды над насыщенными растворами солей с использованием метода БЭТ (уравнения Брунауэра, Эммета и Теллера) [4]. Все статистические расчеты были произведены при помощи программы STATISTICA 7.

Микроморфологическое описание почвенных шлифов позволило выявить ухудшение почвенной структуры верхнего горизонта чернозема типичного при длительной распашке: уменьшается многопорядковость агрегатов по сравнению с целинными аналогами и количество изометричных



округлых отдельностей, микростроение из рыхлого и губчатого становится плотным за счет более компактной упаковки угловатых агрегатов (рис. 1). Уменьшается общая порозность, структура порового пространства становится проще. Целинные черноземы обладают высоким содержанием органического вещества: наблюдается изотропная гумусовая плазма темно-серой окраски, интенсивность которой в пахотных горизонтах ниже. Количество органических остатков разной степени разложенности и живых корней также значительно уменьшается при возделывании почвы.

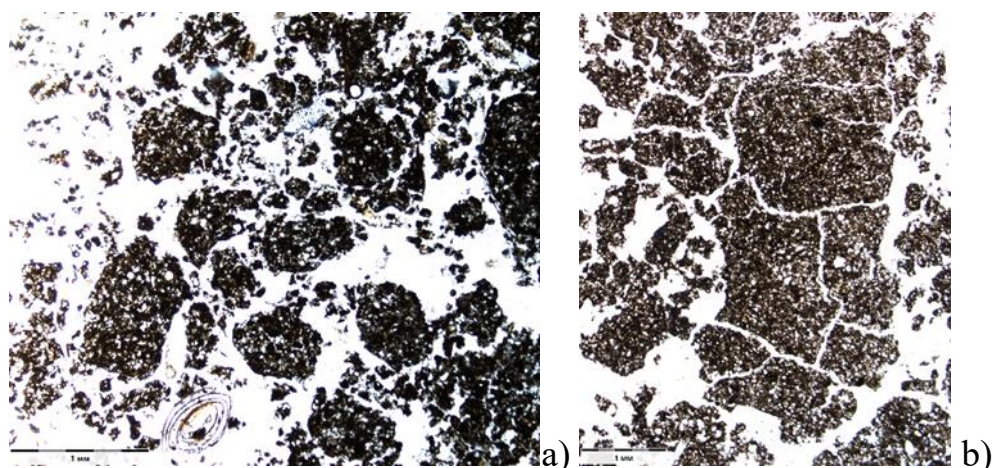


Рис. 1. Фото шлифов чернозема типичного в проходящем свете без анализатора: а) горизонт Ад некосимая степь; б) Апах контроль КМЗ. Масштабный отрезок 1 мм.

Отмечено уменьшение содержания гумуса в черноземах с ростом антропогенной нагрузки (таблица), которое согласуется с литературными данными [5, 6]. Некоторые физико-химические свойства верхних горизонтов исследованных типичных черноземов представлены в таблице.

#### Физико-химические свойства верхнего горизонта исследованных почв

Тип землепользования	Содержание гумуса, %	Кд, %	Аг, %	Сполн м <sup>2</sup> /г
Целина	7,8	13,9±2,3	94,0±0,4	111,8±9,7
Залежь	6,2*	-	-	105,8±0,4
Пашня с ЛП	4,74	17,6±3,1	88,3±0,6	99,1±0,3
Пашня контроль	4,7	19,1±0,9	83,9±2,6	98,6±0,5
Бессм. пар	4,53	40,7±2,9	46,2±3,9	86,2±1,4

Примечание. \* по данным Хитрова с соавт. [3]

По данным гранулометрического анализа все исследованные черноземы типичные относятся к тяжелосуглинистым иловато-крупно-пылеватым. Многолетняя вспашка не приводит к изменению гранулометрического состава.

Согласно Кд и Аг наилучшие показатели имеют целинные типичные черноземы (таблица). Наибольшая деградация микроагрегированности была



отмечена для чернозема типичного пахотного бессменного пара, имеющего «неудовлетворительную микроструктуренность» с Кд в среднем 40,7%.

Степень агрегированности по Бэйверу оказалась наиболее чувствительным показателем при определении стабильности почвенной микроструктуры на черноземах типичных пахотных. По сравнению с контролем через 40 лет после создания КМЗ чернозем типичный участка с ЛП приобрел статистически значимую более высокую микроагрегированность по Бэйверу, в среднем на четыре процента (таблица).

Согласно полученным данным, наибольшую полную удельную поверхность (Спол), равную в среднем 111,8 м<sup>2</sup>/г, имеют целинные черноземы, обладающие многопорядковостью агрегатов и высоким содержанием органического вещества (рис. 2). Большая вариабельность удельной поверхности верхнего горизонта черноземов некосимой степи, вероятно, обусловлена неравномерностью распределения корневых выделений и продуктов мезофауны при чрезвычайном изобилии пронизонности жизнью этих почв.

Черноземы типичные залежи имеют Спол=105,8±0,4 м<sup>2</sup>/г и приближаются по этим значениям к целинным. Несколько более низкими значениями обладают пахотные типичные черноземы опыта по КМЗ: 99,1±0,3 м<sup>2</sup>/г на водоразделе с ЛП и 98,6±0,5 м<sup>2</sup>/г на контроле соответственно. При этом превышение Спол на участке с ЛП на 0,5 м<sup>2</sup>/г не выходит за пределы статистически значимого отличия.

Таким образом, установлено, что происходит уменьшение удельной поверхности пахотных горизонтов почвы при интенсивной распашке типичных черноземов вследствие потери органического вещества, ухудшения агрегатного, микроагрегатного состояния и структуры порового пространства, особенно значительное на бессменном пару. Пахотные типичные черноземы опыта по КМЗ имеют более высокие значения по сравнению с бессменным паром. На водоразделе участка с ЛП превышение с Спол пахотного горизонта чернозема типичного является незначительным по сравнению с контролем.

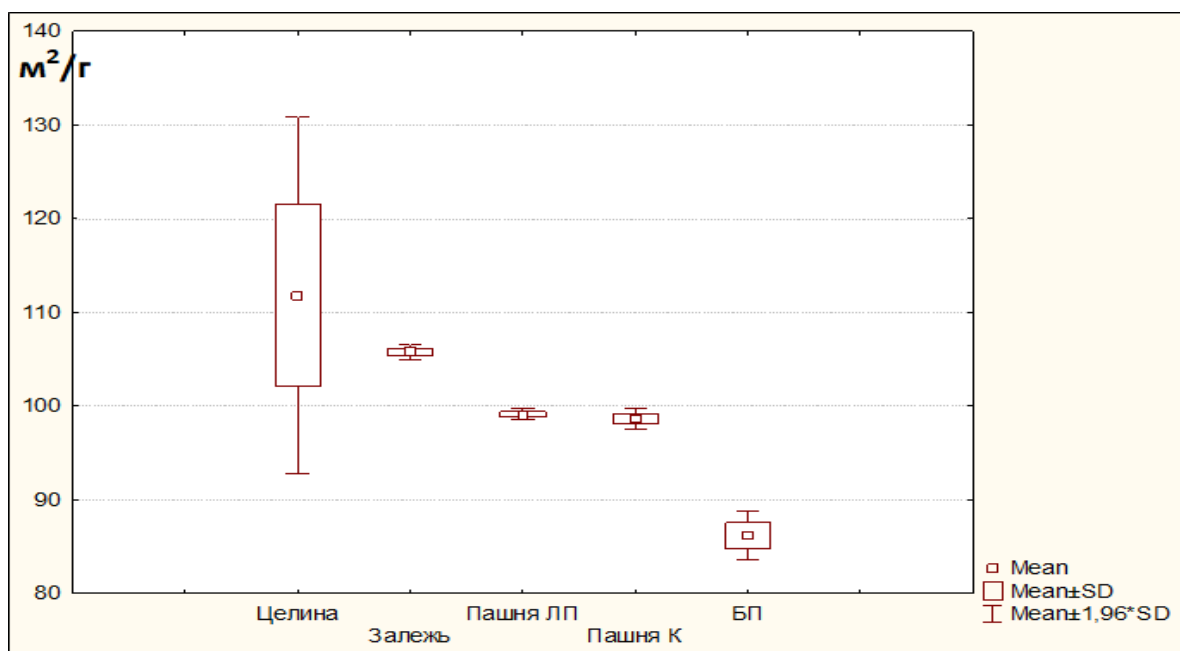


Рис. 2. Диаграмма размаха значений Спол верхнего горизонта чернозема типичного

Работа выполнена по теме государственного задания МГУ № 122011800459-3 в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве с ФБГНУ «Курский ФАНЦ». Благодарим сотрудников ЦЧГБЗ за помощь, оказанную во время полевых работ.

### Библиографические ссылки

1. Удельная поверхность и теплота смачивания различных типов почв Европейской территории России / В. Ф. Уткаева // Почвоведение. 2007. № 11. С. 1336–1346.
2. Деградационное изменение физического состояния почв Азово-Кубанской равнины / В. П. Власенко, А. В. Осипов, Е. Д. Федачук // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 69. С. 118–123.
3. Чернозем Курской биосферной станции ИГ РАН / Н. Б. Хитров, М. И. Герасимова, М. А. Бронникова, Э. П. Зазовская // Путеводитель научных экскурсий XII Международного симпозиума и полевого семинара по палеопочвоведению. М., 2013. С. 46–56.
4. Теории и методы физики почв / под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. Тула: Гриф и К, 2007. 616 с.
5. Изменение состояния черноземов типичных и выщелоченных в Курской области за 40 лет / И. В. Кузнецова // Почвоведение. 2013. № 4. С. 434–441.
6. Компонентный состав органического вещества воздушно-сухих и водоустойчивых макроагрегатов типичного чернозема в условиях контрастного землепользования / Б. М. Когут [и др.] // Почвоведение. 2019. № 2. С. 161–170.

## ДИНАМИКА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ БИОЛОГИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ РОССИИ

С.В. Лукин<sup>1)</sup>, Н.И. Корнейко<sup>2)</sup>, Н.С. Четверикова<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

<sup>2)</sup> Центр агрохимической службы «Белгородский», Белгород, Россия  
email: [serg.lukin2010@yandex.ru](mailto:serg.lukin2010@yandex.ru)

В работе обобщен материал мониторинга почв Белгородской области, проводимый агрохимической службой, на протяжении периода реализации региональной программы биологизации земледелия. Было установлено, что в 2019–2022 гг. по сравнению с 2005–2009 гг. площадь под бобовыми культурами выросла на 149,3, сидеральными – на 317 тыс. га. Площадь под чистыми парами уменьшилась на 100,2 тыс. га. Применение органических удобрений увеличилось в 8 раз до 9,6 т/га, минеральных – в 1,28 раза до 114,4 кг/га. В сумме за 2010–2022 гг. было произвестковано 859,7 тыс. га. кислых почв. В результате средневзвешенное содержание органического вещества в почвах увеличилось на 0,3 %. Средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора и калия достигло уровня 139 и 161 мг/кг соответственно, а доля кислых почв сократилась до 28,6 %. Урожайность озимой пшеницы, ячменя, кукурузы, подсолнечника и сои увеличилась в 1,54, 1,44, 1,82, 1,83 и 1,85 раза соответственно.

**Ключевые слова:** известкование; микроэлементы; сидеральные культуры; удобрения; урожайность.

В России одним из наиболее развитых аграрных регионов является Белгородская область. С 2011 года в ней реализуется программа биологизации земледелия, которая является неотъемлемой составной частью экологизации сельского хозяйства. В практическом плане реализация этой программы осуществляется посредством проектирования и последующего освоения проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия и охраны почв для всех землепользователей области [1–3]. Разработка проектов и последующая оценка эффективности их освоения во многом осуществляются на основе данных государственного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения, который осуществляется агрохимической службой России.

Почвенный покров в ее лесостепной части представлен в основном черноземами типичными и выщелоченными, а в степной – черноземами

обыкновенными. Доля эродированных пахотных почв составляет в среднем 47,9 % [4]. Среднемноголетнее значение гидротермического коэффициента по Селянинову (ГТК) находится в пределах от 0,9 на юго-востоке до 1,2 на западе области.

В работе использованы материалы сплошного агрохимического обследования пахотных почв, проводимого в восьмом (2005–2009 гг.), девятом (2010–2014 гг.), десятом (2015–2018 гг.) и одиннадцатом (2019–2022 гг.) циклах. В почвенных пробах содержание подвижных форм фосфора и калия определяется по методу Чирикова. Определение остальных показателей плодородия почв проводится по общепринятым в агрохимической службе методикам.

За годы реализации программы биологизации земледелия существенно изменилась структура посевных площадей. Аграрии, особенно в лесостепной зоне, стали отказываться от использования чистых паров. В 2005–2009 гг. общая посевная площадь составляла 1332,7, а площадь чистых паров – 147,3 тыс. га. В 2019–2022 гг. общая площадь посева увеличилась до 1432,1, а площадь чистых паров уменьшилась до 47,1 тыс. га.

Площадь посева бобовых культур увеличилась с 243,7 тыс. га (18,3 % от общей посевной площади) в 2005–2009 гг. до 393 тыс. га (27,4 %) в 2019–2022 гг. В основном это связано с увеличением посевов сои с 27,8 тыс. га (2,1 %) до 281,6 тыс. га (19,7 %). В то же время площадь посева зернобобовых культур, однолетних и многолетних трав сократилась (рис. 1). Посевы сидеральных культур до 2010 года не проводились. Поэтому в программе биологизации земледелия использованию сидератов отводилось очень важное место. В 2010–2014 гг. площадь их посева в среднем составила 124, в 2015–2018 гг. – 303, а в 2019–2022 гг. – 317 тыс. га.

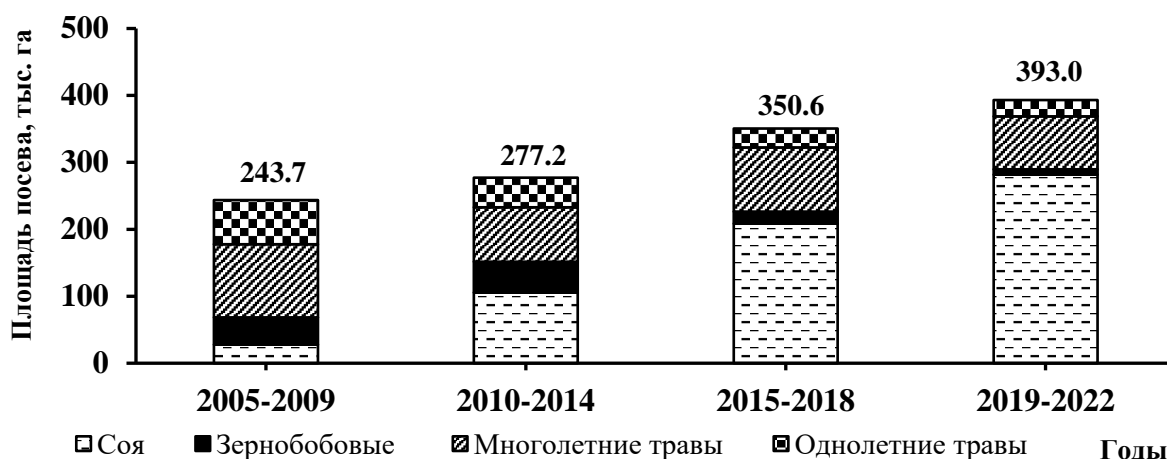


Рис. 1. Динамика площади посева бобовых культур, тыс. га

Важным направлением биологизации земледелия в лесостепной зоне области является известкование кислых почв. До 2010 года известкование практически не осуществлялось, за период 2005–2009 гг. площадь произвесткованных почв составила всего 8,5 тыс. га. В 2010 году была разработана и начала реализовываться областная программа софинансирования проведения данного вида работ, благодаря чему за период 2010–2022 гг. площадь произвесткованных кислых почв составила 859,7 тыс. га.

Средняя доза внесения органических удобрений за период с 2005–2009 гг. по 2019–2022 гг. увеличилась с 1,2 до 9,6 т/га, а минеральных – с 89,2 до 114,4 кг действующего вещества/га (табл. 1).

*Таблица 1*

**Динамика применения удобрений и известкования кислых почв [5]**

Показатель	Годы				
	2005 - 2009	2010- 2014	2015- 2018	2019- 2022	
Произвестковано кислых почв в сумме за указанный период, тыс. га	8,5	184,5	300	175,2	
Внесено органических удобрений, т/га	1,2	4,8	8,1	9,6	
Внесено минеральных удобрений, кг д.в./га	всего	89,2	97,9	112,3	114,4
	N	50,0	58,2	75,1	74,1
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	19,9	20,8	20,6	19,8
	K <sub>2</sub> O	19,3	18,9	16,6	20,5

Широкомасштабное внедрение приемов биологизации земледелия позитивно повлияло на основные параметры плодородия почв пашни. Средневзвешенное содержание органического вещества в пахотном слое почв в 2019–2022 гг. возросло на 0,3 % по сравнению с 2005–2009 гг., что соответствует увеличению его запасов на 9 т/га. Это стало возможным за счет нескольких факторов, основным из которых является внесение высоких доз органических удобрений. За период 2015–2022 гг. средняя доза их применения составила более 8 т/га, что вполне достаточно для формирования бездефицитного баланса органического вещества в почвах зерно-пропашных севооборотов. Помимо этого, существенно увеличилось поступление органического вещества в почвы за счет повышения площади посева сидеральных культур и возросших объемов использования побочной продукции сельскохозяйственных культур (за счет увеличения их урожайности). Одновременно с увеличением объемов поступления органического вещества сократились размеры его минерализации в почвах за счет существенного сокращения площади чистых паров.

Благодаря проведению широкомасштабных работ по известкованию доля кислых почв сократилась с 45,8 % в 2010–2014 гг. до 28,6 % в 2019–

2022 гг. При этом доля среднекислых почв снизилась с 12,6 до 3,0 %. Средневзвешенная величина гидролитической кислотности уменьшилась с 3,1 до 2,7 ммоль/100 г. Уровень внесения удобрений, особенно органических, в 2019–2022 гг. позволил достичь средневзвешенного содержания в почвах пашни подвижных форм  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – 139 и 161 мг/кг соответственно (табл. 2).

Таблица 2

**Динамика основных показателей плодородия пахотных почв**

Показатель		Годы			
		2005-2009	2010-2014	2015-2018	2019-2022
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г		3,0	3,1	2,8	2,7
Доля кислых почв, % от площади	всего	42,0	45,8	35,5	28,6
	слабокислых	30,0	33,0	29,7	25,6
	среднекислых	11,7	12,6	5,8	3,0
	сильнокислых	0,3	0,2	0,0	0,0
Содержание подвижных форм, мг/кг	$P_2O_5$	116	138	146	139
	$K_2O$	127	147	172	161
Содержание органического вещества, %		5,0	5,0	5,2	5,3

Важными факторами плодородия почв, которые постоянно учитываются при проведении агроэкологического мониторинга почв, являются содержание подвижных форм серы и микроэлементов. В настоящее время основным источником поступления этих элементов в агроценозы являются органические удобрения. За период мониторинга с 2005–2009 гг. по 2019–2022 гг. доля почв, низко обеспеченных подвижными формами серы (< 6 мг/кг), сократилась на 11,5 %, цинка (< 2 мг/кг) – на 2,6 %, марганца (< 10 мг/кг) – на 14,3 %, а кобальта (< 0.15 мг/кг) увеличилась на 1,8 %.

Важнейшим комплексным показателем плодородия почв является урожайность сельскохозяйственных культур. При достигнутом за период биологизации земледелия уровне внесения удобрений и объемам известкования кислых почв, а также за счет внедрения современных агротехнологий урожайность основных культур существенно возросла. В 2019–2022 гг. по сравнению с 2005–2009 гг. урожайность озимой пшеницы увеличилась в 1,54, ячменя – в 1,44, кукурузы на зерно – в 1,82, подсолнечника – в 1,83, сои – в 1,85 раза (рис. 2).

Таким образом, в 2019–2022 гг. по сравнению с 2005–2009 гг. площадь под бобовыми культурами выросла на 149,3, сидеральными – на 317 тыс. га. При этом площадь под чистыми парами уменьшилась на 100,2 тыс. га. Применение органических удобрений увеличилось в 8 раз

до 9,6 т/га, минеральных– в 1,28 раза до 114,4 кг/га. В сумме за 2010–2022 гг. было произвестковано 859,7 тыс. га кислых почв.

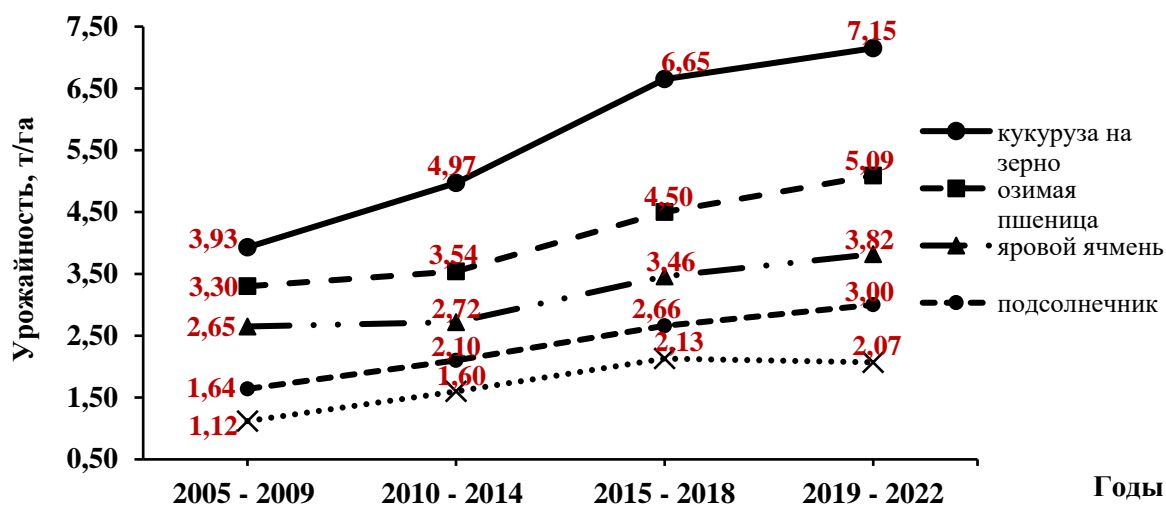


Рис. 2. Динамика урожайности сельскохозяйственных культур, т/га

В результате средневзвешенное содержание органического вещества в почве увеличилось на 0,3 %. Средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора и калия достигло уровня 139 и 161 мг/кг соответственно, а доля кислых почв сократилась до 28,6 %. Наметился тренд к снижению доли почв, низко обеспеченных подвижными формами серы, марганца и цинка. Урожайность озимой пшеницы, ячменя, кукурузы, подсолнечника и сои увеличилась в 1,54, 1,44, 1,82, 1,83 и 1,85 раза соответственно.

### Библиографические ссылки

1. Савченко Е. С. Выступление Губернатора Белгородской области, члена-корреспондента РАН Е. С. Савченко // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 5. С. 525–526.
2. Савченко Е. С., Кирюшин В. И., Лукин С. В. Опыт биологизации агротехнологий при освоении адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Белгородской области // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6 (390). С. 658–661.
3. Кирюшин В. И. Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов. Спб.: ООО «Квадро». 2018. 568 с.
4. Соловиченко В. Д. Плодородие и рациональное использование почв Белгородской области. Белгород: Отчий дом. 2005. 292 с.
5. URL: <http://www.fedstat.ru/indicators/stat.do> Дата доступа: 24.04.2023.

## ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТА И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ ПОД ЯРОВЫМ ЯЧМЕНЕМ

Т.А. Дудкина

*Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия, email: dt5dt@mail.ru*

Исследования были проведены в стационарном полевом опыте ФГБНУ Курского федерального аграрного научного центра в 2021–2022 годах в посевах ярового ячменя. Почва опытного участка – чернозём типичный тяжелосуглинистый среднемощный с содержанием гумуса в слое 0–40 см – 5,2 %. Целью работы являлось изучение действия двух севооборотов и доз минеральных удобрений на показатель биологической активности почвы – целлюлозоразрушающую способность. В почве под ячменём в среднем за два года исследований по большинству фонов удобренности целлюлозоразрушающая способность почвы в слое 0–20 см была выше в зернопаропропашном севообороте с сидеральным паром, чем в зернопаропропашном севообороте с чёрным паром, что вызвано поступлением в почву значительного количества свежего растительного материала. Внесение минеральных удобрений оказывало положительное действие на рассматриваемый показатель. Под действием удобрений этот показатель возрос в среднем в 1,3 раза.

**Ключевые слова:** целлюлозоразрушающая способность почвы; севооборот; сидеральный пар; минеральные удобрения; яровой ячмень.

Важнейшим свойством почвы является её плодородие, под которым понимают способ почвы обеспечивать потребность растений в почвенных факторах жизни. Различают плодородие потенциальное (естественное) и эффективное (приобретенное под влиянием обработки, удобрений, севооборота, мелиорации и других факторов) [1].

Плодородие характеризуется рядом показателей. Один из важнейших – биологическая активность почвы. Для диагностики интенсивности биологических процессов в почве часто используют показатель скорости разложения целлюлозы. На данный показатель оказывает влияние множество факторов, как природных, так и антропогенных.

В связи с большим количеством синтезируемой в природе целлюлозы микроорганизмы, её разлагающие, играют очень важную роль в процессе минерализации и круговороте углерода [2].

Значение определения этого показателя заключается не только в характеристике плодородия почвы, но и в том, что он может быть одним из критериев экологического состояния почвы и агроэкосистемы в целом.



Ранее в Курской области уже проводились исследования по влиянию факторов биологизации земледелия и минеральных удобрений на биологическую активность почвы в севооборотах с зерновыми культурами. Выявлено их положительное действие на свойства почвы, фитосанитарное состояние посевов и урожайность сельскохозяйственных культур [3, 4, 5, 6, 7].

**Материалы и методы исследований.** В опытном хозяйстве ФГБНУ Курского федерального аграрного научного центра, расположенного в селе Панино Медвенского района Курской области, проводили исследования в 2021–2022 годах в стационарном полевом опыте по изучению влияния севооборота и минеральных удобрений на биологическую активность, в частности на целлюлозоразрушающую способность почвы, в посевах ячменя. Опытный участок расположен на водораздельном плато с уклоном 3°. Опыт развёрнут во времени и пространстве в трёхкратной повторности с систематическим расположением делянок. Площадь посевной делянки составляет 202,5 м<sup>2</sup>. Почва опытного участка – чернозём типичный тяжелосуглинистый среднемощный с содержанием гумуса в слое 0–40 см – 5,2 %.

Таблица 1

**Схема расположения сельскохозяйственных культур  
в пятипольных севооборотах**

Севооборот	
Зернопаропропашной с чёрным паром	Зернопаропропашной с сидеральным паром
1. чёрный пар	1. сидеральный пар (горох)
2. озимая пшеница	2. озимая пшеница
3. сахарная свёкла	3. сахарная свёкла
4. кукуруза на силос	4. кукуруза на силос
5. ячмень	5. ячмень

В опыте предусмотрено 4 уровня удобрённости: без удобрений (контроль), NPK-30, NPK-40, NPK-52 кг д.в. на 1 га пашни. Технология возделывания ячменя общепринятая для Центрально-Чернозёмной зоны. В годы исследований, рассматриваемых в статье, на опыте выращивался сорт ячменя Суздалец, рекомендованный для возделывания в ЦЧО, Северо-Западном, Центральном регионах.

Для определения целлюлозоразрушающей способности почвы в посевах ячменя использовали метод закладки в почву льняных полотен [8]. Для размещения тканевых образцов на глубину 0–10 и 10–20 см почвенного горизонта использовали оригинальный инструмент (Инструмент для

создания щели при закладке в почву образцов ткани и фотобумаги для изучения биологической активности почвы. Патент на полезную модель. RU 191810. 22.08.2019), разработанный и запатентованный нами, который позволяет создать щель с ровной поверхностью отвесной почвенной стенки с последующим плотным прижатием к ней ткани.

Биологические показатели почвы, как правило, не константны, а легко изменяются под действием метеорологических факторов и приемов агротехники. Тем не менее в нашем опыте проявилось действие исследуемых факторов на целлюлозоразрушающую способность почвы.

В почве под ячменём в среднем за два года исследований по большинству фонов удобрённости скорость распада клетчатки в почве в слое 0-20 см была выше в севообороте с сидеральным паром (табл. 2). Это связано с поступлением в почву большого количества свежего органического вещества при заделке в неё сидеральной культуры. Как видим, действие зелёного удобрения прослеживалось даже в последней культуре севооборота, через четыре года после проведения сидерации. Только при наибольшей в опыте норме внесения минеральных удобрений NPK-52 кг. д.в. на 1 га пашни этот показатель был больше в севообороте с чёрным паром.

Таблица 2

**Целлюлозоразрушающая способность почвы под ячменем в 2021–2022 годах, % разложения образца ткани к исходному весу**

Севооборот	Минеральные удобрения, кг д.в. на 1 га пашни	Слой почвы, см		
		0-10	10-20	0-20
Зернопаропропашной с чёрным паром	Контроль	16,4	25,7	21,1
	NPK-30	22,6	35,0	28,8
	NPK-40	22,6	31,3	27,0
	NPK-52	25,0	37,6	31,3
Зернопаропропашной с сидеральным паром	Контроль	17,5	33,1	25,3
	NPK-30	28,3	37,9	33,1
	NPK-40	27,1	34,9	31,0
	NPK-52	24,7	31,2	28,0

Активность микроорганизмов почвы, разлагающих целлюлозу, в слое почвы 10–20 см была в 1,5–2,0 раза больше, чем в слое 0–10 см, что связано с лучшими условиями увлажнения в нижележащем горизонте. Закономерности, отмеченные для слоя почвы 0–20 см, были характерны также для слоёв 0–10 и 10–20 см.

Внесение минеральных удобрений оказало положительное действие на целлюлозолитическую активность почвы. Под действием удобрений этот показатель возрос в среднем в 1,3 раза. В севообороте с чёрным паром

самый высокий уровень целлюлозолитической активности был отмечен на самом высоком фоне удобрений – NPK-52, в севообороте с сидеральным паром – при внесении NPK-30 кг. д.в. на 1 га пашни, а при повышении нормы внесения скорость распада клетчатки в почве снижалась.

Таким образом, сидеральный пар и внесение минеральных удобрений в наших исследованиях явились факторами, положительно влиявшими на показатель биологической активности почвы – целлюлозоразрушающую способность почвы. Активность микроорганизмов, разрушающих целлюлозу, в слое почвы 10–20 см была больше, чем в вышележащем горизонте.

### Библиографические ссылки

1. Сигов В. И., Шурыгина Т. Д. Словарь по земледелию. М.: Россельхозиздат, 1987.
2. Мишустин Е. Н., Емцев В. Т. Микробиология. М.: Агропромиздат, 1987. 368 с.
3. Тимонов В. Ю., Долгополова Н. В. Влияние уровня биологизации на микробиологическую активность почвы // Аграрная наука – сельскому хозяйству. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Курск, 2009. С. 227–229.
4. Долгополова Н. В., Павлов А. А. Биологическая активность и плотность почвы при возделывании яровой твердой пшеницы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 4. С. 31–33.
5. Дудкин И. В. Научное обоснование приёмов и систем регулирования засорённости посевов сельскохозяйственных культур в ландшафтном земледелии лесостепи Центрального Черноземья : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии. Курск, 2009. 38 с.
6. Дудкин В. М., Акименко А. С., Дудкин И. В., Брежнев К. Е. Эффективность факторов биологизации земледелия в лесостепи Центрального Черноземья // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 1998. № 1. С. 25–27.
7. Долгополова Н. В. Агробиологическое обоснование разработки технологий возделывания яровой твердой пшеницы в адаптивно-ландшафтном земледелии лесостепи Центрального Черноземья : автореферат дис... доктора сельскохозяйственных наук / Брян. гос. с.-х. акад. Брянск, 2014.
8. Мишустин В. Н., Востров И. П., Петрова А. Н. Методика определения целлюлозолитической активности почвы. М.: Наука, 1987.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА ПОЧВ И ПОЧВЕННО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

**В.С. Хомич**

*Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь, email:  
[valery\\_khomich@mail.ru](mailto:valery_khomich@mail.ru)*

Анализируются методические аспекты мониторинга почв и почвенно-геохимических изысканий в части подходов и методов оценки загрязнения почв, включая проведение полевых работ, с целью выявления различий и несогласованности в технических нормативно-правовых актах (ТНПА), регламентирующих указанные работы и разработки предложений по их совершенствованию. Анализ проводится на основе действующих в Беларуси ТНПА и литературных источников с учетом опыта проведения научных исследований, локального мониторинга почв и инженерно-геоэкологических изысканий. Показана необходимость и возможные пути совершенствования ТНПА в части сети отбора проб, размеров пробных площадок, глубины отбора, нормативов качества почвы.

**Ключевые слова:** почвы; мониторинг; изыскания; оценка загрязнения; методика.

Одним из инструментов сохранения почвенного плодородия и экологической чистоты почвенного покрова является проведение оценки химического загрязнения почв и реализация мероприятий, разработанных по ее результатам. Поэтому адекватность указанной оценки реальному состоянию почвы является одним из важнейших условий экологобезопасного обращения с почвами. Оценка загрязнения почв проводится при эколого-геохимических исследованиях, мониторинге почв населенных пунктов, локальном мониторинге почв, контроле загрязнения почв, гигиенической оценке качества почвы населенных мест, агрохимическом обследовании почв, инженерно-геоэкологических изысканиях [1-5].

Перечисленные виды исследований регламентируются специальными ТНПА. Несмотря на общую цель исследований почв – экологической чистоты и безопасности почвенного покрова, практика использования ТНПА показала наличие существенных различий, иногда противоречий, приводящих к неоднозначности результатов оценки химического загрязнения почв. Чаще других возникают вопросы в отношении выбора фона, плотности сети отбора проб, размеров пробных площадок, глубины отбора, перечней определяемых химических веществ, нормативов качества.

Как показано в [6], существует несколько подходов к выбору фоновой территории в зависимости от целей оценивания состояния/загрязнения

почв. В научных исследованиях, при мониторинге почв городов, геоэкологических изысканиях и др. наиболее целесообразно использовать результаты мониторинга загрязнения земель на фоновых территориях, осуществляемого в рамках НСМОС. Мониторинг проводится на близких к естественным, слабонарушенным территориям, удаленных от техногенных источников. Фоновые значения содержания химических веществ за отчетный год и предыдущий период в среднем для территории Беларуси публикуются на сайте Информационно-аналитического центра НСМОС (nsmos.by). Представляется целесообразным публиковать также средние фоновые значения в разрезе административных областей за предшествующий 5-летний период, которые более репрезентативны для использования в практической деятельности и для исследований.

В отличие от приведенного выше естественного фона существует понятие природно-антропогенного фона, за который принимается среднее содержание химического вещества в почве нарушенных природно-антропогенных геосистем, как например, городов, сельскохозяйственных земель и др. Однако при расчете природно-антропогенного фона необходимо исключение определенной доли экстремальных значений (как минимальных, так и максимальных) во избежание искажения результатов.

Разновидностью использования природно-антропогенного фона является подход к выбору фоновой территории, принятый в ТКП 17.03.01–2013 [7], устанавливающим требования к технологии работ по определению фонового содержания химических и иных веществ в почвах при проведении контроля химического загрязнения земель, в том числе для определения размера возмещения вреда, причиненного их деградацией. В этом случае в качестве фоновых выбираются близлежащие участки с аналогичным видом использования и сходными характеристиками земель и почв.

Имеющиеся различия в ТНПА относительно требований к плотности сети отбора проб почв и размерам пробных площадок обусловили их различие специалистами, что приводит во многих случаях к искажению результатов исследований, создает коллизии при выборе подрядчиков на выполнение работ.

Согласно ТКП 45-1.02-253-2012 (02250) [4], на стадии градостроительного проектирования для оценки состояния почвенного покрова предусматривается заложение в каждой функциональной зоне не менее 3-х пробных площадок размером от 5х5 до 25х25 м.

На прединвестиционной и проектной стадии строительства количество и местоположение пробных площадок определяется согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 и зависит от площади участка, сложности ландшафтных условий, наличия источников загрязнения земель и др. При проведении допол-

нительных исследований, обусловленных наличием визуально диагностируемого или обнаруженного после аналитических испытаний загрязнения земель, количество пробных площадок определяется составом загрязнения, площадью загрязненного участка и сложностью ландшафтных условий.

В свою очередь, ГОСТом 17.4.4.02-84 количество и местоположение пробных площадок не регламентируется (дается лишь ссылка на ГОСТ 17.4.3.01-83, за исключением случаев контроля загрязнения сельскохозяйственных земель – «на каждые 0,5-20 га территории закладывают не менее 1 пробной площадки размером не менее 10x10 м»).

Согласно ГОСТу 17.4.3.01-83, при общих и локальных загрязнениях в зависимости от цели исследования размер пробной площадки должен составлять от 1 до 5 га при однородном и от 0,5 до 1 га при неоднородном почвенном покрове. Предусматривается также сгущение сети пробных площадок на почвах, загрязненных неравномерно.

Как показывает опыт изысканий, при больших площадях пробных площадок локальные ореолы загрязнения почв во многих случаях не фиксируются, поскольку могут попадать на пространства между точками отбора единичных проб, либо за счет «разбавления» загрязненных единичных проб другими относительно чистыми единичными пробами. Известны случаи, когда при отборе на заложенных пробных площадках больших размеров (300x250 м), не были подтверждены высокие уровни загрязнения почв.

Представляется, что при корректировке ТНПА по геоэкологическим изысканиям и оценке загрязнения почв необходимо регламентировать площади опробуемых участков или плотности заложения пробных площадок, а также размеры (площади) пробных площадок. При этом последние должны быть ограничены размером 25x25 м.

В большинстве ТНПА Республики Беларусь, регламентирующих отбор проб почв и грунтов, указывается на интервалы глубин 0-19,9 см; 20,0-50,0 см; 50,1-100,0 см; 100,1-150,0 см; 150,1 см и более с интервалами 50 см. Отбор проб с глубины 0-19,9 (0-20 см) оправдан прежде всего для контроля почв пахотных сельскохозяйственных земель. С точки зрения экологической безопасности более приемлем отбор почв с глубины 0-5 см или 0-10 см, поскольку основная масса загрязняющих веществ поступает на поверхность почвы и аккумулируется в приповерхностном ее слое. Реэмиграция почвенной пыли является основным каналом поступления многих загрязняющих веществ в организм человека. Оценивая загрязнение почвы по пробам, отобраным с глубины 0-20 см, мы занижаем опасность загрязнения почв.

Согласно ТКП 17.03-01-2020 (33140) [2], определение площади загрязненных территорий, глубины загрязнения и степени деградации земель/почв проводится по результатам проведения измерений и сопоставления полученных значений с дифференцированными нормативами, при их отсутствии – с нормативами предельно допустимых концентраций химических веществ в почвах (далее – ПДК), а при отсутствии этих нормативов – с показателями фоновых концентраций.

В Беларуси, как и в большинстве постсоветских стран, нормирование почв базируется на санитарно гигиеническом подходе и концепции предельно-допустимых концентраций. Учитывая недостатки концепции, прежде всего в невозможности обеспечить пороговые значения (ПДК) на территориях с интенсивной техногенной нагрузкой, в середине 2000-х была разработана методика и гигиенические нормативы содержания ряда химических веществ в почвах с учетом категории и функционального использования территорий. Данное новшество приближало нормирование почв в Беларуси к практикуемому в Европейских странах. В середине 2010-х по инициативе Минприроды в Беларуси началась разработка экологических нормативов для почв, реализованная в виде дифференцированных нормативов (ДН) [8]. В июле 2023 г. ДН для почв получили законодательную основу – в новой редакции Закона об охране окружающей среды перечень нормативов качества окружающей среды дополнен ДН.

В настоящее время оценка загрязнения почв с использованием ДН проводится главным образом при локальном мониторинге и контроле загрязнения почв. При мониторинге почв населенных пунктов и инженерно-геоэкологических изысканиях оценка загрязнения почв проводится с использованием гигиенических нормативов, применение для этих целей ДН проблематично. Это связано прежде всего:

- с высокой степенью субъективности и неопределенности при расчетах приемлемых уровней концентрации и пороговых значений химических веществ в почвах и введении поправочных коэффициентов для различных категорий земель и видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов;

- со значительными различиями нижних пороговых значений концентрации определенного химического вещества при оценках загрязнения почв с использованием гигиенических и дифференцированных нормативов; при этом нижние пороговые значения концентраций химических веществ в ДН, позволяющие относить оцениваемую почву к категории «загрязненной» в большинстве случаев выше, чем в гигиенических (различия в ряде случаев составляют 2 и более

раз). При этом внимания заслуживает диапазон концентраций между указанными пороговыми значениями, поскольку выходит за пределы «содержания химических элементов в среде, которое, согласно гигиеническим нормативам, в течение длительного времени не вызывает прямого или косвенного негативного влияния на здоровье человека, т. е. существует опасность влияния на здоровье человека концентраций химических веществ в почвах, диагностируемых согласно ДН, как «незагрязненные».

По-видимому, совершенствование ДН должно развиваться в направлении от диагностики и нормирования уровней загрязнения почв к допустимым уровням концентраций химических веществ в почвах различных категорий и видов использования земель.

### **Библиографические ссылки**

1. Городская среда: геоэкологические аспекты: монография / В. С. Хомич [и др.]. Минск: Бел. навука, 2013.
2. ТКП 17.03-02-2020 (33140) «Правила выполнения работ по определению загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами».
3. Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности почвы». Утверждено Постановлением Совета министров Республики Беларусь от 25 января 2021 г. № 37.
4. ТКП 45-1.02-253-2012 (02250) «Инженерно-геоэкологические изыскания для строительства. Правила проведения».
5. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии». Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020.
6. Научно-методические подходы к определению фоновых параметров содержания химических веществ в почвах Беларуси / С. В. Савченко [и др.] // Земля Беларуси. 2019. № 2. С. 40–48.
7. ТКП 17.03.01–2013 «Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок определения фонового содержания химических веществ в землях (включая почвы)».
8. 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».



## СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ НА УДОБРЕНИЕ

Г.М. Брескина

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Курский федеральный аграрный научный центр», Курск, Россия,  
email: [breskina-galina@yandex.ru](mailto:breskina-galina@yandex.ru)

Применение пожнивных растительных остатков в качестве органических удобрений позволяет обеспечить почву негумифицированным веществом, которое положительно влияет не только на почвенные показатели, но и на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Для ускорения минерализации нетоварной части растениеводческой продукции необходимо вносить компенсирующие дозы азотных удобрений. В естественных условиях минерализация растительных остатков происходит за счет микроорганизмов, что позволяет поддерживать почву в здоровом состоянии. На рынке имеется широкий ассортимент биопрепаратов – деструкторов, однако применение некоторых происходит без производственной проверки. При этом может отсутствовать положительный результат. В статье представлены экспериментальные данные по влиянию пожнивных растительных остатков на здоровье почвы, используемых как отдельно, так и с биопрепаратами, азотными удобрениями или известью. Экспериментально доказано, что применения культуры почвенного гриба *Trichoderma longibrachiatum* (штамм GF 2/6) и бактерий рода *Lactobacillus* повышает индекс токсичности почвы выше значения 1,10 и приводит к стимулирующему эффекту. Почвенные биопрепараты позволяют поддерживать здоровье почвы в норме при применении растительных остатков как органических удобрений.

**Ключевые слова:** растительные остатки, биопрепараты, известь, минеральные удобрения, здоровье почв.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к применению микробиологических препаратов в земледелии. На рынке можно встретить как биопрепараты отечественного производства, так и импортные. Однако, в реестре разрешённых химикатов к применению, многие из препаратов отсутствуют. Можно предположить, что есть препараты, не прошедшие научно-производственную проверку, которые могут не только не обладать положительным эффектом, но и нанести вред почвенной экосистеме. Необходимо более детально и научно-обоснованно подходить к применению биопрепаратов в сельском хозяйстве, так как необдуманное использование микробиологических препаратов может привести к нарушению здоровья почв.

Впервые термин «здоровье почвы» использовали члены Американского общества почвоведов [1, с. 12]. Однако гораздо раньше наш учитель В.А. Ковда в 1989 г. опубликовал фундаментальную работу «Патология почв и охрана биосферы планеты» [2, с. 25]. Поддержание здоровья почвы обеспечивает естественная микрофлора. Можно предположить, что применение полезной микрофлоры на фоне использования нетоварной части растениеводческой продукции обеспечит нормальное функционирование агроэкосистемы.

Для изучения экологического состояния черноземных почв при использовании пожнивных остатков, как органических удобрений был заложен научно-производственный опыт на территории опытного хозяйства «Курского ФАНЦ» (Курская область, Медвенский район, поселок Панино). В опыте применяли микробиологические препараты: Трихоплант, СК содержит почвенный гриб и споры *Trichoderma longibrachiatum* (штамм GF 2/6) и продукты его жизнедеятельности, предназначен для обработки семян, почвы перед посевом, растений в период вегетации и растительных остатков после уборки предшествующей культуры. Не токсичен для человека и животных. Снижает фитотоксичность и повышает агрохимические характеристики любого типа почв. Стимулирует рост и повышает иммунитет растений. Биопрепарат не совместим с химическими фунгицидами, ртутьсодержащими и медьсодержащими препаратами.

Биогор «КМ» – (Ж) «Биогор» серии «КМ» создан на основе консорциума бактерий рода *Lactobacillus plantarum* 34, *Lactobacillus fermentum* 27, *Lactobacillus lactis. subsp. lactis* AMS, *Saccharomyces cerevisiae (carlsbergensis)*, *Azotobacter chroococcum* А-41, *Bacillus megaterium* Ф-3, генетически не модифицированных микроорганизмов, обладающих пробиотической целлюлозоразлагающей, азотофиксирующей и фосфатомобилизирующей способностями.

Исследования проводились на двух опытных полях, схема опыта включала 7 вариантов опыта:

- контроль;
- измельченная побочная продукция культуры;
- измельченная побочная продукция культуры +  $N_{10}$  на 1 т;
- обработка семян биопрепаратами (Трихоплант 2 л/т + Биогор-Ж 1 л/т) + обработка биопрепаратами почвы перед посевом (Трихоплант 5 л/га + Биогор-Ж 2 л/га) + обработка биопрепаратами посевов 2 раза в течение вегетации (в фазе кущения и фазе трубкования Трихоплант 2 л/га + Биогор-Ж 1 л/га) + после уборки урожая обработка измельченной побочной продукции культуры биопрепаратами (Трихоплант 5 л/га + Биогор-Ж 2 л/га) (агробиотехнология-1);

- обработка семян биопрепаратами (Трихоплант 2 л/т + Биогор-Ж 1 л/т) + обработка биопрепаратами почвы перед посевом (Трихоплант 5 л/га + Биогор-Ж 2 л/га) + обработка биопрепаратами посевов 2 раза в течение вегетации (в фазе кущения и фазе трубкования Трихоплант 2 л/га + Биогор-Ж 1 л/га) + после уборки урожая обработка измельченной побочной продукции культуры биопрепаратами (Трихоплант 5 л/га + Биогор-Ж 2 л/га) + N<sub>10</sub> на 1 т растительных остатков (агробиотехнология-2);
- измельченная побочная продукция культуры + известь 1,5 т/га;
- измельченная побочная продукция культуры + известь 1,5 т/га + агротехнология-1

На поле 1 возделывалась кукуруза на зерно, вносилась измельченная побочная продукция озимой пшеницы. На поле 2 возделывался овес, вносилась измельченная побочная продукция гречихи.

На экспериментальных участках из слоя 0...20 см отбирали почвенные образцы четыре раза за вегетационный период (1 срок – перед посевом сельскохозяйственных культур; 2 срок – через месяц после посева культур (проведена предпосевная обработка почвы и 1-я обработка посевов биопрепаратами); 3 срок - перед уборкой сельскохозяйственных культур, 4 срок – через 36 после компостирования растительных остатков кукурузы и 44 дня после компостирования растительных остатков овса) в пятикратной повторности для определения фитотоксичности по международному стандарту [3, с. 19], абсолютным контролем являлись результаты, полученные при использовании дистиллированной воды. В качестве тест-культуры использовали семена редиса посевного (*Raphanus sativus L.*). Энергию прорастания семян определяли по ГОСТ 12038-84. На основе полученных данных был рассчитан индекс токсичности оцениваемого фактора (ИТФ) и сопоставлен со шкалой токсичности, предложенной Р.Р. Кабиловым с соавторами [5, с. 410].

До сева овса низкая токсичность наблюдалась только на контрольном варианте. Индекс токсичности оцениваемого фактора составлял 0,90 и характеризовался как низкая токсичность IV класса. Через месяц после сева овса выявлено увеличение токсического эффекта на росте и развитии тестовой культуры, при этом класс токсичности остался прежним, а индекс токсичности понизился до 0,87. В период уборки овса индекс токсичности оцениваемого фактора составлял 0,70 и характеризовался как низкая токсичность III – класса, но после 44 суток после использования соломы овса на удобрение индекс токсичности возрос до значения 0,90 и оценивался как низкая токсичность IV класса. В период активного роста и развития овса на варианте с применением как одних растительных остатков, так и с

азотными удобрениями ( $N_{10}$  кг д.в. на 1 тонну соломы) наблюдалось появление токсичного эффекта. Но на варианте с применением побочной продукции без инокулянтов токсичный эффект динамично усиливался, а после внесения растительных остатков овса ИТФ составил 0,66, это самое низкое значение по сравнению со всеми вариантами опыта и сроками проведения исследования. Следовательно, постоянное применения растительных остатков, как органических удобрений без инокулянтов может привести к ухудшению здоровья почв. Полученные нами результаты согласуются с результатами, полученными P. Li, D.D. Zwang, X.J. Wang, Z.J. Cui [6, с. 126]. На варианте совместного использования растительных остатков с азотными удобрениями и биопрепаратов к периоду уборки овса наблюдался эффект стимуляции при ИТФ=1,14. На всех остальных вариантах опыты в посевах овса независимо от срока проведения исследования индекс токсичности оцениваемого фактора соответствовал норме.

Индекс токсичности оцениваемого фактора в посевах кукурузы на контрольном варианте и варианте с растительными остатками независимо от срока проведения исследований характеризовался как низко токсичный IV класса, при этом ИТФ изменялся от 0,72 до 0,90. На контрольном варианте после уборки (через 36 дней) индекс токсичности оцениваемого фактора пришел в норму, а на варианте с растительными остатками планомерно уменьшился до 0,78. До сева кукурузы на варианте совместного использования растительных остатков с азотными удобрениями наблюдалась низкая токсичность оцениваемого фактора, которая больше в течение роста и развития кукурузы больше не проявлялась, а после 36 компостирования возросла до значения 1,02, то есть проявился эффект оздоровления.

Эффект стимуляции изучаемого фактора (ИТФ>1,10) был выявлен к периоду уборки кукурузы только на вариантах применения биопрепаратов как с азотными удобрениями, так и отдельно. На всех остальных вариантах опыта в посевах кукурузы независимо от срока проведения исследования индекс токсичности оцениваемого фактора соответствовал норме. Использование биопрепаратов, как в течение вегетации культур, так и после уборки с применением пожнивных остатков на удобрения позволяет поддерживать индекс токсичности в норме, а значит и здоровье почвы.

### **Библиографические ссылки**

1. *Doran J. W., Sarrantonio M., Liebig M. A.* Soil health and sustainability // *Adv. Agronomy*. 1996. Vol. 56. P. 1–54.
2. Пространственно-временная организация и функционирование почв / сб. научн. тр. Пушчино: АН СССР, НЦБИ, 1990. С. 8–43.

3. ISO 11269-2:2012 [ISO 11269-2:2012. Soil quality – determination of the effects of pollutants on soil flora. Part 2: Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants. 2012. 19 p.

4. ГОСТ 12038-84.

5. Кабиров Р. Р., Сагитова А. Р., Суханова Н. В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 408– 411.

6. Li P., Zwang D. D., Wang X. J., Cui Z. J. Surviva land performance of two cellulose-degrading microbial systems inoculated into wheat straw-amended soil // Microbiol. Biotechnol. 2012. Vol. 22. P. 126–132.

УДК: 631.95(476.7)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ РЖИ НА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Волчек, Ю.П. Городнюк

*Брестский государственный технический университет, Брест, ул. Московская 267,  
224017, Беларусь, email: [volchak@tut.by](mailto:volchak@tut.by)*

Дана оценка динамики урожайности озимой ржи, установлены основные факторы, определяющие их урожайность. Основу исследований составили многолетние ряды наблюдений за урожайностью за период с 1954 по 2020 гг. и климатические характеристики за этот период по 16 районам Брестской области.

**Ключевые слова:** *урожайность; озимые зерновые; изменение климата; модель.*

Одним из основных направлений экономического развития Брестской области является сельское хозяйство. Этому способствует географическое положение, ее климатические особенности и крупномасштабные мелиорации. Одной из ведущих сельскохозяйственных культур, возделываемых на полях области, является озимая рожь. Поэтому анализ и прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур является одной из важных экономических задач.

В настоящее время исследованиям влияния климата на изменчивость урожайности сельскохозяйственных культур посвящено ряд работ [1, 2, 3, 4 и др.]. Тем не менее, задача далека от своего решения из-за сложности механизмов формирования урожая. Рост и развитие культурных растений зависят от технологических и климатических факторов.

Задачей исследования является оценка влияния климатических факторов на урожайность озимой ржи на территории Брестской области и разработка кратковременных прогнозов.

Исходными послужили данные наблюдений за среднемесячными климатическими характеристиками по метеостанции Брест и урожайности озимой ржи за период 1954 – 2020 гг. Описание многолетних колебаний урожайности озимой ржи осуществлялась статистическими методами [5], а схема моделирования рассмотрена в работе [4], которая использована в настоящем исследовании.

При проведении регрессионного анализа вегетационный период – сентябрь – декабрь предыдущего года и январь – июль текущего.

Факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур, можно условно разделить на две группы: к первой группе относятся плодородие почв, уровень агротехники, сорта культур, антропогенные нагрузки и т.д.; ко второй – климатические условия. Тогда урожайность можно представить как функцию:

$$Y(t) = Y_{\phi}(t) \pm \Delta Y(t), \quad (1)$$

где  $Y(t)$  – планируемая урожайность в расчетном календарном году, ц/га;  $Y_{\phi}(t)$  – фоновая урожайность в том же году;  $\pm \Delta Y$  – отклонение фактической урожайности от фоновой, ц/га.

Влияние технологических факторов, таких как уровень агротехники, сорта культур, антропогенные нагрузки, с достаточной для практики точностью, можно описать многочленом второй степени, а разность между фактической урожайностью и фоновой составит отклонения, которые определяются, в основном, погодными условиями.

Динамика погодной составляющей урожайности  $\pm \Delta Y(t)$  описана аддитивной функцией:

$$\Delta Y(t) = u(t) \pm \eta(t), \quad (2)$$

где  $u(t)$  – детерминированная функция,  $\eta(t)$  – случайная составляющая.

Функцию  $u(t)$  часто удается подобрать так, что процесс  $\eta(t)$  оказывается значительно более простым, чем  $\Delta Y(t)$ , и тогда решение задач, связанных с этими процессами, существенно упрощается.

Периодическая составляющая или тренды погодной составляющей урожайности могут быть описаны статистическими методами:

$$u(t) = f(\Delta X_{ji}), \quad (3)$$

где  $\Delta X_{ji}$  – отклонение  $j$ -ой погодной характеристики от нормы в  $i$ -ый интервал времени.

Случайная составляющая урожайности озимой ржи определяется вероятностными методами.

Анализ взаимосвязи урожайности и климатических параметров проводился в два этапа. На первом этапе находились отклонения фактической урожайности от фоновой. На втором – анализ полученных временных рядов и агроклиматических показателей.

Пространственная изменчивость исследовалась с помощью карт, построенных для максимальной фоновой урожайности, которая определялась путем дифференцирования функции фоновой урожайности озимой ржи для отыскания ее максимума.

На рис. 1 представлена динамика средней урожайности озимой ржи по Брестской области за период с 1954 по 2021 гг. В урожайности озимой ржи прослеживается тренд. Для всех районов выявлена устойчивая тенденция возрастания урожайности до 1990 г., что обусловлено переходом сельского хозяйства на интенсивный путь развития, совершенствованием технологий, посевного материала и удобрений. В 90-е годы во всех районах начинается постепенный спад урожайности.

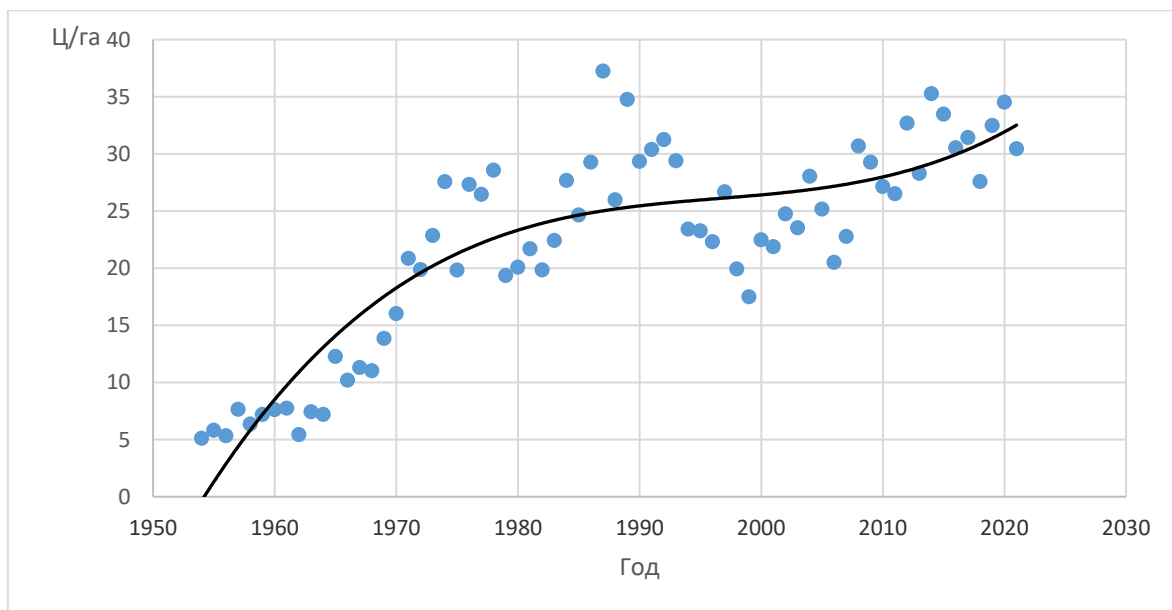


Рис 1. Динамика средней урожайности озимой ржи по Брестской области за период 1954–2021 гг.

Низкие урожайности сельскохозяйственных культур по Брестской области в начале 60-х годов прошлого столетия обусловлены отсутствием высокопродуктивных сортов, неудовлетворительным внесением удобрений. Сочетание благоприятных климатических и агротехнических факторов в середине 80-х способствовало получению высоких урожаев. С повышением уровня агротехники, улучшением водно-воздушного и питательного режима почв, с использованием новых сортов урожайность повысилась и пик ее пришелся на 1986 г.

Средняя урожайность озимой ржи по области составила 22,0 ц/га. Меньше всего – в Ганцевическом районе (18,8 ц/га), максимум – в Ляховичском районе (25,1 ц/га). Однако, с 1990 и до 2000 г. включительно,



вследствие кризисной ситуации в стране, недостаток удобрений, агротехнического обеспечения и других ресурсов, наблюдается устойчивая тенденция снижения урожайности. Также повлияла деградация мелиоративных систем и мелиорированных земель.

Уравнение фоновой урожайности озимой ржи на территории Брестской области имеет вид:

$$V_{\phi}(t) = 0,0003 \cdot t^2 - 0,038 \cdot t + 1,76,$$

где  $t$  – календарный год, ц/га.

Коэффициент множественной корреляции  $R=0,88$ .

Максимальная фоновая урожайность озимой ржи по районам области представлены на рис. 2.



Рис 2. Карта максимальной фоновой урожайности озимой ржи Брестской области, ц/га: 1 – более 23, 2 – 23–21, 3 – менее 21

Проведенный регрессионный анализ позволил описать погодную составляющую урожайности озимой ржи уравнением вида:

$$u = 0,051 \cdot \Delta P_2 + 0,254 \cdot \Delta T_{62} + 0,24 \cdot \Delta T_{612} + 0,42 \cdot \Delta T_{n11},$$

где  $\Delta T_e$  – отклонение месячной температуры воздуха от нормы расчетного месяца;  $\Delta T_n, \Delta P$  – то же соответственно температура почвы и атмосферные осадки. Индексы при переменных соответствуют порядковому номеру месяца,  $R=0,96$ .

Полученные уравнения позволяют описать урожайность озимой ржи в указанных районах. На рис. 3 приведены наблюдаемые и рассчитанные по уравнениям значения урожайности озимой ржи по Брестской области.

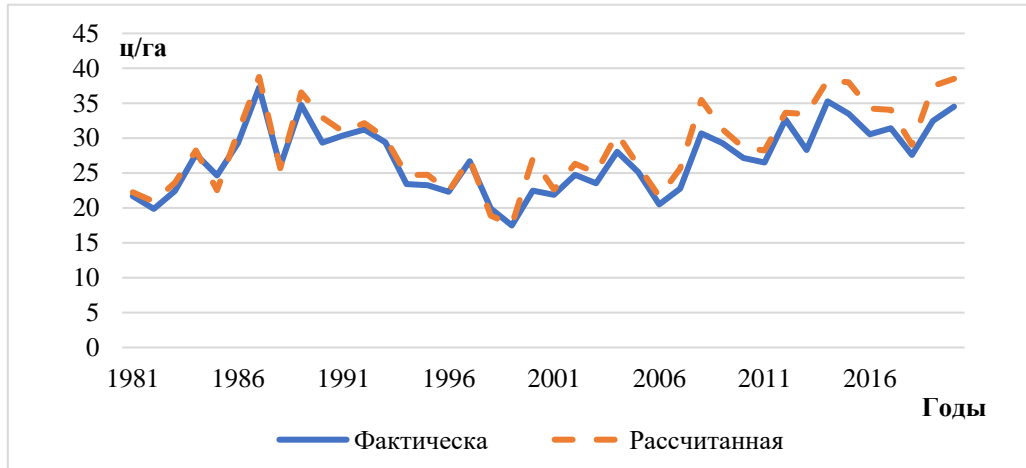


Рис. 3. Фактическая и рассчитанная динамика урожайности озимой ржи в Брестской области

Таким образом, полученная модель адекватно отражает реальную картину урожайности озимой ржи в Брестской области.

Исходя из физиологических особенностей озимой ржи наиболее благоприятным является теплый с повышенной влажностью год. Благоприятным по урожайности год озимых зерновых в Брестской области за исследуемый период наблюдения является 1986–1987 гг. (табл.).

#### Климатические параметры за период с 1986 по 1987 г.

Ме- сяцы	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атмосферные осадки												
зна- че- ние	21	33	30	37	18	49	24	72	90	63	57	48
P, %	80,5	63,4	73,2	51,2	85,4	19,5	78,1	29,3	36,6	68,3	41,5	48,8
Температура воздуха												
зна- че- ние	7,0	3,4	-2,8	-15,3	-2,9	-4,8	5,3	12,6	16,4	17,8	14,8	11,6
P, %	65,9	34,2	73,2	97,6	56,1	97,6	92,7	82,9	63,4	78,1	97,6	82,9
Температура почвы												
зна- че- ние	6,0	3,0	-3,5	-16,2	-4,2	-6,2	6,3	14,7	19,7	21,8	17,3	12,3
P, %	85,4	36,6	73,2	97,6	63,4	97,6	90,2	90,2	75,6	61,0	95,1	85,4

Случайные составляющие вносят определенный вклад и должны учитываться при моделировании урожайности сельскохозяйственных культур.

*Выводы.* Анализ динамики урожайности озимой ржи Брестской области, позволил установить основные факторы, определяющие урожайность, которая колеблется по годам в зависимости, прежде всего, от степени благоприятности нерегулируемых условий среды, среди которых наиболее значимым является тепловой режим.

### **Библиографические ссылки**

1. *Дмитренко Ю. А.* Климатическая обусловленность урожайности сельскохозяйственных культур Республики Беларусь // Природные ресурсы. 2004. № 1. С. 26–35.
2. *Лихацевич А. П., Карнаухов В. Н.* Модель динамики урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от изменчивости природно-климатических факторов // Мелиорация переувлажненных земель. 2005. № 2 (54). С. 108–117.
3. *Сачок Г. И., Камышенко Г. А.* Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси. Мн. : Бел. наука, 2006. 243 с.
4. *Логинов В. Ф., Волчек А. А., Волчек Ан. А.* Оценка влияния климатических факторов на динамику урожайности основных сельскохозяйственных культур в Брестской области // Природные ресурсы. 2006. № 3. С. 5–22.
5. Статистические методы в природопользовании : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, П. С. Пойта, П. В. Шведовский. Брест : Изд-во Брестского политехнического института, 1999. 252 с.

## ИЗМЕНЕНИЯ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И СТЕПЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТУРГОРА ЛИСТЬЕВ КЛЕВЕРА (КЛЕВЕР ЛУГОВОЙ И КЛЕВЕР ПОЛЗУЧИЙ) ПОД АНТРОПОГЕННЫМ ВЛИЯНИЕМ НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

**К.В. Кунавич**

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, Беларусь,  
email: [imagymorphiamail@gmail.com](mailto:imagymorphiamail@gmail.com)

Изучение водоудерживающей способности клевера лугового и клевера ползучего с различным фенотипом может послужить индикатором, где транспирация и восстановление тургора листьев взаимосвязана с наличием антропогенного влияния на почвенный покров. Под антропогенным влиянием рассматривается влияние городской среды на устойчивость произрастания различных видов клевера и их морфологические характеристики.

**Ключевые слова:** тургор, антропогенное влияние, фенотип.

В условиях крупного города почвенный покров постоянно находится под антропогенным влиянием, тем самым, антропогенному влиянию подвергаются растения, проявляющие морфологические последствия данного фактора. Реконструкция озелененных зон, растения которых подвержены всевозможным внешним факторам воздействия, необходимо для сохранения различных видов растений в условиях городской среды. Вовремя выявленное негативное влияние на растительность в условиях микроклимата, потенциально сопровождается своевременным разрешением и снижением отрицательных воздействий.

На примере клевера лугового и клевера ползучего в обозначенных выше условиях зафиксированы изменения водоудерживающей способности и степени восстановления тургора тройчатых листьев во взаимосвязи с наличием различного фенотипа. Так, критерием выявления изменения морфологического признака, взято антропогенное влияние на почвенный покров.

Одним из методов определения тургора листьев является физиологический, а именно метод «завядания» [2,5], предложенный профессором А. Арландом, где определяется водоудерживающая способность, основанная на учете потери воды завядающими растениями, что показывает абсолютное количество потерянной воды за определенный интервал времени.

Таблица 1

**Измерения испарившейся воды клевера лугового (красного)**

Объект	Клевер луговой	№1	№2	№3	№4	№5	Сумма	Среднее
Вес листьев, г	Первоначальный	0,15	0,15	0,08	0,16	0,17	<b>0,71</b>	<b>0,14</b>
	30 мин.	0,12	0,12	0,08	0,16	0,15	<b>0,63</b>	<b>0,13</b>
	1 час	0,11	0,11	0,08	0,13	0,14	<b>0,57</b>	<b>0,11</b>
	1 час 30 мин.	0,11	0,11	0,08	0,12	0,13	<b>0,55</b>	<b>0,11</b>
	2 часа	0,1	0,11	0,07	0,11	0,13	<b>0,52</b>	<b>0,1</b>
	2 часа 30 мин.	0,1	0,1	0,06	0,1	0,11	<b>0,47</b>	<b>0,09</b>
Количество испарившейся воды, г	1 час	0,04	0,04	0	0,03	0,03	<b>0,14</b>	<b>0,03</b>
	1 час 30 мин.	0,04	0,04	0	0,04	0,04	<b>0,16</b>	<b>0,03</b>
	2 часа	0,05	0,04	0,01	0,05	0,04	<b>0,19</b>	<b>0,04</b>
	2 часа 30 мин.	0,05	0,05	0,02	0,06	0,06	<b>0,24</b>	<b>0,05</b>
Потеря воды к исходному весу, %	1 час	26,7	26,7	0	18,75	17,67	<b>89,82</b>	<b>17,9</b>
	1 час 30 мин.	26,7	26,7	0	25	23,5	<b>102,8</b>	<b>20,56</b>
	2 часа	33,3	26,7	12,5	31,25	23,5	<b>127,25</b>	<b>25,45</b>
	2 часа 30 мин.	33,3	33,3	25	37,5	35,3	<b>164,4</b>	<b>32,88</b>

На улице Германовская города Минска были собраны образцы для фиксирования количества испарившейся влаги и расчета потерь воды к исходному весу. Каждые 200 метров были собраны клевер луговой и клевер ползучий (таблица 5) [1,3].

Вес листьев измерялся каждые пол часа до 2,5 часов на технических весах (таблица 1, таблица 2), после чего трехлистники были помещены

стеблем в воду и далее фиксировалось, в период до 2,5 часов, восстановление тургора листьев клевера (таблица 3, таблица 4).

Таблица 2

**Измерения испарившейся воды клевера ползучего (белого)**

Объект	Клевер ползучий	№1	№2	№3	№4	№5	Сумма	Среднее
Вес листьев, г	Первоначальный	0,08	0,06	0,07	0,08	0,07	<b>0,36</b>	<b>0,07</b>
	30 мин.	0,07	0,06	0,05	0,07	0,06	<b>0,31</b>	<b>0,06</b>
	1 час	0,07	0,04	0,04	0,07	0,06	<b>0,28</b>	<b>0,06</b>
	1 час 30 мин.	0,06	0,04	0,04	0,07	0,06	<b>0,27</b>	<b>0,05</b>
	2 часа	0,06	0,04	0,04	0,07	0,06	<b>0,27</b>	<b>0,05</b>
	2 часа 30 мин.	0,06	0,02	0,03	0,07	0,06	<b>0,24</b>	<b>0,05</b>
Количество испарившейся воды, г	1 час	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	<b>0,08</b>	<b>0,02</b>
	1 час 30 мин.	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	<b>0,09</b>	<b>0,02</b>
	2 часа	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	<b>0,09</b>	<b>0,02</b>
	2 часа 30 мин.	0,02	0,04	0,04	0,01	0,01	<b>0,12</b>	<b>0,02</b>
Потеря воды к исходному весу, %	1 час	12,5	33,3	42,9	12,5	14,3	<b>115,5</b>	<b>23,1</b>
	1 час 30 мин.	25	33,3	42,9	12,5	14,3	<b>128</b>	<b>25,6</b>
	2 часа	25	33,3	42,9	12,5	14,3	<b>128</b>	<b>25,6</b>
	2 часа 30 мин.	25	66,7	57,1	12,5	14,3	<b>175,6</b>	<b>35,1</b>

Таблица 3

**Измерения восстановления воды клевера лугового (красного)**

Объект	Вес листьев, г						Количество восстановившейся воды, г			
	Первоначальный	30 мин.	1 час	1 час 30 мин.	2 часа	2 часа 30 мин.	1 час	1 час 30 мин.	2 часа	2 часа 30 мин.
№1	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,03	0,04	0,05	0,05
№2	0,10	0,13	0,14	0,15	0,15	0,15	0,04	0,05	0,05	0,05
№3	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02
№4	0,10	0,12	0,13	0,15	0,15	0,15	0,03	0,05	0,05	0,05
№5	0,11	0,14	0,17	0,17	0,17	0,17	0,06	0,06	0,06	0,06
<b>Сумма</b>	<b>0,47</b>	<b>0,58</b>	<b>0,65</b>	<b>0,69</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,18</b>	<b>0,22</b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>
<b>Среднее</b>	<b>0,09</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>	<b>0,14</b>	<b>0,14</b>	<b>0,14</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>

Таблица 4

**Измерения восстановления воды клевера ползучего (белого)**

Объект	Вес листьев, г						Количество восстановившейся воды, г			
	Первоначальный	30 мин.	1 час	1 час 30 мин.	2 часа	2 часа 30 мин.	1 час	1 час 30 мин.	2 часа	2 часа 30 мин.
№1	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,03	0,02	0,02	0,02
№2	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03
№3	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03
№4	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,03	0,01	0,01	0,01
№5	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,01	0,01	0,01
<b>Сумма</b>	<b>0,24</b>	<b>0,26</b>	<b>0,3</b>	<b>0,32</b>	<b>0,33</b>	<b>0,34</b>	<b>0,18</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	<b>0,1</b>
<b>Среднее</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>




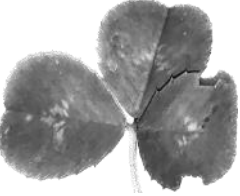



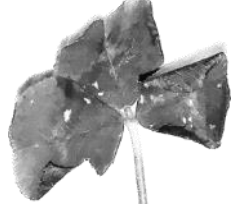






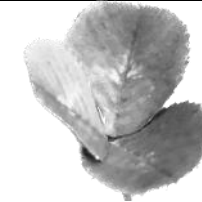
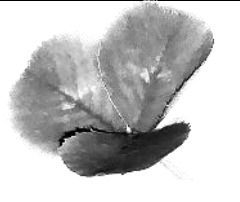



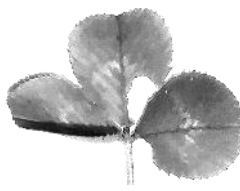
Количество испарившейся воды рассчитывалось к первоначальному весу трехлистника, после чего определялась потеря воды к исходному весу, где за сто процентов брался изначальный вес листьев клевера соответственно [1,4,5].

Следует отметить, что наиболее яркий рисунок фена клевера зафиксирован у клевера лугового, у клевера ползучего – едва заметен или вовсе отсутствует (2 из 5 трехлистника, тройчатые листья).

Замечено, что у лугового клевера, с феном более широкой полосы рисунка, восстановление тургора произошло не на весь трехлистник (1 из 5) – засушены края; обратное у клевера ползучего – листья, с более выраженным феном (3 из 5) восстановили тургор.

Произведя анализ измерений, клевер луговой показал себя как более засухоустойчивый, не смотря на большую подверженность морфологическим признакам, в сравнении с клевером ползучим, у которого выявлена большая интенсивность транспирации влаги, тем самым, показав, что предпочтительней усеивать городские почвы вдоль улиц клевером красным.

## Изменения восстановления воды клевера

№	До (Клевер луговой)	После (Клевер луговой)	До (Клевер ползучий)	После (Клевер ползучий)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

## Библиографические ссылки

1. Зависимость засухоустойчивости *Nerium oleander* L. От факторов внешней среды в условиях Южного берега Крыма / О. А. Ильницкий [и др.] // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2016. Т. 142. С. 139–149.



2. *Кунавич К. В., Червань А. Н.* Информационное и методическое обеспечение междисциплинарных почвенно-географических исследований в Беларуси // Здоровые почвы – гарант устойчивого развития : Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 140-летию с момента становления почвоведения как науки и публикации фундаментального труда В. В. Докучаева "Русский чернозем", Курск, 30–31 марта 2023 года / Редколлегия: М. В. Протасова (отв. ред.), А. И. Цыбанева, Н. П. Неведров. Курск: Курский государственный университет, 2023. С. 81–83.

3. *Кунавич К. В., Сазонов А. А.* Разнообразие почв физико-географических районов Беларуси с использованием индексов разнообразия (индекс Джини-Симпсона, индекс латеральной дифференциации) // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы республиканского научно-практического семинара студентов и молодых ученых, Минск, 16 ноября 2022 года / Редколлегия: А. А. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Белорусский государственный университет, 2022. С. 92–96.

4. *Максутбекова Г. Т.* Показатель оводненности и водоудерживающей способности древесных растений в условиях Жезказганского промышленного региона // Наука и образование: проблемы, идеи, инновации. 2019. № 6 (18). С. 5–9.

5. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков [и др.]. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.

## РАЗДЕЛ V ГЕОХИМИЯ ПОЧВ И ЛАНДШАФТОВ

УДК 631.4:630.160.2

### УГЛЕРОД В ОСНОВНЫХ ТИПАХ ПОЧВ В ПОЛУПУСТЫНЯХ ТЕРСКО-КУМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

**А.С. Абдулаева, Г.Н. Гасанов, К.М. Гаджиев, Т.А. Асварова,  
Р.Р. Баширов**

*Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала,  
ул. М. Гаджиева, 45, 36700, Россия, email: [aischat55@mail.ru](mailto:aischat55@mail.ru)*

Во всех растительных ассоциациях складывается положительный баланс углерода с преобладанием стока над эмиссией от 0,04 ц/га в единичных солянковых растениях на солончаке корковом до 5,21 ц/га под злаково-солянковой ассоциацией на светло-каштановой почве. Существенным резервом улучшения углеродного баланса в солончаках корковых является эолово-аккумулятивная мелиорация с формированием на их поверхности эолово-аккумулятивного гумусового горизонта, обеспечивающая сток 2,25 ц/га С-СО<sub>2</sub>.

**Ключевые слова:** тип почвы; растительные ассоциации; чистая первичная продукция; экосистемная продукция; сток углерода; эмиссия углерода; баланс углерода.

Вопрос вовлечения деградированных и засоленных почв в хозяйственный оборот заслуживает самого серьезного внимания. Так, в Терско-Кумской низменности из 1,53 млн га пастбищных угодий, более 236 тыс. га подвержены опустыниванию, 318 тыс. га заняты солончаками. Поэтому различные растительные ассоциации, сформировавшиеся на различных типах почв, имеют разные показатели по чистой первичной продукции фотосинтеза, разное гетеротрофное дыхание, что обуславливают неодинаковый баланс углерода в них.

Наиболее продуктивной в условиях полупустыни является злаково-солянковая растительная ассоциация на светло-каштановой почве, где чистой первичной продукции (NPP) получено 55,45 ц/га. Вторую и третью позиции с показателями, уступающими лучшей по продуктивности ассоциации, соответственно, на 30,0 и 43,5 %, являются эфемероидно-полынно-злаковая ассоциация на светло-каштановой почве и эфемероидно-полынно-злаковая на солончаке реградированном. На шести типах деградированных засоленных почв и под всеми восемью растительными ассоциациями складывается положительный баланс С-СО<sub>2</sub> с преобладанием

стока над эмиссией от 0,04 ц/га на солончаке корковом до 5,21 ц/га под злаково-солянковой ассоциацией на светло-каштановой почве. Существенным резервом улучшения углеродного баланса в солончаках корковых является их эолово-аккумулятивная мелиорация, способствующая созданию на их поверхности в течение 7–8 лет гумусового горизонта. Он обеспечивает сток более 2,5 ц/га С-СО<sub>2</sub> в год.

Цель исследований – определение количественной оценки биогеохимических потоков углерода в растительных сообществах и типах почв Терско-Кумской низменности.

Исследования по накоплению растительного вещества и балансу углерода проводили в Кочубейской биосферной станции Прикаспийского института биологических ресурсов Дагестанского исследовательского центра РАН (ПИБР ДФИЦ РАН).

Экспериментальные участки, площадью по 100 м<sup>2</sup>, были обнесены железной сеткой во избежание потрав фитомассы скотом, учет фитомассы проводили отдельно по эфемерам во второй декадах мая и октября, разнотравью и солянкам – в декаде октября [1, 2]. Надземную массу определяли укосным методом, с выделением фракций: живая фитомасса, ветошь (мертвые части растений, не лишенные связи с растениями), войлок. Подземную массу определяли в эти же сроки после скашивания надземной массы до глубины 0,6 м методом монолита (10x10x10 см). Эмиссию, сток и баланс С-СО<sub>2</sub> оценивали по [3, 4, 5].

Вовлечение солончаков Терско-Кумской низменности в хозяйственный оборот и повышение их продуктивности [6, 7] считают возможным после их коренной гидромелиорации с помощью промывок большим током воды, что требует немалых финансовых затрат на строительство оросительной и коллекторно-дренажной сети. Более того, на данной территории нет водных ресурсов, необходимых для осуществления таких масштабных мелиораций.

Нами разработан новый способ мелиорации солончаков в данной зоне: эолово-аккумулятивный. На рассматриваемой территории днем температура воздуха над полупустыней повышается до 50–55° С, раскаленный воздух поднимается в верхние слои атмосферы, уступая место более прохладному воздуху со стороны Каспийского моря, вечером – наоборот. Воздушные массы переносят с собой в год 10–15 т/га илисто-песчаную массу с семенами дикорастущих трав (ИПМС), которая, встретив на своем пути препятствия (камень, скелет животных или его части, остатки строительного материала, запасные части машин), оседает вокруг них на поверхности солончака, формируя бугры и бугорочки разных форм и размеров, в последующем зарастающих растительностью. Разработанный нами

способ трансформации солончака коркового основан на создании механических препятствий из досок, горбыля, или временных пластиковых панелей на ножках (для последующего переноса на другое место) на поверхности солончака, которые задерживают ИПМС, перемещающуюся по полупустыне под влиянием атмосферных процессов. Особенностью этой массы является то, что она сама содержит 0,2 % гумуса, вместе с нею по степи перемещаются семена дикорастущих трав, кустарников, полукустарников, которые прорастают после выпадения осадков и своими корнями могут защитить почву от выдувания и накопить в ней органическое вещество. За 8 лет наших исследований – 2011–2018 гг. – на поверхности солончака коркового сформировался эолово-аккумулятивный гумусовый горизонт, мощностью 5–7 см, содержащий 1,06 % гумуса. Эфемероидно-полынно-злаковая ассоциация, сформировавшаяся на солончаке реградированном, являлась одной из восьми видов ассоциаций, результаты исследований по которым приводится ниже. Наиболее продуктивной в условиях полупустыни является злаково-солянковая растительная ассоциация на светло-каштановой почве, где чистой первичной продукции (NPP) получено 55,45 ц/га (табл.).

**Чистая первичная продукция (NPP) и экосистемная продукция NEP в блоках органической массы в основных типах почв Терско-Кумской низменности за 2011-2018 гг., ц/га**

Растительная ассоциация, тип почвы	Зеленая масса	Ветошь	Войлок	Корни	NPP	NEP
Солянки единичные, солончак корковый	0,02	0,01	0,05	0,16	0,24	0,22
Эфемероидно-полынно-злаковая, светло-каштановая	5,41	5,30	4,96	23,14	38,81	33,40
Злаково-солянковая ассоциация, светло-каштановая	7,80	7,73	6,34	33,58	55,45	47,65
Злаково-полынная, лугово-каштановая	2,35	2,29	1,88	10,37	16,89	14,54
Разнотравно-кострово-петросимониевая, солончак типичный	2,13	2,05	1,91	8,44	14,53	12,40
Эфемероидно-полынно-злаковая, солончак реградированный	5,22	4,78	3,95	17,40	31,35	26,13

На 30,0 и 43,5 % соответственно снижается ее показатель в эфемероидно-полынно-злаковых ассоциациях на светло-каштановой почве и со-

лончаке реградированном. Намного уступают им 5 и 6 ассоциации, сформировавшиеся на лугово-каштановой засоленной с поверхности почве, солончаках типичном и, особенно, на солончаке корковом из-за увеличения степени и химизма засоления в направлении увеличения соотношения ионов  $Cl^-: SO_4^{2-}$  [8].

NPP в естественных фитоценозах одновременно является и NEP, поскольку вся она вовлечена в биогеохимический цикл химических элементов, тем более в условиях заповедного содержания, где вся произведенная продукция накапливалась на той же площадке, не отчуждая путем сенокосшения или стравливания скотом. В расходной части углеродного баланса учитывалось микробное (гетеротрофное) дыхание почв ( $R_h$ ), которое можно рассчитать, пользуясь формулой L. Mukhortova с соавторами [9]:

$$R_h = NPP \times (\sum R_h : \sum NPP)$$

По подсчетам ученых [3], доля микробного дыхания в общей эмиссии  $CO_2$  из почвы в степи составляет 51 %, в лесу выше 83 %. Для рассматриваемых нами условий больше подходит 51 % гетеротрофного дыхания.

Баланс углерода в почвах определяли по формуле [10]:

$$B = NPP - (П + R_h),$$

где П – содержание углерода в надземной массе (без войлока и корневых остатков).

$$П = NPP - NEP$$

Полученные нами результаты показывают, что в естественном фитоценозе на всех типах почв и растительных ассоциациях складывается положительный баланс углерода, то есть, сток  $C-CO_2$ , преобладает над его эмиссией.

Особое внимание привлекает улучшение углеродного баланса бесплодных солончаков корковых в аридных условиях Терско-Кумской низменности путем трансформации их в солончак реградированный эолово-аккумулятивным способом. Сток  $C-CO_2$  при этом по сравнению с первоначальным уровнем повышается многократно.

На деградированных, в большинстве своем засоленных почвах Терско-Кумской низменности и под всеми растительными ассоциациями складывается положительный баланс  $C-CO_2$  с преобладанием стока над эмиссией от 0,04 ц/га на солончаке корковом, до 5,21 ц/га под злаково-со-

лянковой ассоциацией на светло-каштановой почве. Существенным резервом улучшения углеродного баланса в солончаках корковых является золово-аккумулятивная мелиорация, создающая на их поверхности в течение 7–8 лет гумусовый горизонт толщиной 5–7 см и обеспечивающая сток 2,25 ц/га C-CO<sub>2</sub>.

### Библиографические ссылки

1. *Титлянова А. А.* Сравнительный анализ продуктивности центральноазиатских причерноморско-казахстанских степей // *Степи Центральной Азии*. Новосибирск: Изд. СО РАН. 2002. С. 174–200.
2. *Титлянова А. А., Самбуу А. Д.* Детерминированность и синхронность залежной сукцессии в степях Тувы // *Известия РАН. Сер. Биол.* 2014. № 6. С. 621–630.
3. *Заварзин Г. А., Кудеяров В. Н.* Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // *Вестник РАН*. 2006. Т. 76, № 1. С. 14–29.
4. *Ананьева Н. Д., Сусьян Е. А., Гавриленко Е. Г.* Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат индуцированного дыхания // *Почвоведение*. 2011. № 11. С. 1327–1333.
5. *Сушко С. В., Ананьева Н. Д., Иващенко К. В., Васнев В. И., Саржанов Д. А.* Микробное дыхание почвы в полевых и лабораторных условиях // *Агрофизика*. 2016. № 4. С. 17–23.
6. *Баламирзоев М. А.* Почвенно-агроэкологическое районирование территории Дагестана // *Почвенные ресурсы Дагестана, их охрана и рациональное использование*. Махачкала. 1988. С. 75–129.
7. *Саидов А. К.* Современное агроэкологическое состояние почв Кизлярских пастбищ // *Почвоведение*. 2006. № 12. С. 1501–1511.
8. Hydrothermal conditions of species composition and phytocenose productivity in the Terek-Kuma lowland / G. N. Gasanov [et. al.] // *Arid Ecosystems*. 2014. Т. 4, № 4. P. 299–303.
9. *Mukhortova L., Schepachenko L., Shvidenko A., McCallum I., Kraxner F.* Soil contribution to carbon budget of Russian forests // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2015. Vol. 200. P. 97–108.
10. *Кудеяров Н. В.* Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // *Почвоведение*. 2019. № 1. С. 109–121.

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И БИОТЕСТИРОВАНИЕ ПОЧВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОБЫЧИ И ПРОИЗВОДСТВА ФОСФОРИТОВ

Е.Ю. Елсукова, И.С. Недбаев, Д.С. Кузьмина

Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Россия, email: [e.elsukova@spbu.ru](mailto:e.elsukova@spbu.ru)

В настоящем исследовании дана оценка воздействия добычи фосфоритов на почвы в зоне предприятия Фосфорит Кингисеппского района Ленинградской области с помощью оценки содержания в почвах тяжелых металлов, а также по результатам биотестирования почв с использованием дафний *Daphnia magna Straus*. Установлено, что на территории, прилегающей к производству, происходит аккумуляция ряда тяжелых металлов. Вместе с этим, на техногенных объектах наблюдается наибольшая токсичность почв для выбранного тест-объекта. Причиной смертности дафний, вероятно, является высокое содержание меди и стронция в почвенных пробах.

**Ключевые слова:** добыча фосфатов; фосфогипс; загрязнение почв; биотестирование; Кингисепп.

Изучены почвы в зоне воздействия предприятия Фосфорит Кингисеппского района Ленинградской области. На территории промышленной площадки предприятия находятся крупные техногенные объекты (отвал фосфогипса, хвостохранилища), рекультивированные отвалы вскрышной породы. Условно-фоновые территории расположены на расстоянии 4–5 км от источника загрязнения.

Для анализа в период с 2019 по 2021 годы было отобрано 84 почвенные пробы на 51 эталонной на площади. Отбор почвенных проб производился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017. При наличии в почве, пробы отбирались из двух горизонтов – поверхностного (0–5 см) и срединного (5–20 см). Было определено валовое содержание и подвижные формы тяжелых металлов (ТМ) с использованием ацетатно-аммонийного буфера (рН 4,8) [1].

По результатам рассчитаны коэффициенты концентрации (Кс) и суммарного загрязнения почв [2]. Для валового содержания показатель суммарного загрязнения рассчитывался для Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn по ПДК/ОДК [3], для Ba, Co, Cr, Sb, Sc, Sr, V – по зональному фону для подзолистых почв [4]. По оценочной шкале опасности все изученные почвы относятся к допустимой категории загрязнения (Zс менее 16). Наибольший вклад в загрязнение вносит стронций.

Для подвижных форм Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn при расчете были использованы значения ПДК/ОДК [3], а для – Ba, Fe, Sr – медиана содержания элемента в почвах южной тайги [5]. Все почвы в среднем относятся к допустимой категории загрязнения. Наибольший суммарный показатель загрязнения характерен для техногенных участков, наименьший – для рекультивированных территорий (таблица). Большой вклад в загрязнение почв вносят марганец и медь, по этим элементам коэффициент концентрации химического вещества превышает 1 для 33 и 40 проб соответственно при общем количестве 80 проб. По степени опасности марганец относится к 3 классу – малоопасные вещества, медь – ко второму классу опасности, умеренно опасные вещества [6]. Надо отметить высокое содержание подвижных форм железа по сравнению с медианой содержания этого элемента в почвах южной тайги на условно-фоновых (Кс достигает 23), и в меньшей степени на рекультивированных территориях. Коэффициент концентрации железа больше 1 для 50 проб из 80, что связано с кислотностью почв. Отличительной чертой почв техногенных объектов является высокое содержание подвижного стронция в (Кс достигает 30).

**Суммарный показатель загрязнения почв подвижными формами тяжелых металлов**

<b>Тип участка</b>	<b>Zc среднее</b>	<b>Zc мин.-макс.</b>
Условно-фоновые территории	8	2-24
Рекультивированные участки	5	2-20
Техногенные объекты	9	2-31

Для определения токсичности почвенных образцов было проведено биотестирование при помощи дафний *Daphnia magna Straus* [7]. Всего было проанализировано 60 образцов почвы. Результаты биотестирования графически представлены на рисунке 1.

Наибольшее количество погибших дафний зафиксировано в пробах под номерами 5 и 8. В этих образцах погибли все дафнии. Проба под номером 5 отобрана на отвале фосфогипса. В данной пробе по полученным результатам зафиксировано высокое валовое содержание стронция. Превышение над средним содержанием стронция на условно-фоновых территориях – в 31 раз, над зональным фоном для подзолистых почв – в 12 раз. Проба под номером 1 также отобрана на отвале фосфогипса. В ней выжило 20 % дафний. В данной пробе зафиксировано превышение ПДК по подвижным формам цинка в 1,3 раза, по подвижным формам меди – в 1,2 раза. Содержание подвижных форм железа выше в 2,1 раза, чем медиана содержания данного элемента в почвах южной тайги.



В пробе под номером 3 также выжило 20 % дафний. Она отобрана на отвале хвостохранилища. В ней обнаружены высокие концентрации подвижных форм бария – в 4,3 раза выше, чем на условно-фоновой территории, и железа – в 1,7 раз выше норматива.

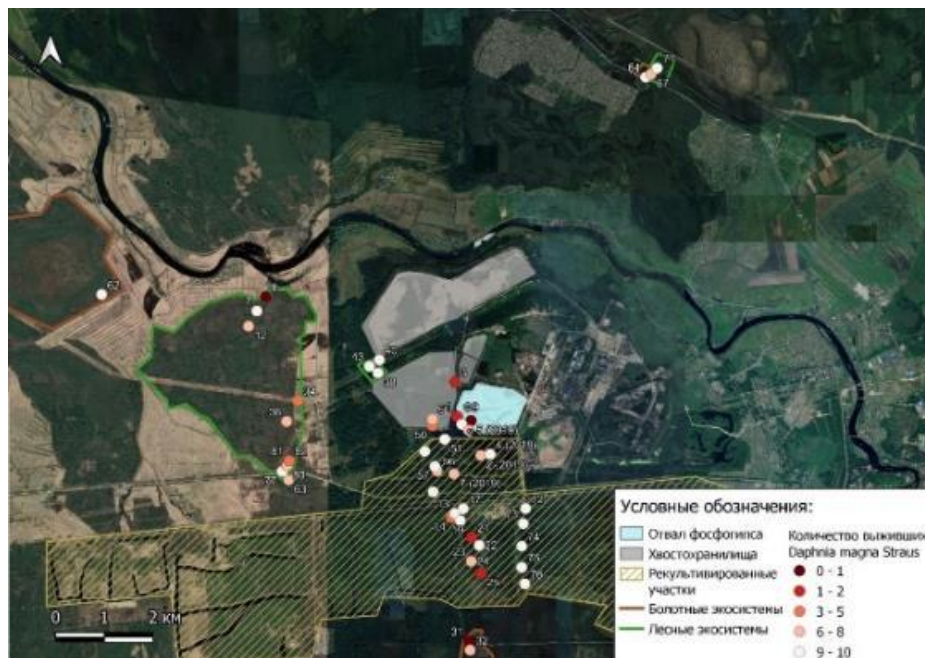


Рис. 1. Количество выживших *Daphnia magna Straus*

В пробе под номером 25 выжило 20 % *Daphnia magna Straus*. Она была взята на рекультивированных территориях. В данной пробе выявлено превышение ПДК по содержанию подвижных форм марганца в почвах в 2,1 раза. Также получено превышение фоновых значений для подвижных форм бария и железа – в 1,3 раза.

Чуть выше процент выживших дафний в пробе под номером 50 – 30 %. Она отобрана на хвостохранилище. В ней выше, чем на условно-фоновых территориях, содержание стронция – в 5,3 раза и бария – в 1,2 раза.

По 40 % выживших дафний в пробах под номерами 11, 81 и 82. Все они взяты на условно-фоновой территории в лесных экосистемах. В них зафиксировано высокое содержание подвижных форм железа. В пробе 11 данное превышение – в 8 раз, в пробе под номером 81 – в 3,1 раза, в пробе под номером 82 – в 1,4 раза.

Таким образом, в 8 из 10 проб, где погибло более 50 % дафний, обнаружено высокое содержание подвижных форм железа. В 5 пробах – содержание подвижного бария выше фоновых значений. В двух пробах выявлены превышения ПДК по подвижным формам марганца. По одной пробе с превышением ПДК по подвижным формам цинка и меди. В пробе, отобранной на отвале фосфогипса, в которой погибли все дафнии, выявлено

высокое содержание валовых форм стронция по сравнению с фоновыми значениями. Значения рН образцов, отобранных на отвале фосфогипса, находятся в диапазоне 6,9–8,0.

На рисунке 2 представлен процент погибших дафний в зависимости от места отбора почвенной пробы. Наибольшее количество погибших дафний зафиксировано в пробах, отобранных на отвале фосфогипса и на хвостохранилищах. В данных пробах погибло 40 % от общего количества дафний, что свидетельствует о токсичности среды для данного вида ракообразных. В пробах, отобранных в лесных экосистемах, погибло 27 % дафний, что может быть связано с кислой реакцией водных вытяжек. Для дафний подходит среда обитания с кислотностью 7,0–8,5 [7]. Для условно-фоновых территорий характерна кислая реакция среды со значением рН от 4,0 до 7,0.

В водных вытяжках из проб, взятых на рекультивированных рудниках, погибло 17 % дафний, что говорит об их низкой токсичности и подходящей кислотности. На рекультивированных участках и хвостохранилищах значения рН варьируют от 4,7 до 7,9, реакция среды от слабокислой до слабощелочной.

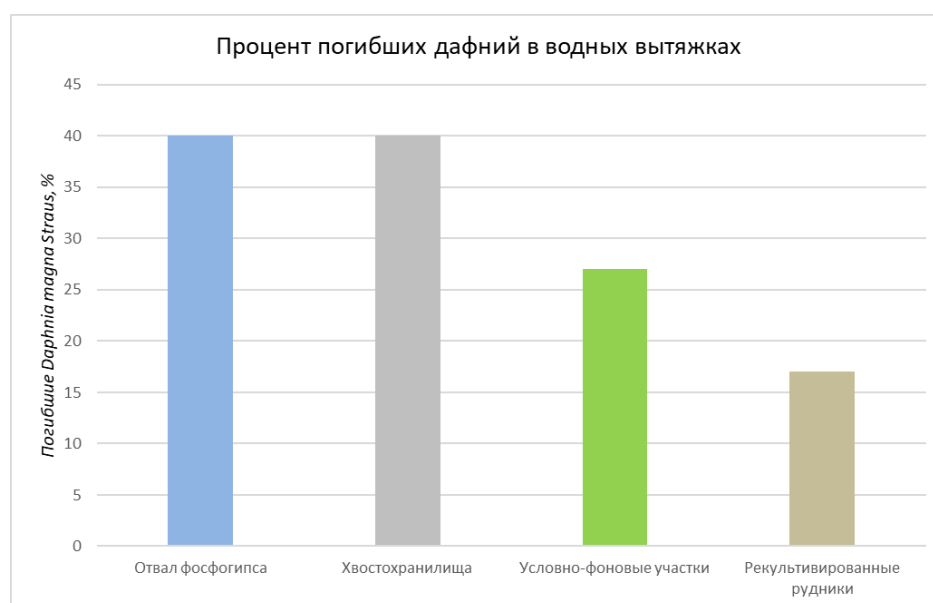


Рис. 2. Гибель дафний в водных вытяжках

Также был проведен корреляционный анализ для установления зависимости количества погибших дафний и содержанием в почве тяжелых металлов. По результатам анализа, значимая зависимость обнаружена между количеством погибших дафний и валовым содержанием в почве

меди, стронция и бария. Положительная – с содержанием никеля, кобальта, хрома, скандия. Отрицательная – с кислотностью почв. Это может говорить о токсичности данных микроэлементов для дафний.

По результатам проведенного исследования установлено, что добыча полезных ископаемых для производства фосфорных удобрений и хранение отходов такого производства приводит к значительному изменению состояния почв.

Суммарный показатель загрязнения показал, что загрязнение почв находится на допустимом уровне. При этом наибольший показатель наблюдается на техногенных объектах, меньше загрязнены условно-фоновые и рекультивированные территории.

Результаты оценки по суммарному показателю согласуются с результатами по биотестированию. Биотестирование показало наибольшую токсичность на техногенных объектах. Максимальный процент погибших дафний зафиксирован на отвале фосфогипса и хвостохранилище. Высокая смертность дафний связана с валовым содержанием стронция и меди в почвах.

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90099.

Выражаем благодарность ресурсному центру «Методы анализа состава вещества» Научного парка СПбГУ.

### Библиографические ссылки

1. Елсукова Е. Ю., Недбаев И. С., Кузьмина Д. С. Загрязнение почв в зоне воздействия производства фосфорных удобрений // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2022. Т. 67, № 4. С. 652–674.
2. Методические указания МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест». Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ. Введ. 05.04.1999. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 38 с.
3. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". М., 2021. 975 с.
4. Геохимия окружающей среды. / Ю. Е. Сает [и др.]. М.: Недра, 1990.
5. Salminen R., Chekushin V., Bogatyrev I. Elsevier Geochemical atlas of eastern Barents region. 2004. 560 p.
6. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.
7. ФР.1.39.2007.03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Дата введения: 17.10.2005. М.: АКВАРОС, 2007. 51 с.

## РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОЦЕНКЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫВЕТРИВАНИЯ И СКОРОСТИ ПОТЕРИ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПОЧВ НА ПРИМЕРЕ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ

И.Ю. Кудреватых, П.И. Калинин, А.О. Алексеев

*ФИЦПНЦБИ РАН Институт физико-химических и биологических проблем  
почвоведения РАН, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2, стр.2, 142290, Россия, email:  
[averkieva25@rambler.ru](mailto:averkieva25@rambler.ru)*

Изучена трансекта протяженностью более 700 км на юго-востоке Русской равнины. Целью исследования была сравнительная характеристика содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) в лессах по сравнению с другими почвообразующими породами, а также возможность использования РЗЭ в качестве индикаторов различных почвенных свойств и процессов в степных ландшафтах. Выявлено, что лёссово-карбонатные суглинки обогащены легкими РЗЭ, а для песчаных отложений выявлено преобладание тяжелых РЗЭ. В верхних горизонтах изученных объектов по распределению РЗЭ хорошо идентифицируется процесс выветривания материала (выше содержание легких и ниже тяжелых РЗЭ), исключением являются почвы, образованные на песчаных отложениях. Отношения La/Nb и Y/Nb показали фракционирование Nb из РЗЭ в лёссово-карбонатных суглинках.

**Ключевые слова:** редкоземельные элементы, лёсс, выветривание, чернозем, каштановая почва

Лессовые отложения Русской равнины являются главной почвообразующей породой степных почв, которые выступают основой продовольственной безопасности не только России, но и мира. Вся сложная цепочка процессов, которые привели к формированию лёссов, начиная от мобилизации вещества, седиментогенеза и заканчивая отложением и преобразованием минеральной пыли, вызывает споры и дискуссии. Концентрация химических элементов показывает различия в минералогии лёссов, характеризует их генезис и изменения состава в ходе литогенеза. Редкоземельные элементы представляют собой совокупность элементов от лантана (La) до лютеция (Lu), которые как целостная группа незначительно обедняются или обогащаются в результате естественного физического и химического воздействия [1, с. 241], они являются устойчивыми в процессе выветривания и малоподвижны при почвообразовании [2, с. 176], поэтому они широко применяются в качестве индикаторов фундаментальных гео-

химических процессов, связанных с химической эволюцией континентальной коры, тектонической обстановкой, химическим выветриванием и поиском источников формирования отложений [3, с. 105855]. Настоящее исследование имело целью характеризовать содержание РЗЭ в лессах по сравнению с другими почвообразующими породами, а также на выявление возможности использования РЗЭ в качестве индикаторов различных почвенных свойств и процессов в степных ландшафтах.

Объектом исследования была территории юго-востока Русской равнины, где изучена почвенная трансекта протяженностью более 700 км. Район исследования представляет собой зону сухих и пустынных степей, который расположен в различных природных зонах Нижнего Поволжья (Приволжская и Ергенинская возвышенности, Прикаспийская низменность). Типы почв изучаемой территории изменялись с севера на юг от Calcic Chernozems к Endosalic Kastanozems до Luvic Calcisols. Почвообразующей породой для большинства исследованных почв были лёссо-карбонатные засоленные суглинки преимущественно эолового генезиса, в то время как более южные почвы развивались на песчаных отложениях позднечетвертичного и голоценового возраста (бугры Бэра, рын-пески),

Для реализации цели исследования в каждой точке опробования ( $n=16$ ) проводили отбор почвенных образцов методом бурения с интервалом 10 см до почвообразующей породы (в трехкратной повторности). В полученных образцах почвы измеряли содержание РЗЭ методом ICP OES. С целью подготовки твердого образца почвы к анализу брали навеску 0,5 гр., добавляли в нее 5 мл плавиковой кислоты и размешивали, через 10 минут еще прибавляли 10 мл азотной кислоты (70%). Полученный таким образом образец подвергали микроволновому разложению под давлением 2500кПа в течение 60 минут, затем переносили в 50 мл колбу и доводили до метки бидистиллированной водой.

Были применены следующие показатели, рассчитанные на основе содержания РЗЭ: 1) отношение содержания РЗЭ в исследуемых почвах и почвообразующих породах по отношению к их содержанию в земной коре, которое указывает на обогащение или истощение их содержания в процессе почвообразования. Данные по содержанию РЗЭ в земной коре использовались из Балашов, 1976 [4, с.216]; 2) соотношения La/Yb – мера обогащения легкими РЗЭ и Gd/Yb – мера истощения тяжелыми РЗЭ. Показано, что при увеличении выветривания материала происходит обогащение легкими и снижение тяжелых РЗЭ [5, с. 97]; 3) отношения La/Nb и Y/Nb в почве позволяют различать происхождение, связанное с различными почвообразующими породами [6, с. 3319]. При расчете отношений La/Yb, Gd/Yb, La/Nb и Y/Nb брали среднее значение ( $\bar{c}_p$ ) для каждого разреза (слоя почв) при  $n = 3$ .

Содержание Ce, Er, Eu, Gd, Lu, Nd, Sc, Y и Yb в изученных породах (аллювиально-морские отложения, лессы, морены) имело сравнительно одинаковые значения и в среднем составило 86,3, 2,4, 0,53, 0,34, 0,24, 49,7, 6,38, 8,27 и 1,0 мг/кг соответственно. Основные различия в содержании РЗЭ между разными типами пород отмечено для элементов Ce, Nd, Y и Yb, так заметное снижение их концентрации отмечается в аллювиально-морских отложениях по сравнению с лессами.

По результатам исследования содержания РЗЭ в верхних горизонтах почв было показано, что самые низкие концентрации всех изученных элементов выявлены для бурой полупустынный почвы, каштановые занимают промежуточное значение, а в черноземах самые высокие концентрации. Для всех изученных разрезов отмечено, что почвы на лессах и лессовидных суглинках не зависимо от типа имеют сходное содержание всех изученных элементов с подстилающей породой. А почвы на моренах и песках показали снижение концентрации всех изученных РЗЭ в верхних горизонтах почв по сравнению с породой. При этом в почвах, расположенных на песках, отмечено обеднение большинства изученных РЗЭ по сравнению с земной корой, а почвы, образованные на лессово-карбонатных суглинках, наоборот, обогащены. Скорее всего данный факт определяется разностью содержания глины в изученных почвообразующих породах, что влияет на состав и содержание РЗЭ в них.

Соотношения La/Yb и Gd/Yb в изученных почвах показали, что в верхнем горизонте (0-20 см) почв большинства изученных разрезов наблюдается обогащение легкими РЗЭ. Это указывает на более высокую степень выветривания материала в верхних горизонтах по сравнению с почвообразующей породой, что согласуется с другими исследованиями данной территории [7, с. 105554]. Исключением являются почвы, образованные на песчаных отложениях, где отмечается преобладание тяжелых РЗЭ, указывающее на ослабление процессов выветривания в верхних горизонтах этих почв или на плохую дифференциацию материала [8, с. 90].

Отношения La/Nb и Y/Nb всех изученных разрезов показало, что в породе эти соотношения всегда выше, чем в верхних горизонтах изученных почв. Так же выявлено, что под черноземами, которые в большинстве своем сформировались на лессово-карбонатных суглинках, эти соотношения выше. Предполагают, что фракционирование Nb из редкоземельных элементов определяет процессы дифференциации при осадконакоплении [6, с. 3323], что в нашем исследовании хорошо проявилось при сравнении разных почвообразующих пород.

Таким образом, наше исследование показало, что распределение РЗЭ в изученном ряду почв хорошо отражает их распределение в зависимости

от почвообразующей породы, степени выветривания и текстурной дифференциации профиля. Для лёссово-карбонатных суглинков характерно обогащение легкими РЗЭ, а для песчаных отложений выявлено преобладание тяжелых РЗЭ. Отношения La/Nb и Y/Nb так же хорошо индицируют разность в составе почвообразующих пород и почв, сформированных на них, отражая явное фракционирование Nb из РЗЭ в лёссово-карбонатных суглинках.

**Благодарности.** Исследование почвообразующих пород (аллювиально-морских отложений, лёссов, морен) выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-27-00145).

### Библиографические ссылки

1. *Taylor S. R., Mclennan S. M.* The geochemical evolution of the continental crust // *Rev. Geophys.* 1995. Vol. 33 (2). P. 241–265.
2. *Lee S. G., Kim J. K., Yang D. Y., Kim J. Y.* Rare earth element geochemistry and Nd isotope composition of stream sediments, south Han River drainage basin, Korea // *Quaternary International*, 2008. Vol. 176–177. P. 121–134.
3. *Andrade G. R. P., Cuadros J., Barbosa J. M. P., Vidal-Torrado P.* Clay minerals control rare earth elements (REE) fractionation in Brazilian mangrove soils // *Catena*, 2022. Vol. 209. P. 105855.
4. *Балашов Ю. А.* Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
5. *Hu J., Wang H., Wang M.* Provenance and tectonic setting of siliciclastic rocks associated with the Neoproterozoic Dahongliutan BIF: implications for the Precambrian crustal evolution of the Western Kunlun orogenic belt, NW China // *J. Asian Earth Sci.* 2017. Vol. 147. P. 95–115.
6. *Hao O., Guo Z., Qiao Y., Xu B., Oldfield F.* Geochemical evidence for the provenance of middle Pleistocene loess deposits in southern China // *Quaternary Science Reviews*. 2010. Vol. 29. P. 3317–3326.
7. *Kalinin P. I., Kudrevatykh I. Yu., Malyshev V. V., Pilguy L. S., Buhonov A. V., Mitenko G. V., Alekseev A. O.* Chemical weathering in semi-arid soils of the Russian plain // *Catena*, 2021. Vol. 206. P. 105554.
8. *Muhs D. R.* The geochemistry of loess: Asian and North American deposits compared // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2018. Vol. 155. P. 81–115.

## КИСЛОТНОСТЬ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ ДЕРНОВОЙ ПОЛУГИДРОМОРФНОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МИКРОРЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

С.М. Мижуй, А.П. Пехота

*Мозырский государственный педагогический университет  
им. И.П. Шамякина, Мозырь, Беларусь, email: [smizhuy@mail.ru](mailto:smizhuy@mail.ru)*

Целью работы являлось изучение кислотности генетических горизонтов дерновой полугидроморфной песчаной почвы в зависимости от микрорельефа местности. Исследования проводились в 2019 г. на территории Михалковского лесничества заказника «Стрельский» Гомельской области. Разрезы закладывались последовательно сверху вниз по склону. При движении от вершины к подножию холма отмечено повышение всех трех типов кислотности гумусово-аккумулятивного и первого иллювиального горизонтов. Наибольшие изменения во втором иллювиальном горизонте и материнской породе отмечены у показателя обменной кислотности. Актуальная и гидролитическая кислотность в данных генетических горизонтах практически не изменялись.

**Ключевые слова:** дерновая полугидроморфная песчаная почва; актуальная кислотность; обменная кислотность; гидролитическая кислотность.

Одна из важнейших характеристик почвы – это ее кислотность (рН). Она показывает концентрацию ионов водорода, определяющих кислотно-щелочной баланс грунта. Большинство культурных и диких растений предпочитают слабокислые и нейтральные почвы. Но если грунт сильно-кислый или щелочной, выращивать даже самые неприхотливые растения на нем будет сложно.

Понятие кислотности почвы относится к реакции почвенной среды, которая может быть как кислой, так и щелочной. Зависит она от концентрации ионов водорода и обозначается как рН. Если этот уровень выше семи, то реакция почвы щелочная, ниже семи – кислая. При этом кислые почвы классифицируются на несколько подвидов в зависимости от показателей уровня рН [1].

Выделяют следующие формы кислотности почвы: актуальная – кислотность почвенного раствора, которая зависит от наличия свободных органических и минеральных кислот в почвенном растворе, ее степень оценивают по величине рН водной вытяжки; обменная – кислотность, обусловленная наличием в почвенно-поглопителем комплексе обменных катионов водорода и алюминия, ее степень оценивают по величине рН солевой вытяжки [2]; гидролитическая – кислотность, обусловленная



ионами водорода, более прочно связанными в почвенном поглощающем комплексе и способными обмениваться на основания только в нейтральной или щелочной среде. Эти ионы водорода труднее замещаются на основания и вытесняются в раствор только гидролитически щелочными солями [3].

Целью работы являлось изучение кислотности генетических горизонтов дерновой полугидроморфной песчаной почвы в зависимости от микрорельефа местности. Исследования проводились в весенне-летний период 2019 г. на территории Михалковского лесничества заказника «Стрельский» Гомельской области.

Для определения координат закладки почвенных разрезов была использована программа MAPS.ME. Закладку и морфологическое описание почвенных разрезов проводили согласно методик, описанных в изданиях [4, 5]. Отбор почв проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–84 [6,7]. Определение различных видов кислотности почв было выполнено на базе лаборатории биогеохимических исследований при кафедре химии и химической экологии Высшей школы естественных наук и технологий САФУ. Актуальную кислотность (рН водной вытяжки) определяли в соответствии с ГОСТ 26423–85; обменную кислотность (рН солевой вытяжки) по методу ЦИНАО (ГОСТ ГОСТ 26484–85); гидролитическую кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212–91) [6, 8-10].

Разрезы закладывались в 68 квартале Михалковского лесничества. Разрезы располагались последовательно сверху вниз по склону в сторону оврага. Разрез №1 находился в верхней части склона, разрез № 2 – в средней, разрез № 3 – в нижней части склона. Координаты закладки почвенных разрезов: 51°58' N, 29°24' E.

В качестве объекта исследования выступила дерновая полугидроморфная песчаная почва. По мере движения от вершины к подножию холма отмечено увеличение всех трех типов кислотности гумусово-аккумулятивного горизонта почв (рис. 1). Особенно сильно это наблюдалось в отношении актуальной кислотности: от 3,55 в верхней части до 5,19 в нижней части склона. Разница составила 1,64 или 31,6 %. Несколько слабее изменялась актуальная кислотность: с 4,88 на вершине до 6,23 у подножия. Изменения составили 21,7 %. Гидролитическая кислотность практически не изменилась (5,3 %).

Также при движении от вершины к подножию холма отмечено повышение всех трех типов кислотности 1-ого иллювиального горизонта анализируемых почв (рис. 2).

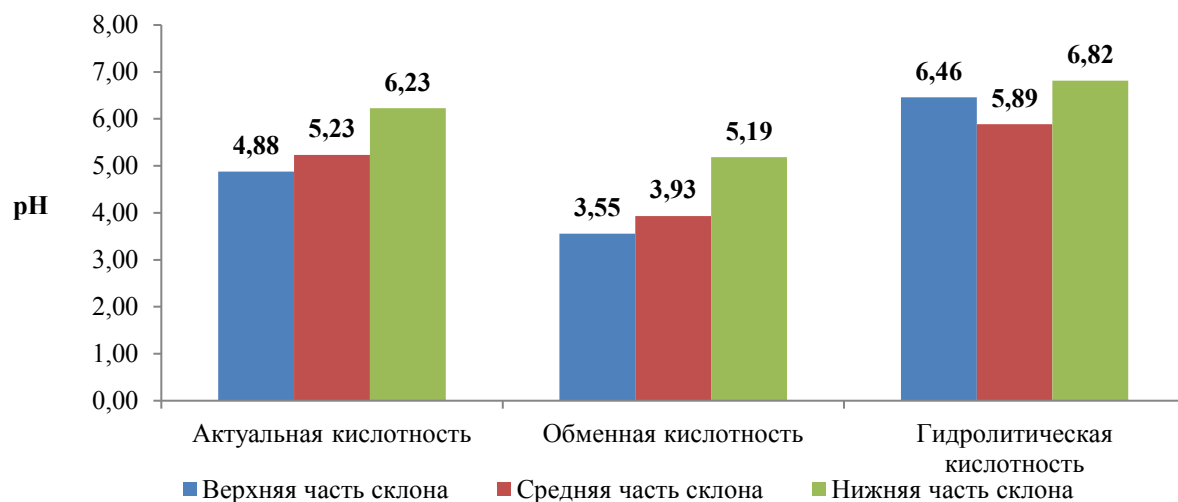


Рис. 1. Изменение кислотности гумусово-аккумулятивного горизонта А<sub>1</sub> в зависимости от местоположения на холме

Особенно сильно различие наблюдалось в отношении обменной и актуальной кислотности. Разница показателей в почвах на вершине и у подножья холма составила 1,56 и 1,31 или 28,6 % и 20,4 % соответственно. Однако при этом гидролитическая кислотность практически не изменилась (0,25 или 3,4 %).

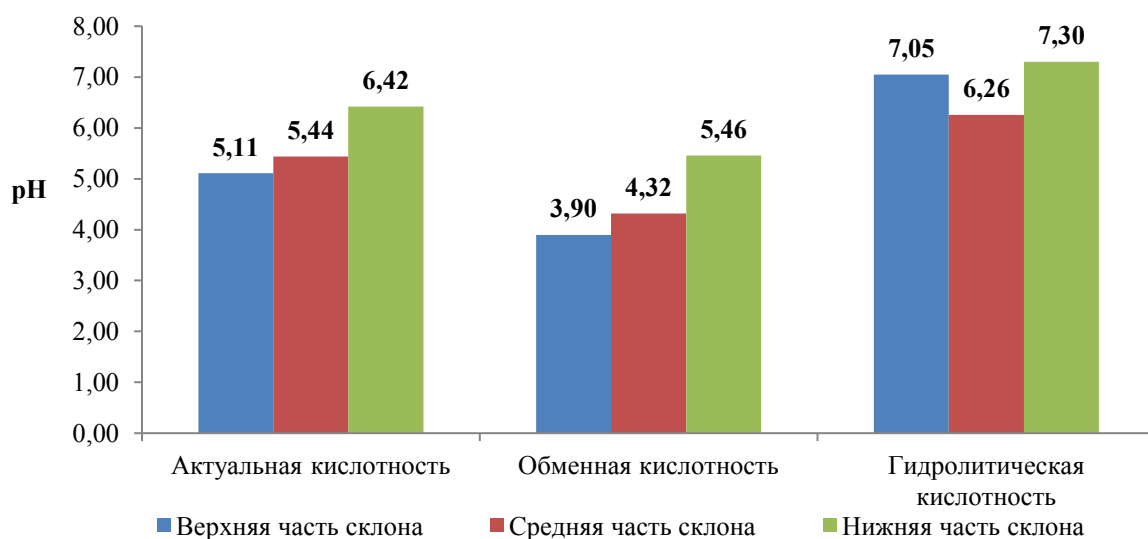


Рис. 2. Изменение кислотности почвенного горизонта В<sub>1</sub> в зависимости от местоположения на холме

Изменение реакции среды 2-ого иллювиального горизонта почвы представлено на рисунке 3. Данный горизонт встречался только в верхней и средней частях склона. Наиболее изменился показатель обменной кислотности – на 0,6 или 15,1 %. Актуальная и гидролитическая кислотность практически не изменялись (5,3 % и 1,8 % соответственно).

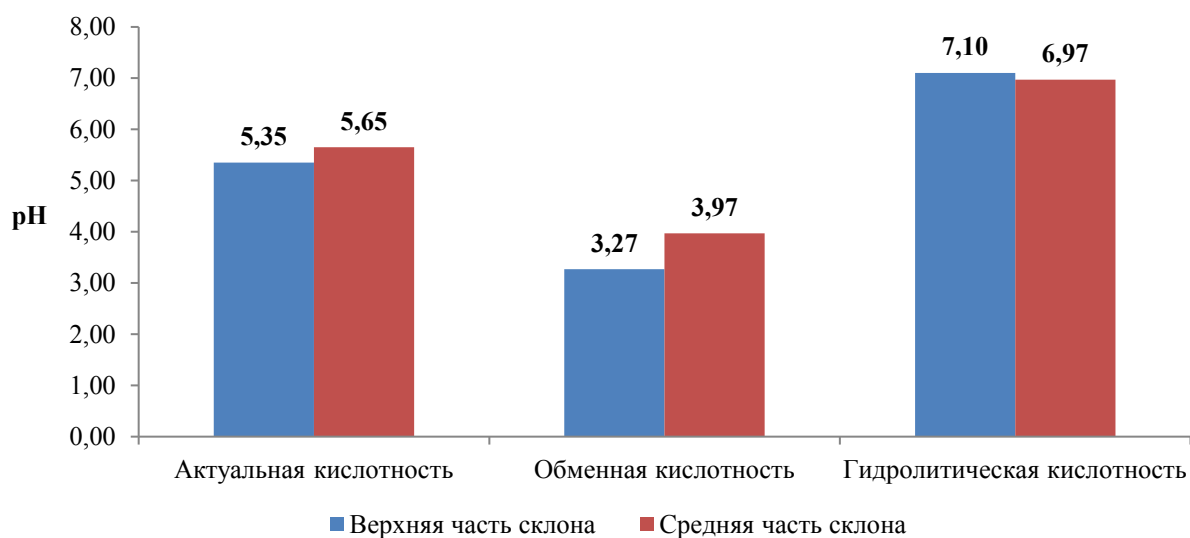


Рис. 3. Изменение кислотности горизонта В<sub>2</sub> в зависимости от местоположения на холме

Изменение реакции среды почвенного горизонта материнской породы представлено на рисунке 4. Данный горизонт встречался только в средней и нижней частях склона.

Наибольшие изменения были отмечены по показателю обменной кислотности – 0,67 или 12,2 %. Повышение актуальной кислотности составило 0,45 или 6,9 %. Актуальная кислотность практически не изменялась (0,21 или 2,8 %).

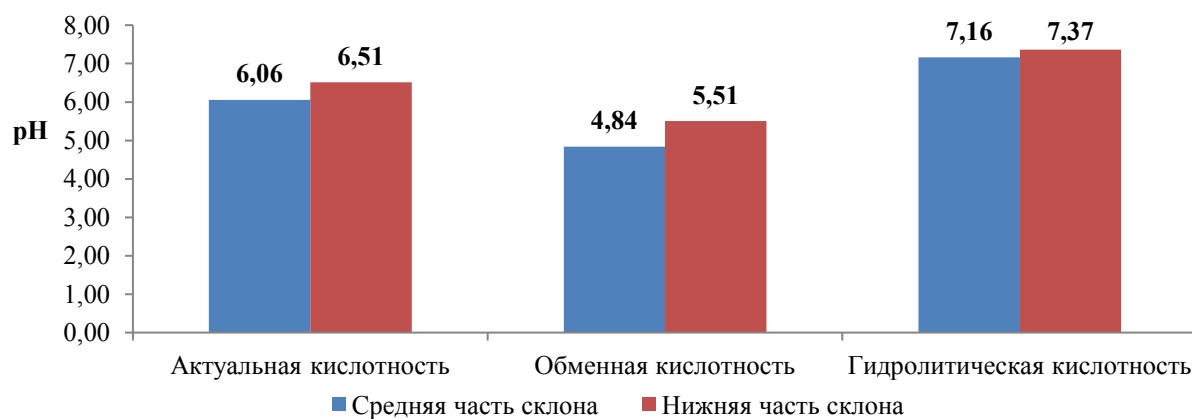


Рис. 4. Изменение кислотности материнской породы в зависимости от местоположения на холме

Обобщая все приведенные результаты, можно говорить, что наибольшей изменчивостью для лесных почв при движении сверху вниз по склону

обладает показатель обменной кислотности, несколько меньшая изменчивость присуща актуальной кислотности, и наибольшей стабильностью характеризуется показатель гидролитической кислотности.

### Библиографические ссылки

1. Кислотность почвы: тенденции и борьба / [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://udobreniya.evrohimservis.ru/library/articles/2246/> Дата доступа: 31.05.2023.
2. *Апарин Б. Ф.* Почвоведение: учебник для образоват. учреждений сред. проф. образования. Москва: Издательский центр «Академия», 2012. 256 с.
3. *Берденникова Ю. А., Трофимова А. Н.* Анализ кислотности почвы п. Соловецкого // Молодой учёный. 2020. № 2 (292). С. 341–344.
4. Морфология почв : практикум / авторы-сост. Н. В. Клебанович [и др.]. Минск: БГУ, 2010. 26 с.
5. *Розанов Б. Г.* Морфология почв : учебник для высшей школы. М.: Академический Проект, 2004. 432 с.
6. *Федорец Н. Г., Медведева М. В.* Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
7. ГОСТ 17.4.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
8. ГОСТ 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
9. ГОСТ 26484–85. Почвы. Метод определения обменной кислотности.
10. ГОСТ 26212–91. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО.

## ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД В ПОЧВАХ ВНУТРИГОРНОГО ДАГЕСТАНА

Ш.К. Салихов, Г.Н. Гасанов, Ж.О. Кичева, М.А. Яхияев,  
Р.З. Усманов

*Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН,  
Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45, 367000, Россия,  
email: [salichov72@mail.ru](mailto:salichov72@mail.ru)*

Органический углерод является важным показателем плодородия почвы, играющим жизненно важную роль в связывании CO<sub>2</sub>. Запасы органического углерода в почвах являются основным ресурсом, снижение которого является одним из универсальных показателей деградации почв. Целью данного исследования было определение содержания и запасов органического углерода в почвах северной и южной экспозиций Внутригорного Дагестана. Впервые изучены плотность, содержание и запасы органического углерода на склонах северной и южной экспозиций, по гипсометрическим отметкам в пределах ландшафтных микрзон Внутригорного Дагестана. Плотность почв южного склона была выше плотности почв северного, причем разница была больше на вершине склона и составила для слоя 0–20 см – 3,91 %; для слоя 20–40 см – 8,67 %; для слоя 40–60 см – 3,81 %. Содержание органического углерода на склоне северной экспозиции было выше, на обоих склонах содержание его увеличивалось в направлении от низины склона до его вершины, например, в весенний период: от 1,99 до 9,52 % в слое 0–20 см; от 18,22 до 6,29 % в слое 20–40 см; от 8,65 до 1,77 % в слое 40–60 см. Запасы органического углерода значительно различались по склонам, преобладая на склоне северной экспозиции: в слое 0–20 см различие варьировало от 67,54 до 76,78 %; в слое 20–40 см – от 64,47 до 81,51 %; в слое 40–60 см – от 60,45 до 67,49 % в зависимости от сезона года и точки отбора.

**Ключевые слова:** экспозиция склона; ландшафтные микрзоны; почва; сезоны года; влажность почвы; плотность почвы; запасы органического углерода.

Почвенные ресурсы являются важнейшим компонентом наземных биогеоценозов, мощным аккумулятором энергии на Земле, регулятором состава атмосферы и гидросферы. Органический углерод почвы является ключевым показателем плодородия почвы, играющий жизненно важную роль в связывании CO<sub>2</sub> и других парниковых газов [1]. Запасы органического углерода в почвах являются основным планетарным ресурсом, снижение которого является одним из универсальных показателей деградации почв [2].

Существенное место в формировании почв занимает экспозиция и крутизна склонов, которые являются одними из важных факторов рельефа, играющих существенную роль в формировании запасов углерода, путем изменения режима поступления света, температуры, влаги, количества растительных остатков [3].

Склоны южной ориентации по сравнению с северными, как правило, отличаются меньшими (в 1,6 раза) запасами влаги в почве и большим количеством получаемой солнечной радиации (на 24 %) [4, 5]. В результате такой дифференциации на разноориентированных склонах создаются неравнозначные микроклиматические условия, определяющие разную направленность и интенсивность почвообразовательных процессов. Рельеф местности определяет степень и интенсивность такого фактора, воздействующего на почвенное плодородие, как водная эрозия. На южных склонах в связи с большим притоком солнечной радиации интенсивность снеготаяния выше, чем на северных, причем она увеличивается по мере возрастания крутизны склона. Это обуславливает более интенсивный смыл почвы с южных склонов. Склоны дифференцируются на разнокачественные ландшафтные микрозоны, в совокупности образующие парагенетические геосистемы или катены.

Мониторинг показателей почвенного покрова подразумевает прежде всего определение параметров общего азота и органического углерода отличающихся в зависимости от типа почвы, склоновой экспозиции, положения на катене, временного интервала [6-8].

Цель нашего исследования – определение содержания и запасов органического углерода в почвах северной и южной экспозиций Внутригорного Дагестана.

**Объекты и методы исследования.** Исследования проведены в 2022 г. на 6-ти пробных площадях двух полигон-трансект северного и южного склонов хребта Чакулабек, на территории Внутригорного Дагестана (Цудахарская экспериментальная база Горного ботанического сада Дагестанского ФИЦ РАН (1000 м н.у.м.)), в условиях заповедного режима.

Объектом исследования были почвы северной экспозиции – горная лугово-лесная карбонатная маломощная, эродированная тяжелосуглинистая на делювиальных карбонатных отложениях, южной экспозиции – горная лугово-степная на карбонатных отложениях сильно эродированная тяжелосуглинистая на делювиальных плотных известняковых отложениях.

Для определения содержания органического углерода из почвенных разрезов послойно, через каждые 20 см, отобраны образцы, в которых проведено определение углерода методом Тюрина, путем окисления органического вещества смесью  $H_2SO_4 + K_2Cr_2O_7$  и последующего определения на спектрофотометре КФК-2МП. На всех изученных участках определена

плотность почвы на глубинах 0–20, 20–40, 40–60 см в трехкратной повторности для расчета запасов органического углерода.

Запасы углерода вычислены по формуле:

$$Q = (m \times h \times d),$$

где Q – запасы органического углерода (кг/га) для почвенного слоя; m – содержание органического углерода, %; h – мощность почвенного слоя (см); d – плотность почвенного слоя, г/см<sup>3</sup>.

**Результаты исследования.** Полученные результаты изучения почв в исследуемом районе показали различие параметров почв в зависимости от места расположения экспериментальных участков (табл. 1, 2).

Таблица 1

Показатели почв на северном склоне (ЦЭБ ГорБС ДФИЦ РАН)

Глубина, см	Низина склона			Середина склона			Вершина склона		
	весна	лето	осень	весна	лето	осень	весна	лето	осень
Плотность, г/см <sup>3</sup>									
0-20	1,06	1,08	1,07	1,04	1,06	1,05	1,02	1,03	1,02
20-40	1,16	1,17	1,15	1,12	1,14	1,13	1,07	1,09	1,07
40-60	1,34	1,35	1,34	1,32	1,31	1,32	1,31	1,32	1,31
Влажность, %									
0-20	20,7	18,6	19,5	21,1	19,0	19,7	22,5	19,4	19,8
20-40	18,5	17,2	18,3	18,9	17,9	18,5	19,6	18,3	18,7
40-60	18,9	17,6	18,6	19,3	18,2	18,8	19,8	18,5	18,9
Содержание углерода, %									
0-20	2,63	2,09	2,34	2,69	2,3	2,41	2,94	2,51	2,63
20-40	1,56	1,46	1,49	1,85	1,7	1,81	1,97	1,73	1,84
40-60	0,6	0,59	0,58	0,66	0,62	0,59	0,67	0,65	0,6
Запасы углерода, т/га									
0-20	55,76	45,14	50,01	55,95	48,76	50,61	59,98	51,71	53,65
20-40	36,19	34,16	34,27	41,44	38,76	40,91	42,16	37,71	39,38
40-60	16,08	15,93	15,54	17,42	16,24	15,58	17,55	17,16	15,72

Плотность почв как северного, так и южного склонов увеличивалась с глубиной. Также происходило увеличение плотности в направлении от вершины склонов к их низинам. Плотность почв южного склона была выше почв северного, причем разница больше на вершине склона и составила для слоя 0–20 см – 3,91 %; для слоя 20–40 см – 8,67 %; для слоя 40–60 см – 3,81 %.

В отличие от плотности почв, влажность увеличивалась от низины склона к его вершине. Влажность почв была выше на склоне северной экспозиции и составила разницу в слое 0–20 см – от 35,26 до 52,76 %; в слое 20–40 см – от 5,71 до 18,06 %; 40–60 см – от 14,81 до 22,98 % в зависимости от сезона года и высотных отметок. На обоих склонах максимум влажности наблюдался весной, с уменьшением летом и незначительным увеличением осенью, относительно лета.

Таблица 2

**Показатели почв на южном склоне (ЦЭБ ГорБС ДФИЦ РАН)**

Глубина, см	Низина склона			Середина склона			Вершина склона		
	весна	лето	осень	весна	лето	осень	весна	лето	осень
Плотность, г/см <sup>3</sup>									
0-20	1,07	1,09	1,08	1,06	1,08	1,08	1,06	1,07	1,06
20-40	1,18	1,21	1,20	1,19	1,19	1,18	1,16	1,18	1,17
40-60	1,37	1,38	1,37	1,35	1,37	1,36	1,36	1,37	1,36
Влажность, %									
0-20	15,3	12,4	13,5	15,6	12,6	13,9	15,8	12,7	14,1
20-40	17,5	14,9	16,1	17,5	15,2	16,2	17,6	15,5	16,3
40-60	16,3	15,2	16,2	16,6	15,8	16,3	16,1	15,9	16,4
Содержание углерода, %									
0-20	1,76	1,59	1,68	1,88	1,64	1,78	1,94	1,68	1,76
20-40	1,25	1,01	1,03	1,32	1,05	1,12	1,35	1,08	1,12
40-60	0,37	0,35	0,36	0,39	0,37	0,38	0,42	0,39	0,39
Запасы углерода, т/га									
0-20	37,66	34,66	36,29	39,86	35,42	38,45	41,13	35,95	37,31
20-40	29,5	24,44	24,72	31,42	24,99	26,43	31,32	25,49	26,21
40-60	10,14	9,66	9,86	10,53	10,14	10,34	11,42	10,69	10,61

Содержание органического углерода преобладало на склоне северной экспозиции. На обоих склонах содержание его увеличивалось в направлении от низины склона до вершины, например, в весенний период: от 1,99 до 9,52 % в слое 0–20 см; от 18,22 до 6,29 % в слое 20–40 см; от 8,65 до 1,77 % в слое 40–60 см.

Запасы органического углерода в почвах участков соответственно плотности и содержанию углерода различались (табл. 1, 2). Запасы органического углерода значительно различались по склонам, преобладая на склоне северной экспозиции: в слое 0–20 см различие варьировало от 67,54 до 76,78 %; в слое 20–40 см – от 64,47 до 81,51 %; в слое 40–60 см – от 60,45 до 67,49 % в зависимости от сезона года и точки отбора.

Данные нашего изыскания в целом согласуются с итогами исследования А.А. Проценко с соавт. [9], которые при исследовании свойств почв



заповедных сообществ Центрально-Черноземного биосферного заповедника им. проф. В.В. Алехина (Стрелецкий участок) выявили, что почвы северного склона заповедного участка богаче по запасам гумуса, общего азота по сравнению с почвами южного склона.

### Библиографические ссылки

1. *Lal R.* Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture // *Journal of soil and water conservation.* 2015. Vol. 70, N 3. P. 55A–62A.
2. *Lorenz K., Lal R., Ehlers K.* Soil organic carbon stock as an indicator for monitoring land and soil degradation in relation to United Nations' Sustainable Development Goals // *Land Degrad Dev.* 2019. Vol. 30, N 7. P. 824–838.
3. *Наконечная М. А., Явтушенко В. Е.* Различия агроэкологических условий на склонах южной и северной экспозиций Центрально-Черноземной области // *Почвоведение.* 1988. № 10. С. 27–36.
4. *Чуян Г. А., Ермаков В. В., Чуян С. И.* Агрохимические свойства типичного чернозема в зависимости от экспозиции склона // *Почвоведение.* 1987. № 12. С. 39–46.
5. *Дергачева М. И., Ондар Е. Э., Захарова Е. Г.* Гумусовые профили горно-каштановых почв сложной катены (Центральная Тува) // *Сибирский экологический журнал.* 2010. № 3. С. 429–436.
6. *Мамаева Е. В., Галицкая П. Ю., Шафигуллин Б. У., Селивановская С. Ю.* Агрохимические и биологические характеристики склоновых почв // *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки.* 2012. № 3. С. 148–157.
7. *Винокуров И. Ю., Окорков В. В., Чернов О. С., Бибик Т. С., Корчагин А. А., Щукин И. М.* Влияние рельефа на содержание гумуса, элементов питания и водопрочных агрегатов в серых лесных почвах Владимирского Ополя // *Успехи современного естествознания.* 2019. № 1. С. 30–38.
8. *Шабанов Д. А., Мустафаева З. Р., Холина Т. А.* Экологический мониторинг показателей плодородия почв летних пастбищ северо-восточной части большого Кавказа // *Endless Light in Science.* 2022. № 3. С. 292–296.
9. *Проценко А. А., Гридасова О. В., Проценко Е. П., Караулова Л. Н., Лукьянчикова О. В., Протасова М. В., Неведров Н. П.* Изменения физико-химических свойств чернозема типичного на склонах Центрально-Черноземного заповедника в зависимости от экологических факторов // *Auditorium.* 2015. № 1 (5). С. 61–65.

## СОДЕРЖАНИЕ И ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ ГОРОДСКОГО УЧАСТКА ПОЙМЫ р. ДЕСНА

Г.В. Чекин

*ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет,  
с. Кокино, Брянская область, Россия, email: [gb-swamp@yandex.ru](mailto:gb-swamp@yandex.ru)*

В аллювиальных почвах участка поймы в пределах города показано валовое содержание тяжелых металлов и их подвижных форм. Превышение уровня предельно допустимой концентрации не отмечено. Распределение по профилю в основном не имеет четких закономерностей, являясь относительно равномерным, за исключением материнской породы, в которой содержание тяжелых металлов как правило меньше. Отмечена высокая подвижность кадмия.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы; аллювиальные почвы; подвижные формы; валовое содержание.

Содержание и распределение микроэлементов в почвах аллювиальных ландшафтов лимитируется рядом факторов, таких как высокая сезонная изменчивость, сильная пестрота почвенного покрова, паводковые воды, показатели почвенного плодородия. Аллювиальные ландшафты с одной стороны аккумулируют материал, поступающий с территории водосбора, с другой стороны – приносимый паводковыми водами. Это обуславливает особую роль данных ландшафтов и особенно почвенного компонента, как маркера техногенно-геохимических преобразования в бассейне реки. При этом общее содержание металлов позволяет оценить загрязненность изучаемого участка, но не их подвижность и биодоступность. Степень угрозы металла определяется не его общей концентрацией, а подвижными формами, которые могут быть потенциально поглощены живыми организмами. Следовательно, важно контролировать количество, биодоступность и пространственное распределение металлов, накопленных в аллювиальных почвах пойм рек [2–5].

Цель данной работы – вертикальное распределение металлов в профиле аллювиальных почв участка поймы в пределах города Брянска.

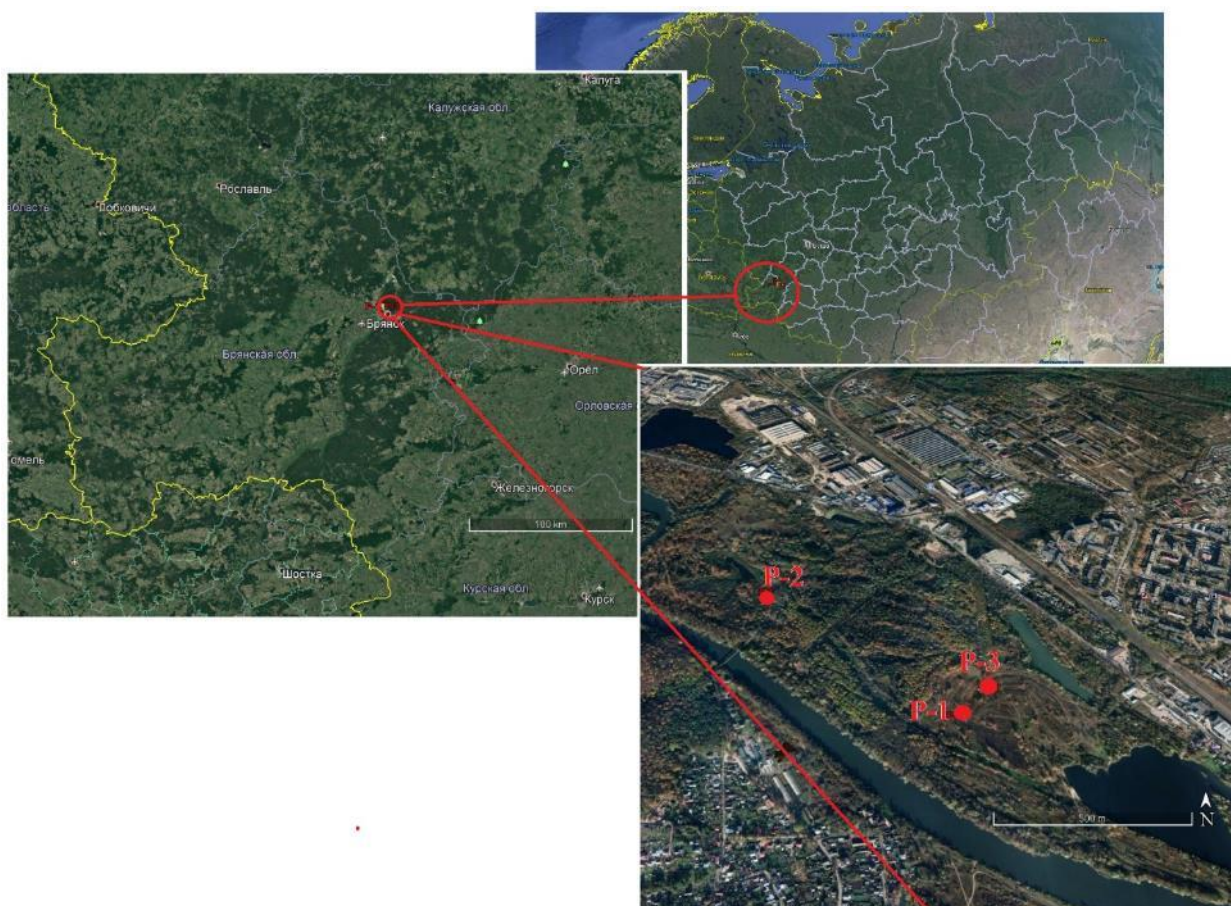
Образцы почв и растений были отобраны на левобережной пойме р. Десна в пределах особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Роща Соловьи» в черте г. Брянска, в 2019 году (рис.).

Почвы и соответствующие растительные сообщества в местах пробо-  
отбора следующие:

Разрез 1. Аллювиальная слоистая мелкая супесчаная на погребенной почве. Болотно-чистецовое сообщество (чистец болотный *Stachys palustris*, та-волга вязолистная *Filipendula ulmaria*, крапива двудомная *Urtica dioica*);

Разрез 2. Аллювиальная слоистая глеевая мелкая супесчаная почва. Жерушниковое сообщество (жерушник земноводный *Rorippa amphibia*, омежник водный *Oenanthe aquatica*);

Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая мелкая супесчаная почва. Раз-нотравно-злаковое сообщество (лисохвост луговой *Alopecurus pratensis*, мятлик луговой *Poa pratensis*, овсяница луговая *Festuca pratensis*, горошек мышиный *Vicia cracca*, луговик дернистый *Deschampsia cespitosa*, клевер луговой *Trifolium pratense*, тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium*, чина луговая *Lathyrus pratensis*, василек луговой *Centaurea jacea*);



Расположение точек отбора почвенных образцов

Почвы классифицированы в соответствии с [1]. Образцы отбирались со стенки разреза методом почвенных ключей. Каждый ключевой участок состоял из пяти точек пробоотбора (в центре – полнопрофильный разрез,

по углам «конверта» – полуямы. К анализам образцы подготавливали общепринятыми методами. Разложение почв для валового определения микроэлементов осуществляли смесью концентрированных азотной и плавиковой кислоты с помощью микроволновой системы MARS 6. Подвижные формы извлекали ацетат аммонийным буферным раствором с pH 4,8. Содержание микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом (приборы: Shimadzu-7000, Квант-Z.ЭТА). Анализы выполнены в испытательной лаборатории Центра коллективного пользования приборным и научным оборудованием при ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Содержание валового количества и подвижных форм тяжелых металлов представлено в таблице.

**Содержание ТМ в почвах (числитель – валовое, знаменатель – подвижной)**

Горизонт, см		Cu	Ni	Zn	Cd	Pb
		мг/кг				
Разрез 1. Аллювиальная слоистая мелкая супесчаная на погребенной почве						
W	5-10	<u>38,78</u> 0,40	<u>21,39</u> 1,19	<u>61,66</u> 17,69	<u>0,55</u> 0,54	<u>23,95</u> 5,23
Cg <sup>~</sup>	15-30	<u>40,17</u> 0,50	<u>26,77</u> 2,13	<u>51,00</u> 13,46	<u>0,35</u> 0,35	<u>11,83</u> 0,39
[T <sub>pir</sub> ] <sup>'</sup>	30-32	<u>46,03</u> 0,96	<u>36,56</u> 1,57	<u>56,46</u> 8,00	<u>0,32</u> 0,20	<u>14,82</u> 0,42
[C <sup>~</sup> ] <sup>'</sup>	32-45	<u>45,12</u> 0,39	<u>23,65</u> 1,65	<u>56,02</u> 14,26	<u>0,43</u> 0,40	<u>12,38</u> 1,49
[T <sub>mr</sub> ] <sup>''</sup>	45-50	<u>44,81</u> 0,32	<u>31,49</u> 1,58	<u>61,33</u> 13,58	<u>0,54</u> 0,42	<u>9,59</u> 1,43
[T] <sup>''</sup>	50-90	<u>34,66</u> 0,30	<u>35,16</u> 1,67	<u>43,00</u> 20,52	<u>0,24</u> 0,22	<u>2,94</u> 0,23
[C <sup>~</sup> ] <sup>''</sup>	90-...	<u>9,25</u> 0,28	<u>1,00</u> 0,71	<u>16,16</u> 1,04	<u>0,02</u> 0,02	<u>3,00</u> 0,28
Разрез 2. Аллювиальная слоистая глеевая мелкая супесчаная						
W	0-15	<u>27,14</u> 0,42	<u>10,44</u> 1,43	<u>43,62</u> 18,66	<u>0,34</u> 0,34	<u>14,14</u> 3,17
Cg <sup>~</sup>	15-...	<u>47,68</u> 0,52	<u>20,64</u> 1,55	<u>43,40</u> 9,76	<u>0,53</u> 0,53	<u>11,58</u> 0,59
Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая мелкая супесчаная						
AУ	0-20	<u>35,07</u> 0,14	<u>16,07</u> 1,63	<u>24,49</u> 2,07	<u>0,07</u> 0,05	<u>11,64</u> 0,55
C <sup>~</sup>	20-70	<u>21,04</u> 0,34	<u>2,25</u> 1,44	<u>17,85</u> 0,03	<u>0,02</u> 0,01	<u>9,00</u> 0,25
C <sub>1</sub> <sup>~</sup>	70-...	<u>8,48</u> 0,28	<u>1,00</u> 0,62	<u>10,64</u> 0,35	<u>0,01</u> следы	<u>2,37</u> 0,11

Валовое содержание меди в рассматриваемых почвах среднее. Общих закономерностей в профильном распределении не наблюдается. Обращает внимание низкая подвижность данного элемента, однако его содержание соответствует от средней до высокой обеспеченности.

Валовое содержание никеля среднее, за исключением материнской породы разреза 3, и погребенного горизонта С разреза 1. Содержание подвижной формы на уровне 3–6 %.

Валовое содержание цинка среднее для разрезов 1 и 2 и низкое для разреза 3. Распределение по профилю практически равномерное, без резкого изменения концентрации. Отмечено высокое содержание подвижной формы по шкале обеспеченности почв.

Отмечено высокое либо повышенное содержание валового кадмия в почвах разрезов 1 и 2, вероятно, связанное с их положением в рельефе. В почве разреза 3 валовое содержание кадмия низкое или очень низкое. Отмечена высокая (до 100 %) подвижность данного элемента, которая может указывать на техногенное его происхождение.

Для валового содержания свинца содержание варьирует от среднего до очень низкого. По профилю происходит уменьшение содержания. Содержание подвижной формы варьирует в широких пределах, доходя до 20 % от валового.

### Библиографические ссылки

1. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Мартынов А. В. Содержание подвижных форм микроэлементов в аллювиальных почвах поймы среднего течения р. Амур и влияние на них паводка 2013 года // Вестник ВГУ, серия: География. Геоэкология. 2019. № 2. С. 32–39.
3. Фащевский Б. В. Экологическое значение поймы в речных экосистемах // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2007. № 5. С. 118–129.
4. Jafarabadi R., Bakhtiyari A. R., Toosi A. S., Jadot C. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran // *Chemosphere*. 2017. Vol. 185. P. 1090–1111.
5. Kałmykow-Piwińska A., Falkowska E. Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecka (central Poland) // *Open Geosciences*. 2020. Vol. 12, No. 1. P. 1036–1051.

## ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ

Н.В. Клебанович<sup>1)</sup>, М.А. Ересько<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
email: [Klebanovich@bsu.by](mailto:Klebanovich@bsu.by)

<sup>2)</sup> РУП «Бел НИЦ «Экология», Минск, Беларусь, email: [kisa\\_marina@mail.ru](mailto:kisa_marina@mail.ru)

Констатируется широкое развитие кислых почв в мире и возможность ускоренного антропогенного подкисления почв. Для нейтрализации кислотности применимы любые известковые материалы, чаще представленные карбонатом кальция. Пока остается в дискуссионном поле целесообразность известкования лесных почв и водных объектов, что во многих случаях положительно влияет на экосистемы. Констатируется недостаточность объемов внесения известковых мелиорантов в нынешнем столетии в Беларуси на уровне 1,0–1,2 млн. т – 40–50 % от потребности. Необходимо увеличить в 2,5–3,0 раз масштабы известкования сельскохозяйственных земель в республике, до 2,8 млн т СаСО<sub>3</sub> ежегодно, что обеспечит нулевую деградацию почв в части их подкисления и принесет экономическую выгоду в виде повышения продуктивности полей и лугов.

**Ключевые слова:** подкисление почв; нейтрализация кислотности; известкование.

Подкисление почвы – естественный, долгосрочный процесс, заключающийся в себе выщелачивание основных катионов из почвы, который может быть ускорен агроменеджментом, особенно использованием физиологически кислых азотных удобрений, кислотным осаждением с твердыми или жидкими осадками. В природе кислые почвы особенно часто встречаются в районах гумидного климата, таких как Беларусь. До 30 % непокрытых льдом земель (около 4 млрд. га) содержат кислые почвы (рН ниже 5,5), а половина потенциально пахотнопригодных земель в мире является кислой [1]. Подкисление почвы ограничивает доступность питательных веществ для растений, что может приводить к повышению уровня токсичности растворимого алюминия и марганца. Устранение этой угрозы влечет за собой экономические и экологические издержки, связанные с применением извести и других материалов, снижающих кислотность почв.

Использование для нейтрализации избыточной кислотности различных форм извести достаточно хорошо и подробно описано в литературе. Для известкования пригодны любые материалы, представляющие собой кальциевые соли слабых кислот. На многих островах Океании, например, широко используют измельченные кораллы. Так, специалисты из государства Самоа [2] рекомендуют вносить в почву 2–15 т/га тонкой коралловой

известки для достижения оптимального уровня рН – 6,0–6,5. Коралловую известь для известкования полей в Южной Австралии практикуют уже более 100 лет, так как подкисление почвы является естественным процессом для этой территории, но степень подкисления почв увеличивается из-за большого объема использования азотных удобрений, большой интенсивности возделывания культур, удаления кальция с высокими урожаями [3]. Когда рН (в CaCl<sub>2</sub>) почвы падает ниже 5,0, продуктивность и здоровье сельскохозяйственных культур и пастбищных трав начинают ухудшаться, токсичные количества алюминия могут выделяться в почвенный раствор, микробная активность начинает снижаться. Профилактика является лучшей стратегией, и цель состоит в том, чтобы поддерживать рН почвы (0–10 см) выше рН 5,5 (в CaCl<sub>2</sub>), поэтому известкование носит массовый характер.

При всех очевидных преимуществах известкования сельскохозяйственных земель остается открытым пока вопрос о возможности и целесообразности коррекции рН лесных земель или земель под водными объектами. В Чехии известкование лесных массивов перестало носить единственный характер [4]. Известкование изменяет свойства сорбционного комплекса лесных почв, увеличивая емкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями [5–6], даже после внесения известняка с воздуха [6]. Есть данные о существенном стимулировании нитрификации известкованием [7, 8], а также дыхания почв в пределах лесной подстилки [5].

Французские ученые выявили значительную эффективность известкования лесов [9]. Большинство лесных экосистем произрастают на кислых и бедных питательными веществами почвах. Когда нагрузка, которую испытывают низкоплодородные лесные экосистемы, слишком велика, могут происходить потери питательных веществ и функций экосистемы, а конечной стадией этого процесса является угасание лесов. В таких случаях известкование леса является решением для восстановления плодородия почвы и снижения ее кислотности, глобального улучшения функционирования экосистемы и компенсации потерь питательных веществ, вызванных заготовкой и вывозом биомассы. Влияние известкования на листовые концентрации и рост деревьев все еще наблюдалось через 40 лет, скорее всего, потому, что биологический круговорот этих элементов был более динамичным на известкованных участках. Известкование увеличило скорость разложения органического слоя почвы, эффекты известкования варьировали между участками в зависимости от продукта и количества известкования, а также от исходного уровня химического плодородия почвы, поэтому планирование известкования требует тщательной диагностики химического плодородия почвы.



В ряде стран известкование рассматривается и как способ улучшения водных сред. В обстоятельном обзоре S.J. Ormerod [10] показано, что добавление карбоната кальция в водосборные бассейны или водотоки – известкование – широко использовалось последние десятилетия для смягчения подкисления пресной воды. Проведенный систематический обзор и метаанализ воздействия известкования ручьев и рек на две ключевые группы речных организмов, рыб и беспозвоночных, показал, что в среднем известкование увеличило численность и богатство чувствительных к кислоте беспозвоночных и увеличило общую численность рыбы, но преимущества были переменными и не гарантированными во всех реках. Показано, что известкование в некоторых случаях может смягчить симптомы подкисления, но эффекты неоднозначны.

В Республике Беларусь такой важной проблеме охраны почв как нейтрализация избыточной кислотности уделяется последние годы мало внимания. Лесные почвы в стране не известковались никогда. За последние 20 лет в связи с уменьшением объемов известкования прослеживается тенденция к подкислению почв и увеличению удельного веса кислых почв как на пахотных, так и на луговых землях. Объемы внесения доломитовой муки и других известковых мелиорантов в нынешнем столетии были на уровне 1,0–1,2 млн. т при ежегодной потребности в 2,5 млн. т [11]. Сейчас потребность сельскохозяйственных земель в известковых мелиорантах увеличилась, по нашим расчетам она уже превышает 2,8 млн. т ежегодно, в том числе на пашне – 2,23 млн. т, на почвах улучшенных лугов – 0,63 млн. т.

Необходимо увеличить в 2,5–3,0 раз масштабы известкования сельскохозяйственных земель в республике, до 2,8 млн т CaCO<sub>3</sub> ежегодно, что обеспечит нулевую деградацию почв в части их подкисления и принесет экономическую выгоду в виде повышения продуктивности полей и лугов.

### Библиографические ссылки

1. Kochian L. V., Pineros M. A., Liu J., Magalhaes J. V. Plant adaptation to acid soils: The molecular basis for crop aluminum resistance // Annual Review of Plant Biology. 2015. Vol. 66. P. 571–598.
2. Bekker A. W., Yapa L. G. G. Improving Pacific Acid Soils Using Coralline Lime. Booklet. URL: [https://www.ctahr.hawaii.edu/adap/Publications/Ireta\\_pubs/acid\\_soils.pdf](https://www.ctahr.hawaii.edu/adap/Publications/Ireta_pubs/acid_soils.pdf) Дата доступа: 28.08.2023.
3. Soil acidity in South Australia. URL: <https://agex.org.au/projects/soil-acidity/> Дата доступа: 25.08.2023.
4. Formánek P., Vranová V. A contribution to the effect of liming on forest soils: review of literature // J. of Forest Science. 2002. Vol. 48 (4). P. 182–190.
5. Kreutzer K. Effects of forest liming on soil processes // Plant and Soil. 1995. Vol. 168–169. P. 447–470.



6. *Podrázský V.* Změny chemismu skarifikovaného a neskarifikovaného horského humusového podzolu po vápnění // *Zpr. Lesn. Výzk.* 1992. Vol. XXXVII (1). P. 22–25.
7. *Schuller G.* Forest liming as soil protection // *Allg. Forstz.* 1995. Vol. 50. P. 430–433.
8. *Nommik H.* The future role of liming in forestry // *Kungl. Skogs-och. Lantbruksakademiens Tidsskr.* 1979. Vol. 13. P. 31–37.
9. Long-term effects of forest liming on mineral soil, organic layer and foliage chemistry / *M. Court [et al.]* // *Forest Ecology and Management.* 2018. Vol. 409. P. 872–889. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112717315979> Дата доступа: 22.08.2023.
10. *Ormerod S. J.* A systematic review of the effectiveness of liming to mitigate impacts of river acidification on fish and macro-invertebrates *Environmental Pollution.* Vol. 179, August 2013, P. 285–293.
11. *Клебанович Н. В., Василюк Г. В.* Известкование почв Беларуси. Минск: БГУ, 2003. 322 с.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВАХ САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОН ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

С.И. Кузьмин<sup>1)</sup>, С.Д. Дробенок<sup>2)</sup>, В.М. Лаппо<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь,  
email: [kuzminsaweliy@bsu.by](mailto:kuzminsaweliy@bsu.by)

<sup>2)</sup> Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь,  
email: [geo.drobenok@bsu.by](mailto:geo.drobenok@bsu.by)

<sup>3)</sup> Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь,  
email: [basil.lappo@gmail.com](mailto:basil.lappo@gmail.com)

В статье представлены результаты научных исследований по оценке распределения тяжелых металлов и нефтепродуктов в почвах земель, подверженных воздействию полигонов захоронения твердых коммунальных отходов (далее - полигонов ТКО). Рассмотрены основные закономерности распределения загрязняющих веществ в почвах в зависимости от функционального назначения земель, характера почвенно-экологических условий исследуемых территорий и потенциального влияния на почвы полигонов ТКО.

Установленные закономерности основываются на собственных полевых исследованиях и получены для рассматриваемых регионов впервые.

Для природопользователей, эксплуатирующих обследованные полигоны ТКО, разработаны предложения по охране почв (земель) и мероприятия по совершенствованию организации проведения локального мониторинга почв в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) в Республике Беларусь.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке схем внутрихозяйственного землеустройства сельскохозяйственных организаций, лесоустроительных схем, градостроительном проектировании, а также при принятии управленческих решений, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов.

**Ключевые слова:** почвы; концентрации тяжелых металлов и нефтепродуктов; химическое загрязнение почв; распределение; охрана почв.

Объекты размещения (захоронения) твердых коммунальных отходов представляют высокую опасность для окружающей среды и здоровья населения. Это проявляется, в первую очередь, через выделение от разлагающихся отходов различных газов (углекислого газа, сероводорода, аммиака, метана и др.), загрязняющих атмосферный воздух и усиливающих парниковый эффект, а также через воздействие на грунтовые и поверхностные воды, образующегося в теле захоронения ТКО токсичного филь-

трата [1, 2]. Негативное воздействие полигонов хранения ТКО может проявляться через перенос инфекционных болезней насекомыми, грызунами либо птицами, обитающими в районах размещения полигонов.

При несоблюдении санитарных норм и правил при захоронении отходов и их хранении, воздействие может распространяться и на почвенный покров земель, прилегающих к местам размещения полигонов ТКО.

Для предотвращения негативного воздействия полигонов ТКО на окружающую среду законодательством страны установлены специальные санитарно-защитные зоны. Их границы устанавливаются в пределах 500 м от границ полигонов. Несмотря на установление особого режима использования земель санитарно-защитных зон (к примеру, запрет на разведение и содержания в них животных, птиц, пчел; запрет на выращивание сельскохозяйственных культур, кроме кормовых и др.), производимая на этих землях продукция вовлекается в хозяйственный оборот и попадает человеку.

Придавая важность проблеме охраны почв в зонах воздействия полигонов ТКО, недопущения их химического загрязнения, а также в целях наблюдения за состоянием окружающей среды и воздействием на окружающую среду в районе осуществления хозяйственной и иной деятельности, которая оказывает вредное воздействие на окружающую среду, в Республике Беларусь организована система локального мониторинга почв. Из общего числа (236) объектов локального мониторинга почв 127 приходится на объекты размещения и эксплуатации полигонов ТКО как одному из наиболее представленному виду деятельности, неблагоприятно влияющему на окружающую среду.

В качестве основных материалов для исследования служили результаты полевого обследования почв в районах размещения 11 полигонов ТКО в период с 2018 по 2023 гг. и данные химико-аналитических работ по определению в отобранных в пределах санитарно-защитных зон (СЗЗ) полигонов пробах почв концентраций (валовые формы) тяжелых металлов (кадмий, медь, мышьяк, никель, свинец, хром, цинк, ртуть), нефтепродуктов, нитратов, сульфатов и азота аммонийного.

Основными методами обследования состояния почв в зонах расположения полигонов ТКО служили методы почвенно-геохимической съемки, ландшафтно-геохимического профилирования, а также метод обобщения картографических материалов (топографической и почвенной карт, карты видов земель, границ ЕГРНИ тематических слоев Геопортала ЗИС Республики Беларусь и др.).

Химико-аналитические исследования выполнены в «Центральной лаборатории» НПЦ по геологии, имеющей аккредитацию на соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025 (аттестат аккредитации №BY/112 1 1787.

Исследования включали предполевой, полевой и камеральный этапы. На каждом из этапов исследований решался определенный перечень задач.

Предполевой этап включал сбор исходной информации: данных о полигонах ТКО, условиях хранения отходов, инженерных сооружений, препятствующих распространению загрязнения от полигонов. На данном этапе проводился анализ геоморфологических, гидрогеологических и гидрогеохимических условий размещения полигонов.

Работы полевого этапа включали рекогносцировочные обследования территорий размещения полигонов, отбор проб почв и проведение анализа их загрязнения химическими веществами. На этом этапе работ осуществлялась корректировка границ пробных площадок с учетом существующего состояния исследуемой территории, привязка пробных площадок. Отбор проб осуществлялся в СЗЗ полигонов в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 и ГОСТ 17.4.4.02-84.

На камеральном этапе выполнялись работы по анализу нормативных и методических документов (в том числе методик (методов) исследований), используемых для оценки характера воздействия объектов хранения твердых коммунальных отходов на окружающую среду; анализ полученных данных и оценку состояния почв в зоне воздействия полигонов ТКО согласно 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», утвержденных Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 25 ноября 2021 г. № 13-Т «Об утверждении экологических норм и правил» и вступивших в силу с 1 июля 2022 г.

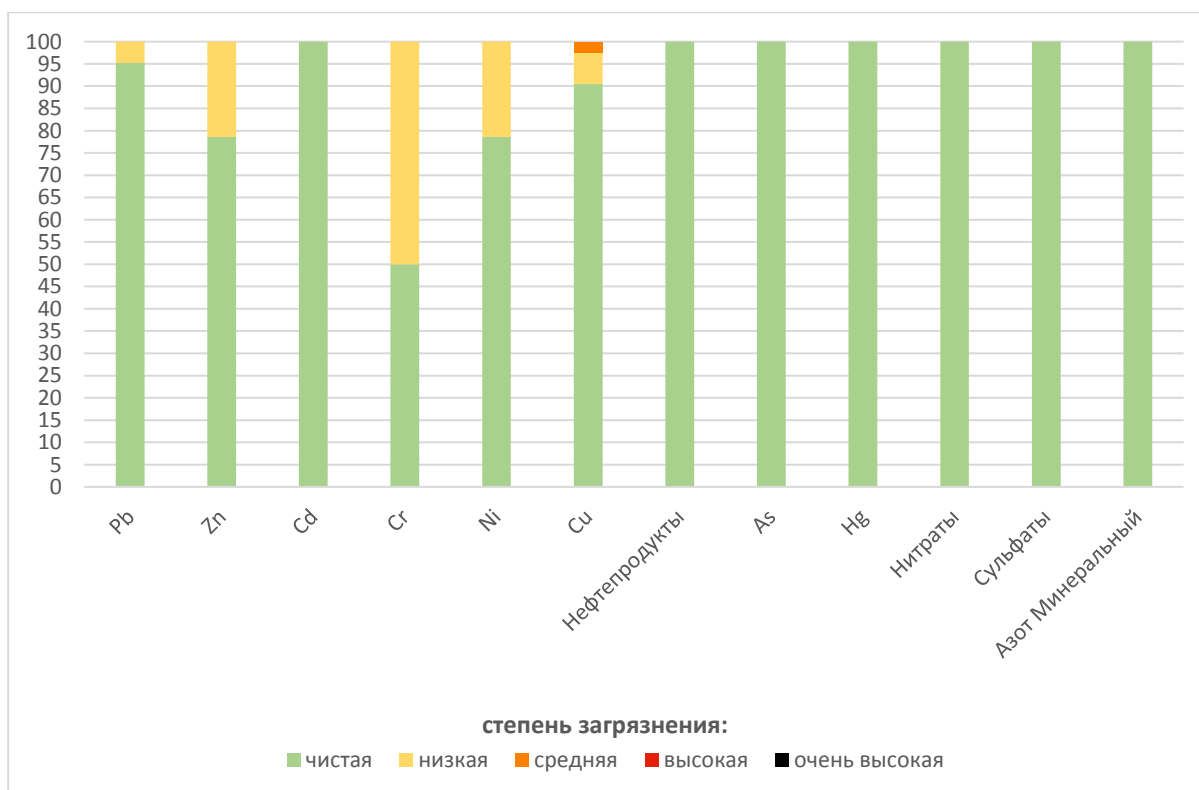
Результаты исследования указывают на то, что для всех анализируемых веществ (нефтепродукты, тяжелые металлы, нитраты, сульфаты и азот аммонийный) фактические концентрации в почвах земель, расположенных в СЗЗ полигонов захоронения ТКО, в подавляющем большинстве случаев не превышают пороговые значения, установленные ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 для почв (грунтов) различного гранулометрического состава, различных категорий земель, территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов, природных территорий, подлежащих особой и (или) специальной охране. Соответственно, исследуемые почвы классифицируются в этом случае как «незагрязненные» (табл.). Необходимо отметить, что концентрации загрязняющих веществ в почвах, к примеру, земель сельскохозяйственного назначения СЗС полигонов захоронения ТКО сопоставимы с концентрациями в почвах земель этой же категории, расположенных на территории национальных парков [3].

**Среднее содержание химических элементов (тяжелых металлов и нефтепродуктов) в почвах санитарно-защитных зон полигонов захоронения ТКО (мг/кг) земель различного функционального назначения**

Категории земель/пороговое значение низкой степени загрязнения почв данной группы	Вещества								
	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Cu	Нефтепродукты	As	Hg
Земли лесного фонда	14,15	47,02	<0,25	42,49	21,32	21,69	22,36	<0,1	<0,1
пороговое значение *	>27,5	>55,8	>0,73	>35,3	>16,7	>21,9	>42,5	>3,13	>1,21
Земли сельскохозяйственного назначения	19,56	68,20	0,41	64,16	14,25	23,49	21,28	<0,1	<0,1
пороговое значение *	>55,1	>112	>1,46	>70,5	>33,3	>43,7	>132	>6,26	>2,41
Земли иного назначения	61,15	137,23	0,59	51,12	28,12	38,23	27,95	<0,1	<0,1
пороговое значение *	>153	>323	>3,13	>166	>74,8	>114	>1263	>28,0	>9,59

*Примечание:* \*пороговое значение для всех групп земель приведено для супесчаного гранулометрического состава почв

Отсутствие загрязнения на всех объектах установлено, прежде всего, по Cd, As, Hg, нефтепродуктам, нитратам, сульфатам и азоту аммонийному (т.е. по 7 анализируемым веществам из 12) (рис.).



**Характер загрязнения почв земель, расположенных в СЗЗ полигонов захоронения ТКО**

Незначительные превышения («низкая степень загрязнения») в некоторых случаях были выявлены по Pb (не более 5 % от всех отобранных проб) и по Cu, Ni, Zn (процент проб с превышением для этих элементов изменялся от 5 до 20 %). Наиболее часто (до 50 % отобранных проб) загрязнение низкой степени фиксируется по Cr. За исключением единичных случаев («средняя степень загрязнения» по Cu), химического загрязнения почв с более высокой степенью в СЗЗ полигонов захоронения ТКО установлено не было.

Результаты выполненного исследования указывают на то, что для большинства проб (по Cd, As, Hg, нефтепродуктам, нитратам, сульфатам и азоту аммонийному) фактические концентрации анализируемых веществ в почвах земель, расположенных в СЗЗ зон размещения полигонов захоронения ТКО земель, не превышают пороговых значений, установленных ЭкоНП 17.03.01-001-2021 и классифицируются как «незагрязненные» данными веществами. Выявленные незначительные превышения, в основном, по Pb (не более 5 % от всех отобранных проб) и по Cu, Ni, Zn (соответственно до 20 %) на отдельных участках некоторых полигонов, как правило, соответствуют «низкой степени загрязнения». С учетом требований природоохранного законодательства для таких участков необходимо реализовывать природоохранные мероприятия. В случаях установленного загрязнения почв в СЗЗ полигонов захоронения ТКО сделать однозначное заключение о том, что загрязнителем в подобных случаях является предприятие, обслуживающее данный полигон, не представляется возможным, т.к. оно не является фактическим землепользователем территории, расположенной в СЗЗ полигона.

### **Библиографические ссылки**

1. Кузьмин С. И., Ересько М. А. Об организации локального мониторинга земель на предприятиях Республики Беларусь // Экология на предприятии. Мн., 2011. №4. С. 74–83.
2. Хомич В. С., Кузьмин С. И., Головатый С. Е., Кухарчик Т. И., Савченко С. В., Ересько М. А., Савченко В. В., Жаркина Н. И. Опыт проведения локального мониторинга земель в Беларуси / Плодородие почв и эффективное применение удобрений. Материалы международ. научно-практической конференции, 5–8 июля 2011 г., Минск (Беларусь). Мн., 2011. С. 136–138.
3. Лукашев О. В., Кузьмин С. И., Жуковская Н. В., Лукашева Н. Г. Закономерности распределения элементов-металлов в почвах земель Беларуси // Земля Беларуси. 2014. №2. С. 37–43.

## ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

С.В. Савченко<sup>1)</sup>, С.В. Какарека<sup>1)</sup>, В.В. Парфенов<sup>2)</sup>, С.В. Саливончик<sup>1)</sup>,  
В.С. Хомич<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail:  
[geosystem1@rambler.ru](mailto:geosystem1@rambler.ru)*

<sup>2)</sup> *ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю  
радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», Минск, Беларусь*

Представлен прогноз загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ) на территории Беларуси в естественных экосистемах, на сельскохозяйственных землях и в городах на период до 2035 г. Для прогнозирования содержания ТМ в почвах естественных и сельскохозяйственных экосистем использован балансовый метод. Для прогнозной оценки загрязнения почв в городах использован экстраполяционный метод. Как показали исследования, при инерционном сценарии к 2035 года для почв естественных угодий прогнозируется незначительное снижение концентрации кадмия, цинка, меди и увеличение свинца. На почвах сельскохозяйственных земель изменения более значительные и положительны для всех типов почв и по отношению ко всем исследуемым ТМ. По оптимистическому сценарию для почв естественных и сельскохозяйственных экосистем ожидается снижение концентраций всех исследованных ТМ. В большинстве городов прогнозируется увеличение уровней загрязнения почв цинком, снижение содержания свинца, меди и никеля.

**Ключевые слова:** почвы; тяжелые металлы; загрязнение; прогноз.

Согласно Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием/деградацией земель, одним из факторов ухудшения их количественных и качественных характеристик является химическое загрязнение почв. Несмотря на существующие в настоящее время тенденции снижения атмосферных выпадений и нагрузок ТМ на подстилающую поверхность вследствие принимаемых мер на глобальном и национальном уровнях, проблема загрязнения почв на сельскохозяйственных землях, в городах и зонах их влияния остается актуальной.

Институтом природопользования НАН Беларуси при участии специалистов из других учреждений разработан прогноз изменений и состояния земельных ресурсов и почв на территории Беларуси на период до 2035 г. [1]. В настоящей статье представлен прогноз загрязнения почв ТМ в естественных экосистемах, на сельскохозяйственных землях и в городах.

Для прогнозирования содержания химических веществ в почвах естественных и сельскохозяйственных экосистем использован балансовый метод. Суть метода заключается в оценке объема и интенсивности потоков, с которыми вещество поступает в почву (входные потоки) и утилизируется из нее (выходные потоки). Исходя из наличия исходных данных по почвам Беларуси, для прогнозирования аккумуляции в них ТМ выбран упрощенный метод расчета, предложенный [2]. Методология его реализации на примере административного района изложена в [3].

Рассмотрены два прогнозных сценария с различным возможным уровнем поступления ТМ в почву с минеральными и органическими удобрениями, а также атмосферными выпадениями. Инерционный сценарий предусматривает максимальное увеличение доз внесения удобрений, увеличение потоков атмосферных выпадений ТМ и сохранение текущих параметров урожайности сельскохозяйственных культур и характеристик почвенно-грунтового стока. Оптимистический сценарий подразумевает незначительное увеличение доз внесения минеральных и органических удобрений, повышение урожайности сельхозкультур, увеличение инфильтрационного стока, снижение интенсивности потоков атмосферных выпадений ТМ. Потоки ТМ от выветривания из почвообразующих пород и биопоглощения естественной растительностью для обоих сценариев остаются неизменными. Результатом прогноза явилась прогнозная оценка увеличения или уменьшения (в %) концентрации ТМ в поверхностном 10 см горизонте почв по состоянию на 2035 год.

Для прогнозной оценки загрязнения почв в городах, для которых имеются 15-30-летние ряды наблюдений в рамках НСМОС и научных исследований [4] использован экстраполяционный метод.

Рассчитанные (принятые) значения основных потоков свинца, цинка и меди на 2035 год, использованные при разработке прогноза загрязнения почв естественных и сельскохозяйственных экосистем Беларуси, представлены в таблице.

Уровни атмосферных выпадений свинца и кадмия на территорию Беларуси в последние годы составили в среднем 0,727 и 0,0359 мг/м<sup>2</sup>/год соответственно [5]. При сохранении существующей в настоящее время тенденции снижения нагрузок уровни выпадения свинца и кадмия могут снизиться к 2035 г. соответственно до 0,340 и 0,0071 мг/м<sup>2</sup>/год.

Поскольку моделирование уровней выпадения цинка и меди в Беларуси и расчеты этих потоков в рамках Программы ЕМЕП не проводятся, для оценки выпадений этих металлов использованы данные С. Е. Головатого: соответственно 193,7 и 53,2 г/га/год [6].

Для оценки потоков ТМ в почвы с удобрениями использованы данные об их поступлении с 1 кг минеральных и органических удобрений [6]. С



учетом прогноза структуры удобрений и общих объемов их внесения на 2035 г., рассчитанных И.М. Богдевичем [1], выполнены прогнозные оценки годовых потоков металлов для пахотных земель и улучшенных сенокосов и пастбищ (см. табл.).

**Рассчитанные (принятые) значения основных потоков свинца, цинка и меди на 2035 год, использованные при разработке прогноза загрязнения почв естественных и сельскохозяйственных экосистем Беларуси для инерционного (1) и оптимистического (2) сценариев, мг/м<sup>2</sup>/год**

Поток	Свинец		Цинк		Медь	
	1	2	1	2	1	2
Атмосферные выпадения	0,340	0,340	19,37*	19,37*	5,32*	5,32*
Поступление с минеральными удобрениями:						
- на пахотные земли	0,117	0,133	0,423	0,481	0,229	0,261
- на улучшенные сенокосы и пастбища	0,062	0,079	0,223	0,287	0,121	0,155
Поступление с органическими удобрениями:						
- на пахотные земли	0,131	0,167	3,154	4,020	0,482	0,614
Поглощение растительностью:						
- лес	0,515	0,515	2,496	2,496	0,936	0,936
- луг	0,248	0,248	1,200	1,200	0,450	0,450
- пашня	0,132	0,152	5,327	6,123	1,076	1,237

*Примечание.* \*по данным [6].

Потоки биопоглощения для естественных и сельскохозяйственных экосистем рассчитаны в зависимости от прироста биомассы или биомассы, отчуждаемой с урожаем, и содержания в ней металлов. Рассчитанные средние значения потоков поглощения ТМ из поверхностного горизонта почв представлены в таблице.

Выполненные расчеты с учетом рассмотренных выше потоков ТМ, а также потоков выветривания ТМ из материнских пород и выщелачивания с инфильтрационным стоком, показали, что при инерционном сценарии для верхнего горизонта почв естественных угодий к 2035 году прогнозируется незначительное снижение концентрации кадмия, цинка и меди, незначительное увеличение свинца. В зависимости от типа почвы эти изменения к 2035 году по отношению к 2020-му могут составить по свинцу 0,15–0,32 %, кадмию – 0,14–0,38, цинку – 0,14–0,33, по меди – 0,58–1,07 %.

На почвах сельскохозяйственных земель, из-за большей антропогенной нагрузки, изменения будут более значительными и положительными для всех типов почв и по всем исследуемым металлам: для свинца 0,58–

1,17 %, кадмия – 1,05–2,50, цинка – 0,36–0,73, меди – 0,70–1,90 % от исходного их содержания в почвах.

По результатам расчета по оптимистическому сценарию для всех типов почв естественных экосистем прогнозируется снижение концентраций ТМ: по свинцу – на 0,09–0,18 %, кадмию – 1,10–2,49, цинку – 0,88–2,12, меди – 0,58–2,25 %.

В почвах сельскохозяйственных земель прогнозируется отрицательная динамика в содержании всех рассматриваемых ТМ: в почвах различного типа содержание кадмия и цинка уменьшится соответственно на 0,26–1,05 % и 0,99–1,33 %. По свинцу и меди тенденция к снижению содержания слабовыраженная – 0,29–0,61 % и 0,06–0,14 % соответственно.

Для прогнозной оценки загрязнения почв ТМ в городах выполнен анализ динамики содержания ТМ в почвенном покрове 27 городов Беларуси, в которых мониторинговые исследования проводились не менее чем в 4 тура. Для г. Минска динамика загрязнения городских почв проанализирована за почти 30-летний период.

Поэлементный анализ изменения содержания ТМ в городских почвах показал тенденцию увеличения концентрации цинка на территории 52 % рассматриваемых городов Беларуси. Значительное увеличение (в 1,5 и более раз) среднего содержания металла характерно для почв Гомеля, Борисова, Пинска и Новополоцка и ряда других городов. Напротив, тенденция снижения накопления цинка в почве имеет место только в трех из рассматриваемых городов: Гродно, Полоцке и Солигорске.

Можно предположить, что в прогнозируемый период до 2035 года увеличение уровней загрязнения почв цинком в городах Беларуси сохранится. Этому будет способствовать увеличение использования в городском хозяйстве и строительных конструкциях технологий оцинкования металлоконструкций, а также использование и рассеяние при строительных и ремонтных работах цемента, содержание цинка в котором в 10–12 раз выше, чем в городской почве [7].

Для свинца наблюдается тенденция снижения содержания в почвах 44 % городов, против 19 %, в которых наблюдается повышение его концентрации. Для трети городов динамика в накоплении металла не прослеживается. Учитывая сложившуюся тенденцию уменьшения содержания свинца в почвах большинства городов и снижения техногенных химических нагрузок на почвы следует ожидать в долгосрочной перспективе дальнейшего снижения содержания свинца в почвах городов.

Анализ изменений содержания меди в почвах городов Беларуси показал сходное со свинцом соотношение числа городов с различными тенденциями в изменении его содержания. Наиболее благоприятная ситуация

сложилась по никелю: в 58 % городов концентрация металла в почве имеет тенденцию к снижению и только в 2-х – к увеличению.

Таким образом, к 2035 году прогнозируются незначительные изменения в содержании ТМ в верхнем горизонте почв естественных экосистем. В почвах сельскохозяйственных земель, согласно оптимистическому сценарию, содержание ТМ уменьшится в следующей последовательности (от наиболее значительного к незначительному): цинк, кадмий, свинец, медь. Согласно инерционному сценарию изменения в микроэлементном составе почв будут положительными для всех типов почв и по отношению ко всем исследуемым ТМ, за исключением цинка, концентрации которого могут измениться как в сторону увеличения (на 0,36 %), так и уменьшения (на 0,73 %) в зависимости от типа почв. В большинстве городов следует ожидать увеличения концентраций в почвах цинка и снижения свинца, меди и никеля.

### Библиографические ссылки

1. Прогноз состояния природной среды Беларуси на период до 2035 года / В. М. Байчоров [и др.]; под общ. ред. В. С. Хомича; Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2022.

2. Pačes T. Critical loads of trace metals in soils: A method of calculation // Biogeochemical Investigations at Watershed, Landscape, and Regional Scales. Springer Netherlands, 1998. P. 451–458.

3. Какарека С. В., Саливончик С. В. Прогноз загрязнения почв административного района Беларуси тяжелыми металлами // География и природные ресурсы. 2017. № 3. С. 179–188.

4. Городская среда: геоэкологические аспекты: монография / В. С. Хомич [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2012.

5. Метеорологический Синтезирующий Центр-Восток. Уровни загрязнения территории Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ru.msceast.org/index.php/belarus> 2019. Дата доступа: 18.02.2020.

6. Головатый С. Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах // Республиканское унитарное предприятие «Институт почвоведения и агрохимии». Минск, 2002.

7. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей / С. В. Какарека [и др.]. Минск: Институт геологических наук АН Беларуси, 1998.

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

М.П. Оношко<sup>1)</sup>, Л.И. Смыкович<sup>2)</sup>, В.А. Крошинский<sup>1)</sup>, А.Н. Бурко<sup>1)</sup>,  
Н.В. Костюкевич<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Филиал «Институт геологии Государственного предприятия «НПЦ по геологии»,  
Минск, ул. Купревича, 7, 220084, Беларусь, email: onoshko\_m44@mail.ru

<sup>2)</sup> Белорусский государственный университет,  
факультет географии и геоинформатики, Минск, ул. Ленинградская, 16,  
220006, Беларусь, email: [geosmykovich@gmail.com](mailto:geosmykovich@gmail.com)

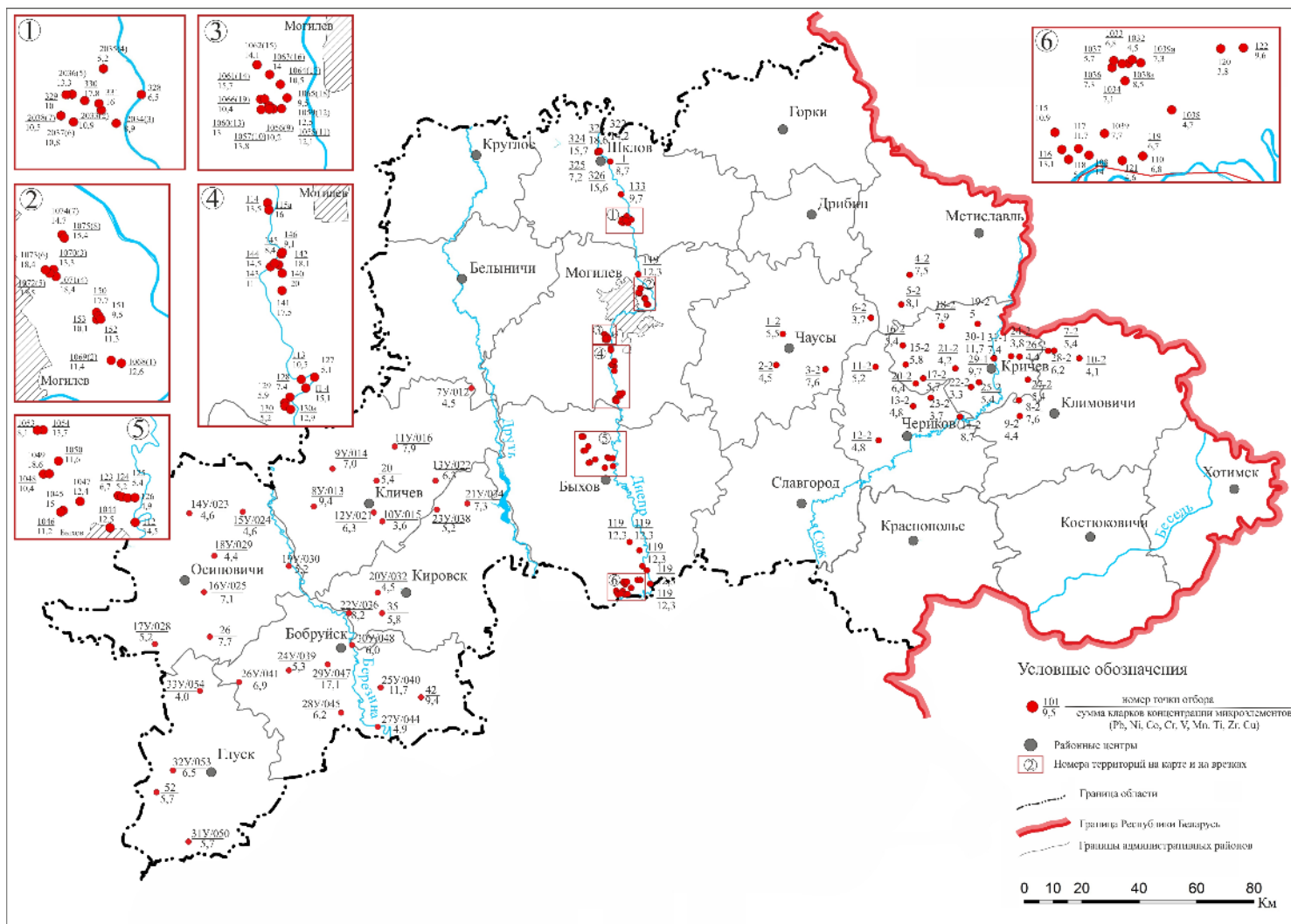
Дана геохимическая оценка почвенного покрова Могилевской области. Оценены основные статистические параметры распределения микроэлементов Pb, Ni, Co, Cr, V, Mn, Ti, Zr, Cu. В масштабе 1:200 000 в системе ArcGIS составлена карта отбора фактического материала. На основе анализа геохимических данных, в том числе коэффициентов концентрации и их дифференциации, определены ассоциации элементов, ранжированные по убыванию Кк. Выделены геохимические ассоциации для группы накапливающихся элементов с  $K_k \geq 1,5$  и группы рассеиваемых с  $K_k < 0,7$ . По отношению к почвам Беларуси [12], изученные почвы на обследованной территории в 1,2–2,0 раза обогащены Zr, Cu, Ti, Mn. На уровне кларка почв содержание Pb и Co, ниже – V, Cr и Ni.

**Ключевые слова:** почвы; Могилевская область; геохимическая оценка; микроэлементы; коэффициент концентрации.

Исходными данными при выполнении работы явились результаты геохимического изучения покровных отложений Могилевской области (рис.). Обобщены результаты авторских исследований, а также привлечены опубликованные материалы других исследователей.

В процессе сбора и обработки данных по данной части Беларуси была систематизирована и проанализирована информация о содержании микроэлементов (в 146 почвенных пробах). Образцы отбирались на глубине 0,20-0,40 м.

Содержание микроэлементов выполнялось эмиссионным спектральным методом на приборе PGS-2 по методике [1]. С учетом того, что содержание ряда микроэлементов находится в очень низких количествах, в пределах ошибки прибора, варьирует в незначительных пределах или было определено в небольшом количестве образцов, для более детальной характеристики геохимических особенностей отложений были использованы данные количественного определения по 9 микроэлементам (Pb, Ni, Co, Cr, V, Mn, Ti, Zr, Cu).



Картограмма фактического материала по Могилевской области

Статистическая обработка результатов анализов проводилась в пакетах Microsoft Excel и Statsoft Statistica 6.0. Для статистической обработки материалов, получения кларков концентрации химических элементов по покровным отложениям и почвам используются региональные кларки [2, 3].

Авторами работы проведен сбор, систематизация и интерпретации собственных авторских геохимических материалов по данной территории страны, проведенных на протяжении почти 20 лет исследований (2000–2023 гг.). Это исследования в пределах Могилевской области по темам «Эволюция геохимической среды лито- педогенеза и ее роль в формировании геоэкологических условий» Республиканской научно-технической программы "Геологические процессы и их роль в формировании полезных ископаемых и геологических основ на территории Беларуси», 1996–2000 гг., «Геохимия седиментогенеза речных бассейнов в голоцене Беларуси (экологический аспект) по ГПОФИ «Осадочные бассейны Беларуси: строение, развитие, минерагения, экогеология», 2001–2005 гг., «Разработка геолого-информационной модели кайнозойских отложений территории Могилевской области как основы для прогнозирования новых наиболее доступных месторождений минерального сырья» Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы, подпрограмма 10.4 «Белорусские недра».

Территория исследования относится к трем почвенно-географическим провинциям, их восточным частям [4]. В пределах Северной провинции это северо-восточный округ, два почвенных района: Оршанско-Мстиславско-Горечский район дерново-палево-подзолистых пылевато-суглинистых почв на лессах и Шкловско-Чаусский район дерново-подзолистых пылевато-суглинистых почв. Почвообразующими породами являются лесовые карбонатные суглинки, достигающие мощности 12 м. Преобладают дерново-палево-подзолистые почвы, в понижениях суффозионных воронок на пологих склонах мощных лессовидных суглинков – перегнойно-иловатоглеевые.

Основная часть территории области находится в пределах Центральной провинции, четырех почвенных округов: Узденско-Осиповичско-Червенский район с дерново-подзолистыми, дерново-подзолистыми заболоченными почвами, развивающимися на моренных и водно-ледниковых супесях, Рогачевско-Славгородско-Климовичский район с дерново-подзолистыми почвами, развивающимися на водно-ледниковых и моренных супесях, Кировско-Гомельско-Хотимский район с дерново-подзолистыми и дерново-подзолистыми заболоченными суглинистыми почвами, развивающимися на водно-ледниковых песчанисто-пылеватых лессовидных суглинках, Краснопольско-Хотимский подрайон с дерново-подзолистыми

почвами на водно-ледниковых пылевато-песчанистых суглинках, связных супесях и песках.

В пределах Южной провинции, ее юго-восточного округа расположен небольшой участок территории Любанско-Светлогорско-Калинковичского подрайона с дерново-подзолистыми заболоченными песчаными, супесчаными и торфяно-болотными почвами низинного типа.

Территория области относится к гидрогеохимическим провинциям с преобладанием биолитогенного, литобиогенного и литогенного (карбонатного) факторами формирования и с минерализацией поверхностных вод от 150-250 до 350-500 мг/л. [5].

По отношению к региональному кларку почв Беларуси [3], изученные почвы в 1,2 – 2,0 раза обогащены Zr, Cu, Ti, Mn. На уровне кларка почв – содержание Pb и Co, ниже – V, Cr и Ni (табл.).

**Статистические показатели микроэлементного состава почв в целом на территории Могилевской области и ее административных районов, мг/кг на абсолютное сухое вещество**

Показатели	Pb	Ni	Co	Cr	V	Mn	Ti	Zr	Cu
<i>x</i>	13,1	16,9	6,2	26,2	20,9	493,7	1997,1	380,4	15,6
<i>+/-m</i>	0,6	0,8	0,4	1,4	2,6	40,4	106,3	63,8	0,8
<i>Me</i>	11,0	15,0	5,9	23,2	10,4	362,5	1500,0	347,5	14,7
<i>min</i>	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	35,0	300,0	0,0	2,0
<i>max</i>	44,0	93,5	17,5	117,1	279,0	3218,0	6000,0	8712,0	55,7
<i>V, %</i>	55,2	54,6	51,8	65,1	151,8	98,8	64,3	202,6	64,2
<i>n</i>	145	146	71	141	144	146	146	146	146
<i>Кларк почв Беларуси [3]</i>	12	20	6	36	34	247	1562	336	13
<i>Кк к почвам Беларуси</i>	1,09	0,84	1,03	<b>0,73</b>	<b>0,62</b>	<b>2,00</b>	<b>1,28</b>	<b>1,13</b>	<b>1,20</b>

*Примечание.* по Могилевской обл. в целом, n=146. В таблице красным цветом выделена ассоциация накапливающихся элементов с  $K_k \geq 1,5$ , синим – ассоциация рассеивающихся элементов с  $K_k < 0,7$ .

По данным [6, 7] на характеризуемой территории выделяют три геохимических района в пределах верхнего, среднего и нижнего течения Днепра и его притоков Березины, Сожа, Друти, Прони и др. Особенности геохимического фона этих районов являются: у первого – формирование речных отложений за счет эрозии лессовых и моренных пород, осадки отлагаются в долинах рек, образуют русловой и пойменный аллювий с максимальными для бассейна содержаниями Al, Ca, Mg, K, Na, Mn и повышенными – V; у второго – разнообразный характер формирования речных

осадков за счет моренных, лессовых четвертичных и карбонатных отторженцевых пород мелового возраста, в их составе отмечены переходные черты между составами осадков верхнего и нижнего течений указанных рек, с некоторым повышением концентраций Ti, Cr, V; у третьего – образование отложений за счет размыва песчаных флювиогляциальных, древних аллювиальных четвертичных и прибрежно-морских палеогеновых пород, с максимальным содержанием Si и минимальным – остальных макро- и микроэлементов.

Таким образом, для бассейна р. Днепр в пределах Могилевской области в целом с севера на юг отмечается понижение концентраций в отложениях Ca, Mg, Pb. От северной и центральной части долины южная отличается низкими концентрациями Mn и Cu, и высокими Cr.

### Библиографические ссылки

1. Зырин Н. Г., Обухов А. И. Спектральный анализ почв, растений и других биологических материалов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. 334 с.
2. Матвеев А. В., Бордон В. Е. Геохимия четвертичных отложений Беларуси. Мн.: Беларуская навука, 2013. 191 с.
3. Петухова Н. Н., Кузнецов В. А. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси // Докл. АН Беларуси. 1992. Т. 36, № 5. С. 461–465.
4. География почв Беларуси: учебное пособие / Н. В. Клебанович [и др.]. Минск: БГУ, 2011. 183 с.
5. Геохимические провинции покровных отложений БССР / под ред. К. И. Лукашева. Минск: Наука и техника, 1969. 476 с.
6. Эволюция геохимической среды лито- и педогенеза в голоцене и ее роль в формировании геоэкологических условий / В. А. Кузнецов [и др.] / Отчет в 2-х книгах. № ГР 19963310. Книга 1-ая: 527 стр., 75 рисунков, 88 таблиц, 436 библиографических названий; книга 2-ая: 380 стр., 59 рисунков, 41 таблица, 467 библиографических названий, 1 приложение. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2000.
7. Геохимия седиментогенеза речных бассейнов в голоцене Беларуси (экологический аспект) / М. П. Оношко [и др.] / Отчет ГР 2002787. 374 стр., 44 рисунка, 57 таблиц, 251 библиографических названий, 8 приложений. Минск: Институт геохимии и геофизики НАН Беларуси, 2005.



## РАЗДЕЛ VI

# ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ

*УДК: 330.101*

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИННОВАЦИИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

**М. В. Киварина**

*Новгородский государственный университет  
имени Ярослава Мудрого, ул. Большая Санкт-Петербургская, 41,  
173001, Великий Новгород, Россия, email: mariya.kivarina@novsu.ru*

Одним из ключевых факторов устойчивого экономического роста российских регионов в настоящее время выступает активная инновационная деятельность. Количество и качество региональных инноваций напрямую определяют конкурентоспособность территории и уровень жизни ее населения. Цель исследования состоит в изучении особенностей различных типов региональных инновационных систем и выявлении ключевых факторов влияния инновационной политики региона на перспективы роста социально-экономических показателей его развития. В статье определены ключевые аспекты региональной инновационной политики, и сделан вывод об особой значимости такого фактора, как уровень развития инновационной инфраструктуры, включающей совокупность организаций, институтов и программ, созданных с целью поддержки инноваций и развития научно-технического потенциала региона.

**Ключевые слова:** регион; экономический рост; инновационная деятельность; инновации; устойчивое развитие; региональная инновационная система.

Переход российской экономики на инновационный путь развития осложняется исключительным масштабом ее территории и существенной дифференциацией регионов по уровню их социально-экономического развития и инновационного потенциала. В свою очередь, невозможно сформировать сильную национальную инновационную систему без научных и технологических прорывов в регионах. В связи с этим тематика, связанная с исследованием региональных инновационных систем, в последние десятилетия приобрела особую актуальность.

Инновационная система региона представляет собой сеть взаимосвязанных участников (субъектов) инновационной деятельности, сосредоточенных в конкретном географическом районе, которые работают сообща, преследуя единую цель – поощрение и поддержку инноваций. Такими

субъектами могут являться университеты, исследовательские институты, индивидуальные предприниматели, стартаперы, крупные корпорации, инвесторы, региональные органы власти и другие организации.

Научно-исследовательский поиск наиболее перспективных способов формирования региональных инновационных систем привел к возникновению целой плеяды различных концепций, среди которых теория инновационных кластеров (особых региональных структурных образований, способных генерировать инновации) [1]; тройной спирали инноваций (формирование новых знаний университетами посредством активного сотрудничества с региональными органами власти и бизнес-структурами) [2, 3]; четырехзвенной спирали инноваций (расширяет теорию тройной спирали посредством включения дополнительного субъекта – общества, являющегося конечным пользователем результатов инновационной деятельности) [4], концепции «обучающихся регионов» (конкурентоспособность и инновационный потенциал региона находится в прямой зависимости от его способности к обучению) [5]; теории инновационной среды [6], инновационной сети [7], инновационного процесса и т.д. Эволюция перечисленных концепций отражает усложнение объекта исследования, переход от изучения отдельных организационных структур, связанных с инновационной деятельностью, к исследованию специфической институционально-организационной среды, динамично изменяющейся в эпоху цифровых трансформаций.

Учитывая разнообразие существующих в настоящее время подходов к региональным инновациям, дифференциацию инновационной политики в регионах и неравенство имеющегося ресурсного потенциала, можно выделить несколько типов региональных инновационных систем:

1. Линейная система – это классическая модель, которая возникает в условиях, где центры научных исследований и разработок являются единственным (основным) источником инноваций. В таких условиях инновации передаются от центров исследований к предприятиям (заказчикам), а затем поступают на рынок и к потребителям.

2. Сетевая система – основывается на сотрудничестве и конструктивном взаимодействии различных организаций и стейкхолдеров, таких как предприятия, университеты, исследовательские центры, региональные органы власти и другие заинтересованные стороны. В подобной системе инновации являются продуктом сетевого партнерства, а инновационные активности осуществляются через сеть взаимодействующих организаций. Отличительной чертой сетевой модели является отсутствие жесткой иерархической структуры, вместо чего она основывается на горизонтальных связях и союзничестве участников.

3. Кластерная система – это инновационная модель, которая основывается на сосредоточении научных, промышленных, венчурных и прочих взаимосвязанных между собой предприятий (организаций, учреждений) в определенном географическом районе (объединение заинтересованных сторон по территориальному признаку). Подобная концентрация инновационных субъектов образует самостоятельный кластер. Каждый кластер обладает определенными свойствами (отличительными характеристиками) и функционирует с целью повышения конкурентоспособности и инновационного потенциала конкретного региона или территории.

4. Мультиуровневая система – представляет собой особую организацию инновационных процессов на нескольких уровнях, таких как локальный, местный, региональный и национальный. В данной системе различные уровни взаимодействуют и сотрудничают друг с другом для обмена знаниями, ресурсами и создания инноваций. Взаимодействие между уровнями осуществляется достаточно интенсивно, что расширяет диапазон потребностей в инновациях и еще более усиливает поиск актуальных инновационных решений.

Согласно проводимым исследованиям, на сегодняшний день в России и ее субъектах наиболее распространен первый из рассмотренных типов региональных инновационных систем с наличием отдельных элементов сетевой, кластерной и мультиуровневой системы. Сложившаяся ситуация актуализирует проблему поиска таких вариантов инновационной региональной политики, которые смогут стать стимулом развития дифференцированных инновационных систем, адекватно использующих имеющиеся ресурсы и наилучшим образом соответствующих приоритетам развития региона.

В широком смысле инновационная политика региона представляет собой систему мер и стратегий, разработанных региональными органами власти и управления для стимулирования и поддержки инноваций на определенной территории. Целью региональной инновационной политики является создание условий для развития новаторской деятельности, привлечение венчурных инвестиций, улучшение конкурентоспособности региона и создание благоприятной инновационной экосистемы.

Инновационная политика региона включает в себя следующие аспекты:

1. Создание инновационной инфраструктуры: региональные органы власти и управления развивают и стимулируют создание инновационных центров, технопарков, инкубаторов и акселераторов. Также они могут предоставлять финансовую и организационную поддержку для стартапов и инновационных предприятий.

2. Привлечение инвестиций: создание специальных инвестиционных фондов, предоставление административной поддержки, налоговых льгот

и других преференций для инвесторов, вкладывающих средства в инновационные проекты и компании.

3. Развитие научно-технического потенциала и формирование инновационной культуры: всесторонняя поддержка научно-исследовательских центров, институтов, университетов и других образовательных учреждений, причастных к формированию в регионе научных школ, разработке новых технологий и сотрудничеству науки и реального сектора экономики.

4. Образование и развитие человеческого потенциала: реализация основных и дополнительных образовательных профессиональных программ, курсов повышения квалификации и переподготовки кадров в области инновационной деятельности [8, 9], обмен знаниями и опытом с университетами, научными институтами, исследовательскими центрами, предпринимателями-практиками из других регионов.

5. Сотрудничество и партнерство: активное взаимодействие органов власти, науки, бизнеса и всех других заинтересованных сторон для совместной работы над инновационными проектами, а также создание цифровых платформ для коммуницирования и поиска партнеров.

Инновационная политика в каждом российском регионе имеет свои особенности, поскольку в состав Российской Федерации входят крайне разнородные в социально-экономическом плане субъекты. Прежде чем региональные органы власти принимают программы инновационного развития на подведомственных им территориях, они проводят тщательный анализ потенциала региона, его специализации, имеющихся научно-исследовательских и инновационных ресурсов, а также оценивают перспективы межрегионального и международного сотрудничества [10]. Зачастую региональная инновационная политика связана с разработкой передовых технологических кластеров и экосистем, где предприятия, учебные заведения, научные организации и государство активно взаимодействуют для создания инноваций и привлечения инвестиций.

Особую значимость в этой связи имеет уровень развития инновационной инфраструктуры в регионе. Чем больше субъект имеет инфраструктурных объектов для создания стартапов, новых бизнес-идей, акселерационных программ прорывного развития и так далее, тем больше будет степень восприимчивости региона к инновациям, и тем качественнее будет его социально-экономическое развитие. Важнейшими объектами инновационной инфраструктуры в регионе являются технико-технологическая база; научно-исследовательские центры, где заняты высококвалифицированные специалисты, ученые, изобретатели; нормативно-правовое и ресурсное обеспечение инновационной деятельности.

В целом, региональная инновационная политика является важным инструментом устойчивого развития регионов и содействия их экономическому росту. Правильно спланированная и эффективно реализуемая инновационная политика может привести к повышению уровня жизни населения, созданию новых рабочих мест, развитию образования, науки и культуры, а также улучшению экологической ситуации в регионе.

### Библиографические ссылки

1. *Гасанов М. А., Канов В. И.* Кластер как структурный институт конкурентоспособности экономики // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2013. № 4 (24). С. 13–21.
2. *Пахомова И. Ю.* Модель «Тройной спирали» как механизм инновационного развития региона // Экономика. Информатика. 2012. №7-1(126). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-troynoy-spirali-kak-mehanizm-innovatsionnogo-razvitiya-regiona> Дата доступа: 03.08.2023.
3. Тройная спираль. Университеты – предприятия – государство. Инновации в действии / Г. Ицковиц; пер. с англ. под ред. А. Ф. Уварова. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2010. 238 с.
4. *Carayannis E., Grigoroudis E.* Quadruple Innovation Helix and Smart Specialization: Knowledge Production and National Competitiveness // Foresight and STI Governance. 2016. Vol.10, №1. P. 31–42.
5. *Найман Е. А.* Становление концепции «Обучающегося региона» в западной науке // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. 2013. №1 (9). С. 81–91.
6. *Варламов М. Г.* Инновационная среда и элементы ее классификации // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №16 (7). С. 303–305.
7. *Бадараев Т. Д.* К вопросу о формировании инновационной сети // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2016. № 2 (34). С. 203–211.
8. *Калиниченко В. С., Гарбузова Т. Г.* Перспективы развития человека в цифровой экономике / В сборнике: Сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции «Смирновские чтения – 2023». Международный банковский институт имени Анатолия Собчака. 2023. С. 73–76.
9. *Гарбузова Т. Г.* Инновационные технологии в системе высшего образования / В сборнике: Перспективы развития высшей школы. Материалы IV Международной научно-практической конференции-2023. В 4-х томах. Отв. редактор: Л. К. Иляшенко. Тюмень, 2023. С. 386–388.
10. Управление качеством в отраслях экономики и сфере услуг / В. В. Филатов [и др.]. Курск, 2023. 702 с.

## СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ПРАКТИКЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ

А.Н. Червань

*Белорусский государственный университет, Минск, пр. Независимости, 4, 2203030,  
Беларусь, email: chervan@bsu.by*

Иерархическая многоуровневая система неоднородностей почвенного покрова, характеризуемых компонентным составом и упорядоченным рисунком почвенного покрова, а значит, устойчивыми механизмами геохимических и геофизических связей представляет собой структуру почвенного покрова. Она является одновременно понятием почвенно-географическим, так как определяется пространственным размещением почв, и почвенно-генетическим, так как обусловлена и влиянием факторов на формирование почвенного покрова и взаимосвязи почв и их эволюцией. Тезисно представлены результаты апробации результатов геообработки почвенно-агрохимических факторов в ГИС для прецизионного землепользования в агроландшафтах. Рассмотрены неотъемлемые тематические блоки базы геоданных пилотного агроландшафта в геоинформационной программной среде в формате классов пространственных данных. Приведен пример технологических карт для обрабатываемых участков агроландшафта с целью автоматизации работ и пространственно-временной оптимизации землепользования.

**Ключевые слова:** почвенная комбинация; агроландшафт; ГИС-технологии; агрохимические показатели; прецизионное земледелие; технологическая карта

Понятия системы и структуры неразрывны, так же как и система землепользования прочно территориально и функционально обусловлена структурой почвенного покрова. Характерное для структуры наличие связей и отношений между образующими систему элементами (организованность) проявляется в неразрывном единстве со средой (надсистемой), в котором проявляется ее целостность. Распределение и перераспределение функций между элементами системы всегда происходит в рамках сложившейся структуры, которая в этом смысле выступает как носитель функций [1, с. 17]. В то же время она формируется извне – в результате отношений, в которые вступают в процессе функционирования элементы системы. Следовательно, структура системы – связующий признак ее внутреннего и внешнего функционирования. Поэтому в сельскохозяйственной деятельности (на территории агроландшафтов) структура землепользования должна быть адаптивна структуре почвенного покрова, состоящей из почвенных комбинаций – закономерно организованных и чередующихся элементарных ареалов в разной степени генетически связанных между собой

и образующих типизирующийся рисунок. Такой рисунок может идентифицироваться картометрическими приемами с использованием ГИС-технологий и приемов автоматизированного дешифрирования ДДЗ, что делает возможным типологию земель на основе структурного анализа почвенных комбинаций (геосистем).

Пространственно-временная дифференциация функций геосистемы и любой ее подсистемы, например, почвенного покрова, наблюдается в качественном и количественном выражении [2, с. 291]. В зависимости от акцента в подходе к понятию структуры рассматриваются идеи комплексности, целостности (онтологический аспект) или идеи операционального управления (гносеологический аспект) пространственной составляющей системы. В сельскохозяйственной деятельности, например, основой такого управления предлагается агроландшафтная территориальная структура – пространственная составляющая техногенной подсистемы геосистемы в нашем понимании. Такое деление земной поверхности на участки сельскохозяйственного использования, границы которых обусловлены процессом перераспределения вещества и энергии мезорельефом, а они характеризуются генетическим единством и тесной взаимосвязью слагающих их компонентов [3, с. 4].

Рассматривая почвенный покров как информационно насыщенную часть биогеоценоза (геосистемы), исследования его структуры позволяют получить объективные хозяйственные, экологические и социальные данные [4, с. 13]. С появлением и развитием ГИС и технологий пространственной обработки данных облегчилось решение подобных задач. Гео-статистические (вероятностные) подходы особенно важны при нечетких (слабоконтрастных) зависимостях системных компонентов от условий среды, например, когда имеет место неоднозначная связь почв с рельефом, растительной формацией или другими факторами почвообразования. Несмотря на наличие крупномасштабных почвенных карт в Беларуси имеет место высокая степень неоднородности почвенно-агрохимических факторов землепользования, особенно претендующего на прецизионное использование ресурсов. Это предопределяет внимание к структуре почвенного покрова, рисунок которой позволяет пространственно идентифицировать генетически обусловленную неоднородность и вплотную подойти к типовому проектированию систем земледелия.

Типологическим агроландшафтом является генетически однородная территория, для повышения плодородия почв которой и эффективного решения задач земледелия возможно применение единой системы агрономических, мелиоративных и природоохранных мероприятий.

Таким образом, стратегия формирования высокопродуктивных агроландшафтов заключается в адекватной оценке его полифункциональных

возможностей и приведение в соответствие с их уровнем системы эксплуатации агроландшафта, а не наоборот, как это происходило до последнего времени. Поэтому адаптивно-ландшафтное землепользование осуществляется с учетом законов и правил функционирования геосистем. Чем выше уровень интенсификации земледелия и насыщенность высокоэффективными наукоемкими агротехнологиями, тем выше требования к полноте и точности территориальной (геоинформационной) основы.

Комплекс учета и оценки почвенных, агрохимических и сопутствующих факторов сельскохозяйственного землепользования с использованием ГИС-технологий разработан и апробирован в пилотном агроландшафте Брестской области республики. Агроэкологическая типизация почвенного покрова и оценка сельскохозяйственных земель для основных видов возделываемых культур выполнялась с учетом границ заранее идентифицированных почвенных комбинаций, послуживших пространственной и информационно-генетической основой предлагаемых мер оптимизации землепользования.

На территорию хозяйства сформирована база данных в геоинформационной среде в формате классов пространственных данных. Структура БД предусматривает три послойно организованных тематических блока, последовательно связанных между собой:

I – Инвентаризационный: 1. Землепользование: границы кадастровых (1.1), обрабатываемых (1.2) и элементарных (1.3) участков; 2. Производственная инфраструктура: 2.1. местоположение производственных центров (мехдвор, МТФ, складские помещения, силосные и сенажные ямы, прочее), 2.2. дорожная сеть с учетом категории и покрытия дорог, каналы и канавы мелиоративных систем; 3. Земельно-кадастровые сведения по видам земель.

II – Оценочный: 1. Почвенно-ресурсный потенциал (рис. 1): 1.1. генетическая принадлежность почвенных ареалов, 1.2. условия и степень увлажнения с определением продуктивной влаги, 1.3. гранулометрический состав почвообразующих пород минеральных почв и ботанический состав торфа органогенных почв, 1.4. особенности пород под пахотным горизонтом почвенного покрова, 1.5. проявление процессов деградации почв (водная эрозия, дефляция, подтопление и другие); 2. Агрохимическое состояние сельскохозяйственных земель: оценка выполнена как в дискретных границах обрабатываемых участков, так и в виде непрерывных поверхностей распределения показателей методом интерполяции: 2.1. кислотность почв, 2.2. содержание гумуса в пахотном горизонте почвы, 2.3. содержание подвижных форм макроэлементов - фосфора ( $P_2O_5$ ), калия ( $K_2O$ ), подвижных оснований ( $MgO$ ,  $CaO$ ), 2.4. содержание подвижных



форм микроэлементов – Mn, Cu, Zn, B, S; 3. Мелиоративное состояние земельных участков; 4. Кадастровая оценка земельных участков хозяйства; 5. Целесообразность возделывания 16 сельскохозяйственных культур по почвенно-агрохимическим условиям территории хозяйства;

III – Планировочный (по каждому обрабатываемому участку): 1. Основная и дополнительная сельскохозяйственная культура для возделывания в составе севооборота на период 2021-2023 гг; 2. Зоны дифференциации (оптимальная, близкая к оптимальной и удовлетворительная) возделывания рекомендуемых сельскохозяйственных культур по элементам системы земледелия: способу обработки почвы, системе удобрения и мелиорации, варианту севооборота; 3. Учетные данные по обрабатываемым участкам для ведения «книги истории» поля, в том числе сведений о возделываемых сельхозкультурах, внесенных видов и доз удобрений и мелиорантов, средствах защиты растений и прочее.

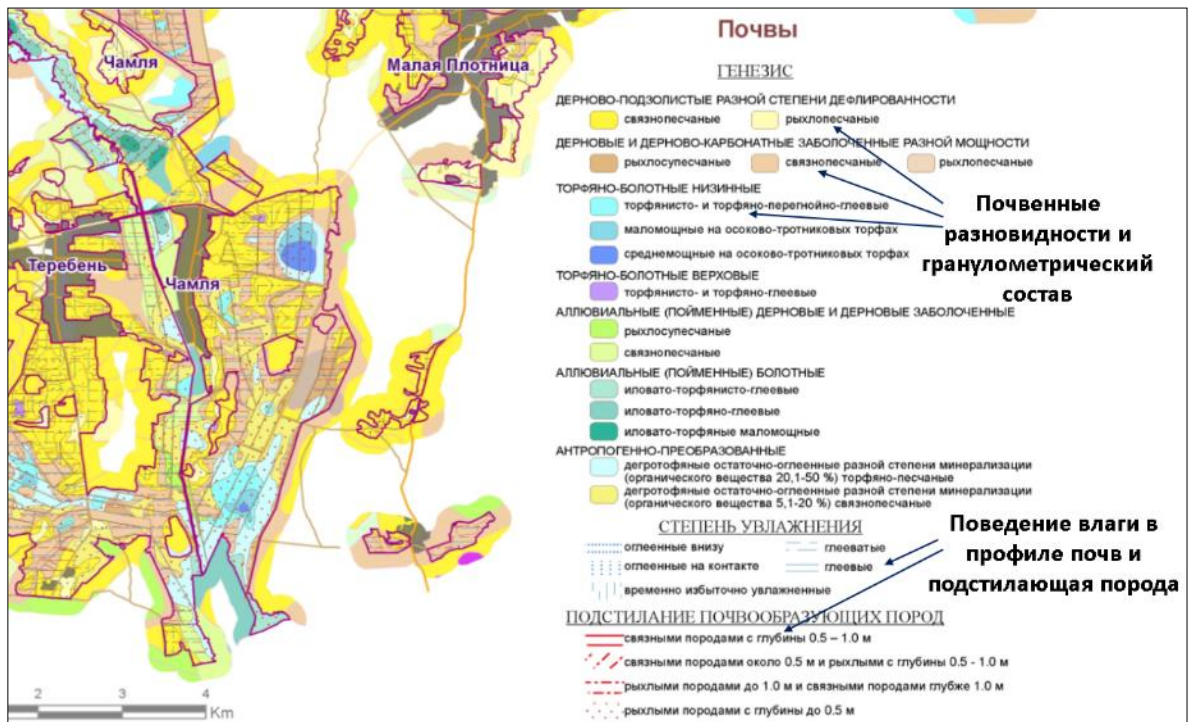


Рис. 1. Почвенные условия землепользования в агроландшафте (фрагмент)

Каждый информационный слой данных имеет точную пространственную привязку для реализации любых технологических операций точного земледелия. Все векторные классы пространственных данных сопровождаются разработанной тематической легендой (условными обозначениями) по атрибутивным значениям. Растровые слои представлены в виде 5 качественных групп по диапазону количественных значений, гра-

ницы групп определялись геостатистически по методу квантилей. Моделирование пространственного распределения почвенных и агрохимических показателей осуществлялось с учетом их динамики за многолетний период методами обратновзвешенных интерполяций. В оценке почвенных данных использованы результаты трех туров почвенного обследования, агрохимических – 13 туров. Итоговые классы данных были откорректированы на основе дополнительных полевых изысканий и отбора образцов из пахотного горизонта почв.

Каждый тематический блок, реализованный в слоях векторных данных, сопровождается данными дистанционного зондирования – ортофотопланами высокого пространственного разрешения и цифровой топографической картой местности с отражением изолиний рельефа.

Установлена производительная способность почв обрабатываемых участков на основе бонитета почв и с учетом динамики агрохимических показателей за многолетний период методами обратновзвешенных интерполяций. Сформировано более 30 классов почвенных и агрохимических факторов землепользования с унифицированными атрибутивными таблицами для автоматизации оценочных работ. Определение бонитета почв относительно основных сельскохозяйственных культур выполнено на основе генетических свойств и признаков почвенного покрова по рабочим участкам, в том числе степени увлажнения, гранулометрического состава почвообразующих пород и характера их смены/подстилаяния. В ходе анализа пространственного распределения показателей продуктивности учитывался балл кадастровой оценки.

Пространственное пересечение классов пространственных данных факторов землепользования и последующая кластеризация полученных микрозон определили автоматизированный выбор оптимальной сельскохозяйственной культуры для каждого обрабатываемого участка. Общее количество микрозон на площади 3820 га сельскохозяйственных земель составляет 165127. В случае высокой степени контрастности сделаны соответствующие корректировки границ участков. Кластеризация микрозон выполнялась на основе биологических требований сельскохозяйственных культур и увеличения степени однородности почвенно-генетических условий, в том числе в соответствии с границами почвенных комбинаций (рис. 2). В порядке от красного к зеленому оттенку цветовой шкалы оптимальности почвенно-агрохимических условий возделывания был выполнен пространственный анализ всей территории хозяйства для каждой культуры.

Детальная геостатистическая оценка почвенно-ресурсного потенциала пилотного агроландшафта послужила картографическим обоснова-

нием выделения 639 зон обрабатываемых участков с дифференцированной системой земледелия, которые при необходимости могут быть разделены по показателям внутренней неоднородности агрохимического состояния и производительной способности почв. Для каждого обрабатываемого земельного участка установлены необходимые элементы системы точного земледелия, а именно способ обработки почвы, система удобрений и мелиорантов для рекомендованной культуры в составе севооборота с чередованием во времени и в пространстве.

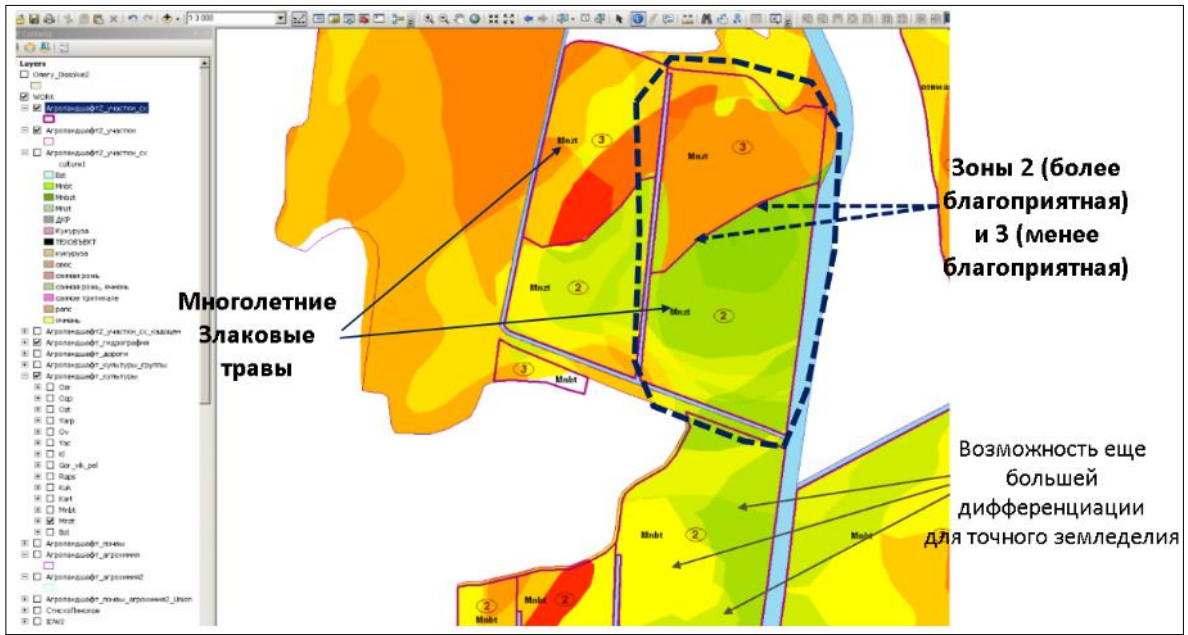


Рис. 2. Подбор оптимальных культур и дифференциация технологии их возделывания по зонам (фрагмент)

Разработанная пространственная модель реализована в формате данных, допускающих их использование в бортовых компьютерах сельскохозяйственной техники. Определены технические условия для сельскохозяйственной техники точного земледелия:

- загрузка в бортовые компьютеры пространственных и атрибутивных данных (границы участков, контуры микрзон, барьеры для прохода техники, характеристика участков, т. д.);

- автоматическое управление агрегатами (регулирование глубины, ширины захвата, нормы высева, дозы удобрения, т.п.) в процессе движения по алгоритмам учета загруженных пространственных данных;

- встроенные алгоритмы обработки и экспорта/импорта пространственных и атрибутивных данных в обменных форматах (\*.shp, \*.kml, \*GeoTIFF) и унифицированных системах координат (WGS-84 и прочие);

- поддержка данных дистанционного зондирования в режиме on-line;

достаточность внутренней и оперативной памяти бортовых компьютеров для загрузки и обработки векторных и растровых слоев данных объемом более 2,0 Гб;

пространственная точность любой технологической операции в пределах 0,2–1,0 метра на местности;

автоматический дифференцированный учет урожайности и показателей качества культур в ходе сбора;

раздельное внесение нескольких видов удобрений (NPK) из одного бункера с разной дозой;

регулирование ширины захвата агрегата в процессе обработки почвы и внесения удобрений;

обеспечение внесения органических удобрений и их смесей в диапазоне 5–60 т/га;

сеялки, оборудованные бункером для припосевного внесения удобрений; контроль перекрытий зон обработки почвы и внесения удобрений.

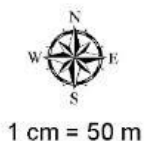
Агрономический анализ модели почвенно-агрехимических факторов землепользования, предшествующих сельхозкультур, их биологических особенностей и вероятной урожайности позволил рассчитать дифференцированные дозы минеральных и органических удобрений для обрабатываемых участков и микрзон в их границах по каждой группе культур.

Технологические карты по каждому обрабатываемому участку (всего 630 карт) сформированы в виде проектов в ГИС среде, допускающих их печать или конвертацию для анализа выполнения работ в целом по хозяйству (пример приведен на рис. 3). Сопровождение производства растениеводческой продукции в системе прецизионного или точного земледелия на основе разработанной пространственной модели предусматривает пространственное прогнозирование возбудителей болезней и других рисков возделывания культур в течение всего периода вегетации.

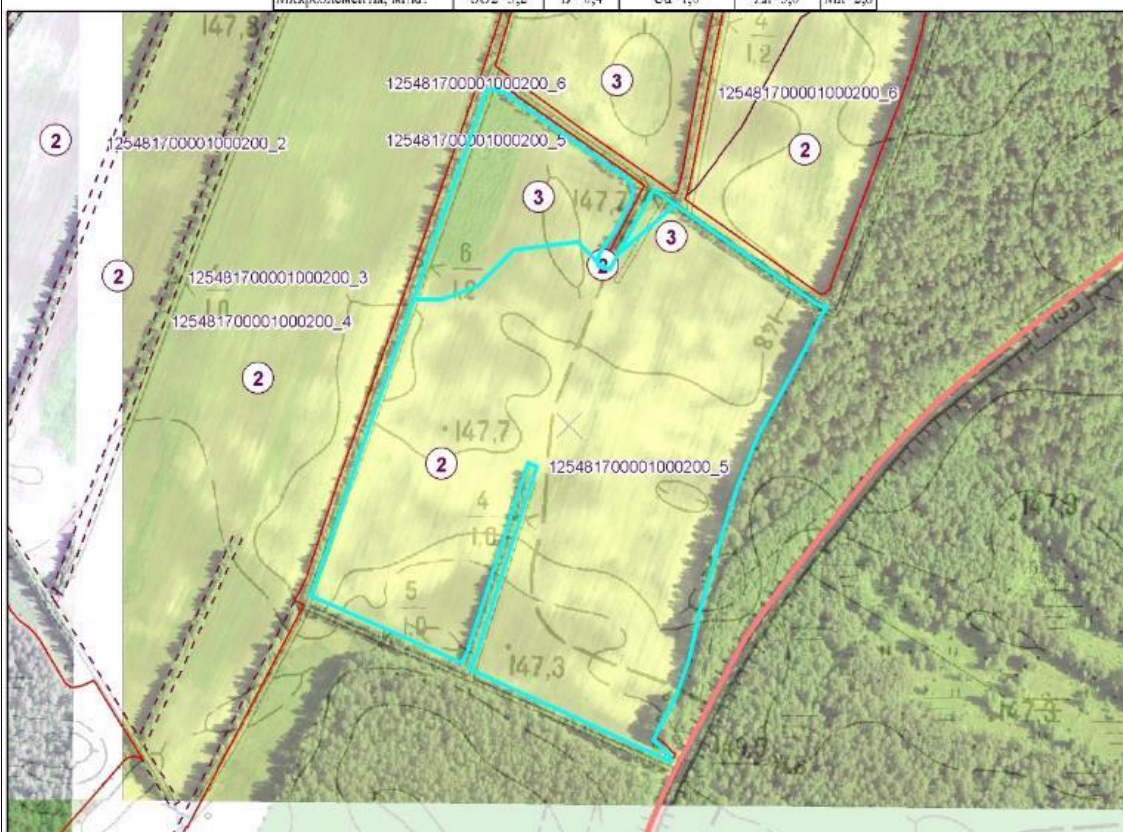
Автоматизированная актуализация всех технологических операций за период вегетации в базе данных позволяет скорректировать план сельскохозяйственных работ на следующий год и с большей точностью прогнозировать урожайность с одновременным увеличением эффективности производства. На территории пилотного агроландшафта ГИС-анализ пространственных факторов землепользования обеспечил разработку рекомендаций по структуре посевных площадей и чередованию запланированных культур. Структура посевных площадей разработана и рекомендуется с учетом специализации хозяйства (агроландшафта), биологических особенностей культур, периодов возврата культур на прежнее место, а также оптимальных и возможных предшествующих культур.



## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА



Номер участка	125481700001000200_5			Зоны	2,3
Площадь участка, га	14,2		Предшественник		
Культура; сорт, ПВ, млн.лп	Люцерна+			Пл. урожай	150
Чередование культур	Люцерна + тим 3 г.л.-Люцерна+ тим 4 г.л.-олива рожь				
Почва	Дерново-глеяные насыщенные среднесуглистые песчаные почвы связанных песках, сменяемых рычлыми песками				
Кислотность (рН КСН)	5,3		Содержание гумуса, %		1,9
Макроэлементы, мг/кг	P2O5 -169	K2O-131	CaO - 648	MgO -201	
Микроэлементы, мг/кг:	SO2-3,2	B-0,4	Cu-1,0	Zn-3,0	Mn-2,8



### Технологические операции (по зонам участка):

1. Ранневосстановительный подкормка, кг д.в.	зона 2 - P30(ам.с.)K90(к.кл) зона 3- P30(ам.с.)K100(к.кл)
2. Конечные (1-й укос) + площадь	ф. бутонизации, высота среза 7-8 см
3. Провяливание	при и сплывании влаги- площади и хорошей погоде время 4-6 часов, а при неблагоприятной не более 36 часов
4. Сревание валков	
5. Подбор валков с измельчением	Подбор и измельчение при содержании сухого вещества 40-45%, измельчение 3-5 см
6. Конечные (2-й укос)-площадь	ф. бутонизации-начала цветения, высота среза: 7-8 см
7. Провяливание	при использовании влаги- площади и хорошей погоде время 4-6 часов, а при неблагоприятной не более 36 часов
8. Сревание валков	
9. Подбор валков с измельчением	Подбор и измельчение при содержании сухого вещества 40-45%, измельчение 3-5 см
10. Конечные (3-й укос)-площадь	в конце августа, высота среза 7-8 см
11. Провяливание	при использовании влаги- площади и хорошей погоде время 4-6 часов, а при неблагоприятной не более 36 часов
12. Сревание валков	
13. Подбор валков с измельчением	Подбор и измельчение при содержании сухого вещества 40-45%, измельчение 3-5 см

Рис. 3. Технологическая карта на обрабатываемый участок агроландшафта

Автоматизация обоснования размещения и технологии возделывания сельскохозяйственных культур является наиболее весомым вкладом современных ГИС-технологий в растениеводческую отрасль экономики. Учет структуры почвенного покрова при этом предопределяет возможность стратегических мер оптимизации землепользования.

### **Библиографические ссылки**

1. Понятие структуры территориальных систем и некоторые подходы к ее моделированию / В. М. Котляков [и др.] // Известия РАН. Серия географическая, 1999. № 5. С. 17–24.
2. *Козловский Ф. И.* Теория и методы изучения почвенного покрова. М. : ГЕОС, 2003. 536 с.
3. *Васенев И. И., Дегтева М. Ю., Афонченко Н. В.* Закономерности функционирования и взаимодействия агроландшафтных территориальных структур, параметры устойчивости управляемых систем : метод. рекомендации. Курск, 2004. 20 с.
4. *Романова Т. А.* Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО – WRB. Минск, 2004. 428 с.

## СОЦИАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКСПЕРТОВ

В.П. Бондарев<sup>1), 2)</sup>, М.С. Радомысльский<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, email: [valery\\_bondarev@mail.ru](mailto:valery_bondarev@mail.ru)*

<sup>2)</sup> *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, email: [valery\\_bondarev@bmstu.ru](mailto:valery_bondarev@bmstu.ru)*

<sup>3)</sup> *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, email: [matvey.ra@mail.ru](mailto:matvey.ra@mail.ru)*

Социальные проблемы деградации земель – важная, но слабо разработанная область знания, что мешает более осознанно и эффективно бороться с этим негативным явлением. С помощью качественного экспертного опроса девяти признанных специалистов в области изучения указанных процессов были выявлены наиболее устойчивые суждения, которые могут послужить опорой для выделения основных форм проявления социальных последствий деградации земель. В результате исследования построена концептуальная схема и составлены частные исследовательские концепции, заключающиеся в выделении позиции каждого эксперта, что может послужить основой для дальнейшего построения экспертной модели социальных последствий деградации земель.

**Ключевые слова:** проблемы землепользования, деградация земель, социальные аспекты, последствия, научное сообщество, экспертное знание, интервью.

Социальный заказ на выработку научных знаний в области изучения деградации земель в мире постоянно возрастает, что можно проиллюстрировать на примере 15-ой цели устойчивого развития, сформулированной ООН: «Защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биоразнообразия» [18]. Легко можно убедиться, что эта цель предполагает не только изучение проблем деградации земель, но и подразумевает необходимость преодоления социальных последствий деградации земель.

Проблемы землепользования в настоящее время активно обсуждаются. При этом, существует значительный разброс мнений о сущности и характере процессов деградации в зависимости от региона, уровня развитости страны и истории становления культуры землепользования [15, 16, 17]. Социальные аспекты деградации земель изучены довольно слабо [13].

Социальные аспекты землепользования регулярно попадают в круг рассмотрения отечественных исследователей, особенно в связи с сельскохозяйственным использованием земель [2, 3, 11, 12]. Чаще всего работы в той области направлены на выявление неблагоприятного воздействия деградации земель на местные сообщества и выработку дополнительного инструментария по реализации управленческих мероприятий в контексте природопользования для создания условий для рационального потребления ресурсов регионов, что позволит сохранить стабильность и безопасность развития местного социума при удовлетворении его потребностей и обеспечении качества окружающей среды [9, 15]. Иногда анализ деградации земель с экономической точки зрения выполняется через выявление динамики снижения продуктивности [10]. Г.С. Куст и др. предлагает проводить оценку нейтрального баланса деградации земель [4].

Авторам не удалось найти работ, где были бы четко сформулированы основные социальные последствия деградации земель. Один из авторов этой работы вместе с Ю.А. Болховитиновой проанализировал частотность обсуждения социальных последствий катастрофических наводнений, а в дальнейшем более детально проанализировал научный интерес к этой проблеме [1, 14]. Выделенные группы социальных последствий, с учетом специфики предмета исследования, послужили опорой для соответствующего анализа, что позволило составить понятийный ряд, связанный с изучением социальных последствий деградации земель, и построить концептуальную модель исследования.

Постоянное изменение условий землепользования и усложнение социальных взаимодействий в области проблем деградации земель, а также недостаточная формализация проблемы привела к необходимости обратиться к экспертному знанию в форме полужформализованного качественного интервью, в рамках которого данные собираются с достаточно небольшой группы респондентов. Как правило, качественные методы используются для выявления противоречий и формулировки проблем и гипотез. Небольшой размер выборки не позволяет обобщать в полной мере результаты исследования на всю совокупность специалистов, работающих в этой области, но полученные данные могут быть полезными для анализа проблемы. Кроме того, рассматриваемые методы позволяют выявить внутренние мотивы и побуждения исследователей, занимающихся соответствующей проблемой [5, 6, 7, 8].

В ходе исследования было взято несколько интервью у представителей научного сообщества, непосредственно имеющих отношение к изучению различных аспектов деградации земель. Всего приняли участие девять экспертов: 2 доктора биологических наук, 3 доктора географических наук, 3 кандидата географических наук и кандидат сельскохозяйственных наук.



Каждому из респондентов был присвоен порядковый номер с целью сохранения конфиденциальности и создания обобщенной экспертной модели.

После транскрипции и анализа интервью были составлены частные исследовательские концепции, заключающиеся в выделении позиции эксперта в формате одного предложения относительно социальных последствий деградации земель:

1. Последствия деградации земель выражаются опосредованно через экономику, локальные ресурсные и экологические проблемы местных сообществ.

2. Социальные последствия деградации земель отрицательны в отношении социальной мобильности, продолжительности и качества жизни и могут проявляться в потере работы и вынужденных миграциях населения.

3. Деградация земель может приводить к снижению рекреационных и экономических выгод, а при чрезмерном своем усугублении может вести к понижению социального статуса и миграциям.

4. Деградация земель несет в себе негативные социальные эффекты только в случае крайнего ее усугубления, в остальных случаях социальных эффектов нет или они незначительны.

5. Деградация земель может приводить к усилению расслоения общества, миграциям, недобору урожая и, как следствие, голоду и экономическим потерям.

6. Последствия деградации земель в наибольшей степени затрагивают область народонаселения: так, использование продукции с деградированных земель отрицательно влияет на онкозаболеваемость.

7. Деградация земель может приводить к падению урожайности, снижению рекреационных функций земель, а значит и качеству отдыха, к смене типа землепользования, миграциям, изменению стоимости жилья и продолжительности жизни.

8. Деградация земель приводит к неблагоприятным социально-экономическим последствиям, что отсылает к вопросам продовольственной безопасности, голода, миграции и изменения статуса.

9. Деградация земель может приводить к снижению плодородия, использовании земли для сельскохозяйственных нужд, изменению отношений людей на более индивидуалистические.

Таким образом, под социальными последствиями деградации земель можно понимать падение совокупного уровня экологических характеристик ландшафта и затраченных на него человеческих усилий, выражаемое в различных формах социального действия и взаимодействия, а сами эти формы заслуживает гораздо большего внимания, чем им уделяется в настоящее время. Первичную формализацию форм социального действия

и взаимодействия в этой области можно выявить с помощью анализа экспертного знания, сформированного в научном сообществе, занимающимся этими вопросами, так как именно ученые обладают способностью оптимально и объективно актуализировать экспертные знания.

В ходе исследования было выделено пять переменных, позволяющих с использованием заключенных в них индикаторов охарактеризовать частные исследовательские концепции социальных последствий деградации земель. Следует отметить, что социальная составляющая используемых переменных находит достаточное отражение в интерпретации понятий, на которые они опираются.

При обработке и анализе экспертных интервью выяснилось, расхождения в понимании социальных последствий деградации земель не имеют значимого характера и обладают более-менее устойчивым единством позиций. В тоже время, комплексирование экспертного знания позволило выявить некоторые аспекты, которые у части экспертов сформированы, а остальные не упоминают эти аспекты, что позволяет шире посмотреть на проблему и составить более общий список соответствующих проблем.

Следует обратить внимание, что так все эксперты в основном имели большой опыт работы именно в земледельческой зоне России, то можно ожидать, что если бы были эксперты из регионов, с другой спецификой проявления деградации земель, то результаты могли бы несколько быть отличными от полученных. В тоже время, многие из опрошенных респондентов хорошо знакомы с мировыми тенденциями в этой области и имеют опыт работы не только в указанном регионе, что может дать основания полагать большую или меньшую применимость их суждений и для других территорий, что, в прочем, требует дополнительной проверки.

### **Библиографические ссылки**

1. *Бондарев В. П., Болховитинова Ю. А.* Социальные последствия катастрофических наводнений // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2019. № 5. С. 21–29.
2. *Варламов А. А., Хабаров А. В.* Экология землепользования и охрана природных ресурсов. М.: Колос, 1999. 159 с.
3. *Горелова (Морозова) И. Н.* Теоретическое обоснование социально-территориального института землепользования // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2014. № 3. С. 392–395.
4. *Куст Г. С., Андреева О. В., Лобковский В. А.* Нейтральный баланс деградации земель – современный подход к исследованию засушливых регионов на национальном уровне // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 3–9.
5. *Манцева Е. Р.* Экспертные знания в обществе конца XX – начала XXI века: статус и значимость // Социология. 2018. № 2. С. 62–64.

6. *Масленников Е. В.* Экспертное знание. Интеграционный подход и его приложение в социологическом исследовании. М.: Наука, 2001. 228 с.
7. *Маслов Д. К.* Проблема доверия экспертному знанию // Вестник Томского государственного университета. 2020. № 453. С. 63–70.
8. *Небольсина Е. В.* Актуальные тенденции восприятия научных и экспертных знаний в обществе // Социологическая наука и социальная практика. 2018. Т. 26. № 4 (24). С. 41–50.
9. *Семячков А. И., Гао Ж., Атаманова Е. А.* Управление природно-ресурсным потенциалом региона на основе изменчивости эколого-экономических индикаторов // Экономика региона. 2021. Т. 17. № 2. С. 520–537.
10. *Цветнов Е. В., Макаров О. А., Строков А. С., Цветнова О. Б.* Роль почв в оценке деградации земель (обзор) // Почвоведение. 2021. № 3. С. 363–371.
11. *Чудинов О. О.* Имущественные интересы сельхозпроизводителей, их оценка и механизм реализации (региональный аспект). // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. №6. С. 49–54.
12. *Чутина И. П., Журавлева Л. А., Симачкова Н. Н., Зарубина Е. В., Фатеева Н. Б.* Аграрная социология в России: история и современность // Московский экономический журнал. 2020. № 9. С. 294–306.
13. *Blaikie P., Brookfield H.* (ed.). Land degradation and society. Routledge, 1987, 2015. 222 p.
14. *Bondarev V. P.* Social Consequences of Floods: Case Study of Five Emergencies in Different Global Drainage Basins // Geography, Environment, Sustainability. № 4 (15). 2022. P. 188–195.
15. Global consequences of land use / J. A. Foley [et al.] // Science. 2005. No. 5734. P. 570–574.
16. Land degradation / E. Mohamed [et al.] // The soils of Egypt. 2019. P. 159–174.
17. *Safriel U. N.* The assessment of global trends in land degradation // Climate and land degradation. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. P. 1–38.
18. The 17 Goals. Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. United Nations [Electronic resource]. URL: <https://sdgs.un.org/goals> (date of access: 31.08.2023).

## СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГОРОДСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ Г. ГОМЕЛЯ)

В.С. Любезная

РУП «Бел НИЦ «Экология», ул. Г. Якубова, 76,  
220095, Беларусь, email: [kelertyr@gmail.com](mailto:kelertyr@gmail.com)

В данной работе исследуется сетевой анализ объектов социальной инфраструктуры г. Гомеля (в разрезе учреждений образования). С помощью программного комплекса QGIS (с использованием дополнительного плагина QNEAT3) была разработана система показателей, позволяющая проанализировать территориальное размещение и обеспеченность населения объектами социальной инфраструктуры. На основе норматива жилой площади на одного человека была смоделирована потенциальная численность населения, что позволило более полно проанализировать доступ населения к объектам образования. Результаты моделирования могут быть применены для усовершенствования системы принятых решений в вопросах городского планирования.

**Ключевые слова:** сетевой анализ; объекты социальной инфраструктуры; обеспеченность; пешеходная доступность; ГИС-анализ.

Объекты социальной инфраструктуры являются неотъемлемой частью города, от их системы размещения и доступности зависят не только условия продуктивной трудовой деятельности, но также уровень комфорта и качество жизни населения города.

Сетевой анализ как один из видов пространственного ГИС-анализа позволяет решать задачи анализа размещения и доступности объектов социальной инфраструктуры в комплексном подходе, максимально учитывающем все особенности городского пространства [1].

В качестве анализируемых объектов социальной инфраструктуры были выбраны учреждения образования (в разрезе общего среднего и дошкольного образования) как социально значимые объекты. Исследуемая территория расположена в пределах 3 микрорайонов города Гомеля: микрорайон «Волотова», микрорайон «Мельников Луг», микрорайон «Кленковский». Микрорайоны представляют из себя зону многоэтажной жилой застройки, которая является наиболее молодой и полнофункциональной застройкой города Гомеля.

Для анализа территориального размещения и обеспеченности населения объектами социальной инфраструктуры были разработаны следующие

щие показатели: *пешеходная доступность, разнообразие, зона обслуживания*. Результатом моделирования показателей является соответствующее картографическое изображение – карта.

При моделировании показателей использовался программный комплекс QGIS и его дополнительной плагин QNEAT3. Данный плагин предназначен для расчета сложных алгоритмов в области сетевого анализа. Все алгоритмы используют OGIS3 Python API, написанные на C++. Это закладывает положительную основу с точки зрения производительности алгоритма, поскольку тяжелые вычисления с использованием графов выполняются с использованием машинного кода C++.

Также для анализа смоделированных показателей используется потенциальная численность населения рассматриваемой территории (рис. 1), так как объекты социальной инфраструктуры в первую очередь удовлетворяют материальные и духовные потребности и важно знать какая именно часть населения обеспечена, а какая часть испытывает недостаток в предоставляемых услугах. Расчет потенциальной численности населения исходил из норматива жилой площади на одного человека.

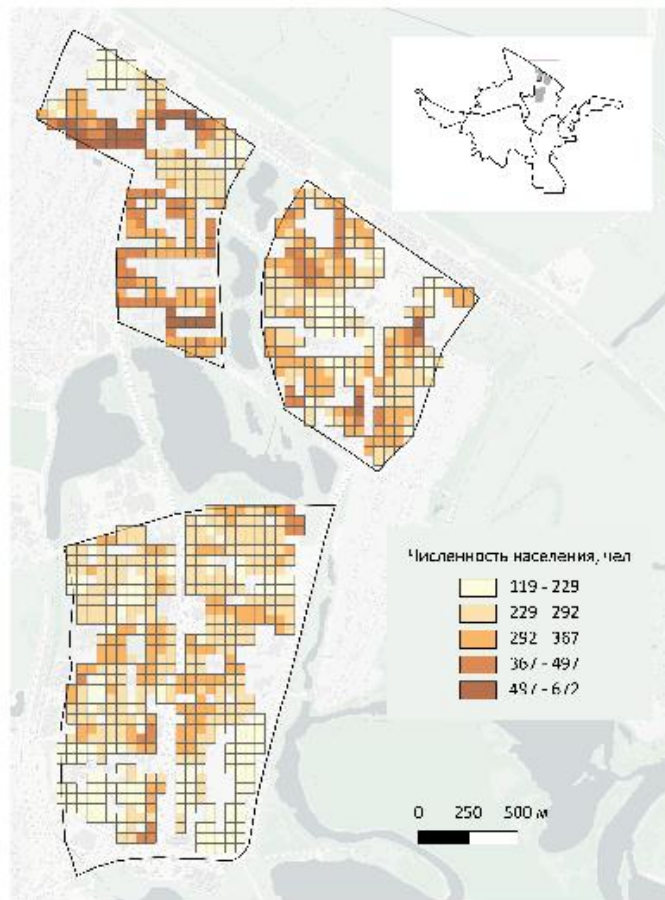


Рис. 1. Сеточная модель потенциальной численности населения

*Пешеходная доступность* позволяет охарактеризовать наличие возможности пользоваться объектами социальной инфраструктуры (рис. 2). Основной ценовой функцией здесь выступает расстояние [3]. В соответствии с техническим кодексом установившейся практики «Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки» пешеходная доступность объектов образования должна составлять не более 500 м для учреждений дошкольного образования, и для учреждений общего среднего образования не более 800 м [2].

Анализируя фактор пешеходной доступности, можно сделать вывод, что большая часть населения исследуемой территории (88 % населения) расположены в пределах 800-метровой зоны доступности к объектам общего среднего образования. И около 70 % населения имеют 500-метровую зону доступности к объектам дошкольного образования. Таким образом, пешеходную доступность объектов образования можно характеризовать как хорошую.

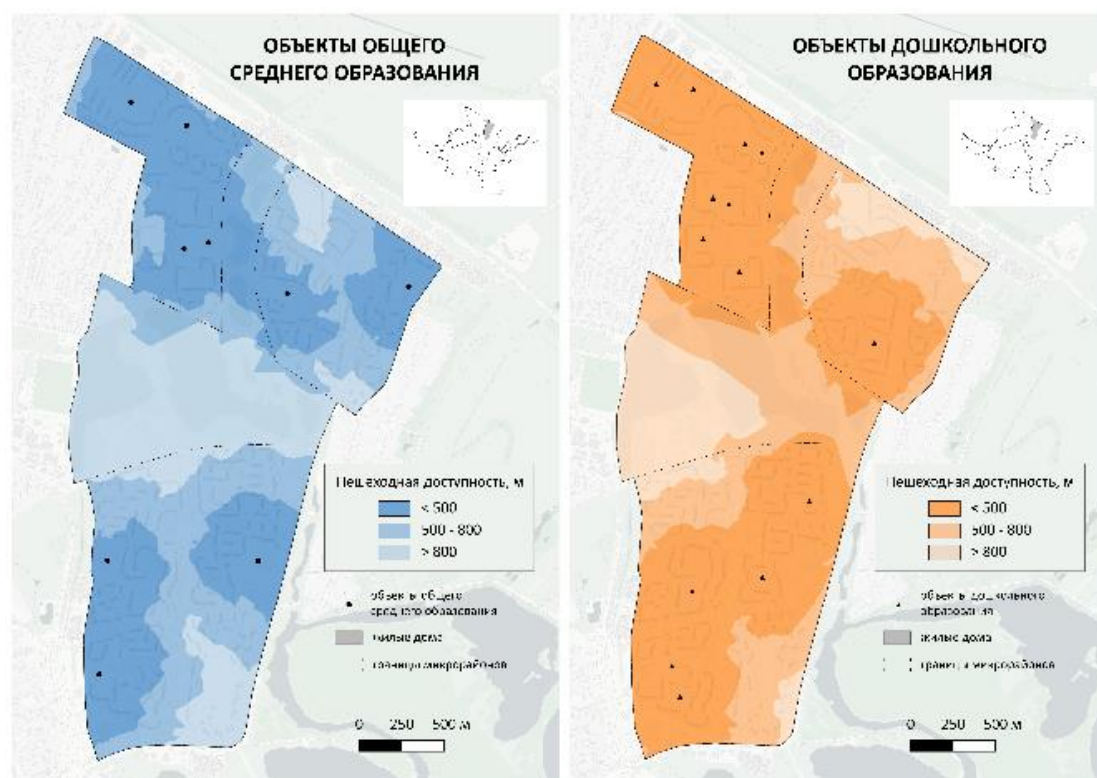


Рис. 2. Карта пешеходной доступности объектов образования

Показатель *разнообразия* выражается в количестве доступных объектов социальной инфраструктуры, что в свою очередь позволяет увидеть максимально возможное количество выбора в объектах социальной инфраструктуры в зоне доступности (рис. 3).



Основной части населения (78 %) доступно одно или два учреждения общего среднего образования в 800-метровой зоне доступности. Территориально жилые дома с наибольшим показателем разнообразия по числу доступных учреждений общего среднего образования располагаются в западной части микрорайона «Кленковский», в центральной части микрорайона «Волотова» – вдоль улицы Свиридова.

Анализируя распределение населения исследуемой территории в зависимости от числа доступных учреждений дошкольного образования, можно сказать, что около 37 % населения имеют доступ к одному учреждению. Большая часть таких жителей сконцентрирована в микрорайоне «Кленковский» (на 30 000 жителей здесь приходится одно учреждение дошкольного образования), а также северной части микрорайона «Мельников Луг».

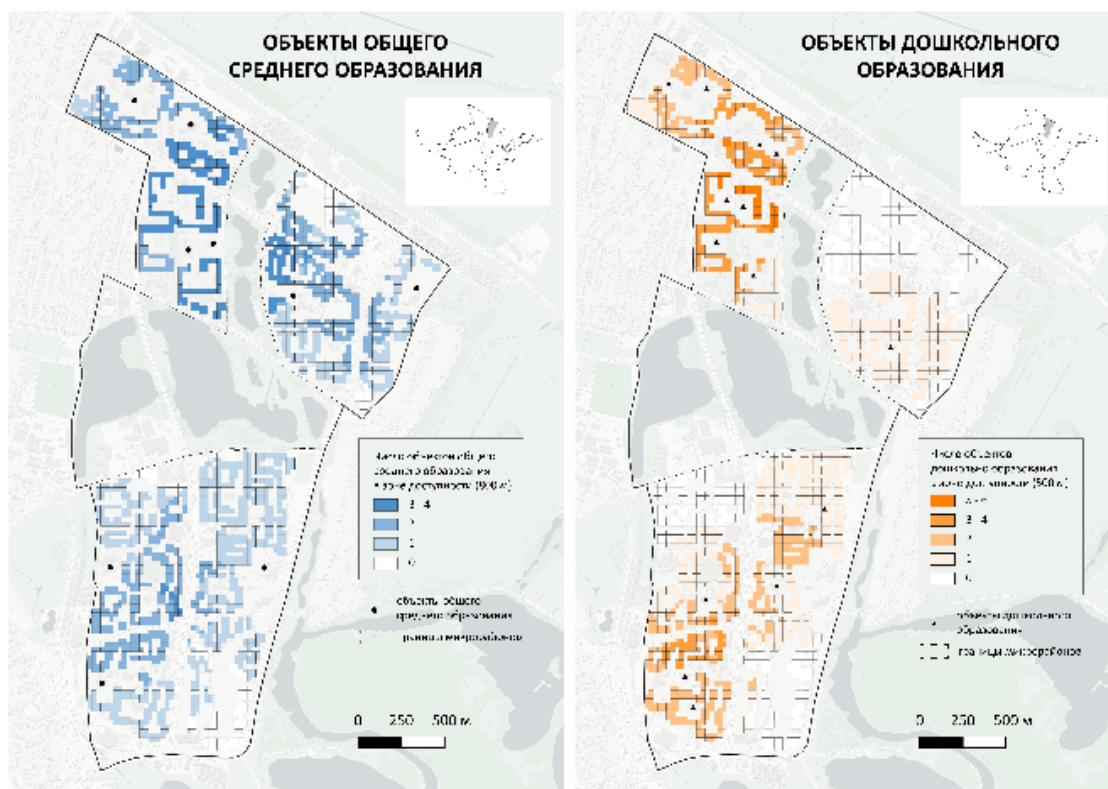


Рис. 3. Карта количества доступных объектов образования

Показатель *зона обслуживания* (рис. 4). Под зоной обслуживания объекта понимается та территория, и то население, которое пользуется предоставляемыми объектом услугами. Данный показатель можно приравнять к районированию территории. Зоны обслуживания моделируются на основе расчета среднего расстояния от жилых домов до объектов социальной инфраструктуры. Расчет среднего расстояния является наиболее по-

казательным, чем расчет пешеходной доступности, так как расчет осуществляется от объекта – «источник» до объекта – «назначения», что позволяет увидеть реальное расстояние до объекта.

Среднее расстояние, которое преодолевают школьники на пути к объектам общего среднего образования составляет 486 метров, к объектам дошкольного образования составляет 390 метров.

Наименьшее расстояние до объектов образования на рассматриваемой территории характерно для микрорайона «Волотова», наибольшее для микрорайона «Кленковский» и «Мельников Луг». Наибольшую загруженность испытывают учреждения образования, расположенные в микрорайоне «Кленковский», как в разрезе учреждений общего среднего образования, так и в разрезе учреждений дошкольного образования.

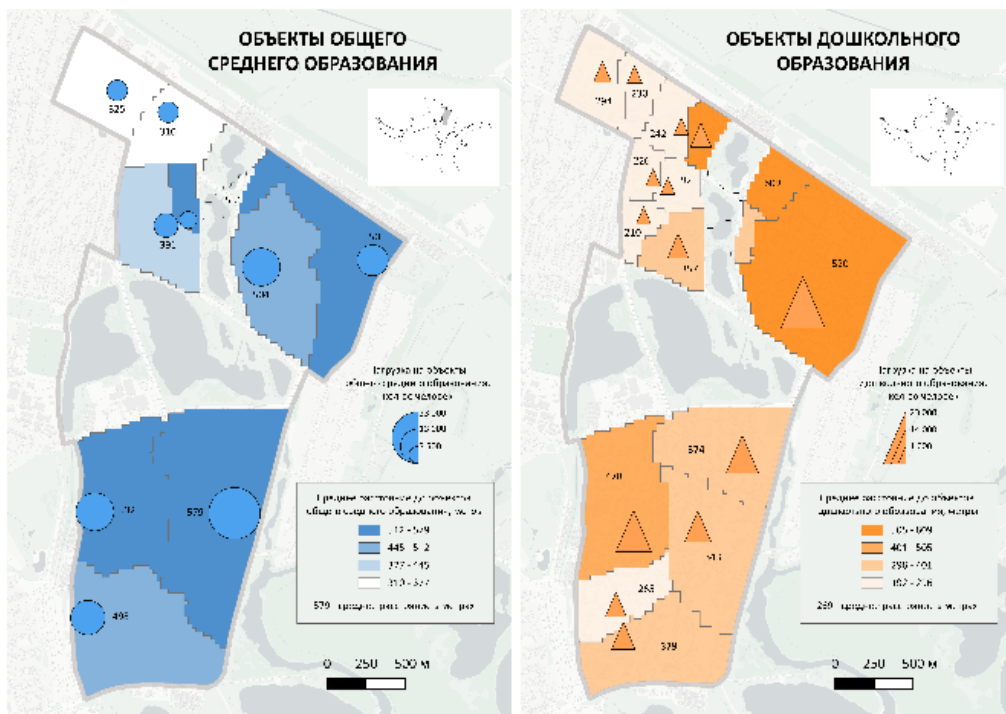


Рис. 4. Карта зон обслуживания объектов образования

Наиболее обеспеченными районами исследуемой территории по объектам образования является микрорайон «Волотова» (95 % населения полностью обеспечены услугами образования). Наименее обеспеченными является микрорайон «Кленковский» – около 60 % населения не обеспечены услугами образования. Острая нехватка в объектах общего среднего образования характерна для юго-восточной части микрорайона «Мельников Луг», в объектах дошкольного образования для северной части микрорайона «Кленковский», северо-западной и юго-восточной частей микрорайона «Мельников Луг».



## Библиографические ссылки

1. *Лурье И. К., Самсонов Т. Е.* Основы геоинформатики // Информатика с основами геоинформатики. Часть 2: Основы геоинформатики. Учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2016. 200 с.
2. Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки = Горадабудаўніцтва. Населеныя пункты. Нормы планіроўкі і забудовы: ТКП 45-3.01-116-2008 (02250). Введ. 01.07.2009 (с отменой СНБ 3.01.04-02). Минск: Мин-во архитектуры и строительства, 2009. 64 с.
3. *Токарчук С. М., Белюк А. О., Кондратюк В. Г.* Учреждения образования города Бреста: подходы к географическому изучению и ГИС-картографированию // Псковский регионологический журнал. 2019. № 4. С. 13–17.

## РАНЖИРОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ПРИЕМЛЕМОСТИ К РАЗРАБОТКЕ ОБЩЕРАСПРОСТРАНЕННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

А.Н. Маевская<sup>1)</sup>, М.А. Богдасаров<sup>1), 2)</sup>, Н.Н. Шешко<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина,  
буль. Космонавтов, 21, 224016, Беларусь, email: [maevskaya.anna@inbox.ru](mailto:maevskaya.anna@inbox.ru)

<sup>2)</sup> Брестский государственный технический университет,  
ул. Московская, 267, 224017, Беларусь

В статье предложен авторский подход к ранжированию земельного фонда территории Брестской области по приемлемости к открытой добыче. По результатам ранжирования все подтипы земель региона были объединены в виде 6 групп, отличающихся степенью возможности их использования для разработки залежей нерудного сырья. По каждой из предложенных групп рассчитаны весовые коэффициенты и сформирована цифровая растровая модель, которая может выступать основой для проведения классификации залежей общераспространенных полезных ископаемых (ОПИ) региона по «рациональной последовательности» ввода в освоение.

**Ключевые слова:** Брестская область; земельный фонд; общераспространенные полезные ископаемые; рациональное использование; геоинформационное моделирование.

Анализ специализированной научной литературы свидетельствует о том, что добыча ОПИ всегда сопряжена с негативным воздействием на состояние компонентов окружающей среды и в первую очередь на земельные ресурсы. После открытой разработки земли, как правило, достаточно проблематично вовлечь в хозяйственный оборот, так как в их границах нередко продолжается неконтролируемая добыча даже постфактум завершения срока эксплуатации. Вышесказанное обуславливает необходимость дополнения традиционных схем оценки данного вида сырья дополнительными критериями, позволяющими учитывать специфику земель района их отработки.

В данном исследовании авторами предлагается дополнить оценочную схему залежей нерудного сырья Брестской области критерием «категория земельного участка». С этой целью был разработан подход к ранжированию земельного фонда территории региона по степени приемлемости к открытой добыче. Стоит подчеркнуть, что под ранжированием земель в данном случае понимается не выстраивание некой жесткой последовательности их использования для целей освоения, а разделение в зависимости от степени приемлемости, определяемой с учетом правовых норм, регламентирующих вопросы

разрешений / ограничений отчуждения тех или иных видов земель для целей разработки залежей [1].

Непосредственно процедура ранжирования земель включала несколько этапов, подробно охарактеризованных ниже.

*Этап 1. Установление подходов, применяемых к ранжированию земель по приемлемости к освоению залежей ОПИ и правовых норм использования различных видов земель для целей их добычи.* В ходе данного этапа были рассмотрены подходы [2, 3], применяемые для ранжирования земель по приемлемости к освоению залежей ОПИ, апробированные при проведении оценочных исследований других регионов. Проведенный анализ показал, что в основном подобные классификации связаны с учетом природоохранных ограничений, экологической уязвимостью ландшафтов. При этом недостаточно внимания в таких работах уделено учитыванию правовых норм, действующих на законодательном уровне в той или иной стране.

Принимая во внимание вышесказанное, с целью выявления условий предоставления земельных участков для осуществления деятельности, связанной с разработкой ОПИ, был проанализирован ряд законодательных документов, действующих в Беларуси и затрагивающих данный вопрос: Указ Президента Республики Беларусь «Об изъятии и предоставлении земельных участков»; кодексы, представляющие действующее экологическое законодательство; иные законодательные документы, регулирующие особенности землепользования в пределах отдельных видов земель; проект постановления Совета Министров Республики Беларусь «О порядке размещения, разработки, рекультивации и учета внутрихозяйственных карьеров», а также специализированные научные издания, в которых освещаются вопросы правового режима использования земель в Беларуси.

По результатам проведенного анализа установлено, что наиболее четко в законодательстве определяются нормы использования сельскохозяйственных (с/х) и лесных земель, земель под водными объектами и болотами (в т.ч. торфяниками), а также земель населенных пунктов, что позволило наиболее четко разграничить земли данных видов при группировании. В то же время правовая регламентация целей и условий использования земель, относящихся к иным видам и категориям, определяется в недостаточном объеме. Однако в некоторых документах можно встретить определенные специальные требования, устанавливаемые к пользованию такими землями, что, например, прописано для загрязненных радионуклидами территорий, исходя из которых можно сделать выводы о степени предпочтительности их использования для открытой добычи.

*Этап 2. Группирование земель территории Брестской области.* На данном этапе с учетом сведений о современном состоянии и использовании

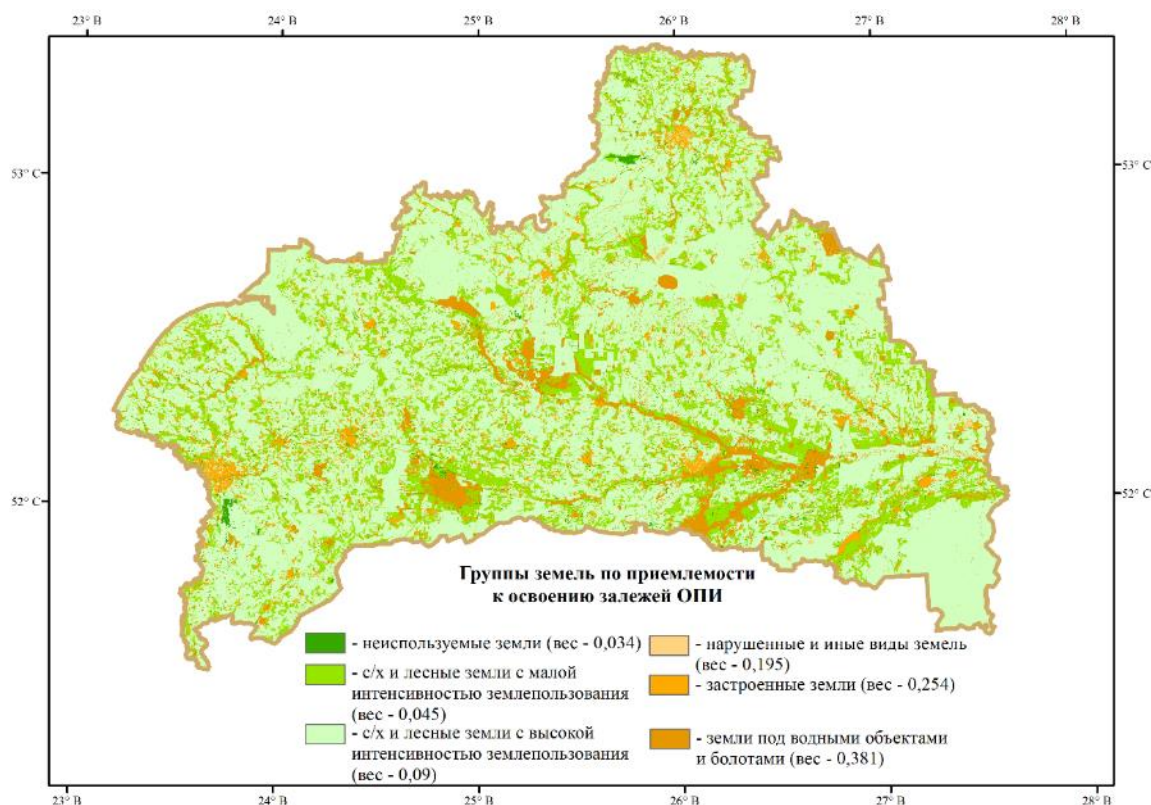
земельных ресурсов региона и правовых норм, регулирующих вопросы использования различных видов земель, производилось объединение подтипов земель исследуемой территории в группы (рис. 1). В результате объединения земель было сформировано шесть групп: 1) неиспользуемые земли; 2) с/х и лесные земли с малой интенсивностью землепользования; 3) с/х и лесные земли с высокой интенсивностью землепользования; 4) нарушенные и иные виды земель; 5) застроенные земли; 6) земли под водными объектами и болотами.

<p><b>Неиспользуемые земли</b> <input type="checkbox"/></p> <p>Отнесены неосвоенные земли, а также земли, утратившие свои полезные свойства в результате деградации и изъятые из хозяйственного оборота.</p> <p>Группа 1</p>	<p><b>С/х и лесные земли с малой интенсивностью землепользования</b> <input type="checkbox"/></p> <p>Включены земли, на которых в соответствии с законодательством допускается размещение карьеров по добыче ОПИ, а именно: с/х земли, не используемые для посева и выращивания с/х культур; непокрытые лесом земли, используемые для ведения лесного хозяйства; земли, занятые малоценной ДКР.</p> <p>Группа 2</p>	<p><b>С/х и лесные земли с высокой интенсивностью землепользования</b> <input type="checkbox"/></p> <p>Отнесены систематически обрабатываемые с/х земли, используемые для выращивания с/х культур; участки закрытого грунта; лесные земли (покрытые лесом, под посадками); земли под противозрозионными, в том числе полевосащитными насаждениями; земли, занятые временными проездами, пролегающими через территорию с/х и лесных угодий.</p> <p>Группа 3</p>
<p><b>Нарушенные и иные виды земель</b> <input type="checkbox"/></p> <p>Отнесены земли, нарушенные при разработке и добыче полезных ископаемых, ведении строительных работ; загрязненные радионуклидами; с/х земли; земли, находящиеся в стадии восстановления плодородия; карьеры и иные объекты в стадии добычи полезных ископаемых; действующие стройплощадки и другие объекты в стадии строительства; земли, используемые для хранения отходов; скотомогильники.</p> <p>Группа 4</p>	<p><b>Застроенные земли</b> <input type="checkbox"/></p> <p>Отнесены земли, в границах которых вводится запрет на пользование недрами, связанный с добычей полезных ископаемых, а именно земли, занятые застройкой, а также земельные участки, используемые для удовлетворения культурно-бытовых потребностей населения и обеспечения коммунально-бытовых нужд в границах населенных пунктов. Также в эту группу отнесены, земли, занятые транспортными коммуникациями, как в границах населенных пунктов, так и за их пределами.</p> <p>Группа 5</p>	<p><b>Земли под водными объектами и болотами</b> <input type="checkbox"/></p> <p>Отнесены земли, использование которых для добычи полезных ископаемых невозможно в соответствии с действующими на законодательном уровне принципами их охраны и использования (земли под водными объектами и их гидротехнические сооружения, земли под болотами).</p> <p>Группа 6</p>

Рис. 1. Группирование земель административных районов Брестской области по приемлемости к освоению залежей строительного сырья

**Этап 3.** Присвоение весовых коэффициентов группам земель с учетом их приемлемости к освоению залежей строительного сырья. Для обеспечения возможности использования разработанной классификации в ходе оценки приемлемости освоения залежей нерудного сырья Брестской области по каждой группе земель были рассчитаны весовые коэффициенты. При этом, с целью подбора наиболее оптимального способа расчета весов данная процедура была реализована с применением нескольких, наиболее популярных методов, основанных на экспертных оценках: ранжирования, попарного сопоставления, балльной оценки, анализа иерархий. Наиболее корректные результаты расчета относительно задач данного исследования были достигнуты на основе использования метода анализа иерархий Т. Саати.

**Этап 4. Формирование растровой модели, отражающей приемлемость земель разных групп к освоению залежей строительного сырья.** Для реализации рассматриваемого этапа применялся настольный программный пакет ArcGIS 10.5. В нем с учетом разработанной классификации и рассчитанных весовых коэффициентов была сформирована цифровая растровая модель, показывающая степень приемлемости различных групп земель исследуемой территории к освоению залежей ОПИ (рис. 2).



*Рис. 2. Схема, отражающая приемлемость различных групп земель территории Брестской области к освоению залежей ОПИ*

Исходными данными для создания модели выступал набор цифровых векторных слоев, отражающих сведения о состоянии и использовании земель (в разрезе подтипов) территории Брестской области, представленных в формате персональной файловой базы геоданных ArcGIS.

Непосредственно процедура формирования модели в ГИС-среде состояла из нескольких шагов, описанных ниже.

**Шаг 1. Генерализация земельных покрытий в соответствии с предложенной классификацией земель.** На данном шаге в таблицу атрибутов слоя с землями были добавлены новые числовые поля «Группа\_земель» и «Вес». Присвоение значений полям производилось автоматически на основе разработанной системы кодов скрипта VBA.

*Шаг 2. Формирование домена кодированных значений.* После проведения классификации земель для обеспечения возможности хранения описаний используемых рангов был сформирован домен кодированных значений, привязанный к базе геоданных «Земельный фонд Брестской области», и заданы его свойства. В завершении шага сформированный домен был присвоен полю «Группа\_земель».

*Шаг 3. Трансформация векторного слоя в растровое покрытие.* Учитывая тот факт, что для реализации итоговой оценки залежей ОПИ Брестской области необходимо производить процедуру наложения слоев, которой лучше поддаются растровые модели, была произведена трансформация ранжированных векторных слоев в растры. При конвертации полигонов в растры в качестве поля, используемого для присвоения значений входному растру, выступало поле «Вес». Размер выходной ячейки был задан равным 5 м.

Таким образом, авторами в настоящей работе предложен механизм ранжирования земельного фонда территории Брестской области по приемлемости к разработке ОПИ. Сформированная в ходе исследования растровая модель послужила основой для обоснования рациональных схем вовлечения залежей нерудного сырья исследуемого региона в отработку. Созданный на основе учета критерия «категория земельного участка» комплект карт и базы данных по ним могут представлять интерес для местных территориальных органов власти при разработке регионального плана действий по изучению, освоению, рациональному использованию залежей местных видов сырья области.

### **Библиографические ссылки**

1. *Маевская А. Н., Богдасаров М. А., Шешко Н. Н.* Ранжирование земельного фонда административных районов Брестской области по приемлемости к освоению залежей строительного сырья // Природные ресурсы. 2022. № 2. С. 45–56.

2. *Лютягин Д. В.* Геолого-экономическое обоснование вовлечения в отработку месторождений общераспространенных полезных ископаемых: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Д. В. Лютягин ; Российский государственный геологоразведочный институт. М., 2006. 28 с.

3. *Пешикова Г. Ю.* Экспресс-оценка привлекательности разработки месторождений глины на основе геолого-экономических критериев (на примере Ленинградской области) // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: вестник научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2016. № 1. С. 121–128.

## АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ВИДОВ ЗЕМЕЛЬ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

Г.И. Пиловец

*Витебский государственный университет имени П.М. Машиерова, Витебск,  
пр. Московский, 33, 210038, Беларусь, email: [pilovets\\_galina@mail.ru](mailto:pilovets_galina@mail.ru)*

В статье рассмотрены изменения структуры видов земель на территории Витебской области с 60-х годов XX века, наиболее значительные из которых произошли на рубеже XX–XXI веков. В этой связи, с целью рационального и эффективного использования земельных ресурсов, в соответствии с их потенциальными возможностями, необходим подробный анализ земельных преобразований.

**Ключевые слова:** земельные ресурсы; виды земель; структура видов земель.

Земля (земли) – это земная поверхность, включая почвы, рассматриваемая как компонент природной среды, средство производства в сельском и лесном хозяйстве, пространственная материальная основа хозяйственной и иной деятельности [1, с. 93]. Земельные ресурсы – земли, которые используются или могут быть использованы в хозяйственной и иной деятельности [1, с. 82]. Земельный фонд Витебской области как совокупность всех земель в ее границах включает части, выделяемые по природно-историческим признакам, состоянию и характеру использования (виды земель) и по основному целевому назначению (категории земель). Площади основных категорий и видов земель неизбежно претерпевают изменения в связи с изменением земельных отношений и землепользования во времени.

По основным видам земель в 60–80-е годы XX века, на фоне незначительного уменьшения площадей сельскохозяйственных земель, в их структуре происходило увеличение площадей пашни, пастбищных земель и уменьшение сенокосных. Отмечался рост площадей лесных земель, в том числе земель под кустарниками, земель под улицами, площадями, застройками. Стабильными были площади земель под болотами, под водой, под дорогами, просеками, трубопроводами.

В динамике площадей основных видов земель в 90-е годы XX века наблюдались значительные колебания. Так, площади сельскохозяйственных земель уменьшались до 1993 года, росли до 1994, а с 1995 уменьшались на 10–20 тыс. в год. Аналогичные колебания были характерны для земель под постоянными культурами, пахотных, сенокосных, пастбищных. Наблюдался рост площадей земель под водой и лесных (с 1993 года),

нарушенных (до 1995 года). Незначительно уменьшились площади земель под болотами (до 10 тыс. га за десятилетие), площади залежных земель отсутствовали.

В начале XXI века в структуре земельного фонда Витебской области по основным видам земель выявлены значительные изменения. В динамике сельскохозяйственных земель отмечено дальнейшее снижение с 2000 года по 2010 год. При этом изменялась их внутренняя структура и соотношение между площадями земель, входящими в их состав. Так, уменьшение площадей сельскохозяйственных земель в период 2000–2010 гг. составило 96,3 тыс. га, пахотных – 253,9 тыс. га, земель под постоянными культурами – 1,7 тыс. га (с 1993 по 1994 год их площади резко увеличилась в 2,6 раза, уменьшились с 1998 по 1999 год на 3,7 тыс. га). В то же время, с 2000 по 2004 год на 174,7 тыс. га возросли площади луговых земель, в дальнейшем (до 2008 года) снизились на 21,0 тыс. га, выросли к 2009 на 15,4 тыс. га, затем к 2010 году снизились на 10,2 тыс. га. В общей площади сельскохозяйственных земель залежные земли выделялись только в период 2002–2004 гг. (наибольшая площадь в 2002 году – 42,2 тыс. га) и в 2008 году. Такая динамика была обусловлена рядом причин. В динамике сельскохозяйственных земель отмечены значительные колебания площадей пахотных земель. В период с 2000 по 2010 год на общем фоне уменьшения площадей пахотных земель наиболее резкое сокращение на 207,9 тыс. га произошло с 2001 на 2002 год, незначительное увеличение наблюдалось с 2005 по 2006 год и с 2009 по 2010 год. Площади пахотных земель уменьшались за счет перевода в луговые, лесные земли, отвод под строительство и добычу полезных ископаемых, прибывали за счет ликвидации садов, вовлечения в оборот рекультивированных земель.

Значительная заболоченность земель Витебской области обуславливает избыточное увлажнение пашни и сенокосов [2]. Именно этот фактор является ключевым при оценке структуры земельных ресурсов. Изменение площадей земель под многолетними насаждениями и их внутренней структуры связано в первую очередь с их переводом в луговые и пахотные земли, уменьшением площадей естественной луговой растительности и изменением соотношения площадей естественных и улучшенных луговых земель. Улучшенные луговые земли – это удобряемые, с регулируемым режимом увлажнения земли. Они не только важный поставщик кормов, но и один из главных компонентов освоенного ландшафта. Луговые ареалы часто образуются из многих мелких, генетически различных участков. Вследствие этого утрачиваются естественные, очень ценные в экологическом отношении мелкоструктурные элементы ландшафта. Площади луговых земель увеличивались за счет перевода земель под постоянными культурами, пахотных, залежных, лесных, несельскохозяйственных земель в



луговые земли, уменьшались за счет перевода в лесные и неиспользуемые земли, в земли под постоянными культурами.

В динамике лесных земель на общем фоне роста площадей наиболее значительное увеличение на 447,3 тыс. га отмечено с 2001 по 2002 год. Рост площадей лесных земель был обусловлен неиспользованием пахотных, луговых земель, земель под древесно-кустарниковой растительностью, переводом заросших торфоучастков в лесные земли, в результате уточнения площадей земель под болотами и водными объектами. Сокращение площадей обусловлено переводом в неиспользуемые и луговые земли.

Площади земель под древесно-кустарниковой растительностью с 2000 года уменьшались до 2006 года, наиболее значительно на 188,1 тыс. га с 2001 по 2002 год, затем к 2007 году наблюдался рост, к 2008 году сокращение, в 2009-2010 гг. произошло увеличение площадей. Убыль земель данной категории была обусловлена переводом в лесные, отводом под дороги, а увеличение площадей результат зарастания луговых земель, переувлажненных участков на осушенных землях, перевода в данный вид земель под застройкой, земель торфоучастков.

Площади земель под болотами, как и в 90-е годы XX века, в начале XIX века имеют тенденцию к уменьшению, наиболее значительное сокращение на 24,8 тыс. га зафиксировано с 2001 по 2002 год, по сравнению с предшествующими годами увеличились площади в 2003 и 2008 годах. Убыль земель под болотами объясняется переводом их в луговые и лесные земли, увеличение происходило из-за неиспользуемых земель.

Площади земель под водой, как и в 90-е годы XX века, относительно стабильны и составляли в данный период 142–145 тыс. га. Незначительные колебания площадей в сторону увеличения происходили из-за неиспользуемых, а уменьшение связано с их переводом в лесные земли.

В период 2000–2010 гг. отмечалось хоть и незначительное, но стабильное увеличение площадей земель под дорогами и иными транспортными путями с 55,9 тыс. га (2007 г.) до 66,7 тыс. га (2010 г.), главным образом за счет земель под древесно-кустарниковой растительностью и неиспользуемых земель.

Площади земель под улицами и иными местами общего пользования за период 2000–2010 гг. изменялись незначительно, занимали минимально 23,7 тыс. га (2007 г.), максимально 25,7 тыс. га (2000, 2009 г.). Изменение площадей было обусловлено передачей военных городков на баланс жилищно-коммунального хозяйства и переводом земель данного вида в неиспользуемые земли.

Площади земель под застройкой от года к году имели колебания 0,1–0,5 тыс. га то в сторону роста, то сокращения. Прибытие земель являлось результатом их отвода под строительство жилых домов, убыль объясняется

их переводом в земли под древесно-кустарниковой растительностью (бывшие фермы и хозпостройки), в неиспользуемые после демонтажа построек, уточнением при передаче военных городков в неиспользуемые земли.

Нарушенных земель от года к году становилось меньше. Так, в 2000 году они занимали 5,6 тыс. га, а в 2010 году – 0,4 тыс. га в связи с проведением на этих землях рекультивации и их дальнейшим переводом в неиспользуемые земли.

В период 2000–2005 гг. имело место то увеличение, то уменьшение площадей неиспользуемых земель, а с 2006 года по 2009 год наблюдалось их снижение, к 2010 году рост. Увеличение площадей происходило за счет земель после демонтажа построек, участков с вымочками на осушенных землях, перевода луговых, рекультивированных земель в неиспользуемые. Убыль обусловлена переводом в лесные земли, в земли под болотами, под водными объектами, под дорогами, под улицами и иными местами общего пользования при передаче военных городков на баланс жилищно-коммунального хозяйства.

В динамике иных земель отмечено снижение площадей в период 2000–2006 гг. на 3,6 тыс. га, с 2007 по 2010 год рост соответственно с 14,6 тыс. га до 15,8 тыс. га. Площади иных земель пополнялись за счет перевода в данный вид земель нарушенных, отвода пахотных под земли по добыче полезных ископаемых, сокращались из-за перевода в пахотные из стадии улучшения рекультивированных земель, в лесные земли торфяных участков, в древесно-кустарниковую растительность, в земли запаса.

Анализ данных по видам земель на территории Витебской области с 2010 года показал, что наибольшие площади занимают лесные и сельскохозяйственные земли. При этом в динамике площадей лесных земель наблюдается тенденция роста на 50 тыс. га за десятилетие (максимально на 10 тыс. га с 2015 по 2016 год), а в динамике сельскохозяйственных земель, наоборот, падения (площади уменьшались на 151 тыс. га за десятилетие). Пахотные земли занимали минимальные площади в 2011 году, максимальные – в 2013 году, в последующие годы площади пахотных земель уменьшились на 20 тыс. га. Площади земель под постоянными культурами изменялись незначительно, составляя 16–17 тыс. га, с 2016 года наметилась тенденция значительного уменьшения до 11 тыс. га. Площади луговых земель уменьшились на 90 тыс. га (с 639, 7 тыс. га до 449, 8 тыс. га). Площади земель под древесно-кустарниковой растительностью, за анализируемый период увеличивались с 232,9 тыс. га (2010 г.) до 357,6 тыс. га (2022 г.), при этом в 2020 году зафиксировано максимальное уменьшение до 131,0 тыс. га. Площади земель под болотами имеют колебания с максимальным изменением на 30 тыс. га. Площадь земель под дорогами и иными транспортными коммуникациями уменьшалась с 66,8 до 60,6 тыс. га. Значительно

увеличились площади земель под застройкой (с 45,8 тыс. га до 83,6 тыс. га.), неиспользуемых земель (с 44,8 тыс. га до 60,2 тыс. га). Площади земель общего пользования, земель под водными объектами и иных земель изменялись за анализируемый период незначительно. Нарушенные земли составляют неизменно 0,4 тыс. га. Площадей залежных земель в анализируемом периоде не выявлено [3].

Таким образом, в структуре земельного фонда Витебской области за последние 50–60 лет наиболее значительные изменения по видам земель произошли в XXI веке. Изменения площадей земельных ресурсов за последние десятилетия следует воспринимать не как простое превращение одних видов земель в другие, а как формирование качественно новой структуры. Инерционность земельного фонда обусловлена сложившимися взаимосвязями отдельных видов земель в зависимости от одних и тех же факторов на протяжении длительного периода времени, в сохранении темпов изменения и даже в особенностях земельного учета.

### Библиографические ссылки

1. Словарь-справочник землеустроителя / под ред. А. С. Помелова. Мн.: Учеб. центр подгот., повышения квалификации и переподгот. кадров землеустроит. и картографо-геодез. службы, 2004. 271 с.

2. *Пиловец Г. И.* Современная структура земельного фонда Витебской области и его динамика // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию кафедры почвоведения и агрохимии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии «Современные проблемы использования почв и повышения эффективности удобрений». 24–26 октября 2001. Ч. I. Проблемы воспроизводства почвенного плодородия. Горки. БГСХА, 2001. С. 123–124.

3. *Пиловец Г. И., Чернявская О. В.* Динамика площадей видов земель Витебской области (2010–2015) // Вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси [Электронный ресурс]: сборник научных статей: в 2 ч. Ч. 2 / редкол.: А. И. Павловский (гл. ред.) [и др.]; М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. С. 184–189.

## УПРАВЛЕНИЕ ТЕРРИТОРИЯМИ ВОДНО-БОЛОТНЫХ УГОДИЙ МЕЖДУНАРОДНОГО ЗНАЧЕНИЯ БЕЛАРУСИ

**А.Н. Полюхович**

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
2203030, Беларусь, email: [narikm@mail.ru](mailto:narikm@mail.ru)*

В статье определены особенности управления территориями водно-болотных угодий международного значения Республики Беларусь. В национальную природоохранную систему включено 92 % угодий. 14 водно-болотных угодий находится под управлением государственных природоохранных учреждений, для 18 угодий разработаны планы управления. Мероприятия по устойчивому управлению проводятся на 6 территориях (14 %), запланированы на 3 (26 %). На 10 Рамсарских территориях (60 %) получило развитие рекреационная и туристическая деятельность на устойчивой основе. Проведена оценка уровня охраны угодий. Выделены территории с недостаточным (9 %), удовлетворительным (7 %) и достаточным (84 %) уровнем. Дополнительные природоохранные мероприятия требуются для территории угодий «Пойма реки Днепр», «Голубицкая пуца», «Полесская долина реки Буг».

**Ключевые слова:** водно-болотные угодья; Рамсарские территории; план управления; устойчивое управление; уровень охраны.

Республика Беларусь располагает уникальными водно-болотными угодьями, что подтверждается наличием международного статуса Рамсарских угодий у 26 территорий. Создание системы учета режимов охраны и использования природных территорий, подлежащих особой и (или) специальной охране является одним из направлений Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. Организация рационального использования, воспроизводства, охраны и защиты водно-болотных угодий обуславливает необходимость выполнения оценки их уровня охраны [1].

Цель настоящего исследования – оценка уровня охраны водно-болотных угодий международного значения Республики Беларусь. При этом использовали сравнительно-географический, математический, геоинформационный методы.

Функционирование особо охраняемых природных территорий (ООПТ) является существенной мерой в системе механизмов управления водно-болотных угодий. Выбор объявляемых ООПТ, на которых расположены водно-болотные угодья (их части), является одним из основных факторов, определяющих эффективность экологических сетей на всех уровнях [2].

Таким образом, из более 777 тыс. га, которые занимают водно-болотные угодья международного значения, в национальную природоохранную сеть включено более 713 тыс. га, что составляет около 92 %. Выделяется одна территория, которая не имеет национального природоохранного статуса – водно-болотное угодье «Пойма реки Днепр». На трех угодьях в состав природоохранных территорий входят только их части: «Вилейты» (60 %), «Голубицкая пуща» (34 %), «Полесская долина реки Буг» (17 %).

В соответствии со статьей 31 Закона Республики Беларусь «Об особо охраняемых природных территориях» для осуществления управления заповедником, национальным парком по решению управляющего органа создается государственное природоохранное учреждение, для осуществления управления заказником, памятником природы по решению управляющего органа назначается ответственное должностное лицо, на которое возлагается ведение вопросов, связанных с управлением заказником, памятником природы, либо создается государственное природоохранное учреждение [3].

Так, 14 водно-болотных угодий находится под управлением государственных природоохранных учреждений, что составляет более 65 % от территории всех угодий.

Управление ООПТ осуществляется в соответствии с планом управления природоохранной территорией [3]. Для 18 водно-болотных угодий в том числе и расположенных в рамках национальной природоохранной сети разработаны планы управления. Таким образом, планы управления распространяются на более 650 тыс. га угодий (84 % угодий).

Основными задачами государственного природоохранного учреждения, а в случае, когда оно не создано, управляющего органа являются: обеспечение сохранения в естественном состоянии и восстановления (воспроизводства) ценных природных комплексов и объектов, расположенных в границах ООПТ [3]. Для поддержания благоприятного экологического состояния Рамсарских территорий и организации их устойчивого использования проводятся мероприятия по охране и устойчивому управлению (восстановление гидрологического режима, кошение травостоя, удаление древесно-кустарниковой растительности и др.) (рис. 1).

Мероприятия по устойчивому управлению проводятся на 6 территориях, что составляет более 106 тыс. га (около 14 %). Запланировано устойчивое управление для 199 тыс. га (26 %). Благоприятное экологическое состояние водно-болотных угодий поддерживается развитием рекреационной и туристической деятельности на устойчивой основе. Такое направление получило распространение на 10 Рамсарских территориях (60 % от всех угодий).

Проведена оценка уровня охраны водно-болотных угодий международного значения (рис. 2).

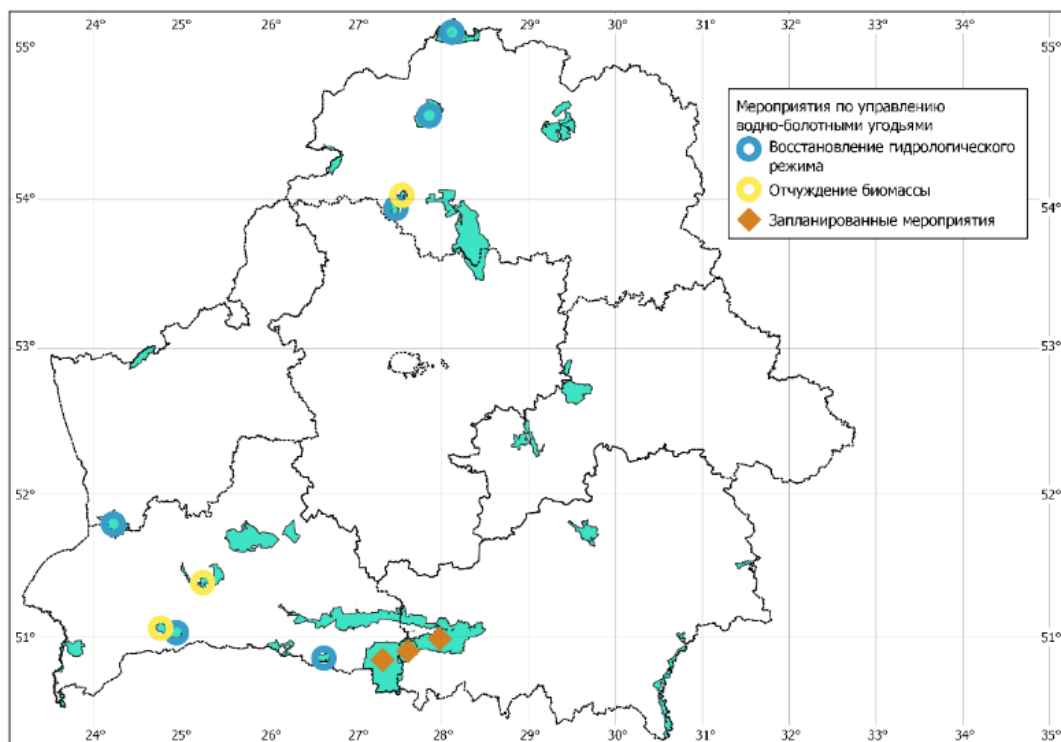


Рис. 1. Мероприятия по устойчивому управлению водно-болотными угодьями

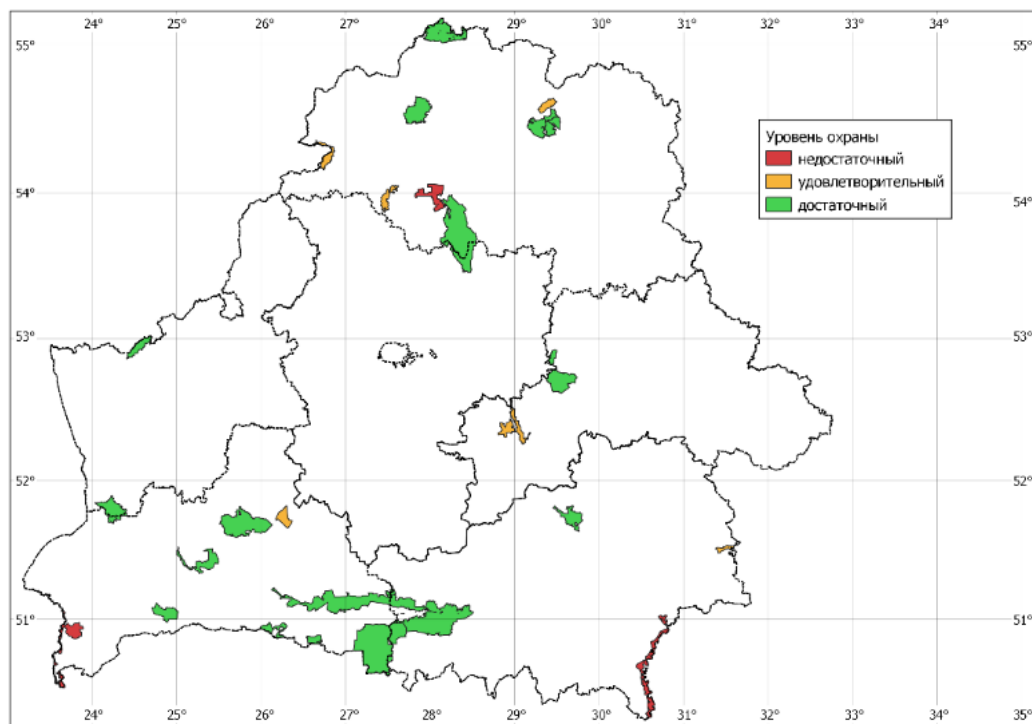


Рис. 2. Уровень охраны водно-болотных угодий международного значения

При оценке использована трехбалльная оценочная шкала, были выделены территории с недостаточным, удовлетворительным и достаточным уровнем охраны. При этом учитывалась доля водно-болотного угодья в ООПТ, наличие природоохранного учреждения, плана управления и мероприятий по устойчивому использованию.

Наибольшую площадь занимают угодья с достаточным уровнем охраны 650 тыс. га: 17 территорий, которые занимают 84 % от площади всех угодий. Удовлетворительным уровнем охраны оцениваются 6 территорий (57 тыс. га, 7 %). Для 3 территорий (71 тыс. га, 9 %) характерен недостаточный уровень охраны.

Таким образом, водно-болотные угодья международного значения Республики Беларусь отличаются высокой долей включенности в национальную систему природоохранных территорий (в составе ООПТ 92 % от площади угодий). На 14 % Рамсарских территорий проводятся мероприятия по охране и устойчивому управлению, на 26 % они запланированы. Развитие рекреационной и туристической деятельности на устойчивой основе происходит на 60 % от всех угодий. Большинство водно-болотных угодий международного значения оцениваются как территории с достаточным уровнем охраны (84 %). При этом актуальными остаются дополнительные природоохранные мероприятия для территории угодий «Пойма реки Днепр», «Голубицкая пуца», «Полесская долина реки Буг».

### Библиографические ссылки

1. 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: 24.08.2023.

2. Речиц Е. В. Особенности правовой охраны водно-болотных угодий, расположенных на особо охраняемых природных территориях // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 2, Гісторыя. Эканоміка. Права. 2016. № 2. С. 153–162.

3. Закон Республики Беларусь «Об особо охраняемых природных территориях» [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11800150>. Дата доступа: 24.08.2023.

## ДУАЛИЗМ И ТРИХОТОМИЯ СЕЛЬСКОГО ПРОСТРАНСТВА БЕЛАРУСИ КАК РЕЗУЛЬТАТ ИНТЕНСИВНОСТИ СЕЛЬСКО-ГОРОДСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Г.В. Ридевский

*НИИ труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь,  
пр. Победителей, 23, корп. 2, 220004, г. Минск, Беларусь*

В результате тесного взаимодействия городских и сельских поселений создаются интегрированные пространственные структуры – сельско-городские континуумы. Вхождение ряда сельских поселений в состав последних позволяет говорить о дуализме сельской местности, а интенсивность сельско-городских взаимодействий с учетом процессов формирования городских агломераций и конурбаций порождает трихотомичность сельского пространства: пригородную сельскую местность больших и средних городов, пригородную сельскую местность малых и полусредних городских поселений и сельскую местность вне зон активных сельско-городских взаимодействий. Представления о дуализме и трихотомичности сельской местности основаны на эмпирических исследованиях и впервые позволили отнести все сельские поселения Беларуси к трем перечисленным выше группам, что значимо для оптимизации сельского расселения, территориальной организации и специализации сельского хозяйства.

**Ключевые слова:** городские и сельские поселения; сельско-городские континуумы; городские агломерации; городские конурбации; дуализм сельских поселений; трихотомия сельской местности, Республика Беларусь.

Пространство любой освоенной человеком территории состоит из взаимодействующих городских и сельских поселений. Тесно взаимодействующие городские и сельские поселения получили название сельско-городских континуумов (СГК) [1]. СГК по охвату территории и конфигурации существенно различаются, что определяется людностью городских поселений, транспортной сетью, комплексом физико-географических и социально-экономических факторов.

Каждое городское поселение, будучи центром социально-экономической жизни, для окружающих территорий выступает как основа для формирования СГК разных иерархических уровней. Расстояние от городского центра СГК до активно взаимодействующих с ним сельских поселений как правило составляет от 15 до 50 км, что соответствует суточному ритму трудовой активности населения и характеризуется наиболее интенсивными экономическими и социальными связями. Таким образом, СГК – ареалы урбанизированной среды, включающие городской центр и систему взаимодействующих с ним сельских поселений.



СГК – типичные диссипативные структуры, сформированные процессами самоорганизации населения и не имеющие административного статуса, наряду с более крупными по охвату территории пространственными структурами городских агломераций (ГА), городских конурбаций (ГК), социально-эколого-экономических районов (СЭЭР) [2].

Одним из наиболее эффективных подходов к выделению СГК и прочих диссипативных пространственных структур для больших территорий является дазиметрический метод, основанный на оценке расстояний между взаимодействующими поселениями с учетом их размеров и прочих дополнительных факторов и выделении дазиареалов, оконтуривающих центр системы и взаимодействующие с ним поселения [3].

В состав ГА входят два и более тесно взаимодействующих СГК, в состав ГК – несколько СГК, а часто одна или несколько ГА. Полицентричность пространственной организации и значительные размеры территории (ГК – город-регион) – отличительная черта ГК. Крупнейшие ГК Беларуси – пространственный каркас 15 СЭЭР страны [4].

В Республике Беларусь исторически сложилась достаточно густая сеть городских поселений (200 городских поселений на начало 2023 г.), которые распространяют свое непосредственное влияние на большую часть территории страны, поскольку среднее расстояние между городскими поселениями составляет 32,1 км, а на одно городское поселение приходится чуть более 1 тыс. кв. км территории. Однако целый ряд сельских поселений расположены за пределами СГК, т. е. вне зон непосредственного воздействия городских центров. Это порождает дуализм сельской местности или наличие двух типов сельских поселений: входящих в состав СГК и расположенных вне их. Сельские поселения, не входящие в состав СГК, формируют сельские континуумы, т. е. активно взаимодействующие сельские поселения. Дуализм сельской местности носит не антагонистический, а взаимодополняющий характер. Сельская местность в границах СГК и вне их – сельское пространство всей страны (территория, не входящая в состав городских поселений), а пространство СГК и сельская местность вне СГК – вся территория страны. По данным переписей населения 2009 и 2019 гг. в границах СГК проживала преобладающая и растущая часть сельского населения страны. Сельская местность вне СГК подвержена наиболее активным депопуляционным процессам (табл. 1).

Наряду с дуализмом сельской местности Беларуси характерна трихотомичность, т. е. возможность ее разделения на три типа сельских поселений (ареалов). Это связано с тем, что значительная часть городских поселений пространственно удалена от крупных городских центров и слабо с ними связана, имеет недостаточно развитую городскую инфраструктуру,

преобладающую усадебную застройку, отличается активной сельскохозяйственной деятельностью населения (приусадебное сельское хозяйство как вторичная занятость).

Таблица 1

**Сельское население Беларуси, проживающее в границах СГК и вне их, по переписям 2009 и 2019 гг., тыс. чел.**

	2009	2019	Темп роста, 2009/2019 гг. %
Сельские поселения в составе СГК	1864,8	1679,4	90,1
Сельские поселения вне СГК	574,5	434,0	75,5
Все сельские поселения	2439,3	2113,4	86,6

*Примечания.* Рассчитано по данным переписей населения 2009 и 2019 г. Распределение всех сельских поселений на входящие в состав СГК и не входящие в них осуществлено с учетом зон непосредственного влияния городских поселений на сельскую местность.

В современной Беларуси реальный водораздел между городскими поселениями с высоким уровнем благоустройства жилищного фонда, интенсивностью городской жизни и большинством городских поселений с полугородской ментальностью жителей отмечается в городах с населением 50 и более тыс. чел. Это дает основание всех жителей СГК разделить на две группы и рассматривать всю сельскую местность как трихотомичное пространство.

Первая и наиболее тесно взаимодействующая с городскими центрами часть сельской местности – сельские поселения, непосредственно входящие в состав СГК, возглавляемых крупнейшими городскими центрами страны (городами с населением более 50 тыс. чел.), наиболее значимыми ГА (в главных городах которых проживает более 50 тыс. жителей) и конурбациями, в составе которых есть города с населением более 50 тыс. чел. Эту часть сельской местности можно с полным основанием считать пригородной сельской местностью больших (с населением более 100 тыс. чел.) и средних (с населением от 50 до 100 тыс. чел.) городов или ядром сельского расселения и сельскохозяйственного производства сегодня и в обозримой перспективе. Это правомерно, поскольку именно здесь происходит процесс концентрации сельского населения и сельскохозяйственного производства под влиянием процессов агрополизации и наиболее ярко проявляется интенсивность сельско-городского взаимодействия [5].

В составе пригородной сельской местности больших и средних городов 14 ГК, включающих 15 ГА и ряд СГК, и самостоятельная Светлогорская ГА (табл. 2). В 2019 г. здесь было расположено 123 СГК или 61,5 % всех СГК Беларуси. Это свидетельствует о широком развитии в Беларуси процессов агломерирования и конгломерирования, поскольку только

23 СГК имели в 2019 г. городские центры с численностью населения более 50 тыс. чел. [6].

Таблица 2

**Трихотомичность сельской местности Беларуси с учетом процессов агломерирования и конгломерирования пространства**

Основные типы сельской местности	Число СГК	Сельское население, тыс. чел.		
		2009	2019	Темп роста, 2009/2019 гг. %
Пригородная зона больших и средних городов (ядро сельского расселения)	123	1341,6	1231,0	91,8
Пригородная зона малых и полусредних городов (полупериферия сельского расселения)	77	523,2	448,4	85,7
Сельская периферия (сельские поселения вне СГК)	-	574,5	434,0	75,5
Все сельские поселения	200	2439,3	2113,4	86,6

*Примечания.* Рассчитано по данным переписей населения 2009 и 2019 г. Распределение всех сельских поселений на три группы дано с учетом зон непосредственного влияния городских поселений на сельскую местность и людности городских поселений.

Среди пригородных зон больших и средних городов выдающуюся роль играет сельская местность Центрально-Белорусской конурбации, в которой в 2019 г. проживало 449,3 тыс. сельских жителей (21,3 % сельского населения страны) [7].

Вторая часть сельской местности – сельские поселения, входящие в состав СГК, центрами которых являются малые (с населением до 20 тыс. чел.) и полусредние (с населением 20-50 тыс. чел.) города, не входящие в состав крупнейших городских агломераций и конурбаций. Это своеобразная сельская полупериферия, занимающая маргинальное положение между пригородной сельской местностью больших и средних городов и периферийной сельской местностью, удаленной от городских поселений.

Третья часть сельской местности – сельские поселения, расположенные вне СГК. Это типичная сельская периферия, потенциальная зона фермерства, экологически чистого сельского хозяйства, развития экотуризма.

Сельская периферия, лишенная городских центров, наиболее широко представлена в пределах Поозерья и в Припятском Полесье, где сеть городских поселений относительно редкая.

Уровень урбанизации в интегрированных системах расселения, формирующихся под влиянием больших и средних городов, в 2019 г. составлял 84,3 %, под влиянием полусредних и малых городских поселений –

59,8 %, в сельских поселениях, расположенных вне непосредственного влияния городских центров, городское население отсутствует. 83,5 % население Беларуси было сконцентрировано в поселениях первой группы, 11,7 % – второй и 4,6 % – третьей.

Очевидно, что представления о дуализме и трихотомичности сельской местности Беларуси чрезвычайно важны для оптимизации системы сельского расселения, территориальной организации и специализации сельского хозяйства сегодня и в ближайшем будущем. Повышение интенсивности взаимодействия городских и сельских поселений – основа устойчивого развития сельской местности и перехода к инклюзивному развитию в интересах всего населения страны.

### Библиографические ссылки

1. *Redfield R.* Tepoztlan, a Mexican village: a study of folk life. Chicago : Univ. of Chicago Press, 1930. 247 p.

2. *Ридевский Г. В.* Диссипативные пространственные структуры современной Беларуси // Весн. БДПУ. Сер. 3, Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. 2022. № 3. С. 39–43.

3. *Ридевский Г. В.* Дазиметрический метод В. П. Семенова-Тян-Шанского как способ выделения диссипативных пространственных структур расселения на примере Республики Беларусь // Веснік Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. С. Пушкіна. 2023. № 1. С. 138–145.

4. *Ридевский Г. В.* Пространственные структуры современной Беларуси : новая социально-экономическая география страны : монография. Минск : Бел НИИТ «Транстехника», 2022. 244 с.

5. *Ридевский Г. В.* Центр-периферийные процессы и развитие регионов Беларуси : монография. Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2020. 346 с.

6. *Ридевский Г. В.* Атрибутивные свойства географического пространства и закономерности пространственного развития // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2023. № 1. С. 83–92.

7. *Ридевский Г. В.* Центральнo-Белорусская конурбация как географическое открытие // Экономический рост Республики Беларусь : глобализация, инновационность, устойчивость. Минск : БГЭУ, 2022. С. 127–128.

## ИСКУССТВЕННЫЕ ЗЕМЕЛЬНЫЕ УЧАСТКИ КАК ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ РЕЗЕРВ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КАЗАНИ)

Г.Р. Сафина<sup>1)</sup>, В.А. Федорова<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань,  
ул. Кремлевская, 18, 420008, Россия, email: [Safina27@mail.ru](mailto:Safina27@mail.ru)

<sup>2)</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань,  
ул. Кремлевская, 18, 420008, Россия, email: [fya\\_14@mail.ru](mailto:fya_14@mail.ru)

Дефицит территориальных ресурсов городов возможно решить комплексом мер: уплотнением застройки, развитием вертикальной составляющей города (высотное и подземное строительство), редевелопментом промышленных предприятий, реновацией, вовлечением в городское строительство городских неудобий, созданием искусственных земельных участков (ИЗУ). В работе исследуется создание ИЗУ в г. Казани как способ устранения территориальных проблем. Анализ разновременных космических снимков (1966 и 2020 годов) позволил определить, что за 55-летний период было создано более 400 га искусственных земельных участков. ИЗУ в городе создаются в трех районах, но наиболее интенсивно идет их создание в центральной части города (в акватории Казанского залива Куйбышевского водохранилища), где порядка 80 % созданных участков отводится под строительство общественно-деловых и спортивных центров. Город Казань, расположенный на берегах двух водных объектов, имеет значительный потенциал по созданию искусственных земельных участков и решению, таким образом, территориальных проблем.

**Ключевые слова:** город; территория; дефицит; резерв; искусственные земельные участки.

Территориальные ресурсы интенсивно развивающегося города очень скоро оказываются близкими к исчерпанию и перед городом встает дилемма – территориальное расползание или максимально эффективное использование внутренних территориальных резервов, таких как развитие вертикальной составляющей города (высотное и подземное строительство) [1], уплотнение застройки [2], редевелопмент промышленных предприятий, реновация [3], использование городских неудобий [4, 5], создание искусственных земельных участков (ИЗУ).

В работе исследуется создание искусственных земельных участков в городе Казани в начале XXI века, представляющих один из способов устранения дефицита городских территорий.

Согласно статье 3 Федерального закона №246-ФЗ, искусственный земельный участок – это «участок, созданный на водном объекте, находящемся в федеральной собственности (далее также – искусственный земельный участок, искусственно созданный земельный участок), - сооружение, создаваемое на водном объекте, находящемся в федеральной собственности, или его части путем намыва или отсыпки донного грунта либо использования иных технологий и признаваемое после ввода его в эксплуатацию также земельным участком» [6].

Создание насыпных и намывных территорий в мире имеет долгую историю. Известно, что Нидерландах около 40 % площади территории образованы насыпкой. В ряде стран, где отмечается интенсивное развитие экономики (ОАЭ, Китай), создание земель на водных объектах помимо устранения проблемы нехватки территории представляют собой также «имиджевые» проекты. На созданных намывных или насыпных территориях размещаются объекты различного назначения: транспортные (морские порты и аэропорты - аэропорт Кансай в Японии, Гонконгский международный аэропорт); военные (острова в Финском заливе близ Кронштадта); общественно-деловые (остров Нотр-Дам в Канаде на р. Святого Лаврентия); рекреационные (ОАЭ – проект «Пальмовые острова» и др.) и т.д. [7].

Анализируя историю намывных и насыпных территорий в России, следует отметить город Санкт-Петербург, в котором намывать и насыпать территории стали еще при Петре I, что позволяло решить, главным образом, две задачи: повышение абсолютных отметок рельефа города и создание новых территорий (Летний сад, Троицкая площадь, Тучков Буян и др.). На современном этапе Санкт-Петербург занимает ведущее место по созданию ИЗУ и в качестве одного из примеров создания намывных территорий в Санкт-Петербурге можно привести проект «Морской фасад», реализующий расширение Васильевского острова. В результате созданы новые территории, площадь которых составляет около 476 га, построен морской пассажирский порт для круизных и паромных судов и планируется дальнейшее освоение этой территории путем строительства различных объектов недвижимости [7].

Город Казань, расположенный на берегах рек Волги (в настоящее время – Куйбышевское водохранилище) и Казанки, имеет большой потенциал для создания ИЗУ. В истории создания намывных территорий в городе Казань можно обозначить два периода. Первый связан с образованием Куйбышевского водохранилища, в результате которого закономерно ожидалось изменения гидро-геологических характеристик на территории города, заключающиеся в затоплении части городской черты и подтоплении грунтовыми водами значительных территорий в пределах

города и его пригородов. Кроме того, для города Казань, расположенного на левом берегу р. Волга, сложенной преимущественно легко размываемыми песчано-глинистыми породами, серьезную угрозу представляла активизация абразии берегов. Избежать указанных негативных для города процессов позволила реализация определенных технических мероприятий: возведение защитных дамб. Суммарная площадь намывных территорий, относящихся к данному периоду, составляет 9,4 км<sup>2</sup> (2,7 % от площади города) [8].

Второй период создания ИЗУ относится к началу XXI века, когда начался намыв в нескольких районах: непосредственно в акватории Куйбышевского водохранилища (на восточной и западной окраинах города) и в Казанском заливе Куйбышевского водохранилища. Территории создаются наиболее экономичным способом – намыв высокопроизводительными землесосными снарядами.

Для определения площади созданных намывных территорий в городе Казань использовались разновременные космические снимки 1966 и 2020 годов в период летне-осенней межени, что позволяет минимизировать погрешности в определении количественных показателей, обусловленных колебаниями уровня водохранилища.

Спутниковый снимок июня 1966 года был использован с электронного картографического ресурса «Это место» [9], он имеет хорошее качество позволяющее дешифровать границу береговой линии и выполнить векторизацию. Снимок 2020 года со спутника Landsat-7 получен из программного комплекса «Google Earth». Ручная векторизация (оцифровка) выполнена в программном комплексе «Google Earth Pro». Для оцифровки контура акватории Куйбышевского водохранилища у города Казани 1966 года было осуществлено наложение данной растровой карты в формате KML с геопривязкой на космоснимок 2020 года, а затем произведена ручная векторизация береговой линии (границы акватории) (рис. 1).

В целом за 55 лет площадь ИЗУ в акватории Куйбышевского водохранилища города Казани составила 421 га (рис. 2). Наиболее значительные по площади участки в настоящее время намываются в пределах Казанского залива Куйбышевского водохранилища – его правобережной части, расположенном между Кремлевским мостом, мостом Миллениум и Третьей транспортной дамбой.

В пределах ИЗУ в этой части города на площади 83% намывных территорий расположены, как правило, объекты общественно-делового назначения (Дворец бракосочетания «Центр семьи Казань», объекты отдыха и туризма и объекты для спорта: комплекс спортивных сооружений – футбольный стадион «Казань-Арена», центр пляжного волейбола,





Рис. 1. Искусственные земельные участки в западной части Куйбышевского водохранилища г. Казани с 1966 по 2020 годы



Рис. 2. Созданные ИЗУ в Казани с 1966 по 2020 годы (красным цветом обозначены ИЗУ)

Дворец водных видов спорта, Дворец единоборств, гостинично-развлекательный комплекс «Казанская Ривьера»), остальная территория отведена под объекты жилой застройки [9].

Создание искусственных земельных участков в настоящее время становится регулярной практикой, имеет большой потенциал для городов, расположенных у водных объектов, и наряду с другими методами позволяет преодолеть дефицит земель в пределах городских территорий.



## Библиографические ссылки

1. Федорова В. А., Сафина Г. Р. Мировой и российский опыт решения территориальных проблем городов // Успехи современного естествознания. 2017. № 11. С. 141–145.
2. Федорова В. А., Сафина Г. Р. Уплотнение городской застройки: особенности, экологические проблемы и перспективы // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2018. № 6 (161). С. 67–71.
3. Safina G. R., Fedorova V. A., Sirotkin V. V., Gasanov I. M. Territorial reserves of major cities: challenges, experience, solutions // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 3. Р. 14864–14871.
4. Сафина Г. Р., Федорова В. А., Демина Л. С. Вовлечение подтопленных территорий в городское строительство // Естественнонаучные исследования в Чувашии. 2022. № 8. С. 144–153.
5. Сафина Г. Р., Федорова В. А. Городские неудобья: территориальный резерв, классификация, подходы использования // География: развитие науки и образования. Санкт-Петербург, 2021. С. 173–177.
6. Федеральный закон «Об искусственных земельных участках, созданных на водных объектах, находящихся в федеральной собственности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (принят Государственной думой Федерального собрания Российской Федерации 06.07.2011) от 19.07.2011 № 246-ФЗ (ред. от 13.06.2023). [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_116987/bb00cf5694f015e67a3a557f354a5cabfcb20c/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116987/bb00cf5694f015e67a3a557f354a5cabfcb20c/) Дата доступа: 20.08.2023.
7. Официальный сайт проекта «Морской фасад» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mfspb.ru/> Дата доступа: 20.08.2023.
8. Жаркова Н. И., Черныйчук Г. А., Жарков И. Я., Галеев Р. К. Техногенные грунты г. Казани: особенности формирования, состава, строения // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки, 2013. Т. 155, № 4. С. 130–143.
9. Это место [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.etomesto.ru/> Дата доступа: 19.08.23.
10. Сафина Г. Р., Федорова В. А. Искусственные земельные участки: актуальность создания и проблемы эксплуатации (на примере г. Казань) // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 2020. № 4 (183). С. 31–36.

## АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ООПТ МЕСТНОГО ЗНАЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ)

**Е.В. Шушкова, В.В. Устин**

*ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам»,  
ул. Академическая, 27, 220072 Минск, Беларусь,  
email: [lena-shushkova@yandex.by](mailto:lena-shushkova@yandex.by)*

Одной из современных тенденций развития системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в Беларуси является разработка региональных схем ООПТ, к которым относятся заказники и памятники природы местного значения. Это направление исследований представляется важным не только для отдельных регионов, но и для страны в целом, поскольку ООПТ местного значения являются существенным резервом для формирования Схемы рационального размещения ООПТ республиканского значения.

Первая схема рационального размещения особо охраняемых природных территорий местного значения Минской области сроком на 10 лет реализовывалась с 2014 по 2023 годы. В публикации рассматриваются изменения, которые произошли за время реализации первой Схемы в количественном и качественном отношении. За 10 лет площадь ООПТ местного значения на территории Минской области увеличилась более чем в 2 раза. С введением в действие новой редакции Закона Республики Беларусь «Об ООПТ» (2018) введено несколько изменений, оказывающих влияние на планирование ООПТ и формирование региональных схем ООПТ. В публикации определяются перспективы дальнейшего развития региональных схем ООПТ, проводится анализ проблем, существующих в этой сфере исследований.

**Ключевые слова:** особо охраняемые природные территории местного значения; региональная схема; заказник; памятник природы.

Развитие системы особо охраняемых природных территорий местного значения осуществляется на основе региональной схемы рационального размещения ООПТ местного значения. На территории Минской области реализуется Схема рационального размещения ООПТ местного значения Минской области на 2014-2023 гг. (далее – Схема), утвержденная решением Минского областного Совета депутатов от 30.12.2013 № 266 (<http://minoblpriroda.gov.by/deyatelnost/ekologiya-regiona/spisok-osobo-okhranyaemykh-prirodnikh-territoriy-i-pamyatnikov-prirody/>) (с более поздними поправками).

По состоянию на 2013 год особо охраняемые природные территории местного значения в Минской области были представлены 35 заказниками

и 105 памятниками природы местного значения общей площадью 34,21 тыс. га [1].

В начале работ по реализации Схемы для многих ООПТ местного значения отсутствовали не только достоверные сведения о ресурсах биологического и ландшафтного разнообразия, но часто и сведения об их точном размещении [2, с. 117]. Причина этого в том, что во многих районах заказники местного значения объявлялись списками (например, в Крупском районе и других), без разработки научных и технико-экономических обоснований их объявления, выявления видов, относящихся к Красной книге Республике Беларусь и других критериев.

ООПТ местного значения репрезентативно отражают природные особенности региона. Что касается Минской области, разнообразие природы региона отражается на структуре ООПТ. Возвышенности чередуются здесь с участками равнин и низменностей и болотными массивами. По территории региона проходит Балтийско-Черноморский водораздел – между Неманом и Днепром. Неотъемлемой частью ландшафтов являются озера, большинство из которых ледникового происхождения.

Региональная схема на 2014-2023 гг. предусматривала увеличение площади заказников до 71,4 тыс. га, или 1,7 % от площади области (для сравнения 0,7 % в 2011 году) [3, с. 93], а также осуществление мероприятий по изменению категорий, границ, режимов охраны и использования ряда существующих территорий.

В соответствии с данными Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Минского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды, с учетом анализа действующих решений местных исполнительных органов Минской области, по состоянию на 1 августа 2023 года на территории Минской области функционирует 281 особо охраняемая природная территория (ООПТ), в том числе:

- Березинский биосферный заповедник (расположен частично);
- Национальный парк «Нарочанский» (расположен частично);
- 23 заказника республиканского значения;
- 50 заказников местного значения;
- 85 памятников природы республиканского значения;
- 121 памятник природы местного значения.

Общая площадь, занятая ООПТ, на территории Минской области составляет 306,1 тыс. га, или 7,68 % от площади региона, в том числе ООПТ местного значения составляет 74,3 тыс. га, или 24,2 % от площади ООПТ.

В рамках региональной схемы объявлены 23 новых заказников местного значения общей площадью 37,2 тыс. га. Это, главным образом, болотные массивы («Забродье», «Белый остров», «Еленка», «Габы» и другие),

ценные участки лесов («Воробьевский», «Синицкая гряда», «Старобинский»).

За время реализации Схемы прекратили функционирование 7 заказников местного значения общей площадью 2076,1 га, либо как не отвечающие критериям в связи с утратой природных ценностей («Брище» в Крупском районе, «Альба» и «Криница» в Минском районе, «Маяк» в Смолевичском районе) либо в связи с включением земель в состав республиканских заказников («Козырский» в Логойском районе, «Гайно-Бродня» в Смолевичском районе).

Таким образом, за 10 лет реализации текущей Региональной схемы рационального размещения ООПТ местного значения Минской области на 2014–2023 годы площадь местных ООПТ на территории области увеличилась более чем в 2 раза (на 114 %). Сравнительные значения приведены в таблице.

**Результаты реализации Региональной схемы рационального размещения ООПТ местного значения Минской области на 2014-2023 годы**

Категория ООПТ местного значения	Количество		Площадь, тыс. га	
	2013	2023	2013	2023
Заказники	35	49 (48*)	34,2	73,8
Памятники природы	105	121 (115*)	0,48	0,5
<b>ИТОГО:</b>	<b>140</b>	<b>170 (163*)</b>	<b>34,68</b>	<b>74,3</b>

Примечание: \*приведены планируемые значения на 1.01.2024 в результате завершения процедур преобразования и прекращения функционирования ООПТ, запланированных в 2023 году.

В 2018 году введена в действие новая редакция Закона Республики Беларусь «Об ООПТ» [4, с. 2, 9, 20, 29, 30], которой введено несколько изменений. Среди основных новаций Закона, имеющих отношение к ООПТ местного значения, можно выделить следующие:

отменено разделение заказников на виды (ландшафтные, ботанические и др.);

унифицирована система критериев для объявления ООПТ;

унифицированы режимы охраны и использования для заказников и памятников природы.

Это привело к тому, что вся документация по ООПТ (в том числе местного значения), созданным до 2018 года, требует приведения в соответствие действующему законодательству, в том числе научные и технико-экономические обоснования, картографический материал.

На сегодняшний момент наиболее крупными заказниками местного значения в Минской области являются «По воспроизводству беловежских зубров» в Борисовском районе (преобразовывается в заказник местного значения «Зембинский»), заказник «Еленка» в Крупском районе (площадь 5939,74 га), заказник «Старобинский» в Солигорском районе (площадь 5300,89 га).

Распространена практика объявления заказников на основе природных комплексов, имеющих международный статус охраны либо включенных в состав элементов национальной экологической сети. С 2013 года, после присоединения Республики Беларусь к Бернской конвенции, на территории Беларуси развивалась Изумрудная сеть. Среди ООПТ местного значения на территории Минской области статус территорий Изумрудной сети имеют 5 природных территорий – Березина-Гайна (BY0000053), Габы (BY0000072), Юцковский источник и река Уса (BY0000094), Еленка (BY0000101), Бытеньский (BY0000120, <https://natura2000.eea.europa.eu/Emerald/SDF.aspx?site=BY0000120&release=3>).

Особо охраняемые природные территории, как правило, являются наиболее исследованными территориями с точки зрения биологического и ландшафтного разнообразия. В том числе и по этой причине заказники местного значения можно рассматривать как важную часть общей системы ООПТ Республики Беларусь, которая представляет «резерв» для формирования Схемы рационального размещения ООПТ республиканского значения. К примеру, в Минской области большая часть заказника местного значения «Гайна» (Борисовский район) вошла в состав республиканского заказника «Борисовский», заказник «Козырский» (Логойский район) – в состав республиканского заказника «Белая Русь». На основе заказника местного значения «Гайно-Бродня» в Смолевичском районе создан одноименный республиканский заказник.

В 2022–2023 годах в целях развития системы особо охраняемых природных территорий и выполнения мероприятия 94 Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 февраля 2021 г. № 99, ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» проведена работа по подготовке проекта региональной схемы рационального размещения особо охраняемых природных территорий местного значения Минской области сроком на 10 лет (2024–2033 годы).

Нужно отметить, что в настоящее время резерв природных территорий, не затронутых хозяйственной деятельностью человека, практически исчерпан. В рамках новой региональной схемы рационального размеще-

ния ООПТ местного значения Минской области на 2024–2033 годы предлагается объявление небольшого числа новых заказников и памятников природы местного значения, соответствующих критериям выбора природных территорий для объявления их ООПТ. Планируется, что к 2033 году площадь ООПТ местного значения может увеличиться на 6,5 тыс. га и составить около 80 тыс. га.

В тоже время в рамках реализации Региональной схемы необходимо принимать во внимание, что ряд заказников местного значения планируется к включению в Схему рационального размещения ООПТ республиканского значения для объявления на их базе заказников республиканского значения. К таким заказникам относятся, например, «Белый остров» (Крупский район), «Габы» (Мядельский район) и ряд других. В этом случае площадь ООПТ местного значения остается на существующем уровне, однако общая площадь ООПТ (республиканского и местного значения) на территории Минской области увеличится и составит около 315 тыс. га или 8 % от территории области.

Большое внимание в рамках новой Схемы будет уделено приведению в соответствие действующему законодательству документации по ООПТ местного значения, созданным до 2018 года, в том числе научных и технико-экономических обоснований, картографического материала.

### **Библиографические ссылки**

1. Схема рационального размещения особо охраняемых природных территорий местного значения Минской области сроком на 10 лет (2014–2023 годы) / утверждена решением Минского областного Совета депутатов от 30.12.2013 г. № 266.

2. *Чайковский А. И., Юргенсон Н. А., Шушкова Е. В., Шляхтич Е. А.* Современное состояние, проблемы и перспективы развития системы особо охраняемых природных территорий местного значения // Современное состояние и перспективы развития особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь: материалы Международной научно-практической конференции, сентябрь 2012 г., Домжерицы / редкол.: В. С. Ивкович (отв. ред.). Минск, 2012. С. 117–120.

3. *Юргенсон Н. А., Шушкова Е. В.* Развитие системы особо охраняемых природных территорий местного значения в Беларуси // Природные ресурсы. 2014. № 2. С.86–95.

4. Об особо охраняемых природных территориях: Закон Республики Беларусь, 15 ноября 2018 г. № 150-З.

## ОТРАЖЕНИЕ ПОЧВ В ПРАВОВОЙ СИСТЕМЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: СОСТОЯНИЕ И НЕОБХОДИМОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

**В.М. Яцухно**

*Белорусский государственный университет, Минск, пр. Независимости, 4, 220030,  
Беларусь, e-mail: yatsukhno@bsu.by*

В статье анализируется экологическое и земельное законодательство Республики Беларусь в контексте отражения и закрепления правовых норм, регулирующих содержание, использование и охрану почв. Сделан вывод, что несмотря на значимость почв как ключевого компонента окружающей среды, выполняющих ряд жизненно важных хозяйственных, экономических, экологических и других функций, их сущность, характерные черты, свойства, и сфера общественных отношений не имеют достаточную юридическую идентификацию, закреплённую в правовом отношении. Предложены некоторые подходы и рекомендации с целью ликвидации существующих пробелов, недочётов и противоречий в области правового регулирования почв, исходя из выполняемых ими многофункциональной роли в природе и обществе.

**Ключевые слова:** почвы, правовое (законодательное) регулирование, правовой статус, многофункциональность почв.

Несмотря на ключевое значение почвы в научной и практических сферах деятельности, ее использование и охрана, в отличие от других компонентов природной среды (вода, недра, атмосферный воздух, растительность, животный мир и др.), не регламентируется отдельным законодательным актом Республики Беларусь. К тому же, в таких базовых законодательных актах, как Кодекс Республики о земле, Законе Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» и многих других природно-ресурсных и природоохранных правовых актах понятие «почва» не рассматривается и не раскрывается в качестве самостоятельного объекта правоотношений, и в большинстве подменяется понятием «земля». Последнее отражает хозяйственное использование территории и подразумевает, прежде всего, ее пространственно-экономическую функцию.

Поглощение понятия «почва» понятием «земля» обусловлено тем обстоятельством, что в хозяйственных отраслях, не связанных с использованием плодородия почв, и рассматривающих ее лишь как пространственный базис, качество земельного участка не обусловлены ценностью почвы как природного образования и как средства производства. В отраслях же, ориентированных на использование почвенного плодородия, ценность

почвы оценивается с позиций ее продуктивности, при недостаточном учете и, даже игнорировании экологических функций почв и предоставляемых ими экосистемных услуг [1]. Абсолютизация социально-экономической трактовки понятия «земля», как объекта земельных отношений привело к тому, что почва как ключевой компонент природной среды лишена законодательной защищенности. Это ведет к возникновению неопределенностей, а также создает основу для коллизий правовых норм, регулирующих использование земельных ресурсов и меры ответственности за правонарушения в сфере землепользования.

Указанные выше недостатки не удалось избежать в белорусском земельном и природоохранном законодательствах. Так, согласно Кодексу Республики Беларусь о земле и Закону Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» земля (земли), включая почвы, является самостоятельным компонентом природной среды, который является объектом праворегулирования в области охраны окружающей среды, а также определяется его роль как средства производства в сельском и лесном хозяйствах и пространственного базиса для размещения отраслей хозяйственного комплекса. Таким образом, два понятия «земля» и «почва» в законодательстве республики не разграничиваются. В правовой практике и обычае земля, а также земельный участок, имеющий границы и целевое назначение, ассоциируются с земной поверхностью. С семантической точки зрения последний термин, означающий лишь наружную сторону земли, не раскрывает внутреннее ее строение и поэтому не позволяет отнести их к категории вещей. Изменить указанную ситуацию можно, если в законодательстве более полно раскрыть понятие «почва» как сложной природной биокосной системы, обладающей плодородием и выполняющей многофункциональную роль в окружающей среде и хозяйственной деятельности. В данном контексте целесообразно различать почву как компонент окружающей среды, а земли как социально-экономическую и территориально-организационную категории и рассматривать их в тесной взаимосвязи.

Так, почвы ограничены территорией проявления процессов почвообразования, их оценка производится и нормируется с учетом их природных свойств, определяющих экологическое состояние и плодородие. Земельный же компонент окружающей среды представляет собой заключенный в фиксированные границы территории, природный комплекс определенного функционального назначения и использования, закрепленный законодательно. Таким образом, в отличие от почвы, которая является природным телом с характерным разнообразием экологических функций, земля и земельный участок имеют выраженную территориально-хозяйственную и социально-экономическую направленность.



Вызывает сожаление то, что до сих пор остается не завершенным на законодательном уровне статус почвы как объект недвижимости. Так, в Гражданском кодексе Республики Беларусь почвы не нашли отражение и не признаются имуществом несмотря на то, что почвы, или их верхний слой, снятый с поверхности земли считается имуществом, так как пропадает под определение вещи, признаваемой в гражданском праве. Согласно существующим техническим нормативно-правовым актам, является обязательным снятие и сохранение для последующего использования плодородного слоя почвы при производстве строительных и иных работ.

Определенные недоработки и несогласования, к сожалению, нашли отражение в Законе Республики Беларусь о мелиорации земель. Согласно ему, объектами мелиорации земель являются мелиоративные системы. В преамбуле же данного закона указывается, что он определяет правовые основы мелиорации земель, направляет обеспечение и поддержание оптимальных режимом почв: водного, воздушного, теплового и питательного. Однако, согласно этому же закону (ст. 17 и ст. 23), сведения о почвах не входят в перечень проектной документации по мелиорации земель и ведения учета мелиоративных систем.

К числу слабо разработанных направлений белорусского природоохранного и земельного законодательства является не полное закрепление правовых норм охраны земель и почв. В соответствии со статьей 1 Кодекса Республики Беларусь о земле последнее рассматривается весьма узко, только как систему мероприятий, направленных на предотвращение деградации земель, восстановления деградированных земель. Следует согласиться и принять во внимание предложение ряда юристов о более расширенной формулировке понятия «охрана земель и почв», определив ее как «...деятельность государственных органов, общественных объединений, иных юридических лиц, граждан, направленную на рациональное использование, воспроизводство и улучшение земель, предотвращение деградации и восстановление деградированных земель» [2, с. 669].

При этом, при указании видов деградации и определений направлений охраны ключевым компонентом должна оставаться почва, ибо только она при протекании деградационных процессов (водная и ветровая эрозия, загрязнение, уплотнение, дегумификация, минерализация торфяных почв, разрушении при строительстве и др.) подвергается деградации, сопровождающейся снижением или потерей плодородия и других ее экологических функций.

В Республике Беларусь получено широкое распространение практика установления ограничений по использованию земельных участков, определенных законодательством. Анализ законодательства показывает, что

при создании таких зон охрана земель обеспечивается установлением особого режима землепользования и природопользования на землях, смежных с подлежащими охране антропогенными и природными объектами, в том числе объектами, которые могут оказать отрицательное воздействие на эти земли. Назрела необходимость для более объективной систематизации и выделения охранных зон, зон санитарной охраны, защитных зон учитывать почвенный фактор и разработать Классификатор экологических требований и ограничений землепользования и, соответственно, закрепить его основные положения в земельном законодательстве. В свою очередь это дает возможность более оправданно именовать статью 15.10 «Нарушение порядка использования почв и требований по их охране» и статью 15.11 «Порча почв» Кодекса Республики Беларусь об административных правонарушениях.

В условиях развития и расширения рынка недвижимости приобретает актуальность обеспечение проведения стоимостной оценки почв и разработки механизмом экономического стимулирования устойчивого использования почв. В первую очередь, это вызвано необходимостью учета почвенного фактора при земельно-оценочных работ и расширение сфер практического применения из результатов. Об этом свидетельствуют результаты обобщения международного и отечественного опыта таких работ, позволяющих выделить несколько основных видов эколого-экономической оценки земель, используемых в практике принятия тех или иных решений [3]. Так, в последние два десятилетия получила развитие оценка земель/почв как составной части природного капитала и объекта национального богатства. Методология такой оценки развивается в рамках Системы эколого-экономического учета, стандарт которой принят Статистическим комитетом ООН в 2012 г. и определяет ценность почв на основе предоставления ими экосистемных услуг. Последние, наряду с выполняемыми почвами экологическими функциями должны быть отражены в законодательных актах, что будет содействовать обязательному проведению эколого-экономической оценки почв при кадастровой оценке сельскохозяйственных земель, определении рыночной стоимости земельных участков, установлении размеров вреда (ущерба), причиняемого почвам, определении потерь при установлении ограничений (обременений) в использовании земель, а также стоимости земель в системе финансовой отчетности. Таким образом, назрела необходимость при законодательном совершенствовании использования и охраны почв следует учитывать, наряду с безусловно важной их характеристикой – плодородием, рассматривать правовое закрепление выполнения почвами многочисленных экологических функций.

К числу первоочередных задач по совершенствованию правового статуса почв требуется унификация и закрепление на законодательном уровне ряда ключевых терминов и понятий с целью исключения неоднозначности и неопределенности их трактовки и применения.

В частности, ученым и специалистам в области права, почвоведения и смежных с ними наук необходимо приложить совместные усилия по разработке юридически корректного определения понятия «почва». Его содержание требует не только научного, но законодательного и разрешительного его толкования, отражающего все многообразие свойств и параметров, отличающих почву от других объектов природной среды. Предлагается с целью ликвидации существующих пробелов, недочетов и противоречий в области правового регулирования почв необходимо принятие специального Закона Республики Беларусь «Об использовании и охраны земель и почв» или одноименной расширенной главы, дополняющей Кодекс Республики Беларусь о земле. При подготовке вышеуказанных законодательных актов следует конструктивно использовать основные положения Модельного закона об охране почв, принятом на XXIX пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ (пост. № 29-16 от 31 октября 2007 г.), одобренные Стратегию охраны почв Европейского Союза до 2030 г. и Мировую хартию почв [4, 5], а также ряда законодательных актов стран Центральной и Восточной Европы по данному вопросу.

### Библиографические ссылки

1. *Adhikari K., Harternink A.* Linking soils to ecosystem services – A global review // *Ecoderma*. 2016. Vol. 262. P. 101–111.
2. Комментарий к Кодексу Республики Беларусь о земле / Под общ. ред. С. А. Балашенко, Н. И. Шингель. Минск: Дикта, 2009. 720 с.
3. *Яцухно В. М.* О значении, учете и перспективах использования почвенного фактора при эколого-экономической оценке земель // *Плодородие почв и эффективное применение удобрений*. Мат-лы междунар. конф. Минск, 2021. Часть 1. С. 232–239.
4. EU soil strategy for 2030. Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. Brussels, 2021. 65 p.
5. Revised World Soil Charter. FAO, Roma, 2015. 10 p.

## ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А.Н. Шавель<sup>1)</sup>, А.П. Безрученко<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь, email: [alexshavel@gmail.com](mailto:alexshavel@gmail.com)*

<sup>2)</sup> *Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь, email: [geo.bezruche@gmail.com](mailto:geo.bezruche@gmail.com)*

В статье рассматривается развитие свекловодства в Республике Беларусь. Проанализированы динамика и региональные особенности возделывания сахарной свеклы на основе ключевых показателей. Определены факторы, влияющие на территориальные особенности выращивания данного сахароноса в стране.

**Ключевые слова:** Республика Беларусь, свекловодство, сахарная свекла, динамика производства, региональные различия, факторы размещения.

Сахарная свекла является важнейшей технической сельскохозяйственной культурой, которая выращивается в условиях умеренного климатического пояса и используется как сырье для производства сахара. Сахарная свекла была выведена в результате целенаправленной селекционной работы и может содержать до 20 % сахарозы.

Свеклосахарный подкомплекс белорусского агропромышленного комплекса (АПК) сформировался в 1950-е–1960-е гг., когда были построены 4 сахарных завода: в г. Скиделе Гродненской области, г. Жабинка Брестской области, г.п. Городея и г. Слуцке Минской области. Именно в сырьевых зонах указанных предприятий сконцентрированы основные посевы сахарной свеклы в стране.

На современном этапе развития объемы выращивания сахарной свеклы долгое время были ограничены производственными мощностями сахарных заводов, т.к. заготовленная свекла должна быть переработана в течение 3–3,5 месяцев. В остальное время предприятия сахарной промышленности активно использовали импортный тростниковый сахар-сырец. В настоящее время в Беларуси созданы все условия для самообеспечения сахарных заводов отечественным свекловичным сырьем.

Географическое изучение свекловодства как отрасли сельского хозяйства происходит на основе анализа трех основных показателей: посевных площадей, урожайности и валовых сборов. С их помощью оценивается динамика и региональные особенности производства.

Основным источником данных о возделывании сахарной свеклы в Беларуси являются статистический сборник «Регионы Республики Беларусь» и «Сельское хозяйство Республики Беларусь» [1, 2].

По данным за 2021 г. Беларусь занимает 12 место в мире по посевным площадям сахарной свеклы (87,2 тыс. га, или 2,0 % от мировых). Мировыми лидерами по посевным площадям сахарной свеклы являются Российская Федерация (993,8 тыс. га, 22,6 % мировых), США (448,2 тыс. га, 10,2 %), Франция (401,9 тыс. га, 9,1 %), Германия (390,7 тыс. га, 8,9 %) [3].

Наибольшие валовые сборы сахарной свеклы наблюдаются также в указанных странах, т.к. они значительно опережают остальные по величине посевных площадей. На долю Российской Федерации приходится 14,8 % мировых валовых сборов сахарной свеклы, Францию – 12,4 %, США – 12,0 %, Германию – 11,5 %, Беларусь – 1,4 % [3].

В 1990-е – начале 2000-х гг. посевные площади сахарной свеклы в Беларуси (табл. 1) оставались достаточно устойчивыми, колеблясь вокруг значения в 50 тыс. га (чуть менее 1 % всех посевных площадей в стране). После того, как на государственном уровне была поставлена задача обеспечить сахарные заводы отечественным сырьем, в первой половине 2000-х гг. начался активный прирост посевов сахарной свеклы (свыше 10 тыс. га ежегодно), и в 2006 г. посевные площади достигли максимума – 108 тыс. га. После этого посевы немного снизились (в 2022 г. составили 94 тыс. га).

Таблица 1

**Динамика основных показателей развития свекловодства в Беларуси за 1990–2019 гг. (сост. авт. по [2])**

Показатель	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Посевные площади, тыс. га	46	55	52	100	97	103	85	94
Удельный вес в общей посевной площади, %	0,8	0,9	0,8	1,8	1,7	1,8	1,5	1,6
Валовой сбор, тыс. т	1479	1172	1474	3065	3773	3 300	4 009	4 227
Урожайность, ц/га	321	218	292	316	395	330	482	451

Помимо роста посевных площадей за годы независимости значительно выросли валовые сборы сахарной свеклы: с 1 479 тыс. т в 1990 г. до 4 227 тыс. т в 2022 г. (практически в 3 раза), что позволило полностью

закрыть потребности страны в сырье. Высокие результаты были достигнуты за счет хорошей урожайности культуры, которая в отдельные годы достигала и превышала 500 ц/га (2017, 2019 гг.).

Практически весь объем сахарной свеклы производится в сельскохозяйственных организациях. Кроме этого, сахарные заводы пробуют самостоятельно возделывать сахарную свеклу, арендуя у сельскохозяйственных предприятий земли под ее выращивание. Стоит отметить, что география возделывания сахарной свеклы ограничивается сырьевыми зонами сахарных заводов, а также ролью железной дороги в перевозке сырья. Поэтому в отдельных случаях заготовительные пункты сахарной свеклы, расположенные на железнодорожных ветках, могут быть удалены от центров ее переработки.

Сезон заготовки сахарной свеклы в Беларуси начинается с начала сентября, к этому приурочено и начало массовой транспортировки корнеплодов, значительная часть которой организовывается железнодорожным транспортом. Данный процесс осуществляется с сентября по декабрь, и проводится в соответствии с согласованным графиком концерна «Белгоспищепром», заявками грузоотправителей и плана предприятий по переработке культуры. График перевозки корнеплодов обусловлен технологией выращивания и хранения свеклы, а также мощностями предприятий по ее переработке. Оператором перевозок выступает РУП «Белорусская железная дорога» (БелЖД).

По итогам 2022 г. было собрано 4,2 млн. т сахарной свеклы, запланировано к перевозке БелЖД – 1,6 млн. т (37 % от общего объема валовых сборов). В 2023 г. Белорусская железная дорога приступила к перевозке сахарной свеклы на перерабатывающие предприятия с 5 сентября. Всего в 2023 г. железнодорожным транспортом планируется перевезти порядка 1,7 млн т сахарной свеклы (что на 6% больше, чем в 2022 г., что связано с запланированным увеличением урожая). Максимальные объемы погрузки (до 390 вагонов в сутки) запланированы на октябрь [4].

Основные площади под выращивание сахарной свеклы выделены в Минской, Гродненской и Брестской областях (табл. 2), удельный вес которых в общей площади посевов данной сельскохозяйственной культуры в Беларуси составляет 36,2 %, 28,8 % и 22,4 % соответственно. В 2000-е гг. посевы сахарной свеклы в указанных регионах выросли, однако после 2010 г. произошло их небольшое сокращение. Единственным регионом, который показывает устойчивый рост посевов сахарной свеклы оказалась Могилевская область, чей удельный вес в региональной структуре посевов увеличился с 1,2 % до 12,5 %. В то же время в Витебской области отказались от

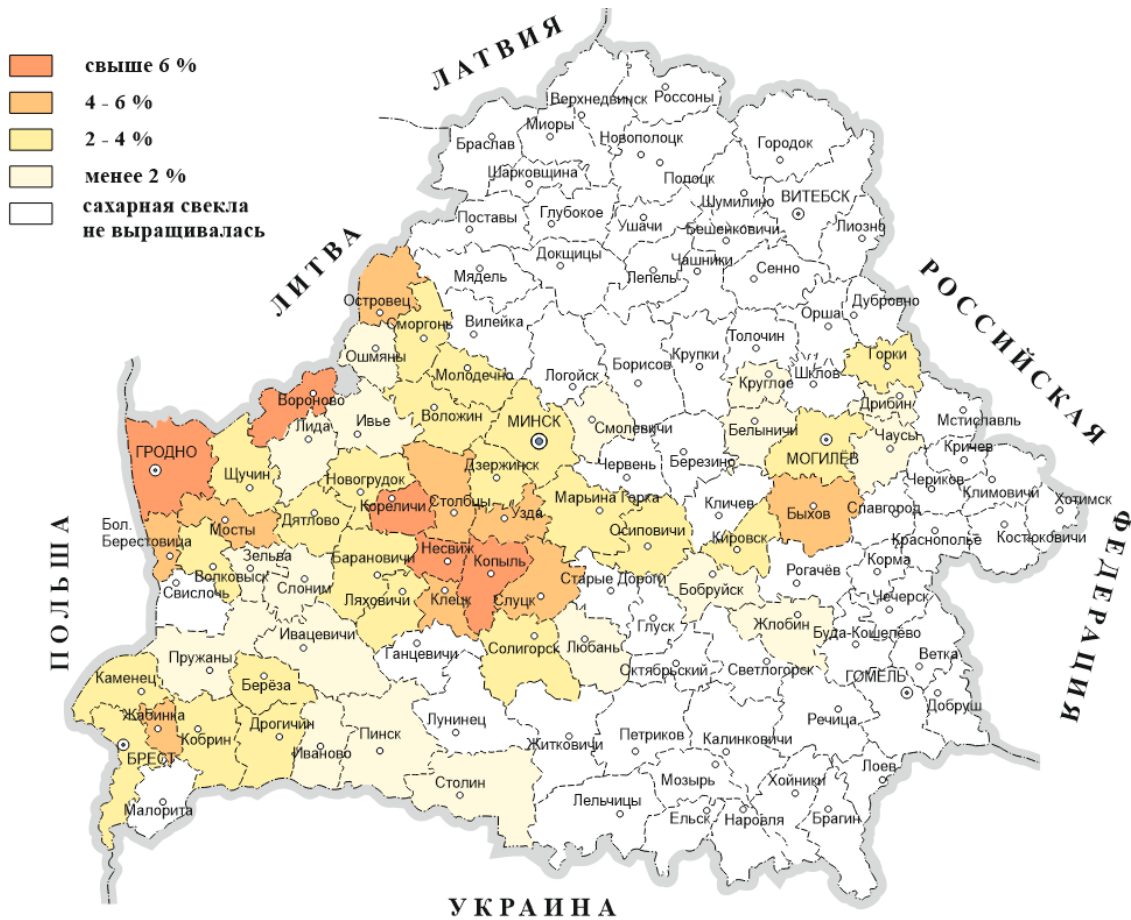
возделывания сахарной свеклы в 2007 г., в Гомельской области – в 2011 г., однако в 2021 г. в указанных регионах появились небольшие площади под ее посевами.

Наиболее высокая концентрация посевов сахарной свеклы приурочена к административным районам, прилегающим к сахарным заводам (рис.).

Таблица 2

Динамика посевных площадей сахарной свеклы и их региональная структура по областям Беларуси в 2000–2021 гг. (сост. авт. по [1])

	Посевные площади, тыс. га			Удельный вес области, %		
	2000	2010	2021	2000	2010	2022
Республика Беларусь	52,0	97,3	87,2	100	100	100
Брестская область	19,7	24,3	19,5	37,9	25,0	22,4
Витебская область	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0
Гомельская область	0,6	1,0	0,1	1,2	1,0	0,1
Гродненская область	15,1	33,4	25,1	29,1	34,3	28,8
Минская область	15,9	34,2	31,6	30,6	35,2	36,2
Могилевская область	0,6	4,4	10,9	1,2	4,5	12,5



Удельный вес посевов сахарной свеклы в общей посевной площади сельскохозяйственных организаций по административным районам в 2021 г., %

В 2021 г. сахарная свекла возделывалась сельскохозяйственными организациями в 54 административных районах. Средний удельный вес ее посевов в общей посевной площади районов составил 3,0 %. Наибольшая концентрация посевов наблюдалась в Кореличском (7,9 %), Копыльском (7,7 %), Несвижском (7,1 %), Вороновском (6,2 %), Гродненском (6,0 %), Берестовицком (7,4 %), и Узденском районах. В пространственной структуре возделывания сахарной свеклы в Беларуси хорошо прослеживается модель размещения сельскохозяйственного производства И. Тюнена – по мере удаления от перерабатывающего предприятия удельный вес посевов сахарной свеклы постепенно снижается.

В целом стоит отметить расширение географии выращивания сахарной свеклы в Беларуси за счет районов, удаленных от центров переработки, но расположенных на железнодорожных ветках, что позволяет оперативно доставлять сырье на сахарные заводы. В 2021 г. начато возделывание сахарной свеклы в Бельничском, Дрибинском, Круглянском, Чаусском, Жлобинском районах, за год до этого – в Любанском районе. В 2022 г. экспериментальные площади под посевами сахарной свеклы были запланированы в Витебской области на территории Дубровенского, Оршанского и Толочинского районов.

Подводя итог, можно выделить некоторые закономерности возделывания сахарной свеклы в Республике Беларусь на современном этапе. Основные посевы данной культуры приурочены к сырьевым зонам предприятий по производству сахара. Пространственная дифференциация посевов сахарной свеклы схожа с моделью размещения сельскохозяйственного производства И. Тюнена. В последние годы происходит расширение географии возделывания сахарной свеклы, что обусловлено активным использованием железнодорожного транспорта для перевозки убранных клубней.

### Библиографические ссылки

1. Регионы Республики Беларусь: стат. сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск, 2022. 728 с.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. буклет / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск, 2023. 178 с.
3. Food and agriculture data [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (date of access: 27.08.2023).
4. 5 сентября Белорусская железная дорога приступила к перевозке свеклы урожая 2023 года [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rw.by/corporate/press\\_center/corporate\\_news/2023/09/5-sentyabrya-belorusskaya-zheleznaya-doroga-pristupila-k-perevozke-sakharnoy-svekly-urozhaya-2023-go/](https://www.rw.by/corporate/press_center/corporate_news/2023/09/5-sentyabrya-belorusskaya-zheleznaya-doroga-pristupila-k-perevozke-sakharnoy-svekly-urozhaya-2023-go/) (дата обращения: 27.08.2023).



## ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПА ЗЕМЕЛЬ «ВОДОРОЗДЕЛ ВЫПУКЛЫЙ ВЫСОКИЙ НА ДВУЧЛЕННЫХ ПОРОДАХ» В ГРАНИЦАХ БЕРЕЗИНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

И.А. Ефимова<sup>1)</sup>, В.Л. Андреева<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Белорусский государственный университет, Минск, пр. Независимости, 4, 220030, Беларусь, email: missinari@mail.ru;*

<sup>2)</sup> *Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка, Минск, ул. Советская, 18, 220050, Беларусь, email: diversity75@mail.ru*

В работе характеризуется один из наиболее распространённых типов земель на территории Беларуси, на примере Березинского биосферного заповедника. Приводится комплексная характеристика фоновой дерново-палево-подзолистой почвы для данного типа земель.

**Ключевые слова:** природно-ресурсный потенциал земель; геосистема; тип земель; почвенная комбинация; дерново-палево-подзолистая почва.

Разнообразие природно-ресурсного потенциала земель Беларуси можно оценить, анализируя сочетание и чередование элементарных почвенных ареалов почвенного покрова, формирующих почвенные комбинации. В свою очередь, наличие причинно-следственных связей между особенностями биогеоценозов и почвенного покрова, а также своеобразное информационное содержание почвенных комбинаций (ПК) позволяет относить последние к категории типа земель (ТЗ).

Типы земель представляют собой закономерно организованные ассоциации почв, типизированные по компонентному составу (перечень разновидностей почв с долей их участия в почвенной комбинации, выраженной в процентах) и форме (геометрии) ареалов, образующих на почвенных картах характерный повторяющийся в пространстве рисунок почвенного покрова. Следовательно, ТЗ отличаются функциональными особенностями и имеют как качественные (признаковые), так и количественные характеристики [1].

К качественным характеристикам относятся сведения о гипсометрии, генезисе рельефа, литологии, гидрологических особенностях, о плодородии почв и продукционной способности земель.

Согласно методике [2], по общей динамике природных процессов геосистемы подразделяются на внепойменные и пойменные. Нами определялись исключительно внепойменные земли, поскольку в ББЗ не представлены широкие поймы.

Эти земли дифференцировались на среднемасштабных почвенных картах (М – 1:25000, 1:50000) на относительные крупные повышения рельефа («водоразделы»), где преобладают явления рассеяния стока, и «депрессии» – понижения, аккумулирующие жидкий и твердый сток, что отражается на почвенных картах в преобладании автоморфных и полугидроморфных почв на водоразделах и полугидроморфных и гидроморфных – в депрессиях.

По рисунку почвенного покрова различали варианты геоморфологического строения выделенных водоразделов и депрессий. Водоразделы подразделились на фрагментарные – конечно-моренные гряды и возвышенности, сложенные связными и двучленными породами или камовые массивы с «сетчатым» рисунком почвенного покрова; выпуклые – сильно денудированные конечноморенные гряды и возвышенности, со склонами разной крутизны и формы или повышенные участки донноморенных равнин, перекрытые водно-ледниковыми супесями, с характерным «лопастным» рисунком, который свидетельствует об эрозионном расчленении склонов; плоские – озерно-аллювиальные и водно-ледниковые равнины на супесчано-песчаных отложениях, с «пятнистым» рисунком почвенного покрова.

Диагностическим признаком депрессий является сочетание полу- и гидроморфных почв, рисунок долинообразных депрессий «полосчатый», для озеровидных депрессий характерен «пятнистый».

Все ПК дифференцировались по относительной высоте: водоразделы подразделялись на высокие и низкие, депрессии, соответственно по глубине – на неглубокие и глубокие.

В почвенном покрове эта информация зафиксирована через соотношение автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных почв с корректировкой на водоразделах по абсолютной высоте, а в депрессиях индикатором служат различия фоновых почв: в неглубоких депрессиях преобладают минеральные заболоченные почвы, в глубоких – торфяные.

Гранулометрический состав пород определяет гидроморфизм и плодородие почв. По гранулометрическому составу почвообразующих пород выделялись следующие категории: «рыхлые» и «двучленные без водоупора» – пески, супеси и суглинки, подстилаемые песками; «двучленные с водоупором», «суглинистые» и «глинистые» – супеси, суглинки, подстилаемые мореной или глины и «торф разных типов и мощности».

В границах Березинского биосферного заповедника выделяют 33 внепойменных, 1 вариант пойменных и 4 варианта переходных ТЗ [3].

Значительную часть охраняемой территории, особенно в центральной осевой ее части составляют выпуклые водоразделы. Они представляют со-

бой компоненты краевого ледникового комплекса оршанской стадии. К краевой зоне конечных морен приурочены камы (с относительной высотой до 25 м) и озовые холмы. Характерны пологие, реже покатые (3–7°) склоны, расчлененными ложбинами. Моренные отложения состоят из серовато-бурых с коричневым оттенком грубых валунных супесей и суглинков с прослойками и линзами песка, гравия и алеврита.

Данный ТЗ диагностируются по «лопастному» рисунку ПП: сочетание автоморфных, иногда эродированных, и полугидроморфных дерново-подзолистых или дерновых глееватых и глеевых почв. Такие ТЗ занимают 21 % территории заповедника (46 тыс. га), на которых выделено 12 вариантов.

Приведем пример ТЗ «Моренно-зандровые равнины, неглубоко расчлененные ложбинами стока, преимущественно с дерново-подзолистыми оглеенными на контакте почвами», относящейся к категории водоразделы выпуклые высокие, где почвообразующими породами являются водно-ледниковые пески и супеси, подстилаемые с глубины менее 1,0 м мореной.

Эти ТЗ образуют цепь крупных моренно-зандровых повышений, принадлежащих Лепельской моренной гряде, пересекающей территорию заповедник с юго-запада на северо-восток в его средней части. Климат здесь умеренно теплый влажный, среднегодовая температура составляет +5°С, доля осадков составляет в среднем 640 мм.

Почвенный покров представлен водно-ледниковыми и озерно-аллювиальными, преимущественно мелкозернистыми, рыхлыми песками.

Фоновыми почвами служат дерново-палево-подзолистые оглеенные внизу, а в пересекающих склоны ложбинах происходит формирование дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных, глееватых и глеевых почв, иногда с участием дерновых заболоченных.

Разрез, характеризующий дерново-палево-подзолистые почвы, являющиеся в данном примере фоновыми, заложен на вершине довольно крупного, но не высокого холма в сосняке вересково-мшистом и занимает наиболее теплую и сухую экологическую позицию.

Для этой почвы характерна относительно мощная подстилка (до 6см), затем следует переходный горизонт A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>. Особенностью гумусного горизонта заключается в светлой окраске и в заметном скоплении в подподстилочной части белых кварцевых зерен, придающих ему своеобразный седоватый характер. Нижележащая часть A<sub>1</sub> до глубины 15 см представляют собой сочетание серого цвета с палевым. Далее до глубины 35 см выделяется палевый горизонт (A<sub>пал.</sub>), характерной особенностью является наличие пленок на поверхности зерен скелета, состоящего преимущественно из зерен кварца. Глинистые каемки обогащены железом, что обуславливает палевую окраску горизонта. Далее по профилю

выделяется переходный (BC) горизонт. В этом горизонте, как и в породе, признаки выветривания минералов выражены слабее, в ортзандровых прослойках зерна покрыты пленками железисто-глинистой плазмы. Далее с глубины 60 см расположена материнская порода с признаками оглеения (Cg). Характерна слабая дифференциация профиля по морфологии, преобладает фракция 0,25–0,5 мм. Распределение по горизонтам носит аккумулятивный характер.

В распределении валового содержания полуторных оксидов прослеживается обогащение подстилки и гумусового горизонта (рис. 1).

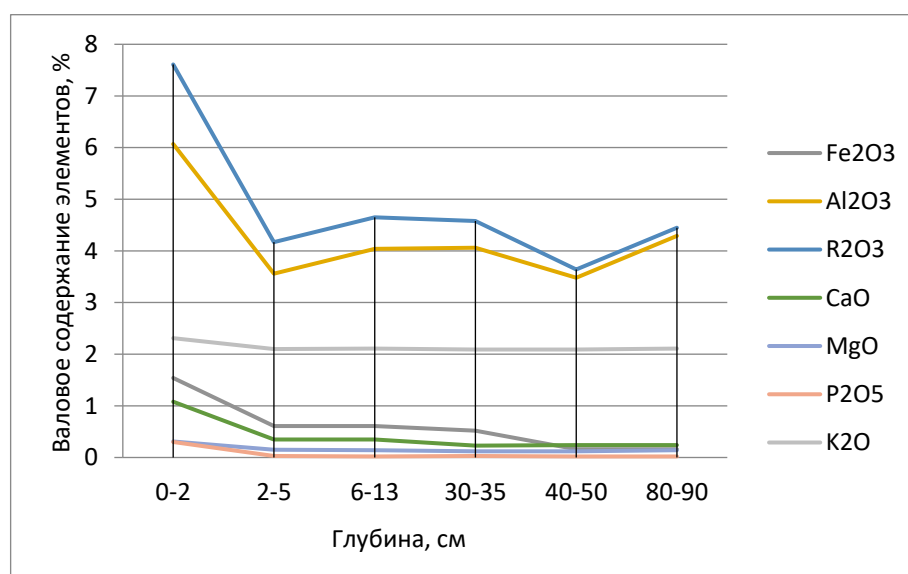


Рис. 1. Валовое содержание элементов в почвенном профиле дерново-палево-подзолистой почвы

Наблюдается дифференциация профиля по илу и по R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, но в содержании валового CaO и MgO, K<sub>2</sub>O и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> не отмечается значительных колебаний. Содержание гумуса в верхних горизонтах составляет около 1,8 %, с преобладанием гуминовых кислот (соотношение Cг:Сф составляет 1,8). Почва характеризуется кислой реакцией среды (рН в KCl суспензии 3,3–4,9).

Наблюдение за тепловым режимом на всю глубину почвенного профиля позволяет оценить процессы и явления, протекающие в почве и влияющие на скорость протекания биохимических процессов, в частности миграцию химических элементов (рис. 2).

Потенциальные ресурсы почв, используемых под пашню, составляют около 44 баллов, а с учетом их контурности – 42. Поправка на неоднородность ПП понижает балл до 35. Пригодность почв этих ТЗ под кормовые угодья оценивается в 17 баллов. Проведение осушительной мелиорации здесь не эффективно по той причине, что переувлажненные, в основном

дерново-подзолистые глееватые, почвы формируются в условиях глубокого (глубже 1,0 м) подстиления моренной, а преобладание рыхлых супесей и песков в качестве покровной породы делает их мало пригодными для хороших лугов.

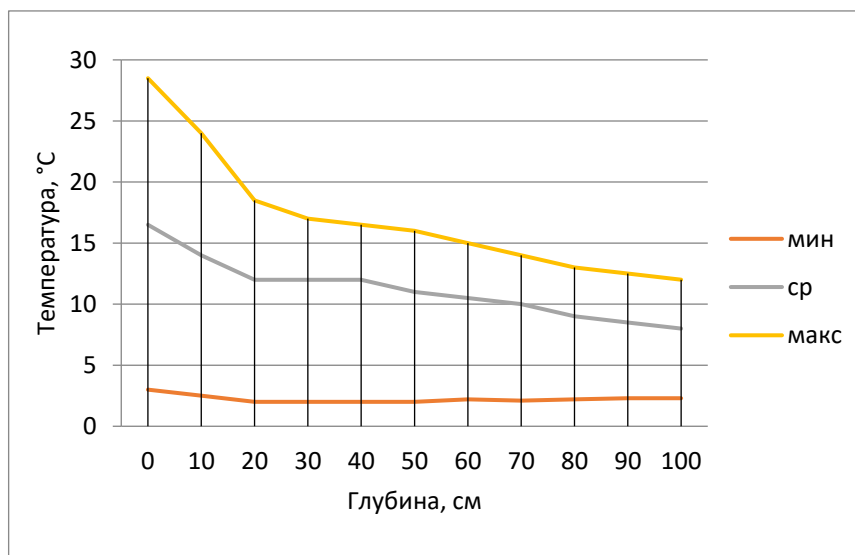


Рис. 2. Температурный режим дерново-палево-подзолистой почвы

Данная почва заложена в границах соснового вересково-мшистого типа леса, где в составе древостоя исключительно преобладает сосна обыкновенная (10С), в подросте – дуб и береза пушистая и бородавчатая. Для типа леса характерны сосновые леса, реже березовые, мшистой серии, в ложбинах – сосновые орляковые, а местами – долгомошные и осоковые.

Этот ТЗ отличается довольно плодородными почвами, пригодными для пахотного использования. Однако природно-ресурсный потенциал земель понижает развитие линейной и проявление плоскостной эрозии (сползание почв на коротких склонах при их распашке).

### Библиографические ссылки

1. Червань А. Н. Типизация структуры почвенного покрова средствами ГИС для оценки производительного потенциала агроландшафтов (на примере Республики Беларусь) // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2021. Вып. 31, № 3. С. 280–289.
2. Кауричев И. С., Романова Т. А., Сорокина Н. П. Структура почвенного покрова и типизация земель. М.: Изд-во МСХА, 1992.
3. Романова М. Л., Андреева В. Л. Структура почвенного покрова и геосистемы Березинского биосферного заповедника // Почвоведение. 2003. № 5. С. 543–549.

**РАЗДЕЛ VII**  
**ГЕНЕЗИС, ЭВОЛЮЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ.**  
**СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА, ЭВОЛЮЦИЯ И**  
**МОНИТОРИНГ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ**

УДК 631.472.56(470.53)

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА**  
**В ПОЧВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ**  
**ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**В.Н. Горячкин**

*ФГБУ «Центр агрохимической службы «Ленинградский»*  
*email: [agrohim\\_47@mail.ru](mailto:agrohim_47@mail.ru)*

Проведено агрохимическое обследование почв сельхозугодий Кингисеппского района. Установлено, что доля площади земель со средним уровнем содержания  $P_2O_5$  составляет 12,2 %; с повышенным – 20,2 %; с высоким – 30,5; с очень высоким уровнем содержания – 36,1 %. Анализ данных за 40-летний период показал максимальный прирост доли площадей сельскохозяйственных угодий с высоким содержанием  $P_2O_5$  (0,57 % / год), средний – с очень высоким содержанием  $P_2O_5$  (0,37 % / год) и минимальный – с повышенным (0,12 % / год). Ожидается сохранение этой тенденции в ближайшее десятилетие. В условиях накопления подвижных фосфатов в пахотном слое необходимость в фосфорных удобрениях снижается, и более эффективными становятся азотные удобрения.

**Ключевые слова:** Ленинградская область; сельскохозяйственные угодья; почва; подвижный фосфор; пашня; сенокос; пастбище; Кингисеппский район.

Основным типом почв в Ленинградской области являются подзолистые почвы, которые бедны перегноем и отличаются значительной кислотностью [1]. Для поддержания их плодородия необходимо систематическое и точно выверенное внесение органических и минеральных удобрений [2]. Основную информацию об их состоянии дает агрохимическое обследование, в частности, определение легкодоступного для растений фосфора [3, 4].

Специалисты ФГБУ «Центр агрохимической службы «Ленинградский» проводили анализ содержания подвижного фосфора в почвах сельскохозяйственных угодий Кингисеппского района по методикам [5, 6]. По данным анализа определяли площади пашни, пастбищ и сенокосов, а

также динамику их изменения по критериям содержания  $P_2O_5$  (очень низкое < 25; низкое 26-50; среднее 51-100; повышенное –101-150; высокое 151-250; очень высокое > 250 мг/кг).

В ходе агрохимического обследования территории Кингисеппского района почв с очень низким содержанием подвижных форм фосфора не обнаружено. Доля площадей почв с низким содержанием  $P_2O_5$  оказалась незначительной – 1,0 % (210,0 га), со средним содержанием составила 12,2 % (2435,5 га); с повышенным – 20,2 % (4051,1 га); с высоким – 30,5 % (6113,5 га), с очень высоким содержанием – 36,1 % (7222,2 га).

Установлено, что почвы исследуемой территории имеют в основном очень высокое содержание (>250 мг/га) и высокое (151–250 мг/кг) подвижных соединений фосфора, что в совокупности с вышеуказанной кислотностью дает хорошую доступность данного макроэлемента растениям. Площадь земель с высоким содержанием  $P_2O_5$  составляет 6 113,5 га (30,5 %) и с очень высоким содержанием  $P_2O_5$  – 7 222,2 га (36,1 %) (табл. 1). Содержание подвижного фосфора в пахотном слое пашни значительно выше, чем пастбищ и сенокосов.

Таблица 1

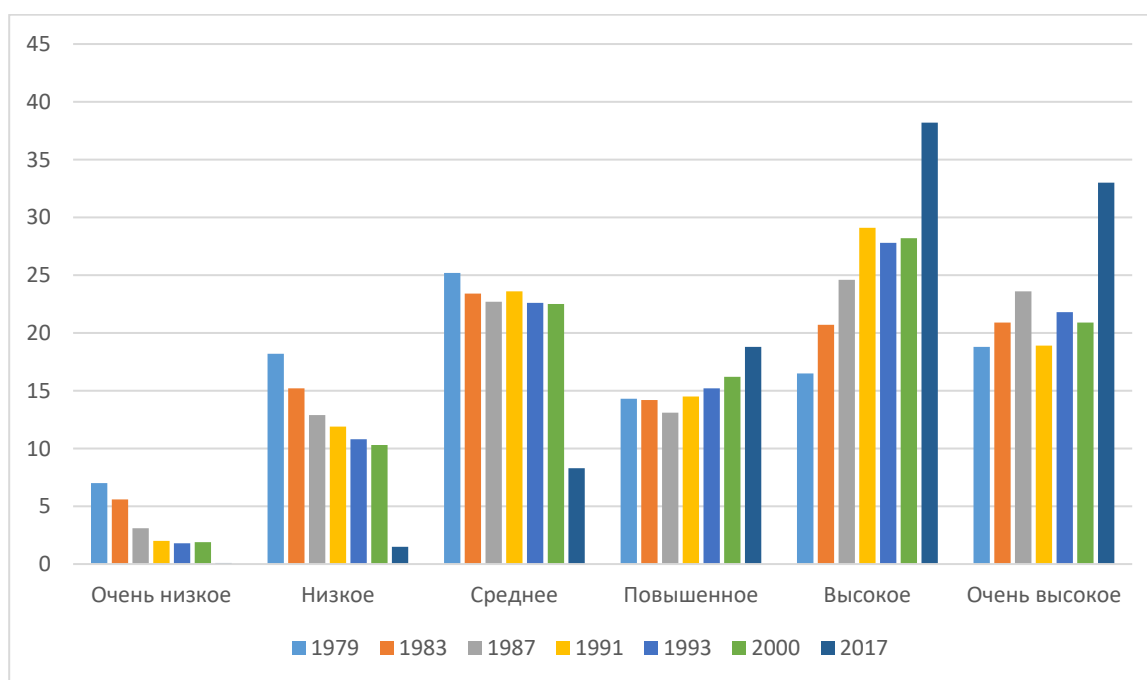
**Содержание подвижного фосфора в почвах по видам угодий**

Содержание $P_2O_5$ , мг/кг	Площадь по угодьям						ИТОГО
	Пашня		Пастбище		Сенокосы		
	га	%	га	%	га	%	
Очень низкое < 25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Низкое 26–50	96,5	0,5	60,9	0,3	52,6	0,3	210,0
Среднее 51–100	1 035,1	5,2	1 001,3	5,0	399,2	2,0	2 435,5
Повышенное 101–150	2 647,9	13,2	633,2	3,2	770,0	3,8	4 051,1
Высокое 151–250	4 565,0	22,8	1 083,9	5,4	764,7	2,3	6 113,5
Очень высокое > 250	4 721,9	23,6	1 825,7	9,1	674,6	3,4	7 222,2
							20 032,4

Динамика содержания подвижного фосфора по турам агрохимического обследования Ленинградской области представлена в таблице 2 и на рисунке.

**Динамика содержания подвижного фосфора  
по турам агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий**

Содержание подвижного фосфора	Циклы и года обследования						
	4 1979-82	5 1983-86	6 1987-90	7 1991-94	8 1995-99	9 2000-05	10* 2017-21
	Доля площади с.-х. угодий с разным содержанием P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %						
Очень низкое	7,0	5,6	3,1	2,0	1,8	1,9	0,1
Низкое	18,2	15,2	12,9	11,9	10,8	10,3	1,5
Среднее	25,2	23,4	22,7	23,6	22,6	22,5	8,3
Повышенное	14,3	14,2	13,1	14,5	15,2	16,2	18,8
Высокое	16,5	20,7	24,6	29,1	27,8	28,2	38,2
Очень высокое	18,8	20,9	23,6	18,9	21,8	20,9	33,0



Динамика доли площадей с разным содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

По данным агрохимического обследования, в течение 40 лет происходило снижение доли площадей сельскохозяйственных угодий с очень низким и низким содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Доля площадей сельскохозяйственных угодий со средним содержанием была достаточно стабильной, за исключением данных 2017 года, когда отмечено ее снижение в три раза. Соответственно, выросла доля площадей сельскохозяйственных угодий с повышенным, высоким и очень высоким



содержанием  $P_2O_5$ . Максимальный прирост установлен для площадей сельскохозяйственных угодий с высоким содержанием  $P_2O_5$  (0,57 % / год), средний – с очень высоким содержанием  $P_2O_5$  (0,37 % / год) и минимальный – с повышенным (0,12 % / год). Ожидается сохранение этой тенденции в ближайшее десятилетие.

Таким образом, в ходе агрохимического обследования установлено, что пахотные горизонты почв Кингисеппского района богаты подвижными соединениями фосфора. На фоне исходной зафосфаченности почв эффективность вносимых фосфорных удобрений низка. Они слабо используются, переходят в труднодоступные формы и постепенно накапливаются в виде валового и подвижного фосфора. В такой ситуации более востребованными становятся азотные удобрения. Для их эффективного использования необходимо обеспечение минимального контакта с почвой и использование в гранулированной форме.

### Библиографические ссылки

1. Почвы Ленинградской области. Л. : Лениздат, 1973. 433 с.
2. Захарченко А. В., Пасько О. А. Растения, почвы и экологически устойчивое земледелие. – СПб : ООО «Национальный информационный канал», 2022. 179 с.
3. Хмелинин И. Н. Фосфор как показатель почвообразования и вопросы механизмов трансформации его соединений в подзолистых почвах северо-востока Европейского Нечерноземья : автореф. дис. на соиск. уч. степ. к. с.-х. н. по спец. 06.01.03. Почвоведение. Пушкин. 41 с.
4. Захарченко А. В., Пасько О. А., Сорокин И. Б. Динамика сокращения площадей пахотных земель по данным их многолетнего мониторинга в Томской области [Электронный ресурс]. URL : <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-7-54-59> (дата обращения: 11.08.2023).
5. Горячкин В. Н. Содержание органического вещества в почвах с.-х. угодий Ленинградской области / Интеграция науки, производства и образования в современном мире : Материалы международной научно-практической конференции. СПб. : Изд-во «Национальный информационный канал», 2023. С. 82–87.
6. ГОСТ Р 54650-2011. Национальный стандарт РФ. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200094361> (дата обращения: 13.08.2023).

## ПОЧВЫ И ПОЧВООБРАЗУЮЩИЕ ПОРОДЫ НОВГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.Г. Давыдова

*ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет  
имени Ярослава Мудрого», ул. Советской Армии, 7, Великий Новгород 173011, Россия;  
ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы  
при Президенте Российской Федерации»,  
Новгородский филиал, ул. Германа, 31, Великий Новгород 173003, Россия,  
email: [sv\\_davidova@mail.ru](mailto:sv_davidova@mail.ru)*

В статье рассматриваются особенности почв Новгородской области. Раскрываются вопросы почвенного районирования и отнесения территории к той или иной провинции. Определяются различия почвенного покрова и факторы, обуславливающие это, такие как растительность, увлажнение, хозяйственное использование. Для большинства почв области характерна дифференциация профиля на несколько горизонтов, отличных друг от друга по признакам, как физико-химическим, так и морфологическим, в статье раскрыты особенности и дана характеристика протекания этих процессов.

Также в статье рассматриваются материнские породы, которые в генетическом отношении разделяются на три группы. Часть из которых лишь локально являются непосредственным субстратом для почвообразования, другие имеют наиболее широкое распространение, особенно валунные моренные суглинки или озерно-ледниковые отложения, которые являются самыми распространенными почвообразующими породами после моренных отложений, флювиогляциальные отложения так же встречаются в некоторых районах области.

Отмеченные в статье процессы почвообразования и типы почв позволяют делать выводы о возможностях учета особенностей этих процессов для разных целей.

**Ключевые слова:** почва; почвенный профиль; Новгородская область; дерново-подзолистые почвы; процессы; материнские породы; отложения.

По схеме почвенно-географического районирования, составленной А.А. Завалишиным и А.А. Хантулевым для Северо-Западной зоны, Новгородская область включена в состав северо-западной почвенной провинции подзолистых и дерново-подзолистых почв. Данные почвы отличаются разной степенью подзолистого процесса. По схеме почвенно-географического районирования СССР Почвенного института им. В.В. Докучаева (1962) территория Новгородской области отнесена к Прибалтийской провинции дерново-подзолистых слабо гумусированных почв южно-таежной подзоны, а Пестовский район отнесен к средне-русской провинции дерново-подзолистых среднегумусированных почв. Новгородская область

характеризуется господством подзолистых и дерново-подзолистых почв умеренной восточно-европейской почвенной фации [1, с.10; с. 16].

Почвенный покров Новгородской области сложен и разнообразен, что обусловлено большой неоднородностью рельефа, пестротой почвообразующих пород и различием биоклиматической обстановки в ее районах. Тысячелетняя хозяйственная деятельность человека также наложила свой сильный отпечаток на характер почв.

Почвы Новгородской области относятся к молодым почвенным образованиям, их абсолютный возраст не превышает 18–22 тысяч лет.

Характерной чертой большинства почвенных образований Новгородской области является отчетливая дифференциация профиля на ряд горизонтов, сильно отличающихся друг от друга как по морфологическим, так и по физико-химическим признакам. Обычно почвенный профиль отчетливо подразделяется на гумусово-аккумулятивный, элювиальный и иллювиальный горизонты. Последние своим образованием обязаны как подзолитому процессу, так и другим почвенным процессам. Наряду с почвами, характеризующимися простым строением гумусового профиля, в области распространены почвы, отличающиеся сложным строением его, т.е. наличием двух и более максимумов накопления гумуса. Отмечается морфологически три основных типа осветленного горизонта: палевый, белесый и сизоватый (глееватый). На двучленных породах нередко образуется два осветленных слоя.

Превышение осадков над испаряемостью по всей территории области предопределяет установление промывного водного режима в почвах и развитие процесса подзолообразования. Особенно, благоприятны условия для развития элювиальных явлений на западных наветренных склонах Валдайской возвышенности, где выпадает более 900 мм осадков, против 650, например, в Приильменье.

Растительность представлена еловой тайгой на суглинистых и отчасти на двучленных породах и сосновыми борами на песках и супесях. Ель с березой характерна для мелких и средних двучленных наносов, где сверху лежит слой маломощной супеси, а ниже – карбонатный валунный суглинок. Для боров характерны железистые подзолы на бедных песках и дерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы на более богатых [2, с. 15].

На окультуренных почвах подзолистый процесс тормозится или совсем снимается системой агротехнических мероприятий. Для освоенных подзолистых почв на карбонатной морене, распространенных во всех природных районах области и известных как подзолистые остаточнокарбонатные, характерна проявляющаяся в разной мере вторичная насыщенность основаниями верхних горизонтов или только слабая ненасыщен-

ность при отчетливо выраженной морфологической подзолистости. Скорость торможения подзолистого процесса зависит как от интенсивности и способа окультуривания, так и от степени карбонатности породы, глубины залегания карбонатов и их характера.

В генетическом отношении материнские породы Новгородской области разделяются на три группы: 1) коренные палеозойские (известняки, доломиты, глины, мергели, алевроиты); 2) ледниковые (моренные суглинки и водно-ледниковые супеси, пески и глины); 3) современные отложения, представленные главным образом болотными, озерно-аллювиальными, аллювиальными наносами.

Первая группа пород – карбонатные и бескарбонатные отложения палеозоя – лишь локально являются непосредственным субстратом для почвообразования. Так по северной оконечности Бегловского вала на значительных пространствах почвы формируются на обнаженных или едва прикрытых четвертичными наносами красноцветных девонских песках и песчаниках. В районе Ильменского глинта почвы формируются на известняках и карбонатных древних глинах. По долинам рек Мсты, Шелони, Пчевжи, Мшаги и др. встречаются выходы доломитов и известняков, на которых в условиях более ровных поверхностей образовались пятна карбонатных почв. Более значительна в почвообразовании косвенная роль коренных осадочных пород. Они определяют, особенно на моренных равнинах, где толща четвертичных отложений мала, образование так называемых локальных морен, особенностью которых является примесь материала подстилающих пород, в том числе карбонатных.

Вторая группа отложений имеет наиболее широкое распространение, особенно валунные моренные суглинки, гранулометрический состав которых варьирует от тяжелого до легкого. Сильно завалуненные суглинки характерны для абрадированных равнин, причем особенно каменисты верхние горизонты. В Привалдайской полосе и на Валдайских грядах каменистость местами является основным препятствием при сельскохозяйственном освоении земель. Неоднородное по гранулометрическому составу сложение валунных суглинков более характерно для конечных морен Валдая, чем для донной морены, выстилающей равнины.

Морена Новгородской области содержит включения карбонатных пород и вскипает от соляной кислоты. Наиболее высокой и постоянной карбонатностью отличаются суглинки донной морены, выстилающей равнины Приильменской низины к западу и юго-западу от озера.

В восточной части Новгородской области, где процессы почвообразования и выветривания начались раньше, карбонаты выщелочены на 120–150 см глубины от поверхности и в пределах почвенного профиля

встречаются лишь в случаях очень высокой первичной карбонатности морены. На моренных равнинах, к юго-западу и западу от Ильменя валунные суглинки повсеместно вскипают от соляной кислоты уже на глубине 80–120 см и выше, т. е. в пределах почвенного профиля.

Озерно-ледниковые отложения – самая распространенная почвообразующая порода после морены. По составу – это очень неоднородная генетическая группа пород. Наиболее типичные озерно-ледниковые отложения описываемой территории – ленточные глины и пылеватые суглинки (алевриты). Они выстилают обширные пространства на Ильменско-Волховской низменности, но встречаются и на Валдайской возвышенности.

Флювиогляциальные отложения: представлены главным образом зандровыми песками. Они неоднородны по гранулометрическому составу, с плохой сортировкой материала по профилю, грубослоистые, с валунами. По минералогическому составу флювиогляциальные пески кварцевые, в которых нередко отмечается повышенное содержание тяжелой фракции, местами примесь карбонатного материала. По характеру близки к флювиогляциальным отложениям пески и супеси древних дельт [3, с. 106].

Таким образом, рассмотрев некоторые особенности можно сказать, что почвы Новгородской области достаточно разнообразны, имеют различия в факторах почвообразования, характеризуются разной степенью использования и антропогенного воздействия. Почвы являются одним из важных ресурсов для развития агропромышленного комплекса, значение которого для современной экономики сложно переоценить.

### **Библиографические ссылки**

1. Атлас Новгородской области. ГУГиК. Москва, 1982.
2. Антонова З. Е., Борзенков А. С. Почвы как объект охраны и изучения // Цвети, наш край! Л., 1988.
3. География и геология Новгородской области : учеб. пособие / НовГУ им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород, 2002. 308 с.

## ТИПЫ ПОЧВ НОВГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ, СФОРМИРОВАВШИЕСЯ В УСЛОВИЯХ ИЗБЫТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ

С.Г. Давыдова<sup>1), 2)</sup>, М.П. Дружнова<sup>3)</sup>, А.А. Степанова<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», ул. Советской Армии, 7, Великий Новгород, 173011, Россия

<sup>2)</sup> ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Новгородский филиал, ул. Германа, 31, Великий Новгород, 173003, Россия, email: [sv\\_davidova@mail.ru](mailto:sv_davidova@mail.ru)

<sup>3)</sup> ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», ул. Советской Армии, 7, Великий Новгород, 173011, Россия, email: [m.druzhnova@mail.ru](mailto:m.druzhnova@mail.ru)

<sup>4)</sup> ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», ул. Советской Армии, 7, Великий Новгород, 173011, Россия, email: [lesacre@list.ru](mailto:lesacre@list.ru)

В статье рассматриваются особенности формирования и распространения почв в условиях избыточного увлажнения. Раскрываются различия связанные с рельефом. В западной части области плоский рельеф, поэтому сформировались почвы временного, длительного и постоянного избыточного увлажнения поверхностными водами. Большие площади заняты болотными массивами. мощность торфа в которых весьма значительна. На Валдайской возвышенности заболоченные и болотные почвы занимают небольшие участки из-за расчлененности рельефа и хорошего дренажа.

Так же в статье рассмотрены особенности почвенных горизонтов, раскрываются зависимости формирования горизонтов от особенностей материнских пород, условий увлажнения и произрастающей растительности. Представленный в статье материал актуален, так как именно от рассмотренных особенностей зависит плодородие почв и возможности их использования для развития сельского хозяйства региона.

**Ключевые слова:** почва, почвенный горизонт, увлажнение, оглеение, рельеф, гумус, заболачивание.

Климат Новгородской области относится к умеренно континентальному типу, хотя ему свойственны и некоторые черты морского, что определяется близостью морей. Годовое количество осадков колеблется в пределах от 600 до 800 мм. Почвенный покров довольно разнообразный, что связано с различными сочетаниями условий его образования и развития. Основой образования почв являются материнские породы, от их характе-

ристики зависят многие свойства почв: гранулометрический и минералогический состав, водные свойства, плотность, содержание химических элементов.

Рассмотрим почвы, сформировавшиеся в условиях избыточного увлажнения, которые в общем почвенном покрове составляют около 33%. Особенности этих почв необходимо учитывать при хозяйственном использовании [1].

В западной части области плоский рельеф, тяжелые водонепроницаемые породы (ленточные глины), а также слабое развитие гидрографической сети обусловили широкое распространение в Приильменской низменности почв временного, длительного и постоянного избыточного увлажнения поверхностными водами. Под естественными лугами можно встретить комплексы дифференцированных поверхностно-глееватых и глеевых почв. Своеобразные кислые дерново-глеевые почвы образуются в понижениях, где имеет место постоянный застой атмосферных вод. Под елово-мелколиственными лесами развиваются торфянисто-подзолисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы. Большие площади заняты болотными массивами. Крупные болотные массивы (Спасские мхи, Невий мох, Полистовский мох), занимающие водораздельные пространства в пределах низины, начали свое развитие вскоре после отступления ледника и одновременно с отложением ленточных глин. Они представлены разнообразными ассоциациями. Широко распространены сфагновые болота с сосной, мощность торфа достигает 7–11 метров.

В условиях Валдайской возвышенности заболоченные и болотные почвы встречаются часто, но занимают небольшие участки, так как сильная расчлененность рельефа обеспечивает хороший дренаж. Они занимают в основном нижние части склонов, слабо сточные ложбины, впадины и плоские участки между холмами и грядами. Заболачивание почв происходит в условиях подпитывания жесткими грунтовыми водами.

В верхних и средних частях склонов, холмов и пологих повышений образуются перегнойно- или дерново-подзолисто-глееватые и глеевые почвы. В нижних частях склонов при близком залегании почвенно-грунтовых вод получает интенсивное развитие глеевый процесс и формируются перегнойно- или дерново- глеевые почвы. Центр западин, депрессий занимают низинные и переходные торфяники.

На равнинных слабо дренируемых участках, занятых еловыми или мелколиственными лесами, развиты торфянисто-подзолисто-глееватые и глеевые почвы. В пониженных местах под сфагновыми ельниками залегают торфянисто- или торфяно-глеевые почвы. По отрицательным элементам рельефа встречаются также верховые болота.

Далее рассмотрим некоторые особенности почвенных горизонтов.

На территории области встречаются минеральные заболоченные почвы поверхностного увлажнения. В эту группу входят глинистые почвы с дифференцированным профилем и дерново-глеевые почвы. Поверхностное переувлажнение охватывает биологически активные верхние горизонты, где сосредоточена основная масса корней, в связи с чем здесь наблюдается быстрое возникновение и интенсивное развитие восстановительных процессов. Формирование почв начальных стадий поверхностного оглеения происходит в условиях резкой смены периодов избыточного увлажнения и недостатка влаги. Контрастность проявления окислительно-восстановительных условий отражается на морфологии почв. В поверхностно-глееватой почве наблюдаются ржавые пятна в гумусовом горизонте, обилие железистых конкреций на серовато-сизом фоне осветленного горизонта  $A_2$ , сизые прожилки и пятна по трещинам и структурным отдельностям в горизонте  $A_{2g}$ ,  $B_g$ . С нарастанием увлажнения признаки оглеения распространяются на большую глубину; на буром фоне горизонта  $B_1$  четко выделяются сизые разводы и потеки по трещинам. Дерново-глеевая почва характеризуется интенсивным оглеением всего профиля.

При усилении заболачивания растительные остатки лучше гумифицированы, органическое вещество прочнее связано с глинистой плазмой горизонта. Ориентированная глина в виде скорлуповатых затеков в порах и трещинах встречается реже, конкреции менее оформлены, контуры их расплывчаты и образуются в меньшем количестве. В сильно заболоченных почвах - дерново-глеевых окраска глины становится соломенно-желтой, конкреции отсутствуют и выделения железа имеют вид диффузных колец и микрофибр. Тяжелый механический состав почв — ленточных глин — предопределяет затрудненный внутренний дренаж и, следовательно, длительное избыточное увлажнение почв [2].

Для почв начальных стадий заболачивания отмечается элювиально-иллювиальное распределение илистой фракции по профилю. Коэффициенты выноса ила из верхних горизонтов намного превышают коэффициенты накопления» в иллювиальных горизонтах. Расчеты абсолютного выноса и накопления тонкодисперсного глинистого вещества (в т/га) в данных почвах также подтверждают малое накопление частиц в горизонте  $B$  и показывают, что вынос из элювиальных горизонтов намного превышает его привнос в иллювиальные горизонты.

Основной запас органического вещества в заболоченных, почвах сосредоточен в верхних горизонтах. С глубиной количество гумуса постепенно падает. Усиление заболачивания вызывает значительное накопление органического вещества в перегнойно-аккумулятивных горизонтах. Так, содержание гумуса в глееватой почве равно 8,3, а в дерново-глеевой



почве оно достигает 18 %. Одновременно изменяется и характер распределения гумуса по генетическим горизонтам, наблюдается резкий скачок в уменьшении содержания органического вещества при переходе от аккумулятивных к глеевым горизонтам. С нарастанием степени увлажнения в гумусовых горизонтах происходит, наряду с аккумуляцией органического вещества, и накопление гуминовых кислот. Однако переувлажнение препятствует процессам конденсации и образования гуминовых кислот сложного строения, гуминовые кислоты данных почв характеризуются низкими значениями оптической плотности.

Одной из особенностей глинистых поверхностно-переувлажненных почв остается высокое содержание фракций гумуса, прочно связанных глинистой массой. Содержание нерастворимого остатка в горизонте  $B_1$  составляет 60–64 % от общего содержания углерода. Поверхностное оглеение, способствуя образованию подвижных органических кислот, повышает химическую активность минеральных компонентов почв, обуславливает кислую реакцию верхних горизонтов.

Постепенное заболачивание поверхностными водами сопровождается увеличением в верхних горизонтах актуальной, обменной и гидролитической кислотности. Поверхностно оглеенные почвы ненасыщены основаниями, причем наибольшие величины наблюдаются в верхних горизонтах ( $A_{1g}$   $A_{2я}$ ). Здесь в поглощающем комплексе значительное место занимает обменный алюминий. Особенностью данных почв является преобладание поглощенного магния над кальцием, особенно в нижних горизонтах, что вызвано особенностями химического состава ленточных глин. В верхних же горизонтах за счет биологической аккумуляции кальция отмечается некоторое накопление обменного кальция по отношению к магнию.

При изучении химического состава почв установлено, что поверхностное заболачивание вызывает усиленную миграцию железа из почвы [3]. Сравнение абсолютных запасов железа в метровой толще почв различной степени оглеения показало постепенное обеднение валовым железом всей почвенной толщи по мере усиления увлажнения. Наибольшая степень выноса наблюдается на первых стадиях поверхностного оглеения.

В условиях прогрессивного заболачивания поверхностными водами миграция химических элементов затухает, и глеевые разновидности поверхностно-увлажненных почв сменяются своеобразными кислыми дерново-глеевыми почвами. Все почвы характеризуются высоким содержанием закисных подвижных форм железа по всему профилю, но максимальное количество их остается в гумусовых горизонтах.

Почвы поверхностного увлажнения характеризуются большими запасами гумуса, общего азота, высокими величинами суммы поглощенных оснований и емкости поглощения. Они обогащены подвижным калием и

некоторыми микроэлементами (Сn; Со). Агрохимические свойства свидетельствуют о высоком потенциальном плодородии этих почв. Однако такие черты, как повышенная кислотность, присутствие закисного железа во всех горизонтах, слабая обеспеченность легкодоступными формами фосфора, а главное, неблагоприятный водно-воздушный режим значительно снижают сельскохозяйственную ценность этих почв. Получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур возможно лишь при условии проведения комплекса мелиоративных мероприятий (узкозагонная вспашка, гребневание, профилирование и т. д.) и улучшения питательного режима, связанного с регулированием кислотности, баланса фосфора и легкоусвояемого азота.

При освоении земель в Приильменской низине в первую очередь должны использоваться глееватые почвы, как требующие наименьшей затраты средств. Значительная однородность почвенного покрова и почвообразующих пород, характерная для Приильменской низины, способствует созданию крупных полей в полевых и кормовых севооборотных массивах. Освоение данных почв вблизи населенных пунктов имеет важное значение для обеспечения населения продукцией сельского хозяйства.

### **Библиографические ссылки**

1. Атлас Новгородской области. М. : ГУГиК, 1982.
2. География и геология Новгородской области : учеб. пособие / НовГУ им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород, 2002. 308 с.
3. *Киселев И. И.* Геология и полезные ископаемые Новгородской области. СПб., 1999. 240 с.

## МОНИТОРИНГ ПОЛУГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВ, ОСУШЕННЫХ ПЛАСТМАССОВЫМ И ГОНЧАРНЫМ ДРЕНАЖОМ

**И.В. Ковалев, Н.О. Ковалева**

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, Россия, email: [kovalevmsu@mail.ru](mailto:kovalevmsu@mail.ru)*

Раскрыты особенности водного режима светло-серых лесных почв разной степени оглеения в годы с разным количеством выпавших осадков.

В профиле глееватых почв весной и осенью формируется двухъярусная верховодка. Это обуславливает снижение урожая культур или их гибель. Показано, что дренаж устраняет верховодку. Гончарный траншейный и пластмассовый бестраншейный дренаж оказывает близкое агроэкологическое и гидрологическое влияние на рассматриваемые почвы. Показана трансформация физических и химических свойств, гумусного состояния почв, осушенных разными видами дренажа.

**Ключевые слова:** светло-серые оглеенные почвы; гончарный и пластмассовый дренаж; свойства почв.

На современном этапе развития науки необходимо создание дистанционного мониторинга осушенных земель России. Только наличие комплексной информации о свойствах и режимах естественных, осушенных почв и почв геохимически сопряженных ландшафтов позволит оценить целесообразность развития осушения на сельскохозяйственных землях России. Практически повсеместно в последние годы в практике осушения почв разных регионов применяется пластмассовый дренаж. Однако сведения о его длительном воздействии на эволюцию и функционирование почв, а также на развитие ландшафтов, весьма ограничены [1] или отсутствуют вовсе.

Исследования проведены в Ступинском районе Московской области на светло-серых лесных глееватых почвах. Здесь осенью 1988 г. был создан уникальный экспериментально-мелиоративный полигон по проекту «Мосгипрводхоз», где есть возможность изучать изменение свойств и режимов почв по отношению к первому году действия дренажа на протяжении уже почти 30 лет. Исследования приурочены к фиксированным точкам наблюдений и проведены одними и теми же методами в разные годы обеспеченности осадками, начиная с 1988 года. Дренажные системы, площадью 2–4 га каждая, строились в 3-х кратной повторности для каждого варианта опыта: 1-й – светло-серые лесные глееватые почвы, осушенные пластмассовым дренажом с помощью дреноукладчика МД-4 на глубину

100–120 см и 2-й вариант – эти же почвы, осушенные гончарным дренажом с помощью дренажера ЭТЦ-202 на ту же глубину с междренним расстоянием 16 м. Также рассматривались эколого-гидрологические условия, свойственные светло-серым лесным глубокооуглееным и глееватым почвам с естественным водным режимом. Все исследованные почвы сформированы на близких или тождественных по гранулометрическому составу породах – крупнопылевато-илватом покровном суглинке [1].

**Методы.** Свойства и режимы серых оуглеенных неосушенных и осушенных почв исследованы не только классическими [1], но и современными методами: определение пула лигниновых фенолов методом мягкого щелочного окисления органического вещества оксидом меди в азотной среде с последующим использованием хроматографии тонкого слоя,  $^{13}\text{C}$  и  $^{31}\text{P}$ -ЯМР-спектроскопия, модифицированная методика определения аминокислот [2], определение изотопного анализа углерода органического вещества [3], определение в почвах и ортштейнах активного органического вещества биокинетическим методом [4].

**Результаты.** Особенностью глееватых почв является наличие двухъярусной верховодки, которая сохраняется до начала-середины мая. Ее верхний ярус приурочен к пахотному слою, а нижний располагается на глубине 7–75 см. Между этими двумя горизонтами полного обводнения существуют зоны с влажностью, равной наименьшей влагоемкости (НВ) и в интервале: наименьшая влагоемкость – полная влагоемкость (НВ-ПВ) [1]. Именно в это время в серых лесных глееватых почвах с естественным водным режимом наблюдается снижение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) до 280–300 мВ и возникают анаэробные условия [1]. Летом обычно наблюдаются выравненные значения ОВП в почвах начальных стадий гидроморфизма (глубокооуглеенные ---> глееватые). Эти характерные различия гидрологического и окислительно-восстановительного режимов серых лесных почв разной степени оуглеения сказываются статистически значимо на физических и химических свойствах почв, в том числе и в конкреционных новообразованиях. Например, данные по количеству ортштейнов, по распределению содержания железа, марганца, углерода, азота, серы, фосфора, пулу лигниновых фенолов в ортштейнах серых почв с естественным водным режимом имеют близкие или тождественные значения независимо от обеспеченности года осадками на протяжении 30 лет и позволяют достоверно диагностировать степень заболоченности этих почв даже на уровне видовых различий (глубокооуглеенные, глееватые, глеевые).

Наблюдения показывают, что дренаж во влажные, средние и сухие годы оказывает весьма существенное влияние на режим влажности глее-

ватых почв. При наличии дренажа в глееватых почвах не только устраняется двухъярусная верховодка, но обычно исчезает гравитационная влага из нижних горизонтов. Влажность почвы при этом на протяжении большей части вегетационного периода оказывается в оптимальном диапазоне – наименьшая влагоемкость-влажность разрыва капиллярной связи (НВ-ВРК) [1]. Окислительно-восстановительный потенциал возрастает до 420–470 мВ, обеспечивая господство окислительной обстановки на протяжении сухого периода [1]. Выявлены определенные различия в действии траншейного гончарного и бестраншейного пластмассового дренажа. На протяжении пяти контрастных по влажности лет показано, что с помощью гончарного и пластмассового дренажа может быть достигнут близкий или тождественный эколого-гидрологический эффект.

**Урожайность сельскохозяйственных культур  
на недренированных и дренированных почвах (т/га)**

Полигоны	Сухой год, 86/73 (Вико-злаковая смесь на зерно)	Умеренно-сухой год, 33/46 (Озимая пшеница)	Влажный год, 49/25 (Озимая пшеница)	Умеренно-влажный год, 33/46 (ячмень)	Влажный год, 49/25 * (Овес на силос), n=5, M±tp·m
Контроль	Глееватая почва, недренированная (контроль)				
	-	3.98	0.62	2.90 **	13.13 ± 1.06
Глееватая почва, дренированная. Пластмассовый дренаж					
П-1	2.12	4.58	2.94	4.04	8.12 ± 2.02
П-2	2.60	5.14	4.00	3.94	7.52 ± 2.07
П-3	2.58	4.32	6.57	2.54	6.06 ± 1.06
Среднее	2.43	4.67	4.50	3.51	7.23
Глееватая почва, дренированная. Гончарный дренаж					
Г-1	2.06	5.10	3.47	4.32	8.55 ± 1.78
Г-2	2.50	5.60	4.81	3.77	7.42 ± 2.10
Г-3	2.48	4.61	5.10	2.56	5.85 ± 1.07
Среднее	2.35	5.10	4.46	3.55	7.27

*Примечание.* Урожайность учитывали прямым комбайнированием (комбайн «Дон-1500») по полосам перпендикулярно дренажным линиям на учетных площадках (2–4 га), \* – методом учетных площадок при n = 5 (P = 0.95). \* – летний срок сева (20.07); \*\* – посев на месяц позже из-за полного обводнения; M – среднее арифметическое; t – критерий Стьюдента; m – ошибка среднего; 86/73 – обеспеченность осадками: за вегетационный период (IV–X) / за год.

На серых лесных глееватых почвах, наиболее распространенных минеральных гидроморфных почвах зоны широколиственных лесов, без дренажа складываются весьма стихийные условия. Урожайи здесь нестабильны и колеблются весьма в широком диапазоне, вплоть до вымокания озимых. На осушенных серых глееватых почвах формируются благоприятные условия для возделывания культур полевых севооборотов, особенно озимых культур.

Оценка разности средних по урожайности культур на почвах, осушенных этими двумя видами дренажа, показывает, что различия не достоверны при 5 % и, как правило, при 1 % уровне значимости.

Действие разных видов закрытого дренажа способствуют увеличению водопрочности структуры, в том числе и в нижних слоях. Так, на 19-й год последействия дренажа содержание агрономически ценных агрегатов увеличивается по профилю независимо от вида дренажа. Осушение и подземная биомасса растений способствует увеличению количества агрономически ценных агрегатов не только в верхних горизонтах профиля, но и в нижних. На наш взгляд, это обусловлено господством многолетних трав и резким сокращением обработок тяжелой колесной техникой. По кривым ОГХ были рассчитаны распределения объемов пор по размерам и по функциям. Осушение оказывает влияние на увеличение пор инфильтрации, аэрации и влагопроводящих пор особенно в иллювиальных горизонтах. Значения Кф связаны с распределением объемов пор по размерам и по функциям. Под воздействием осушения заметно повышаются значения Кф, установленных как методом Хануса, так и методом рам. Перед строительством дренажа серым лесным глееватым почвам были свойственны низкие и средние значения вертикальной фильтрации (0,1–0,3 м/сут), после осушения – средние и высокие. Дренаж интенсифицирует вынос с дренажным стоком тонких фракций мелкозема. За 30-летний период действия дренажной системы, можно говорить лишь о тенденции миграции илистой фракции [1].

Дренаж приводит и к активизации микробиологической деятельности, которая прямо регистрируется по увеличению длины грибного мицелия и общей биомассы микроорганизмов и косвенно – по увеличению доли диэфиров микробного происхождения на  $^{31}\text{P}$  ЯМР-спектрах: с 6 до 11 % и с 9 до 12 % от площади спектра, а также по увеличению содержания аминокислот и мурамина в почвах ( $p < 0.95$ ). В результате произошла деструкция лигнина в агроэкосистемах. Согласно величинам отношения лигнин/к азоту (VSC/N) в осушенных почвах наблюдается и преобладание метаболического углерода над ароматическим. Сумма продуктов окисления лигнина падает ( $p < 0.95$ ) с  $13 \text{ мг г}^{-1} \text{ C}_{\text{орг}}$  до  $9 \text{ мг г}^{-1} \text{ C}_{\text{орг}}$ . Возрастает ( $p < 0.99$ ) степень окисленности (отношение сиреневых кислот к сиреневым альдегидам) и степень измененности боковых цепочек лигнина (VSC) по отношению к исходным растительным тканям: с 4.6 до 6.5 [2]. В результате, наблюдается увеличение соотношения Сгк:Сфк в гумусовых горизонтах от 0,93–1,18 до 1,53–1,98. Данный факт подтверждается и увеличением на 30 % площади пика углерода карбогидратов в области 60–106 ppm, по результатам  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектроскопии, в молекулах ГК светло-се-

рых глееватых осушенных почв. В период эффективного действия дренажа происходит изменение гумусного состояния агросерой глееватой почвы, которая по показателям биогенности и биоактивности становится похожа на глубокооуглеенную автоморфную почву [4]. Под влиянием разных видов дренажа в динамике по годам относительно первого года после действия дренажа биокинетические параметры минерализуемого пула органического вещества почв и ортштейнов, такие как микробная биомасса, зависят от влажности года. Однако базальное дыхание и дыхательный коэффициент показывают однозначное уменьшение относительно первого года действия дренажа.

Итак, осушение существенно изменяет гидрологический и ОВП режимы, физические и химические свойства, гумусное состояние серых лесных оглеенных почв, в результате формируются новые агроэкологические условия, благоприятные для ведения сельскохозяйственного производства и внедрения адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23–24–00155, экспедиционные работы за прошедшие годы выполнены в рамках госзадания МГУ № 121040800146–3.

### Библиографические ссылки

1. Kovalev I. V. Drained soils as an analogue of a large-area lysimeter // Moscow University Soil Science Bulletin. 2021. Vol. 76, No. 3. P. 138–147.

2. Kovaleva N., Kovalev I., Kozlova O. Lignin transformation in soils of arable lands, Russian plain // International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology. 2021. Vol. 16, No. 3/4. P. 289–300.

3. Ковалев И. В., Ковалева Н. О., Столпникова Е. М., Федотов А. Б. Возраст и генезис Fe-Mn конкреций серых лесных почв южной тайги по результатам изотопных и метагеномных исследований // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2022. № 4. С. 97–105.

4. Ковалев И. В., Семенов В. М., Ковалева Н. О., Лебедева Т. Н., Яковлева В. М., Паутова Н. Б. Оценка биогенности и биоактивности агросерых глееватых неосушенных и осушенных почв // Почвоведение. 2021. № 7. С. 827–837.

## ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА И ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ ПОЛЕСИЙ РУССКОЙ РАВНИНЫ

**Н.О. Ковалева**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Воробьевы горы, д.1., стр. 12, 119991, Москва, Россия,  
email: [natalia\\_kovaleva@mail.ru](mailto:natalia_kovaleva@mail.ru)*

Пояс низменных равнин, сложенных водно-ледниковыми породами и называемых полесьями, протянулся через всю территорию Русской равнины от Польши до Предуралья полосой шириной в 150–250 км. В голоцене эволюция полесских ландшафтов определялась изменениями климата и сопровождалась поднятием-опусканием уровня грунтовых вод вслед за изменением гидрологического режима рек. Целью исследования стала расшифровка палеоэкологического архива свойств почв полесий. Объектами исследования послужили дневные и погребенные подзолы Неруссо-Жеренского полесья, стратоземы и фоновые почвы террас Десны, национального парка «Мещера» и геоархеологического памятника «Дмитровская слобода», а также археологического комплекса «Дмитровский Кремль» в пределах Мещерского полесья. Начало голоценового почвообразования в полесье обнаруживает погребенная почва интерстадиала Бёллинг (возраст 12930±170 лет, Ki-17413). Длительный сначала умеренно холодный и влажный, а затем все более теплый и сухой период понижения уровня грунтовых вод, активного почвообразования и заселения речных долин человеком диагностируется в атлантический период голоцена. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  периода начала бронзового века равны  $-27,4\text{‰}$  и соответствуют распространению древесной и луговой растительности С-3 типа фотосинтеза. Пришедший на смену влажному эпизоду железный век и римское потепление характеризуется более засушливым периодом климатической истории региона ( $-25,1\text{‰}$ ). В культурных слоях и погребенных горизонтах средневекового возраста изотопные отношения обнаруживают самые сухие климатические характеристики. Горизонты почв, сформированные в последующий малый ледниковый период (330±80 лет) имеют значения отношения изотопов, превышающие таковые в верхних горизонтах дневных почв.

**Ключевые слова:** водно-ледниковые пески, голоцен, антропогенная эволюция, культурные слои.

Пояс низменных равнин, сложенных водно-ледниковыми и ледниковыми породами и называемых полесьями, протянулся через всю территорию Русской равнины от Польши до Предуралья полосой шириной в 150–250 км. Пояс низин высотой от 60 до 160 м над уровнем моря заключен в пределах орографического коридора между Смоленско-Московской возвышенностью на севере и Среднерусской и Приволжской возвышенностями на юге [1, с. 45]. В его западной части расположено Припятско-



Деснянское полесье, в центральной – Мещера и Верхне-Волжская равнина, в восточной – цепь низин лесного Поволжья, Поветлужья и Вятско-Камского региона.

На территории полесий различают 4 типа разновозрастных ландшафтов: пойменные, террасные, моренно-зандровые и предполесские [2, с. 47]. В эпоху максимального развития (днепровского) оледенения ледник распространялся на все полесья и оставил в них горизонт валунных суглинков донной морены. При отступании днепровского ледника полесские низины покрывались талыми ледниковыми водами и заполнялись песчаными наносами. С московским оледенением связаны весьма значительные изменения в рельефе полесских низин и формирование вторых надпойменных террас, а также отложения песчаных толщ. Во время валдайского оледенения формировался аллювий первых надпойменных террас рек полесий, а полесские низины унаследовали многочисленные озера и болота. Дочетвертичные меловые карбонатные отложения подстилают четвертичные породы и оказывают влияние на ландшафт в тех участках полесий, где залегают близко от поверхности.

В голоцене эволюция полесских ландшафтов определялась изменениями климата и сопровождалась поднятием-опусканием уровня грунтовых вод вслед за изменением гидрологического режима рек.

Существенное влияние на эволюцию сложных комплексных ландшафтов полесий на протяжении плейстоцена-голоцена оказывал человек, поселения которого приурочены к поймам рек. Все этапы эволюции ландшафтов, включая антропогенный период, «записаны» в архивах песчано-почвенных толщ полесий, расшифровка которых с помощью высокотехнологичных методов, например, тонкой биохимии или изотопной геохимии, пока находится лишь в самом начале. Поэтому целью данного исследования стало выяснение особенностей генезиса и эволюции почв, заселенных человеком с конца плейстоцена.

Объектами исследования стали дневные и погребенные подзолы Неруссо-Жеренского полесья (археологического комплекса Жерено и Деснянско-Жеренского заказника) в пределах Припятско-Деснянских аллювиально-зандровых низин, стратоземы и фоновые почвы террас Десны (археологический комплекс Кветунь, Соборная гора), Национального парка «Мещера» и геоархеологического памятника «Дмитровская слобода» у юго-восточного края Мещерской низменности, а также археологического комплекса «Дмитровский Кремль» в Яхромско-Дубнинской ложбине стока ледниковых вод в пределах Мещерского полесья.

Расположенный на низком берегу Десны курганный комплекс неолитической стоянки Жерено приурочен к Неруссо-Жеренскому полесью. Бу-

ровой скважиной вскрыт курган некрополя в пойменном ландшафте на берегу озера Большое Жерено, и фоновым разрезом – подзол в сосновом бору Деснянско-Жеренского заказника на первой надпойменной террасе Десны. В зоне серых лесных почв моренно-зандрового ландшафта изучен Кветуньский курганный комплекс вблизи детинца городища Старый Трубчевск (VIII–XII вв.). Буровой скважиной вскрыт курган некрополя, а также заложен фоновый разрез серой лесной почвы на второй террасе реки Десны в предполесском ландшафте.

В Московской области разрезы и археологические раскопы заложены на вершине и на склоне средневекового крепостного вала Дмитровского Кремля (стратоземы серо-гумусовые), в днище рва у основания вала (темногумусовая глеевая типичная почва), а также на территории археологического комплекса у внутренней части вала (стратозем темногумусовый на погребенном подзоле) XII — конца XIII веков, что согласуется с летописным упоминанием об основании крепости Юрием Долгоруким [3, с. 75]. Фоновый разрез представлен дерновоподзолистой супесчаной почвой второй террасы древнеозерного расширения долины реки Яхромы.

Городище Дмитровская слобода во Владимирской области в районе г. Муром приурочено к среднему течению р. Ока. На территории археологических памятников исследованы разрезы аллювиальных пойменных почв и стратоземов на погребенной почве, содержащие материал культурных слоев. Исследованные разрезы заложены в пойме и на 2-й и 1-й террасах Оки, сложенных аллювием микулинского времени (2-я надпойменная терраса) и аллювием мологосекснинского возраста (1-я надпойменная терраса).

Методы исследования включали морфологический анализ почв, определение актуальной почвенной кислотности потенциметрически стеклянным электродом, содержание карбонатов волюметрическим методом. Определение углерода, азота, серы выполнено на элементном CNS- анализаторе (VARIO EL, Elementar GmbH, Hanau). Все определения выполнены в трехкратной повторности. Определение группового состава соединений фосфора проводилось по методу Саундерса-Вильямса. Изотопный состав углерода и азота органического вещества был измерен на масс-спектрометре ThermoFinnigan Delta V Plus IRMS, датировки почв - радиоуглеродным методом.

По результатам анализа морфологических свойств, характеристик органического вещества, изотопного состава изученных почв выявлены этапы эволюции почв и ландшафтов полесий в голоцене. При этом этапы педогенеза сопровождаются развитием культур [4, с. 43]. Начало голоценового почвообразования в Неруссо-Деснянском заказнике обнаруживает погребенная почва интерстадиала Бёллинг (возраст 12930±170 лет, Ki-17413), которая вскрыта в ландшафте предполесья. Исследуемая па-

леопочва носит деформированный криогенезом характер, не имеет пространственной выраженности и выделяется в линзах гумусированного суглинистого материала в толще песчаных ортандовых прослоек. Она имеет профиль Вса b-BCca, fe b-Gb. Горизонт Bb содержит повышенное количество гумуса (0,7 %) и общего фосфора (409,7 мг/кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Почва имеет высокие значения магнитной восприимчивости.

Длительный сначала умеренно холодный и влажный, а затем все более теплый и сухой период стабилизации поверхности, понижения уровня грунтовых вод, ослабления процессов седиментогенеза, активного почвообразования и заселения речных долин человеком диагностируется в атлантический период голоцена. Средние значения  $\delta^{13}\text{C}$  в периоды бытования и развития культуры эпохи энеолита составляет  $-25,8\text{‰}$ . Описанная аллювиальная луговая почва в результате последующей активизации паводкового и аллювиального процессов была перекрыта бурым пролювием (результат овражной эрозии), а также озерными глинами с пониженными величинами изотопного отношения ( $-25,9\text{‰}$ ), фиксирующими усиление увлажненности климата, активизацию эрозионных процессов и паводковых явлений в поймах Оки и Десны на рубеже культур энеолита и бронзы.

В Даниловской слободе  $\delta^{13}\text{C}$  в погребенных горизонтах конца бронзового века (3500 лет)  $-25,5 - -25,2\text{‰}$ . В почвах Жерено значения  $\delta^{13}\text{C}$  периода начала бронзового века равны  $-27,4\text{‰}$  и соответствуют распространению древесной и луговой растительности C-3 типа фотосинтеза. Палинологические спектры, полученные для погребенных под курганами почв неолитической стоянки Большое Жерено, подтверждают существование лесной растительности в районе памятника: в палеолите и, видимо, позднее в состав лесных сообществ входили деревья из родов *Carpinus* (граб), *Larix* (лиственница), *Fagus* (бук) и *Duschekia* (*Alnaster*) (ольха), а среди кустарников встречалась *Betula pana* (карликовая березка) [2, с. 56].

Пришедший на смену влажному эпизоду железный век и римское потепление характеризуется более засушливым периодом климатической истории региона ( $-25,1\text{‰}$ ), нежели эпоха бронзы. Уровень грунтовых вод в ландшафтах Дмитровского, Даниловского и Кветуньского городищ был понижен, окружающие их болота высохли.

Эпоха железного века, судя по изотопным отношениям в пределах  $-25,16 - -25,56\text{‰}$  в раскопе Даниловской слободы, была длительным умеренно-сухим периодом расцвета городища вплоть до VII–VIII в. н. э. На водораздельных пространствах по мере их обсыхания сформировались черноземно-луговые почвы в предполесском ландшафте Подесенья (2180 ± 60 лет, Ki-17415) на Брянщине.

Эпоха повышенного увлажнения в начале исторического времени (VII–VIII в. н. э) привела, по-видимому, к значительному подъему уровня

воды в реках и отложению аллювия на высоких террасах, что следует из величин  $\delta^{13}\text{C}$   $-26,16\text{‰}$  – на третьей террасе реки Ока в горизонте, возраст которого 1200 лет, и который перекрывает погребенную под ним почву, озеро Большое Жерено, по-видимому, подтопило курганный могильник, фиксируется перерыв в существовании некрополя.

В культурных слоях и погребенных горизонтах средневекового возраста изотопные отношения обнаруживают самые сухие климатические условия как для Мещеры ( $-24,39$  –  $-25,26\text{‰}$ ), так и для Подесенья и ( $-25,29\text{‰}$ ), и являются индикатором господства травяных экосистем в первых двух случаях. Это малый климатический оптимум исторического времени и начало активного преобразования человеком окружающих ландшафтов, сопровождавшегося вырубкой деревьев в пределах речных пойм и распашкой территории.

Горизонты почв, сформированные в последующий малый ледниковый период (XVII–XIX вв.,  $330+80$ ,  $101\pm 1,5$  лет) имеют значения  $\delta^{13}\text{C}$ , превышающие таковые в современных верхних горизонтах почв:  $-26,58\text{‰}$  – в Подесенье, в разрезе рва Дмитровского Кремля  $-25,25\text{‰}$ , в подсыпке вала  $-22,28\text{‰}$ ;  $-25,46\text{‰}$  – в почвах Мещеры. Малый ледниковый период, исходя из величин  $\delta^{13}\text{C}$ , типичных для травяных ассоциаций, характеризуется иссушением климата на всей исследуемой территории и, возможно, это связано с распашкой почв и повсеместной вырубкой лесов в речных долинах. Понижение уровня грунтовых вод и начавшийся оксидогенез способствует формированию ортзандовых, иллювиально-железистых и иллювиально-гумусовых горизонтов в минеральном профиле подзолов, особенно на границе капиллярной каймы грунтовых вод.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-24-00155.

### Библиографические ссылки

1. Николаев В. А. Парагенезис полесий-ополей Центральной России // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. № 5. 2013. С. 45–50.
2. Евстигнеев О. И. Неруссо-Деснянское полесье: история природопользования. Брянск, 2009. 139 с.
3. Гольева А. А. Почвенные исследования средневековых валов Дмитрова, Ярославля и Ростиславля // Археология Подмосковья: материалы научного семинара. Выпуск 5. М: Институт археологии РАН. 2009. С. 72–89.
4. Kovaleva N. O., Reshetnikova R. A., Kovalev I. V., Stolpnikova E. M. Variability of the Carbon-Isotope Composition ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) of Soils and Cultural Layers of Geoarchaeological Monuments on the Russian Plain // Moscow University Soil Science Bulletin. V. 78. № 1. С. 42–55.

УДК: 631.484:631.487

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕПОНИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПОСТАГРОГЕННЫМИ ПОЧВАМИ В КОНТЕКСТЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ РАЗЛИЧИЙ

Ф.Н. Лисецкий

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, ул. Победы 85, 308015, Россия,  
email: [fnliset@mail.ru](mailto:fnliset@mail.ru)*

Определены диагностические показатели агрогенных нагрузок различной интенсивности в залежных почвах древнеземледельческого района степной зоны. Наиболее значимые различия в постагрогенных горизонтах почв и сопоставимых слоях зональных почвенных эталонов выявлены для содержания органического углерода, валового фосфора и гидролизуемого азота. В экотоне лесостепи и степи горизонты ренатурации у залежных почв отличаются от разновременных пахотных почв по особенностям органического вещества (более высокому содержанию лабильного гумуса и фульвокислот). По сравнению с целинным аналогом в горизонте ренатурации старозалежных почв сохраняются различия из-за более низкого содержания органического углерода, валового азота и легко трансформируемого органического вещества.

**Ключевые слова:** разновременные залежи; агрогенез; индикаторы качества почв; органическое вещество почв; детрит.

Эффективное сохранение почвенного органического вещества (ПОВ) и углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) может быть достигнуто за счет природных экосистем и интродукции многолетних культур на пахотных землях, однако и комбинированные формы, сочетающие сохранение пожнивных остатков, диверсификацию сельскохозяйственных культур, минимальные обработки (*no-till farming*) выступают фундаментальными принципами ресурсосберегающего земледелия [1]. Процессы, определяющие ключевые механизмы почвенной секвестрации углерода и его депонирования, воспроизводятся на постагрогенных землях. Их изучение способствует лучшему пониманию путей совершенствования практик землепользования в агроландшафтах. У проблемы вовлечения в оборот «заброшенных» сельскохозяйственных земель может быть несколько измерений. С одной стороны, в России сохраняются значительные площади земель, выведенных из оборота. Поэтому Государственной программой по эффективному вовлечению в оборот земель сельскохозяйственного назначения, принятой 14.05.2021, предусмотрено на период с 2022 по 2031 гг. ввести в обработку 13,2 млн га неиспользуемых сельскохозяйственных земель. С другой стороны, как обстоятельно

аргументировано в работе [2], восстановленные в разной степени степные участки на юге России имеют существенный потенциал для воспроизводства биолого-генетического и ландшафтного разнообразия. Почвы уже в первые годы залежного режима значительно восстанавливают биологическую активность, а начальный этап сукцессий обеспечивает на девятый месяц разницу в содержании  $C_{орг}$  между пахотной и залежной почвой 28% ( $p < 0.05$ ) со стабилизацией различий в последующие десятилетия [3]. Разно-возрастные залежи, которые представлены в широком хронологическом диапазоне в древнеземледельческих районах, предоставляют большие информационные возможности для понимания хода долговременного приближения почвенных систем к уровням насыщения в ходе секвестрации  $C_{орг}$  [4] при данных биоклиматических условиях.

Для сопоставления эффективности залежного режима исследования проведены в регионах с различной длительностью аграрного освоения (Степной Крым и в лесостепной части Белгородской области (Прохоровский и Вейделевский р-ны). В климатическом отношении эти два региона отличаются условиями тепло- и влагообеспеченности, однако, судя по расчетным величинам затрат энергии на почвообразование, имеют близкий потенциал воспроизводства почв.

Крымский полигон относится к южностепной подзоне, которую характеризуют следующие основные климатические параметры: среднегодовая сумма осадков и температура воздуха – 358 мм и 10,6 °С соответственно; климатические затраты энергии на почвообразование (по В.Р. Волобуеву)  $Q = 1000–1100$  МДж/м<sup>2</sup> в год. В Северо-Западном Крыму, начиная с основания Керкинитиды (от середины VI в. до н. э.) сложились значительные аграрные центры V–IV вв. до н. э., а в конце третьей четверти IV в. до н. э. при формировании дальней хоры Херсонеса землеустройство получили более регламентированный характер. Старопахотные почвы имели предысторию земледелия, которая длилась от финальной фазы античной эпохи около 600 лет. Время режима непрерывной ренатурации у постантичных залежей охватывает период со II в. до н.э. по XIX в., а в отдельных случаях длится и до настоящего времени. Выявление постантичных залежей на черноземах южных солонцеватых на лессовидных породах и черноземах карбонатных щебнистых среднесуглинистых осуществляли путем совмещения векторного слоя контуров древнего земледелия с разновременными космическими снимками: CORONA 1969 г.; Landsat 1985-2020 гг.; из Google Earth 2005-2020 гг. База данных почв с различной агрогенной нагрузкой включала 4 группы (табл.). От первой к четвертой группе отмечается уменьшение содержания  $C_{орг}$ , валового фосфора и гидролизуемого азота при менее однозначных различиях по остальным показателям (табл.). Постантичные залежи с периодической

распашкой в новое время (группа 4) отличаются от остальных групп меньшими величинами таких показателей, как содержание  $C_{орг}$ , валового фосфора, гидролизуемого азота, и более высоким содержанием подвижного фосфора и обменного калия. Постаптические залежи, которые со II в. до н. э. дошли до настоящего времени в непрерывном режиме зацеplинения, а также те, которые испытывали различную по длительности и силе агрогенную нагрузку (в периоды прерывания этого режима распашкой), не достигли уровня гумусированности гор. По величине соотношения C:N залежные почвы с неоднократными периодами распашки приближаются к целинным, а постаптические залежи в режиме зацеplинения ( $N_{вал.} = 0,27\%$ ) или в прошлом с умеренной агрогенной нагрузкой ( $N_{вал.} = 0,14\%$ ) имеют более широкие величины C:N от 9 до 13, т.е. среднюю и низкую степень обогащения гумуса азотом.

#### Содержание органического углерода и азота в различных типах степных почв древнеземледельческого района

Группы почв	n	$C_{орг.}, \%$	$N_{вал.}, \%$	C:N
1	5	$2,58 \pm 0,25$	$0,31 \pm 0,03$	$8,2 \pm 0,4$
2	16	$2,40 \pm 0,10$	$0,27 \pm 0,02$	$9,3 \pm 0,4$
3	5	$1,81 \pm 0,26$	$0,14 \pm 0,02$	$13,2 \pm 1,4$
4	14	$1,48 \pm 0,15$	$0,18 \pm 0,01$	$8,5 \pm 0,8$

*Примечания.* 1 – целинная почва; 2 – постаптическая (со II в. до н.э.) залежь; 3 – постаптические залежи с умеренной агрогенной нагрузкой; 4 – постаптические залежи с периодической распашкой в новое время и сильной агрогенной нагрузкой. n – количество объектов исследования.

В залежных степных почвах проявляется важная для секвестрации органического углерода стратификация верхней части гор. А. Под зрелыми растительными ассоциациями наиболее насыщенный корнями верхний слой гор. А, который в полевых условиях обычно выделяется до глубины 5 см, отличался от нижележащего слоя (от 5 до 16(17) см), тем, что он был более обогащен  $C_{орг}$  (в 1,33 раза) и валовым азотом (в 1,43 раза), но имел более широкое соотношение C:N (9,0 против 9,7).

Исследования в условиях южной лесостепи Белгородской области (климатические затраты энергии на почвообразование  $Q = 1130 \text{ МДж/м}^2$  в год) показали [5], что в режиме залежей при сравнении различных трендов воспроизводства показателей плодородия можно считать чернозёмный тренд в отличие, например, от тренда самозаращания пашни лесом, наиболее эффективным по большинству показателей. Единственный показа-

тель, который ухудшается – это реакция почвенного раствора, что, по-видимому, связано с накоплением кислых продуктов гумификации и омоложением гумуса. В буферной полосе от лесостепной почвенной зоны к степной зоне развиты черноземы обыкновенные мощные под богаторазнотравно-дерновиннозлаковыми степями (Вейделевский р-н). Сформированный в результате полевых исследований агрогенный ряд почв (наряду с эталонной почвой в региональном степном заказнике) позволил установить особенности воспроизводства почв в залежном режиме. Результаты кластерного анализа, выполненного по данным 17 показателей гумусного, агрофизического, агрохимического и геохимического (по содержанию 7 необходимых макро- и микроэлементов) состояния, показал, что на высоком уровне расстояния объединения выделяются горизонты ренатурации у залежных почв по сравнению с разновременными пахотными почвами, как по особенностям ПОВ (более высокое содержание лабильного гумуса (в 1,8 раз) и доли фульвокислот (в 1,5 раз)), так по показателям агрофизики (более высокие величины средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов (в 2,5 раза) и коэффициента структурности (в 1,6 раза)) и в меньшей степени от пашни, которая находится в зоне действия лесного массива, что в наибольшей мере связано с более высоким содержанием в этой почве лабильного гумуса (в 2,7 раза). Соотношение удельных скоростей процессов формирования и деструкции растительного вещества во многом контролируется конкретными биоклиматическими условиями. Чем выше продукция и ниже скорость деструкции, тем больше мортмассы накапливается в надземном ярусе. Она, но особенно мортмасса подземного яруса, выступает значимым резервом для образования и последующего депонирования  $C_{орг}$ . Наиболее корненасыщенная часть гор. А (0-20 см) содержит в среднем 24 т/га фитомассы подземных органов под ассоциациями с доминированием ковыля и 15 т/га под типчаковой ассоциацией, что обеспечивает ежегодный приход  $C_{орг}$  от 1,0 до 1,4 т/га. Под типчаково-разнотравной ассоциацией (учёты июня) масса живых и мертвых корней в слое 0-20 см составляет 11,4 т/га и 4,1 т/га соответственно, из них в слое 0-10 см 77,5 % и 68,5 % соответственно. Исследования 2023 года в региональном заказнике и его окрестностях показали, что под разновременными залежами в слое 0-23 см содержится в среднем 11 г мортмассы (абсолютно сухого вещества) на 100 г почвы, причем 71% от этого количества находится в верхнем, наиболее насыщенном корнями слое (0-11 см). В начале лета содержание мортмассы пока невелико – в слое 0-12 см почвы целинной степи 14% от массы и около 8% у почв залежей, при этом мортмасса содержит 18–23 %  $C_{орг}$ . Под лесом, включая вековые дубравы заповедной территории, верхняя часть гор. А (до 18 см) содержит около 7 г мортмассы на 100 г почвы с



содержанием углерода мортмассы – 20%. Детритная и лабильная (ЛОВ) составляющие части ОВ позволяют комплексно учитывать процессы трансформации ОВ у залежных почв [6]. Почва в верхней части гор. А (0–12 см) у старозалежной почвы сохраняет по сравнению с почвой в аналогичном слое целинного аналога меньшее содержание  $C_{орг}$  (в 1,6 раза), легко трансформируемого ОВ (в 2 раза), валового азота (в 2 раза) и отличается более узким соотношением C:N (8 против 11). По содержанию углерода в ЛОВ и легко трансформируемом ОВ различия между почвами несущественны.

Различия биоклиматических условий определяют формирование в горизонте А отличающихся уровней предельной аккумуляции  $C_{орг}$ , установленные, к примеру, при сравнении почв в подзонах распространения обыкновенных и южных черноземов (в среднем от 4,7 до 2,6 %), что детерминирует возможности его депонирования в процессе постагрогенного развития почв.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169/>

### Библиографические ссылки

1. A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene / D. Beillouin [et al.] // Nat Commun. 2023. Vol. 22, No. 14 (1), 3700.
2. Restoring steppe landscapes: patterns, drivers and implications in Russia's steppes / R. Pazur [et al.] // Landscape Ecol. 2021. No. 36. P. 407–425.
3. Постагрогенное изменение ферментативной активности и содержания органического углерода чернозема в первые 3 года залежного режима / К. Ш. Казеев [и др.] // Почвоведение. 2020. № 7. С. 901–910.
4. Soil carbon sequestration: a step towards sustainability / S. Kaushal [et al.] // Int. J. Plant Soil Sci. 2023. Vol. 5, No. 11. P. 160–171.
5. Goleusov P., Lisetskii F. Variants of post-agrogenic soil reproduction in agrolandscapes (A case study in Belgorod region) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. No. 8. P. 012096.
6. Сопоставление результатов применения различных подходов к оценке качественного состава органического вещества залежных почв / Р. В. Гиниятуллин [и др.] // Плодородие. 2023. № 1(130). С. 45–48.

## ПАЛЕОПОЧВЫ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

В.В. Махнач, А.Н. Мотузко

*Белорусский государственный университет,  
г. Минск, ул. Кальварийская 9,  
220030 Республика Беларусь, email: [mahnach@bsu.by](mailto:mahnach@bsu.by)*

В статье раскрывается понятие палеопочв и геосолей, и их разновидностей. Осуществлена попытка классификации палеопочв Беларуси. Показана роль палеопочв в составляющей геологическом круговороте. Описаны установленные почвенные вариации палеопочв на территории Беларуси. Введено понятие почвенной памяти, а также представлен алгоритм палеогеографических реконструкций палеоландшафта и анализ составляющих педогенеза. Представлены примеры коэволюции по классической схеме и неклассической.

**Ключевые слова:** палеопочвы; геосолея; педокомплекс; классификация палеопочв; почвенный ландшафт; почвенная память.

*Палеопочвы* – это древние ископаемые почвы, которые формировались в условиях, отличных от современных.

Почвы Беларуси, сформировавшиеся на моренных отложениях, обычно имеют возраст не более 11 тыс. лет. Древние почвы разрушены ледником. Процесс почвообразования мог идти синхронно с формированием наносов, как это имеет место в настоящее время в поймах рек. В республике встречаются более древние «погребенные» почвы. Однако они изучены недостаточно [1].

Развитие почвенного покрова во времени – это важная проблема эволюционной географии. Прогноз ландшафтно-климатических изменений, не может быть корректно осуществлено без всестороннего анализа закономерностей формирования основных природных компонентов.

Одним из фундаментальных понятий палеопочвоведения является геосолея.

Геосолея (geosol) – погребенное прослеживаемое трехмерное геологическое тело, состоящее из одного или более выделяющихся горизонтов почвенной природы. Геосолея характеризуется выдержанной стратиграфической приуроченностью и протяженностью в пространстве [7]. В настоящее время геосолеи широко используются для межрегиональных корреляций горизонтов плейстоценовых лессово-почвенных серий. Согласно определению, международной палеопочвенной комиссии (IUSS), понятие

геосоль это не только определенная почва, а почвенный ландшафт (soilscape), отражающий закономерные пространственные вариации факторов почвообразования (фации геосоли [7]).

Геосоль может быть моногенетической, полигенетической или составной. Составные геосоли (иногда называют педокомплексами), которые состоят из двух или более почв и разделены на большие площади тонкими неизменными отложениями и связаны между собой.

Все палеопочвы можно подразделить на следующие виды:

а) погребенные - погребены более молодыми отложениями, достаточно мощными, чтобы современные процессы почвообразования не затрагивали ее по всей мощности профиля;

б) поверхностные – почвы поверх горизонтов современного происхождения;

в) ре-экспонированные – почвы, которые вышли на поверхность в результате эрозии вышележащих толщ;

г) объекты археологического почвоведения - почвы местобитаний человека от древнейших времен до исторического времени включительно (под местообитанием понимается территория расположения любых следов пребывания человека).

По возрасту палеопочвы подразделяются на:

а) дочетвертичные;

б) четвертичные;

в) голоценовые.

Необходимо также различать ископаемые почвы по степени их сохранности [8]:

а) почвы полного профиля;

б) почвы с нарушенным профилем;

в) остаточные элементы разрушенных почв;

г) педолиты (включения и новообразования).

Палеопочвы играют ключевую роль в расширении биологической составляющей геологического круговорота:

– дают непрерывную биогеохимическую запись эволюции природной среды даже при отсутствии собственно палеопочв;

– в тоже время растет и число находок профилей древнейших палеопочв;

– материалы по отдельным профилям палеопочв вкладываются в биогеохимическую запись как ячейки в периодическую систему.

В настоящее время палеопочвы Беларуси слабо используются в изучении как в почвоведении, так и в геологии. В действующей классификации почв Беларуси (Н.И. Смян, 2002) и в номенклатурном списке почв

Беларуси 2013 года природные палеопочвы не нашли отражение. На основе имеющихся данных авторы предлагают следующую классификацию палеопочв Беларуси (В.В. Махнач, А.Н. Мотузко):

I. Автоморфные почвы (почвы зонального типа)

Тундровые

Таежно-лесные (подзолисто-болотные, подзолистые, дерново-подзолистые)

Лесостепные (серые, темно-серые)

Сухостепные (каштановые и бурые)

II. Гидроморфные (интразональные)

Лугово-болотные, торфяно-болотные и торфяники

III. Флювиоморфные

Пойменные, террасные, склоновые (смытые и намытые)

IV. Литоморфные

Скелетные, корковые

V. Лессовые

В классификации отдельно выделены лессовые почвы. Данная особенность обусловлена тем, что лессовые почвы на территории Беларуси не всегда можно отнести к тому или иному генетическому типу [3], что связано с особенностями их почвообразования и нерешенной проблемой происхождения лессов. Следует отметить, что данная классификация применима для четвертичных и голоценовых почв. В эпоху плейстоценового почвообразования для ледниковых и перигляциальных областей можно выделить следующие виды педогенеза: межледниковый, интерстадиальный и ледниковый. В настоящее время на территории Беларуси не установлено почвенных комплексов, которые включают в себя интерстадиальную и межледниковую почвы. Информация о дочетвертичных почвах Беларуси или отсутствует, или достаточна скудна, чтобы разработать их классификацию. Ниже приведены примеры описания ископаемых палеопочв, найденных в четвертичных и голоценовых отложениях.

В разрезах беловежского межледниковья, исходя из описания, вероятно, встречаются погребенные почвы: «сложена тонкослоистыми темно-серыми и серыми, с голубоватым или зеленоватым оттенком супесями, алевритами, суглинками, тонко- и мелкозернистыми песками, иногда гумуссированными с остатками растений, а местами с прослойками растительной трухи и аллохтоного торфа» [6, с. 244]. Особый интерес может вызывать разрез у д. Верхнее Березино, где в результате бурения была вскрыта сизовато-серая супесь, в нижней части с прослоями черной супеси, крашенной гумусом и переходящей в торф, что говорит о начале почвенных процессов.

При описании местонахождения Кобеляки (Приднепровье), расположенного на платообразной поверхности, возвышающейся над урезом воды р. Днепр по правому берегу в окрестностях г. Орши, А.Н. Мотузко на уровне 1,55–2,35 м описывает ископаемые палеопочвы: «погребенная почва, представлена чередованием темно-серых гумусированных прослоев супеси с прослойками бурой супеси, встречаются зерна гравия; слой затронут мерзлотными процессами – наблюдаются смятия прослоев и небольшие морозобойные клинья; выделяются два горизонта ископаемой почвы, разделенных прослоем лессовидной палеовой супеси» [5, с. 164].

На Минской возвышенности, местами уцелели перекрытые различными склоновыми отложениями мощные красно-бурые и аллювиальные горизонты муравинских межледниковых (?) дерново-подзолистых или подзолистых почв [6, с. 271].

В Подляско-Брестской впадине преобладали в аллереде (11800–10900 лет назад) песчаные почвы с низким уровнем грунтовых вод [4, с. 73].

Как видно из описаний выше, палеопочвы на территории Беларуси перспективный объект изучения. Важным компонентом палеопочв является почвенная память.

Почвенная память – это совокупность свойств почвенного профиля, которые позволяют записывать и сохранять информацию о природной обстановке прошлого. Палеопочвы являлись частью древних ландшафтов, поэтому ландшафтная интерпретация палеопочв (в иностранной литературе педосигнатуры (pedosignatures)) очень важна. Анализ данных по палеопочвам позволяет выйти исследователю на триаду: факторы → процессы → свойства.

Для реконструкции палеоландшафтов палеопочвоведу следует проанализировать алгоритм реконструкции палеоэкосистем. Первым этапом алгоритма является анализ седиментогенеза, данные о котором нам дают осадочные толщи пород. На втором этапе анализируется педогенез, позволяющий восстановить почвенный профиль и выстроить модель экологических процессов, происходивших в палеопочвах. Часто такую модель называют факторной, она позволяет выйти на диагенез и конкретно изучить палеопочву, выстроив модель диагенеза.

Именно эволюцию экосистем академик Г.А. Заварзин в 1995 году назвал новой парадигмой современного естествознания. В историческом прошлом ландшафтов можно установить примеры коэволюции, которая включает в себя воздействие биоты на окружающую среду, так и воздействие ландшафта на биоту в которой она проживала. Если придерживаться классической схемы предложенной В.В. Докучаевым, то важными событиями в палеогеографии Земли стали: завоевание суши растениями и формирование их корневой системой гумусовых горизонтов; формирование

травянистых биомов позволило появиться дерновым почвам с уникальными характеристиками. Следует отметить, что если отступить от классической схемы В.В. Докучаева [9], то важными этапами стали: формирование педосферы связано с наиболее древними признаками наземной жизни в раннем докембрии; революционные изменения в характере биогеохимического выветривания и почвообразование было сильно связано с кислородной катастрофой в палеопротерозое; а появление разнообразия почвенных типов связано с прокариотной биосферой докембрия; в настоящее время в кайнозое произошли принципиальные изменения, которые связаны с появлением травянистой растительности и антропогенной трансформацией.

### Библиографические ссылки

1. *Клебанович Н. В.* Почвы Беларуси и их плодородие. Учебное пособие для студентов специальности 1-31 02 01 География. направление: 1-31 02 01-03 Геоинформационные системы. Мн., БГУ, 2017. 175 с.
2. *Панин П. Г.* Палеопочвы как индикатор изменения климата в позднем и среднем плейстоцене центра Восточно-Европейской равнины. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 5. С. 69–82.
3. Современный и четвертичный континентальный литогенез / Отв. ред. Е. В. Шандер; АН СССР. Комиссия по изучению четвертичного периода. Москва: Наука, 1966. 197 с.
4. *Богдасаров М. А.* Геология и минерагения четвертичных отложений территории Подляско-Брестской впадины: монография / М. А. Богдасаров; Брест. гос. ун-т имени А.С. Пушкина. Брест: БрГУ, 2011. 167 с.
5. *Мотузко А. Н.* Фауна млекопитающих позднесоожского времени на территории Беларуси // Проблемы середньоплейстоценового інтергляціалу. Матеріали XIV українсько-польського семінару, Луцьк, 12–16 вересня 2007 р. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2007. С. 163–182.
6. Геология СССР. Том 3. Белорусская ССР. Часть 1. Геологическое описание Том 3, Недра, Москва, 1971. 456 с.
7. Paleopedology Glossary // Paleopedology Commission Newsletter. 1997. № 14. URL: <http://fadr.msu.ru/inqua/nl-14/> (дата обращения: 15.08.2023).
8. *Плюснин И. И.* Ископаемые почвы и вопросы палеопочвоведения // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 1975. № 44. С. 3–19.
9. *Махнач В. В., Мотузко А. Н.* Значение изучения палеопочв в учебном процессе для целей развития палеогеографической науки // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение: мат. Межд. науч.-практ. конф., 6–8 июня 2012 г., Мн., Беларусь / редкол.: И. И. Пирожник (гл. ред.) [и др.]. Мн: БГУ, 2012. С. 123–125.

УДК: 502.52

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЭМИССИИ CO<sub>2</sub> ИЗ ПОЧВ ЛЕСОПАРКОВЫХ ЭКОСИСТЕМ КУРСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

**Н.П. Неведров**

*Курский государственный университет, ул. Радищева, 33,  
305000, Курск, Россия, email: [9202635354@mail.ru](mailto:9202635354@mail.ru)*

В работе приведены данные о многолетней и сезонной динамике почвенных потоков CO<sub>2</sub> из альфегумусовых песчаных и темно-серых типичных почв сосняков и дубрав Курской агломерации. Скорость почвенных потоков CO<sub>2</sub> измеряли камерным методом *in situ*. В исследуемые годы отмечена вариабельность гидроклиматических условий, которые определяли особенности временной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub>.

**Ключевые слова:** подзолы песчаные; темно-серые почвы; сосновый лес; дубрава; изменения климата.

Азональные альфегумусовые почвы (подзолы и дерново-подзолы песчаные) функционируют под сосновыми лесонасаждениями в надпойменных террасах рек лесостепной зоны. В Курской области насаждения сосны обыкновенной занимают площадь около 26 тыс. га, что составляет 11,9 % облесенных территорий региона [4].

Темно-серые и серые почвы покрывают около 20% площади региона [2]. Значительная часть лесных экосистем функционирует на темно-серых и серых почвах.

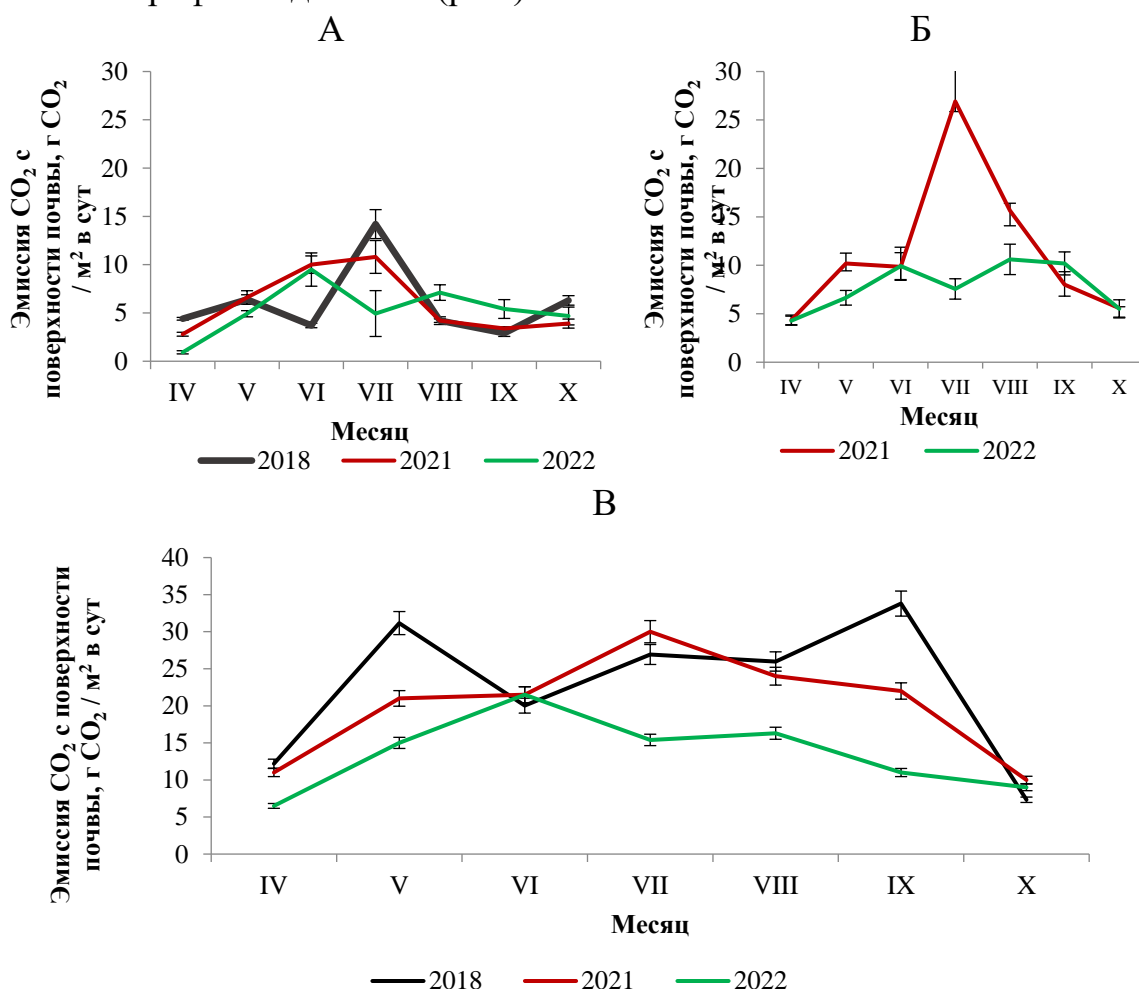
Для перехода экономики нашей страны на низкоуглеродный тренд весьма важно получить максимум экспериментальных данных, характеризующих почвенные потоки CO<sub>2</sub>, которые определяют до 90% экосистемной эмиссии [1, 3]. Экологическая оценка углеродного баланса в лесных экосистемах имеют крайне высокую значимость для количественной оценки углеродного цикла.

Цель работы экологическая оценка многолетней динамики потоков CO<sub>2</sub> с поверхности альфегумусовых песчаных почв и темно-серых почв сосновых лесов и дубрав Курской агломерации.

Почвенный экологический мониторинг проводился в трех экосистемах (сосняк мохово-лишайниковый, дубрава и дубрава снытьевая по 5 репрезентативным участкам в каждой экосистеме) расположенных в урочище «Горелый лес» на востоке Курска и урочище Шуклинка в северной части Курска. Почвенный покров сосняка представлен подзолами иллювиально-железистыми песчаными, дубравы – дерново-подзолами иллювиально-железистыми песчаными, дубравы снытьевой – темно-серыми типичными

почвами [1]. Скорость потоков диоксида углерода с поверхности почв определялась *in situ* камерным методом с использованием портативного инфракрасного газоанализатора CO<sub>2</sub>. Методика замеров скорости потока CO<sub>2</sub> подробно описана в работе [1]. Измерения осуществлялись ежемесячно с апреля по октябрь в 2018, 2021 и 2022 годах. Измерения проводились один раз в сутки с 9.00 до 13.00 часов. Параллельно с эмиссией CO<sub>2</sub> в каждой точке измеряли температуру и влажность почвы в трех повторениях, а также температура воздуха.

Полученные результаты о скорости потоков CO<sub>2</sub> указывают на значимые изменения этого показателя в течение вегетационного сезона. Минимальные значения эмиссии для подзолов и дерново-подзолов фиксировались в апреле, для темно-серых почв в апреле и октябре, что обусловлено фенологическими аспектами вегетации растений, т.е. низкой интенсивностью автотрофного дыхания (рис.).



Сезонная динамика эмиссии CO<sub>2</sub> из подзолов иллювиально-железистых песчаных (А), дерново-подзолов иллювиально-железистых песчаных (Б), темно-серых типичных почв лесопарковых систем Курской агломерации (вегетационные сезоны 2018, 2021 и 2022 годов)



Максимальная скорость потока диоксида углерода из подзолов и дерново-подзолов отмечалась в июле, что объясняется пиком вегетационной и микробиологической активности. У темно-серых почв максимальные значения показателя эмиссии наблюдались в июне-июле. Исключением стал 2018 год, когда максимумы эмиссии приходились на май и октябрь, что обусловлено совокупностью климатических факторов.

Конфигурации кривых сезонного хода эмиссии  $\text{CO}_2$  из исследуемых подзолов песчаных в 2018 и 2021 годах, в целом, схожи. В 2022 году скорость эмиссии в июле значительно снижалась, что связано с засухой в июне и первой половине июля. Кривые сезонного хода эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности темно-серых почв имели сопоставимые тенденции в 2021 и 2022 годах. В условиях летней засухи в 2022 году аномального снижения скорости эмиссии у темно-серых почв не отмечалось, по-видимому, из-за большей влагоемкости по сравнению с песчаными подзолами и дерново-подзолами.

Усредненные за вегетационные сезоны скорости эмиссии  $\text{CO}_2$  из подзолов составляли около  $6 \text{ г CO}_2/\text{м}^2$  в сутки как для 2018 года, так и для 2021-2022 годов. Существенными различиями характеризовались усредненные за вегетационный сезон значения эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности дерново-подзолов. В 2021 году дерново-подзолы в среднем эмитировали в атмосферу  $11,5 \text{ г CO}_2/\text{м}^2$  в сутки, тогда как в 2022 году только  $7,8 \text{ г CO}_2/\text{м}^2$  в сутки. Для темно-серых почв средняя за вегетационный сезон скорость эмиссии колебалась в диапазоне от  $16,6$  до  $22,5 \text{ г CO}_2/\text{м}^2$  в сутки.

Суммарное количество эмитированного диоксида углерода подзолами песчаными в исследуемые годы, в целом, сопоставимо –  $1,3 \text{ кг CO}_2/\text{м}^2$  за сезон в 2018 году,  $1,2 \text{ кг CO}_2/\text{м}^2$  за сезон в 2021 году и  $1,1 \text{ кг CO}_2/\text{м}^2$  за сезон в 2022 году. Суммарное количество эмитированного диоксида углерода из дерново-подзолов сильно отличалось в 2021 и 2022 годах и составляло  $2,5 \text{ кг CO}_2/\text{м}^2$  за сезон в 2021 году и  $1,7 \text{ кг CO}_2/\text{м}^2$  за сезон в 2022 году. Темно-серые почвы дубравы снытьевой эмитировали  $4,8 \text{ кг CO}_2/\text{м}^2$  в 2018 году,  $4,3 \text{ кг CO}_2/\text{м}^2$  в 2021 году и  $3,6 \text{ кг CO}_2/\text{м}^2$  в 2022 году.

По отдельным месяцам наблюдались существенные различия показателя эмиссии, что определенно связано с количеством выпадающих осадков, которое значимо разнилось в рассматриваемых нами годах (табл.).

**Количество осадков, выпавших в Курской агломерации  
в исследуемые вегетационные сезоны 2018, 2021-2022 годов**

Месяц	Количество осадков, мм		
	2018	2021	2022
IV	13,7	64	119,8
V	43,7	91,2	93,2
VI	23,7	63,9	10,1
VII	176,9	64	67,7
VIII	2,8	40,4	25,5
IX	41,6	75,7	142
X	43,5	4,2	80,5
Σ	345,9	403,4	538,8

Меньшее количество эмитированного диоксида углерода всеми исследуемыми почвами в 2022 году обусловлено относительно низкой скоростью эмиссии в период летней засухи. В 2021 году скорость эмиссии из дерново-подзолов была выше практически во все месяцы наблюдений, в то время как в 2022 году различия скоростей эмиссии CO<sub>2</sub> были менее контрастными. У темно-серых почв, несмотря на меньшее суммарное количество осадков, в 2018 году скорость эмиссии CO<sub>2</sub> была выше практически во все месяцы, чем в 2021 и 2022 годах. Вероятно, определяющим фактором была температура почвы, о чем свидетельствует самое высокое значение коэффициента корреляции между этими показателями.

Суммарное количество осадков с апреля по октябрь в 2018 году составило 345,9 мм, в 2021 году – 403,4 мм, а в 2022 году - 538,8 мм. Однако в летние месяцы сумма осадков в 2022 году была значительно ниже – 103,3 мм, против 168,3 мм – в 2021 году и 203,4 мм в 2018 году.

Коэффициент корреляции между скоростью потока диоксида углерода и количеством осадков для подзолов песчаных лесостепи составил 0,28, для дерново-подзолов –  $r = -0,13$ , для темно-серых –  $r = -0,10$ .

Установлена корреляция показателей влажности почв и скорости эмиссии CO<sub>2</sub> из почв –  $r = 0,49$  (подзолы песчаные),  $r = -0,45$  (дерново-подзолы песчаные) и  $r = -0,60$  (темно-серые почвы). Температура почвы в исследуемые годы в большинстве месяцев вегетационного сезона имела близкие среднемесячные значения. Средний уровень корреляции между температурой почв и скоростью эмиссии CO<sub>2</sub> с их поверхности отмечали у дерново-подзолов ( $r = 0,58$ ) в то время как у подзолов значение коэффициента корреляции было ниже –  $r = 0,48$ . Наиболее высокие значения коэффициента корреляции между температурой почвы и влажностью отмечались для темно-серых почв –  $r = 0,66$ .

Усредненная скорость эмиссии CO<sub>2</sub> и суммарная эмиссия CO<sub>2</sub> из подзолов иллювиально-железистых песчаных Курской агломерации в вегетационные сезоны с 2018 по 2022 годы имели сопоставимые значения несмотря на отмеченные значимые различия водного режима почв. В то время как у дерново-подзолов и темно-серых почв эти показатели сильно различались в 2021 и 2022 годах, что, по-видимому, обусловлено большей чувствительностью этих типов почв к изменениям климатического режима.

### Библиографические ссылки

1. *Кудеяров В. Н.* Роль почв в круговороте углерода // Почвоведение. 2015. № 8. С. 915–923.
2. *Муха В. Д., Сулима А. Ф., Чаплыгин В. И.* Почвы Курской области: учеб. пособие для студентов, обучающихся по агроном. специальностям. Курск : Изд-во Курс. гос. с.-х. акад., 2006. 119 с.
3. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, АСТ, 2011. 632 с.
4. *Неведров Н. П., Саржанов Д. А., Проценко Е. П., Васенев И. И.* Пространственно-временная изменчивость эмиссии CO<sub>2</sub> из альфегумусовых песчаных почв лесостепной зоны на примере г. Курска // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1366–1377.

## СТРУКТУРА ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Л.И. Смыкович<sup>1)</sup>, М.П. Оношко<sup>2)</sup>, Е.А. Кажуро<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Белорусский государственный университет,  
факультет географии и геоинформатики, Минск, ул. Ленинградская, 16,  
220006, Беларусь, email: [geosmykovich@gmail.com](mailto:geosmykovich@gmail.com)

<sup>2)</sup> Филиал «Институт геологии Государственного предприятия «НПЦ по геологии»,  
Минск, ул. Купревича, 7, 220084, Беларусь,  
email: [onoshko\\_m44@mail.ru](mailto:onoshko_m44@mail.ru)

Дана характеристика земельного фонда Могилевской области по административным районам. Рассмотрены сельскохозяйственные, лесные, земли под древесно-кустарниковой растительностью, под болотами и водными объектами. Установлены некоторые особенности структуры земельного фонда региона, связанные как с природными, так и с антропогенными факторами.

**Ключевые слова:** структура земельного фонда; виды земель; Могилевская область; сельскохозяйственные земли; лесные земли.

Изучение структуры земельного фонда имеет важное практическое значение, прежде всего с точки зрения продовольственной безопасности, как жителей конкретной страны, так и Земли в целом. Рост численности населения, усиливающаяся антропогенная нагрузка, расширение площади обрабатываемых земель ведет к ряду негативных, все чаще - катастрофических последствий. Чтобы предотвратить деградацию земель, особенно, наиболее ценных из них, необходимо отслеживать состояние земельного фонда региона, в том числе – анализировать его структуру, пространственную и временную динамику. Осознание важности этой проблемы в нашей стране привело к организации ряда государственных направлений деятельности: к формированию Реестра земельных ресурсов как составной части государственного земельного кадастра [1] и развитию системы мониторинга земель как составной части мониторинга окружающей среды. В рамках мониторинга земель проводятся ежегодные наблюдения за составом, структурой и состоянием земельных ресурсов [2].

На примере Могилевской области проанализированы некоторые важнейшие тенденции в изменении структуры земельного фонда региона. Площадь административных районов Могилевской области изменяется от 76–77 тыс. га (Дрибинский, Кричевский) до 225 тыс. га (Быховский). При этом по наибольшей площади сельскохозяйственных земель выделяются Могилевский, Быховский, Горецкий, Мстиславский, Шкловский районы.

Сельскохозяйственная освоенность наибольшая у Горецкого, Мстиславского и Шкловского районов (65 %); достаточно высокие показатели сельскохозяйственной освоенности имеют территориально прилежащие к ним Дрибинский, Кричевский, Круглянский, Могилевский, а также Чаусский и Хотимский районы, где более половины земельного фонда используется как сельскохозяйственные земли. Эти районы тяготеют к северной части области и расположены в пределах Оршанско-Мстиславско-Горецкого, Шкловско-Чаусского почвенных районов и Краснопольско-Хотимского подрайона Северо-восточного и Восточного округов [3]. Они характеризуются широким распространением, лессовых (в том числе карбонатных) суглинистых пород, что предопределяет их высокое плодородие, а значит и высокую степень сельскохозяйственной освоенности. Причем, большая часть сельскохозяйственных земель в этих районах распаханна: распаханность превышает 70 % и доходит до 84 % (в Дрибинском районе). Тенденции сельскохозяйственной освоенности и распаханности приблизительно совпадают: районы, имеющие высокую степень сельскохозяйственной освоенности, имеют и наибольший процент распаханности, и наоборот: для Глусского, Краснопольского, Осиповичского районов сельскохозяйственная освоенность составляет менее 30 % и распаханность земель в этих районах наименьшая в регионе (менее 55 %).

Площадь лесных земель изменяется от 22–25 тыс. га в Кричевском, Мстиславском до 110–120 тыс. га в Быховском, Кличевском, Осиповичском районах. При этом наибольшая лесистость (более 50 %) характерна для Славгородского, Краснопольского, Бельничского, Глусского, Чериковского и Осиповичского районов (для последнего этот показатель составляет 62 %). Наименьшие показатели лесистости характерны для Шкловского, Мстиславского и Горецкого районов (от 19 до 22 %).

Земли под древесно-кустарниковой растительностью занимают площадь от 3 тыс. га (2–3 % земельного фонда Кировского и Чериковского районов) до 14–17 тыс. га (или 9–14 % от площади земельного фонда Краснопольского, Костюковичского, Чаусского районов). Интересно, что заустаренность земельного фонда Шкловского, Мстиславского и Горецкого районов, имеющих наиболее высокий бал бонитета сельскохозяйственных земель, составляет от 5 до 8 тыс. га (или 4–6 % от площади земельного фонда).

Площадь земель под болотами изменяется от 190 га или 0,13 % от площади земельного фонда в Бельничском районе до 9400 га (или 6 %) в Костюковичском районе, в Мстиславском районе – 6800 га. В Могилевской области реализован проект международной технической помощи "Восстановление осушенных торфяников в Беларуси", в результате которого было восстановлено более 1 тыс. га болот. В среднем площадь заболоченных земель составляет 3,5–4 тыс. га в одном районе.

Площадь земель под водными объектами изменяется от 600 га (Дрибинский район) до 3,5–4,5 тыс. га (Осиповичский и Быховский районы). Удельный вес этих земель в структуре земельного фонда изменяется от 0,7 до 2 %.

1. Таким образом, два доминирующих по площади вида земель – сельскохозяйственные и лесные – имеют «взаимнокомпенсирующий» характер. Это хорошо видно на примере двух групп районов: Горецкого, Мстиславского и Шкловского, для которых характерна наибольшая для региона сельскохозяйственная освоенность (65 %) и наименьшая лесистость (около 20 %). Для Глусского, Осиповичского, Краснопольского районов характерна обратная тенденция: максимальная лесистость (55–60 %) и наименьшие сельскохозяйственная освоенность и распаханность (соответственно менее 30 и 55 %).

2. Для структуры земельного фонда других районов важное значение имеют так называемые «малые» виды земель, среди которых рассмотрены земли под болотами, под водными объектами и под древесно-кустарниковой растительностью. Эти виды земель формируют экологический каркас территории, и их учет очень важен с точки зрения сохранения экологической стабильности региона.

3. Особенности структуры земельного фонда районов связаны как с природными, так и с антропогенными факторами. Среди первых важно выделить высокое потенциальное плодородие почв, развивающихся на лессовых (часто карбонатных) суглинках, что предопределяет высокую сельскохозяйственную освоенность территории. К наиболее значимым антропогенным факторам следует отнести загрязнение земель радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС, что существенно снизило балл кадастровой оценки этих земель.

### **Библиографические ссылки**

1. Реестр земельных ресурсов. Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа : [http://www.gki.gov.by/ru/activity\\_branches-land-reestr](http://www.gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr). Дата доступа : 31.08.2023.

2. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://www.nsmos.by/content/164.html>. Дата доступа : 31.08.2023.

## ГЕОГРАФИЯ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ

А.А. Сазонов

*Белорусский государственный университет, Минск, пр. Независимости, 4, 2203030,  
Беларусь, email: alexey.szonov@gmail.com;*

В настоящем исследовании рассматривается география почвообразующих пород почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. Приводятся картограммы доли почв на почвообразующих порода моренного, аллювиального, древнеаллювиального, водно-ледникового, озерно-ледникового, известкового, лёссового и лёссовидного, органогенного генезиса в общей площади земель в границах сельхозпредприятий.

**Ключевые слова:** генезис почвообразующих пород; агроландшафт; почвенно-географическое районирование

На территории Беларуси существует тесная взаимосвязь почвообразующих пород (их генезиса, гранулометрического состава и строения), рельефа местности и формирующихся почв. Характер почвообразующих пород, в частности, генезис, во многом определяют направленность почвообразовательных процессов и водный режим почв [1]. Они являются частью твердой фазы почвы и определяют ее исходные минеральные, химические, физико-химические и другие параметры, определяя физические, химические свойства, уровень обеспеченности почв элементами минерального питания растений [2].

Почвообразующие породы Беларуси характеризуются значительным разнообразием. По генезису их можно разделить на группы: коренные породы; ледниковые отложения (моренные, водно-ледниковые, озерно-ледниковые); лессы и лессовидные породы; древнеаллювиальные; эоловые; современные отложения (аллювиальные, болотные, озерные и др.) [2]. Строение почвообразующих пород на территории республики как одночленное (гомогенное), так и сложное двух-, трехчленное (многочленное) [1].

Цель исследования – выявить пространственную дифференциацию генезиса почвообразующих пород почв сельскохозяйственных земель на территории Беларуси. Под сельскохозяйственными землями в соответствии с Кодексом Республики Беларусь о земле понимаются земли, систематически используемые для получения сельскохозяйственной продукции и включаю-

щие в себя пахотные земли, залежные земли, земли под постоянными культурами и луговые земли [3]. Для целей настоящего исследования сельскохозяйственные земли в границах сельскохозяйственных предприятий принимаются нами как «продукционное ядро» агроландшафта.

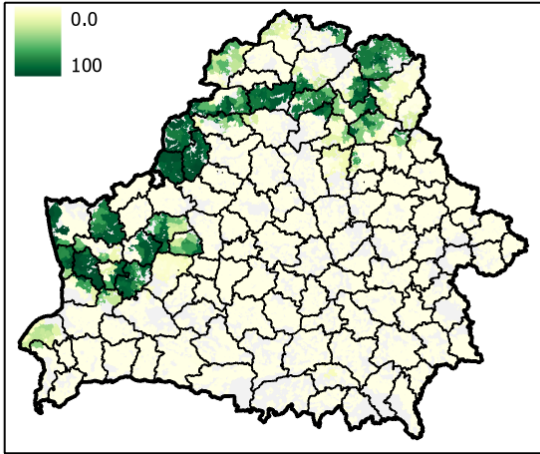
На сегодняшний день создание, обновление почвенных карт выполняется путем создания или обновления слоя «Почвы» в базе данных земельной информационной системы Республики Беларусь [4]. Слой «Почвы» ЗИС создается с точностью масштаба карты 1:10 000 и состоит из пространственных и атрибутивных данных. Атрибутивные данные в свою очередь содержат информацию о типе почв, генезисе почвообразующих пород, степени увлажнения, гранулометрическом составе почв, степени подверженности эрозии, подстилающих породах. В соответствии с принятой кодировкой «Номенклатурного списка почв Республики Беларусь» [4], порядковый номер второго знака кода почв содержит информацию о генезисе почвообразующих пород: 01 – моренные, 02 – озерно-ледниковые, 03 – водно-ледниковые, 04 – лёссовидные, 05 – лёссы, 06 – древнеаллювиальные, 07 – аллювиальные, 08 – органогенные, 09 – коренные известковые, 10 – пресноводные известковые, 11 – пресноводные.

Оценка пространственной дифференциации почвенного покрова произведена нами в границах сельскохозяйственных предприятий различной формы собственности, с площадью земель более 100 га. Основой стали цифровые почвенные карты масштабов 1:10 000, 1:50 000, организованные в базе данных агроэкологического состояния земель [5]. Исследование охватывает большую часть всех сельскохозяйственных земель страны.

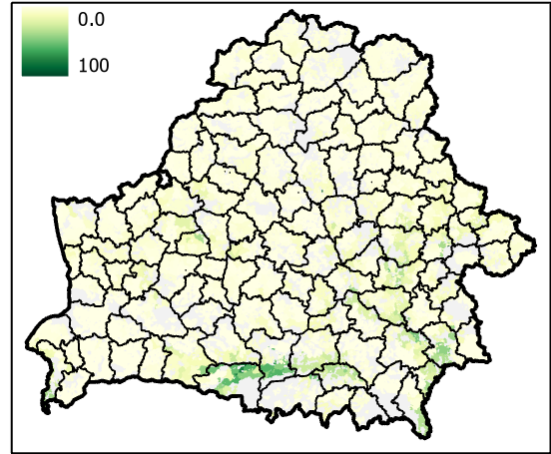
На представленных схемах (рис.) отражена доля почв, развивающихся на почвообразующих породах соответственно моренного, аллювиального, древнеаллювиального, водно-ледникового, озерно-ледникового, известкового (коренного известкового и пресноводно известкового), лёссового и лёссовидного, органогенного генезиса.

Следует отметить, что анализ полученных данных говорит о субъективности подходов при первоначальном описании почв, составлении почвенных карт хозяйств и районов. Данная проблема наиболее характерна для территорий со сложными геоморфологическими условиями, где почвы имеют двух- и трехчленное строение, проявляется на стыке листов почвенных карт хозяйств и районов, и характеризуется резким изменением генезиса почвообразующих пород вдоль искусственных границ (границ административно-территориальных единиц, земельных участков и т.д.). Принимая во внимание данный факт, тем не менее можно выявить некоторые особенности пространственной дифференциации почв с различным генезисом почвообразующих пород.

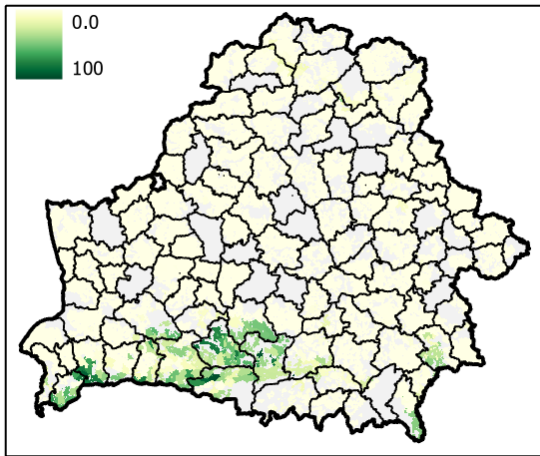




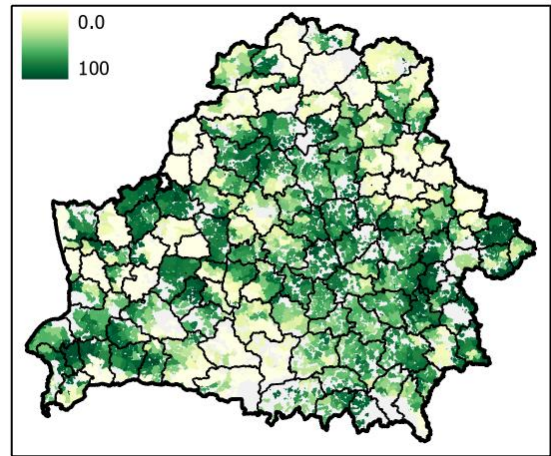
a)



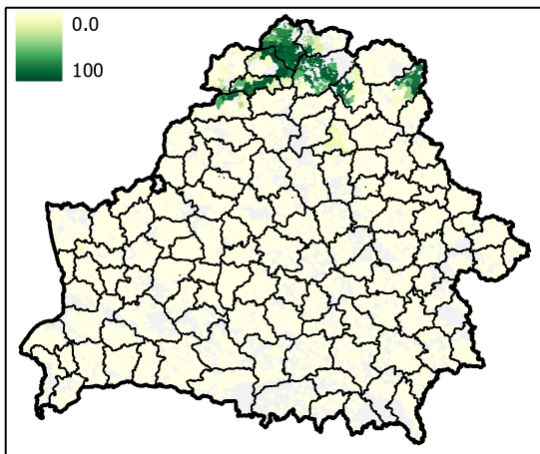
б)



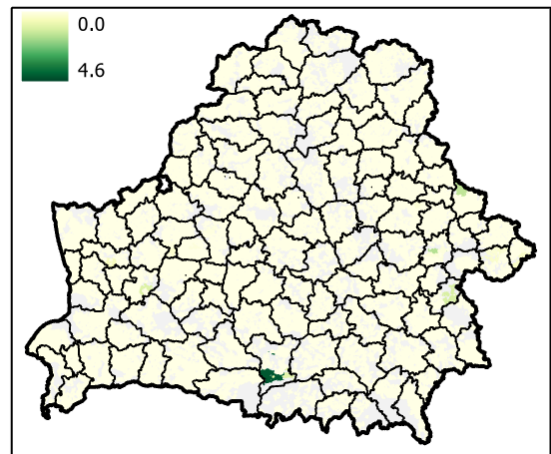
в)



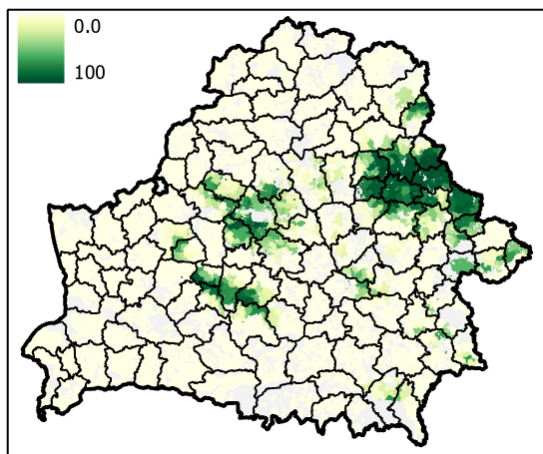
г)



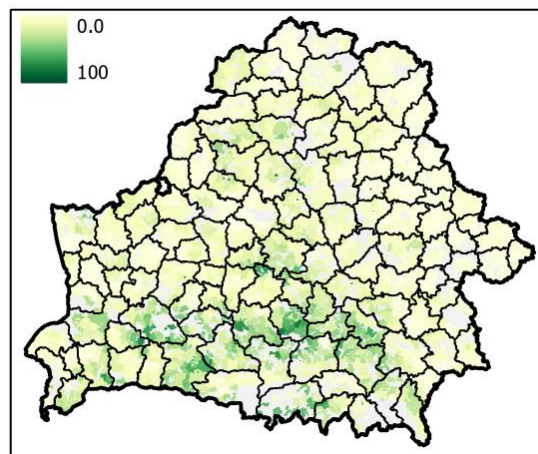
д)



е)



ж)



з)

*Доля почв с почвообразующими породами определенного генезиса в структуре земель сельхозпредприятий:*

*а) моренные; б) аллювиальные; в) древнеаллювиальные; г) водно-ледниковые; д) озерно-ледниковые; е) известковые; ж) лёссовые и лёссовидные; з) органогенные*

Почвы, развивающиеся на моренных отложениях, наиболее распространены в западной и северной частях страны и в целом соответствуют конечно-моренным возвышенностям и грядам. Наиболее распространены в республике почвы, развивающиеся на водно-ледниковых отложениях, часто перекрывая моренные. Почвы на аллювиальных и древнеаллювиальных, органогенных отложениях не занимают значительных площадей, в основном представлены на территории хозяйств, расположенных в бассейнах Припяти и Днепра, в Предполесье. Почвы на озерно-ледниковых отложениях преобладают в Полоцкой и Суражской низинах. Почвы на лессах и лёссовидных породах значительно представлены на востоке страны, на Оршанской возвышенности, Оршано-Могилевской и Горецко-Мстиславской равнинах, а также в центральной части – Минской равнине, Слуцкой возвышенности.

### **Библиографические ссылки**

1. Лапа В.В. Почвы Республики Беларусь / ред. В. В. Лапа [и др.]. Минск: ИВЦ Минфина, 2019. 631 с.
2. Клебанович Н.В. География почв Беларуси: учеб. пособие / Н. В. Клебанович [и др.]. Минск: БГУ, 2011. 183 с.
3. Кодекс Республики Беларусь о земле / Минск : Национальный центр правовой информации Республики Беларусь, 2008.
4. ТКП 651-2020 (33520). Почвенное обследование земель и создание, обновление почвенных карт. Порядок и технология работ. 2020.
5. Сазонов А. А. Базы данных агроэкологического состояния земель и почв как основа агроэкологической оценки / А. А. Сазонов // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 16 нояб. 2022 г. Минск: БГУ, 2022. С. 279–281.

# РАЗДЕЛ VIII

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЧВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ

УДК 631.524.84:631.41

### АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА

**Г.П. Глазунов**

*ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»  
ул. К. Маркса, 706, 305040, Курск, Россия,  
email: [gennadij-glazunov@yandex.ru](mailto:gennadij-glazunov@yandex.ru)*

Исследования проводили с целью изучения зависимости показателей плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур от морфометрических параметров рельефа для усовершенствования подходов к агроэкологической оценке земель и обеспечения рационального использования природно-ресурсного потенциала агроландшафтов. Объектом исследования являлись черноземные почвы различной степени смытости и выщелоченности. На основе проведённых исследований выполнена агроэкологическая оценка производственного участка в агроландшафте с куполообразной формой рельефа. В результате проведения исследований, получены данные для усовершенствования подходов к агроэкологической оценке почв агроландшафтов со сложной формой рельефа на основе цифровых технологий, необходимые для оценки степени изменчивости параметров почвенного плодородия, направленные на рациональное использование природно-ресурсного потенциала агроландшафтов.

**Ключевые слова:** склоновый агроландшафт, ГИС-технологии, агроэкологическая оценка, адаптивно-ландшафтная системы земледелия.

Для развития земледелия принципиально важно получение новых знаний, обеспечивающих рациональное использование агроландшафтов, что требует разработки новых подходов к их оценке. Объективная агроэкологическая оценка земель агроландшафта требует работы с большим объемом информации. Она включает в себя не только систему оценки агрономически значимых параметров почвенного плодородия, но и показатели, характеризующие рельеф и геологическое строение местности, определяющие продукционные процессы в агроландшафте [1, 2].

Географические информационные системы служат наиболее эффективным средством обработки и визуализации информации, позволяющим работать с базами данных, содержащими массивный объем информации.

Это даёт возможность пользователям проводить анализ информации в соответствии с задаваемыми критериями и оперативно осуществлять выбор мероприятий для решения поставленных задач по конкретным территориям. Использование ГИС-технологий создает реальные условия для использования морфометрического анализа не только для картографирования и описания рельефа, но и для оценки параметров почвенного плодородия [2, 3].

Исследования выполняются на базе лаборатории агрохимии и агроэкологического мониторинга ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в Медвенском районе, Курской области на производственном участке с куполообразной формой рельефа с использованием описательного, профильного, морфологического, картографического, статистического, сравнительно-аналитического методов анализа и ГИС-технологий на основе современных методик с использованием программных средств Microsoft Office, QGIS 3.8.3, Surfer 14.0, OziExplorer, SAS Planet, Grid и геодезического оборудования. Применение ГИС-технологий проводилось с использованием разработок отечественных, зарубежных авторов и авторского подхода. Объектом исследований являются черноземные почвы различной степени смытости и выщелоченности в агроландшафте с куполообразной формой рельефа.

На основе массива данных геопозиционирования и нивелирной съёмки (шаг сетки - 50 м) полигона в склоновом агроландшафте была создана цифровая модель рельефа. Основная территория участка имеет уклоны до 3 градусов  $0...1^\circ - 12\%$ ,  $1...2^\circ - 28\%$ ,  $2...3^\circ - 31\%$ ,  $3...4^\circ - 19\%$ ,  $4...5^\circ - 8\%$  и  $5...6^\circ - 2\%$  площади пашни. Согласно расчетам, для среднемноголетних агроклиматических условий (сумма активных температур более  $10^\circ$  составляет  $2635^\circ\text{C}$ , годовые осадки 547 мм, осадки теплого периода 284 мм) коэффициенты относительной (по сравнению с водоразделом) теплообеспеченности варьируют по территории от 0,923 до 1,067, при этом различия сумм активных температур более  $10^\circ\text{C}$  на самых холодных северо-восточных и самых теплых юго-западных склонах могут составлять от 2432 до 2811  $^\circ\text{C}$ , а гидротермический коэффициент в пределах территории меняется от 1,01 до 1,17.

В ходе полевых исследований установлено, что формирование почвенных ресурсов продуктивности пашни происходит в соответствии с агроэкологическими условиями ландшафта в зависимости от рельефа. Максимальные различия базовых параметров агрохимических свойств черноземных почв наблюдаются между северо-восточными и юго-западными склонами (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

## Агрохимические параметры плодородия пахотного слоя почвы

Показатель	$X \pm sd$	Lim	V, %
Гумус, %	$5,58 \pm 0,34$	4,22...6,55	6,1
$P_2O_5$ , мг/кг	$129,4 \pm 32,7$	56...249	25,3
$K_2O$ , мг/кг	$138,2 \pm 31,2$	91...239	22,6
$pH_{KCL}$	$6,18 \pm 0,58$	5,1...7,3	9,4

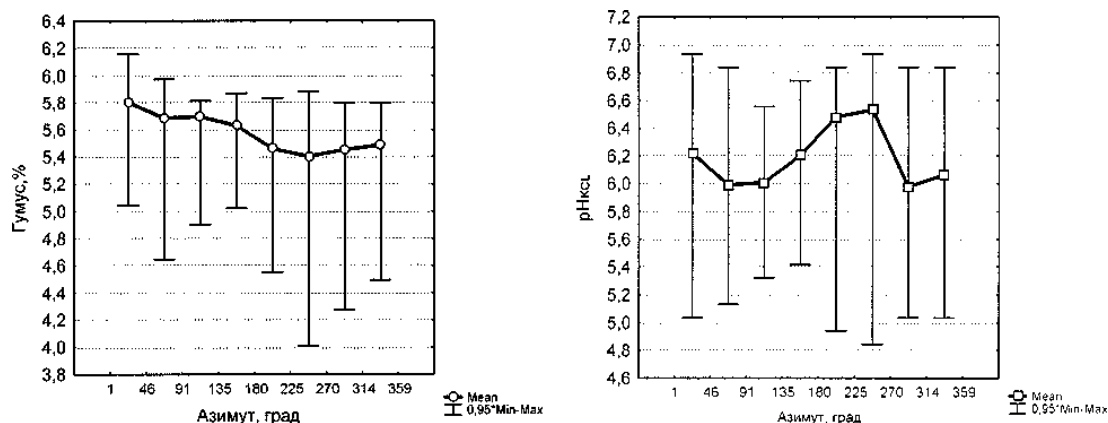


Рис. 1. Изменения содержания гумуса (а) и кислотности (б) пахотного слоя чернозема в зависимости от направления склонов

Оценка ресурсов продуктивности пашни проведена на основе среднелетних агроклиматических параметров для данной территории, комплексной оценки свойств почв, а также исходного анализа микроклиматических различий на основе комплексной оценки морфометрических параметров рельефа (рисунок 2).

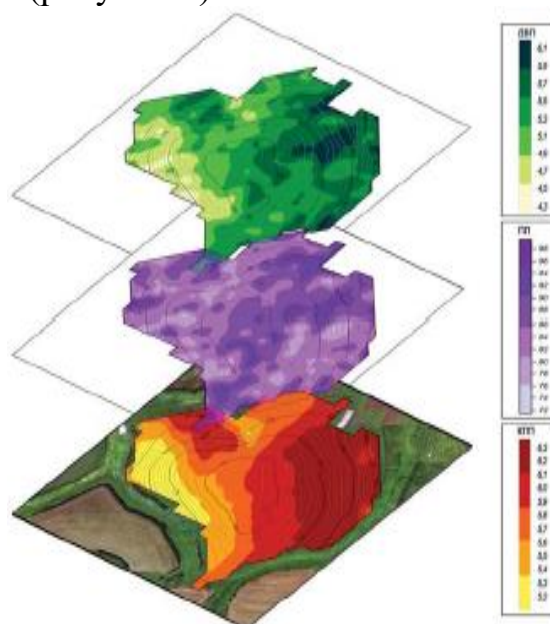


Рис. 2. Последовательный анализ морфометрических параметров и относительные величины теплообеспеченности ( $ST/ST_0$ )



Выявлено, что климатический потенциал продуктивности пашни на территории полигона исследования составляет  $59,0 \pm 3,6$  ц з.е./га с размахом варьирования от 49 ц з.е./га на склонах юго-западного направления до 63 ц.з.е/га на склонах северо-восточных направлений. Параметры плодородия чернозема типичного, согласно комплексной оценке по содержанию гумуса, подвижных фосфора, калия и кислотности  $pH_{КС}$  составляет в среднем  $85,7 \pm 5,3$  с размахом варьирования от 71 до 100 баллов. Базовая и действительно возможная продуктивность пашни оценивается в  $30,1 \pm 2,9$  и  $53,5 \pm 3,5$  ц з.е./га соответственно (рис. 3, табл. 2).

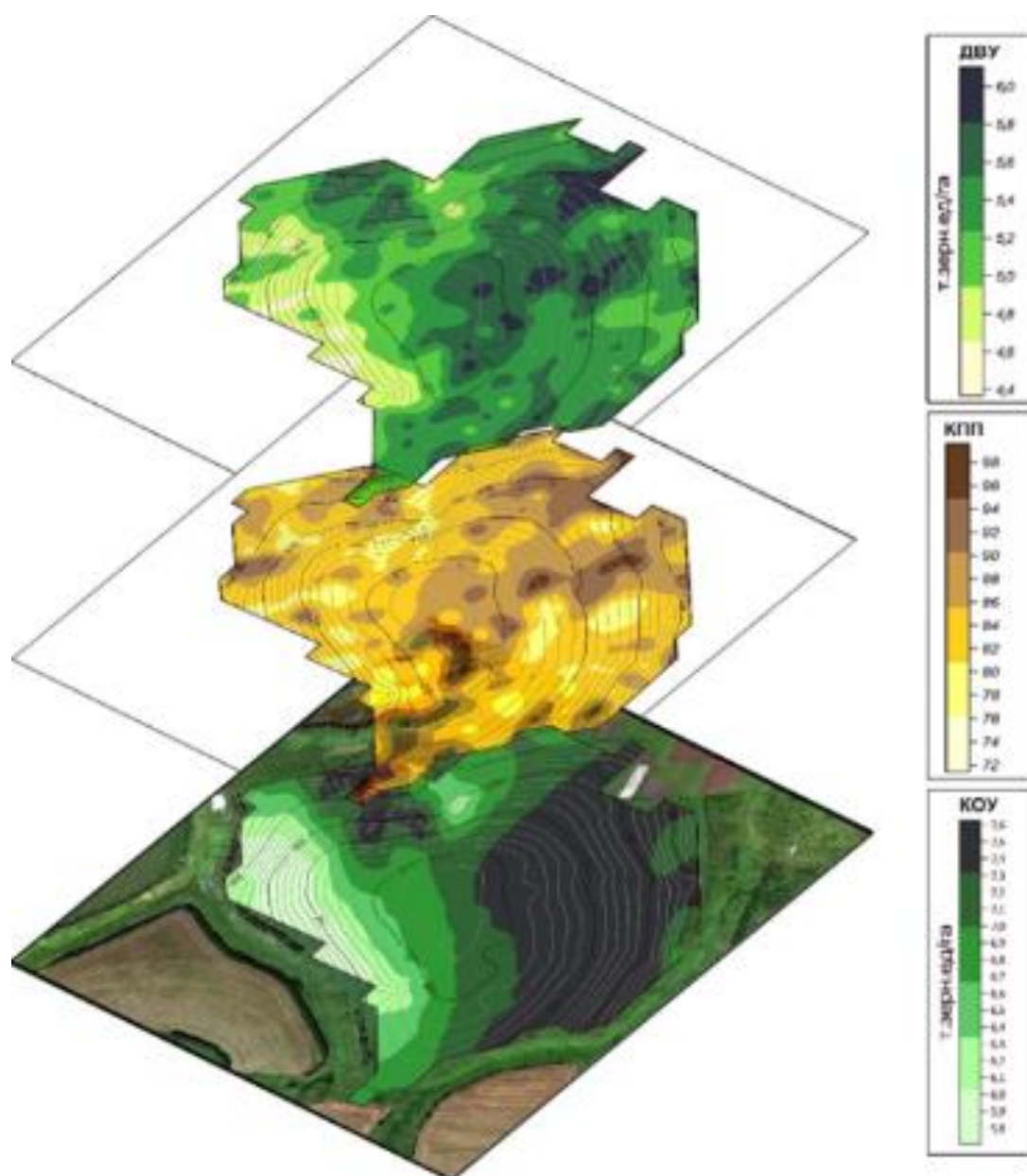


Рис. 3. Оценка ресурсов продуктивности пашни

Таблица 2

**Морфометрические параметры, гидротермические условия,  
ресурсы продуктивности на исследуемом полигоне**

Показатель	X± sd	Lim	V,%
Морфометрические параметры			
Превышения, м	208,06±6,13	191,5...217,0	2,95
Уклон, град	2,4±1,2	0,3...5,9	49,1
Азимут, град.	173,8±116,1	1,0...359,0	66,8
Гидротермические условия			
ST/ST <sub>0</sub> *	0,995±0,032	0,923...1,067	3,2
ST > 10°C	2622±85	2432...2811	3,4
ГТК / НТК	1,086±0,035	1,01...1,17	3,3
Ресурсы продуктивности			
КПП / CPP	59,0±3,6	49,3...62,7	6,0
ПП / SFI	85,7±5,3	71,2...100,0	6,2
БП/BP	30,1 ±2,9	22,0...38,0	9,7
ДВП / RPP	53,5±3,5	43,1...61,1	6,5

ST/ST<sub>0</sub>\* - относительный коэффициент теплообеспеченности склонов; ST > 10°C - сумма температур более 10°C; ГТК - гидротермический коэффициент Селянинова; КПП - климатический потенциал продуктивности пашни, ц.з.е/га; ПП - показатель плодородия почвы; БП - базовая продуктивность пашни, ц.з.е/га; ДВП - действительно возможная продуктивность пашни, ц.з.е/га

В соответствии с этим наибольшая величина урожая зерна озимой пшеницы формировалась на склоне северо-восточной экспозиции (52,2 ± 7,7 ц/га), а наименьшая отмечалась на склоне юго-западной экспозиции (41,2 ± 8,4 ц/га).

Для оценки продукционных возможностей пашни осуществляли последовательный расчет величин базовой урожайности (Y<sub>b</sub>), которой можно достичь без применения удобрений, и действительно возможной продуктивности сельскохозяйственных культур (ДВП) на основе комплексной оценки агрохимических показателей и климатически обеспеченной урожайности (КОУ) с учетом среднеголетних агроклиматических параметров:

$$\text{ДВП} = Y_b + (\text{ПП}_i - \text{ПП}_{\min}) \cdot (\text{КОУ} - Y_b) / (\text{ПП}_{\max} - \text{ПП}_{\min}),$$

где Y<sub>b</sub> – базовая урожайность; КОУ – климатически обеспеченная урожайность; ПП<sub>i</sub>, ПП<sub>max</sub>, ПП<sub>min</sub> – комплексный балл оценки качества почвы соответственно для оцениваемого участка, максимального и минимального по оценочной шкале.

Установлено, что урожайность озимой пшеницы зависит от микроклиматических различий, неоднородности показателей почвенного плодородия и морфометрических характеристик рельефа и описывается следующей полиномиальной зависимостью:

$$Y = 1,022 - \text{ДВП} - 2,31$$

где:  $Y$  – урожайность озимой пшеницы, ц/га; ДВП – действительно возможная продуктивность, ц з.е./га.

Таким образом, проведена комплексная агроэкологическая оценка в склоновом агроландшафте на примере полигона с куполообразной формой рельефа; построены электронные карты, отражающие основные показатели рельефа исследуемой территории. Перераспределение гидротермических условий в направлении повышения теплообеспеченности в юго-западном направлении склонов и снижение относительно водораздельных участков в северо-восточном. Наибольшие различия базовых параметров агрохимических свойств черноземных почв наблюдаются по оси северо-восток – юго-запад. Склоны северных направлений (СЗ, С, СВ) имеют более высокую кислотность почв, а южных (ЮВ, Ю, ЮЗ) меньшей; чем участки водоразделов. Наибольшая величина урожая зерна озимой пшеницы формируется на склоне северо-восточной экспозиции.

### Библиографические ссылки

1. Самсонова В. П., Кротов Д. Г., Лаврешова Е. Ю. Пространственная изменчивость агрохимических свойств сельскохозяйственных угодий Брянской области. *Агрохимия*, 2017. № 7. С. 11–18.
2. Рухович О. В. Пространственное распределение характеристик урожая озимой пшеницы с использованием методов геоморфометрии / О. В. Рухович, А. В. Перминов, О. И. Иванова, Т. С. Дорофеева // *Актуальные проблемы науки и образования в области естественных и сельскохозяйственных наук*. 2018. Т. 1. № 1. С. 181–186.
3. Лукин С. В., Костин И. Г., Малышева Е. С. Применение геоинформационных систем для агроэкологического мониторинга сельскохозяйственных земель // *Агрохимический вестник*. 2019. № 4. С. 8–13.



## ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Ф.С. Гутько, А.Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
email: [gytko.filip12@gmail.com](mailto:gytko.filip12@gmail.com)*

Современное земледелие становится все более точным и инновационным, и одной из ключевых технологий, которая обеспечивает эту точность, является геостатистика. Геостатистика – это методология, которая позволяет анализировать и интерпретировать пространственные данные и выделять закономерности в распределении параметров в пространстве и времени. Она позволяет улучшить качество и эффективность земледельческой деятельности, оптимизировать использование ресурсов и повысить урожайность.

Одной из областей применения геостатистики в земледелии является точное земледелие, которое базируется на использовании глубокого анализа данных и применении геостатистических методов. Точное земледелие позволяет учитывать множество факторов, таких как тип почвы, климатические условия, генетические особенности растений и многие другие, и создавать оптимальные условия для их роста и развития.

Рабочей гипотезой данного исследования было предположение о наличии существенного варьирования свойств почв даже на небольшом участке, что в свою очередь позволит говорить о необходимости активного внедрения точного земледелия в Республике Беларусь, а также более широкого применения геостатистических методов в мониторинге и оценке сельскохозяйственных земель страны.

Целью исследования является обоснование актуальности применения геостатистических методов для определения степени неоднородности распределения кислотности почв на различных участках.

**Ключевые слова:** геостатистический анализ, точное земледелие, кислотность почв, сельское хозяйство, плодородие почв.

В последние годы в мире наблюдается развитие концепции точного земледелия, поддерживаемого информационными технологиями. В основе точного земледелия лежит управление продуктивностью посевов, учитывающее вариабельность среды обитания растений. Целью точного земледелия является получение максимальной прибыли при условии оптимизации производства, экономии удобрений, извести, ядохимикатов, воды, рационального использования природных ресурсов, защите окружающей среды.

В нашей стране точное земледелие менее развито, так как его внедрение связано с одной стороны с техническим обеспечением, с другой стороны – с получением подробной информации о конкретном поле.

Применительно к точному земледелию можно выделить несколько этапов геостатистического анализа: первичная статистическая обработка; вариография – анализ и описание пространственной корреляционной структуры данных на основе различных статистических (математических) моделей; кросс-валидация – проверка и сравнение статистических погрешностей математических моделей; построение картограмм с помощью крикинга.

Объектом исследования настоящего исследования являются почвы 5 опытных участков, заложенных на территории Барановичского района Брестской области. Участки являются действующими сельскохозяйственными полями местного К(Ф)Х.

На основании различий в площади опытных участков была сгенерирована сетка пробоотбора с шагом в 70 м на участках № 1 и № 3, с шагом в 50 м на участке № 2, с шагом 40 м на участке № 4 и с шагом 20 м на участке № 5 – суммарное количество точек составило 565. На опытном участке № 1 было отобрано 198 почвенных образцов, на участке № 2 – 82, на участке № 3 – 105, на участке № 4 – 72, на участке № 5 – 108 почвенных образцов. Отбор проб производился с глубины 0–20 см.

Определение рН (КСl) выполнялось в лаборатории. Геостатистический анализ проводился по стандартной методике: после проверки на нормальность распределения вычленились детерминированные (глобальные) тренды.

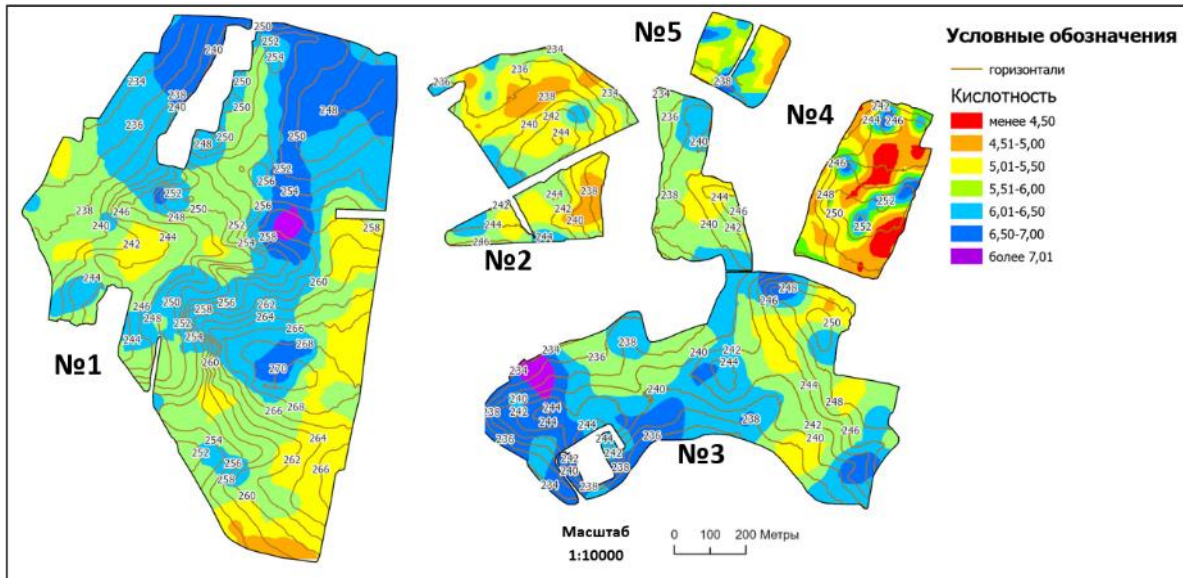
Далее при проведении анализа определяется оптимальная модель вариограммы для каждого опытного участка, для которых рассчитывались такие показатели как наггет, порог, ранг и остаточная дисперсия.

Кроме визуального сходства и экспертной оценки, качество вариограммного анализа оценивалось по значению средней ошибки прогноза, среднеквадратичной ошибки и нормированной погрешности, являющихся количественными мерами точности подбора математической модели вариограммы к эмпирической.

Заключительным этапом геостатистического анализа является построение картограмм кислотности почв исследуемых участков при помощи инструментов интерполяции (рис.).

Результаты данного исследования заключаются в том, что геостатистический анализ данных позволяет определить наличие ошибок и выбросов в данных, оценить основные статистические закономерности. Вариография позволяет определить пространственную корреляционную структуру свойств почв на опытных участках и определить оптимальную модель и метод интерполяции полученных данных. Геостатистический ана-

лиз позволяет максимально точно и научно обоснованно строить картограммы кислотности почв экспериментальных площадей с помощью инструментов интерполяции.



Картограмма кислотности почв опытных участков

В завершении стоит сказать, что геостатистика – активно развивающееся направление научного знания. Применение геостатистических методов в географии почв и точном земледелии имеет большие перспективы.

### Библиографические ссылки

1. Киндеев А. Л. Перспективные направления геостатистического анализа и стохастического моделирования с учетом экономических издержек при точном земледелии // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2022. № 2. С. 59–70.
2. Клебанович Н. В., Киндеев А. Л., Сазонов А. А. Геостатистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв // Геосферные исследования. 2021. № 3. С. 80–91.
3. Красильников П. В. Геостатистика и география почв; Ин-т биологии КарНЦ РАН. М. : Наука, 2007.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ ГЕОСИСТЕМ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Ю.С. Давидович

*Белорусский государственный университет, Минск, пр. Независимости, 4, 220030,  
email: [seg98001@gmail.com](mailto:seg98001@gmail.com)*

В работе представлены результаты исследования по использованию радиолокационных снимков системы Sentinel-1A при тематическом картографировании почвенно-растительного покрова глубокой заторфованной депрессии ключевого участка «Мелиорация». На его примере показаны возможности использования радиолокационных снимков различных поляризации и синтеза для дешифрирования почв и растительности. Методические подходы по использованию радиолокационных снимков для дешифрирования почв и растительности, а также их результаты могут быть применены для картографирования почвенно-растительного покрова аналогичных территорий.

**Ключевые слова:** радиолокационная съемка; ключевой участок; тип земель.

В настоящее время фонд материалов дистанционных съемок представлен как данными оптического диапазона, так и радиолокационными. Сегодня доля последних существенно возросла в связи с тем, что Европейское космическое агентство запустило на околоземную орбиту два спутника Sentinel-1A и Sentinel-1B, оснащенных радиолокационной аппаратурой. Полученные ими снимки находятся в свободном доступе, что открывает новые возможности для специалистов в области тематического дешифрирования и картографирования.

Радиолокационная съемка обладает рядом отличительных особенностей по сравнению со съемками в оптическом диапазоне. Во-первых, она относится к активным видам зондирования и позволяет вести съемку независимо от времени суток и погодных условий. Во-вторых, применяемые в ней электромагнитные волны радиодиапазона обладают высокой проникающей способностью, которая возрастает при увеличении длины волны, что дает возможность изучить интересующий объект на нужной исследователям глубине [1]. Специалистами также рассматривалась возможность использования радиолокационной съемки для изучения почв и растительности, однако, по результатам анализа литературных источников, на данный момент это направление не является достаточно разработанным [2, 3].

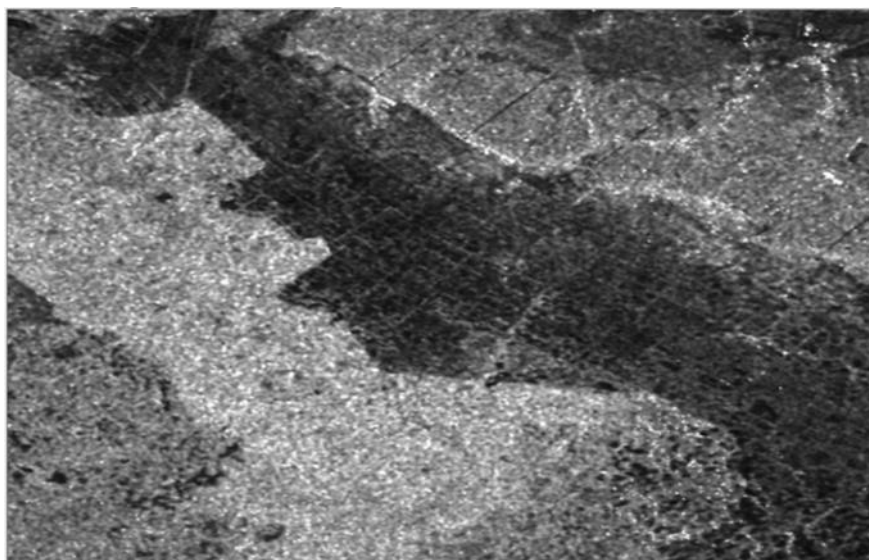
В работе была использована классификация типов земель, которая была составлена на разработанной Т.А. Романовой структуре почвенного покрова

[4]. Объектом исследования послужил почвенно-растительный покров глубокой заторфованной депрессии. Для исследования дешифровочных признаков почв и растительности на материалах радиолокационной съемки использовались снимки ранневесеннего сезона съемки (02.04.2020), полученные в С-диапазоне (длина волны 6 см), двух поляризацій – VV и VH, с пространственным разрешением 10 м. В качестве дополнительных источников информации о рассматриваемых объектах использовались мультиспектральные космические снимки с пространственным разрешением 10 м, полученные съемочной системой Sentinel-2, почвенная карта масштаба 1 : 50 000 и аэрокосмоэталонные почвенных комбинаций. Предварительная обработка радиолокационных снимков производилась в программном продукте SNAP Desktop. При дешифровании материалов дистанционных съемок применялись визуальный и автоматизированный методы, а при выполнении работ в полевых и камеральных условиях – метод ключевых участков и аэрокосмоэталонирования [1].

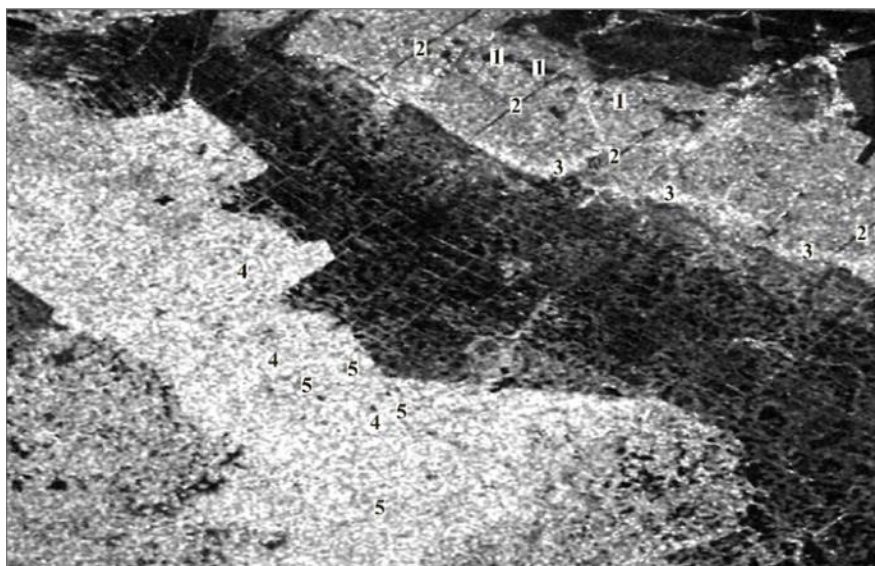
Для изучения особенностей дешифрирования почв и растительности по материалам радиолокационной съемки был заложен ключевой участок «Мелиорация» в Брагинском районе Гомельской области, имеющий площадь 32 120 га. Центральную часть ключевого участка занимает глубокое долинообразное понижение, которое с севера граничит с землями водораздела, покрытыми сосновым лесом, а с юга – с неглубоким долинообразным понижением с лиственной растительностью, преимущественно состоящей из ольхи черной и в меньшей степени из осины и кустарника ивы.

Проведенная на данных территориях в 1950-х гг. широкомасштабная мелиорация и их последующее интенсивное сельскохозяйственное использование привело к изменению почвообразовательного процесса и уменьшению запасов органического вещества. В результате на месте торфяно-болотных почв формируются торфяно-минеральные, минеральные остаточно-торфяные и минеральные постторфяные почвы, которые в сочетании с дерново-глееватыми, реже с дерново-подзолисто временно увлажненными и оглееными внизу почвами изображаются на снимках в виде островов, формируя пятнистый рисунок изображения. Сравнительный анализ материалов показал существенные изменения в неоднородности почвенного покрова в связи с увеличением контуров деградированных почв, что значительно затрудняет их картографирование без использования материалов дистанционных съемок.

На радиолокационных снимках обеих поляризацій (VV, VH) довольно контрастно изображаются границы распаханного долинообразного понижения с территориями, покрытыми лесной растительностью. При этом следует отметить, что радиолокационное изображение поляризацій VV (рис. 1) гораздо менее информативно, чем VH-поляризацій (рис. 2).



*Рис. 1.* Радиолокационный снимок VV-поляризации ключевого участка «Мелиорация»



*Рис. 2.* Радиолокационный снимок VH-поляризации ключевого участка «Мелиорация»

Непривычным при дешифрировании радиолокационных снимков является то, что если на снимках оптического диапазона тон изображения песчаных почв с низким содержанием гумуса и влаги – светлый, светло-серый, то на радиолокационном снимке – темно-серый (рис. 2). Торфяно-болотные почвы с мощностью торфа 30–50 см изображаются на снимках оптического диапазона темно-серым тоном, близким к черному, а на радиолокационных снимках – серым тоном и имеют много общего с изображением соснового леса.

Песчаные почвы характеризуются шероховатой поверхностью. Это приводит к тому, что при взаимодействии с ней радиосигнала происходит

диффузное рассеяние электромагнитных колебаний во всех направлениях, в результате которого только незначительная часть отраженных волн попадает в приемник радиолокационной станции. Чем меньше объект отражает электромагнитные волны, тем темнее его тон изображения на материалах дистанционных съемок. Следовательно, все песчаные почвы, а также дегроторфоземы торфяно-минеральные с различным содержанием органического вещества изображаются на радиолокационных снимках темно-серым тоном. Изображение торфяно-глеевых почв серым тоном объясняется их более выраженной комковатой структурой. Следует отметить, что по степени увлажнения песчаные почвы на радиолокационных снимках обеих поляризации фактически визуально не дешифрируются и для их выделения требуется использование дополнительных материалов.

Дешифрирование отдельных почвенных разновидностей в масштабе 1 : 50 000 по радиолокационным снимкам VН-поляризации затруднительно, однако дешифрирование почвенных комбинаций проводится достаточно качественно.

Северная часть ключевого участка занята преимущественно хвойной растительностью, которая представлена в основном сосняками мшистыми, произрастающими на дерново-подзолистых песчаных оглеенных внизу почвах, сосняками вересковыми – на временно избыточно увлажненных почвах, реже – сосняками-черничниками на дерново-подзолисто-глееватых почвах. На радиолокационном снимке VН-поляризации данная территория изображается серым тоном с зернистым рисунком (рис. 2). Зернистость обуславливается невысокой сомкнутостью крон древостоя. Кроны сосны изображаются серым тоном, почва, не покрытая растительностью – темным. На общем сером фоне контрастно дешифрируются контуры черного тона округлой и вытянутой формы. Они приурочены к невысоким холмообразным и грядообразным повышениям, покрытым травянистой растительностью (преимущественно булавоносцем седым) на дерново-подзолистых песчаных оглеенных внизу почвах (рис. 2, 1). Черным тоном в виде прямых линий дешифрируются кварталные просеки (рис. 2, 2). Кроме того, на общем сером фоне изображения дешифрируются узкие ложбинообразные понижения с дерново-глеевыми почвами, поросшие черной ольхой и кустарником ивы, которые изображаются светлым тоном изображения в виде отдельных или слитных зерен (рис. 2, 3).

С южной стороны долинообразного понижения с юго-востока на северо-запад простирается в виде широкой полосы территория, занятая лиственной растительностью, представленной преимущественно ольхой черной с примесью осины и кустарника из ивы, произрастающих на дерново-глееватых и глеевых почвах (рис. 2, 4). На радиолокационном снимке лиственная растительность дешифрируется по светлому тону изображения, который формируется благодаря более интенсивному рассеянному



радиосигналу от лиственной растительности с более высоким проективным покрытием и биомассой по отношению к сосновым насаждениям. На общем светлом фоне отчетливо дешифрируются контуры серого тона различной конфигурации, которым соответствуют торфянисто- и торфяно-глеевые почвы с осоковой и другой болотной растительностью (рис. 2, 5). В северо-западной части на дерново-подзолисто-глеевых почвах произрастают сосняки-черничники, изображающиеся серым тоном. Следует отметить, что лиственные породы на фоне хвойных отображаются более контрастно, чем хвойные среди лиственных.

При выборе материалов дистанционных съемок для тематического картографирования радиолокационная съемка имеет большее преимущество над съемками оптического диапазона, так как радиолокационные снимки можно получить при любых погодных условиях и в любое время суток. Но для повышения их дешифрируемости требуется предварительная обработка изображения, а также дополнительное использование тематических карт, аэрокосмических снимков оптического диапазона и аэрокосмоэталонов дешифрируемых объектов. Исследование также показало, что на формирование обратного радиосигнала влияет шероховатость поверхности почвы, а не содержание гумуса. Вследствие этого на радиолокационном снимке автоморфные и заболоченные почвы изображаются темно-серым тоном, что затрудняет выделение их границ. Выявлены наиболее значимые косвенные дешифровочные признаки для установления ареалов почв под естественной растительностью. Основными факторами, определяющими распределение интенсивности тона изображения растительности на радиолокационных снимках, являются высота, состав, проективное покрытие растительности и степень заболоченности.

### Библиографические ссылки

1. Шалькевич Ф. Е., Курьянович М. Ф. Тематическое дешифрирование: пособие. Минск: БГУ, 2022.
2. Silva E. A. Cartography and remote sensing in the Amazon – The Sivam Project // ISPRS Archives – ISPRS Commission IV Symposium GIS Between Visions and Applications, September 7–10, 1998. Vol. XXXII. P. 580–585.
3. Балдина Е. А., Чеснокова О. А. Радиолокационное зондирование Земли для географических исследований // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 1. С. 16–21.
4. Романова Т. А., Романовский Ч. А. Методика составления карт СПП и их востребованность в Беларуси // Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты: материалы Междунар. науч. конф. СПб.: Издательский Дом Санкт-Петербургского государственного университета, 2007. С. 98–101.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

И.С. Князев<sup>1)</sup>, А.А. Сазонов<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Белорусский государственный университет,  
Минск, пр. Независимости, 4,  
2203030, Беларусь, email: [ivanknyazev0509@gmail.com](mailto:ivanknyazev0509@gmail.com)

<sup>2)</sup> Белорусский государственный университет,  
Минск, пр. Независимости, 4,  
2203030, Беларусь, email: [alexey.szonov@gmail.com](mailto:alexey.szonov@gmail.com)

Цифровое моделирование и картографирование почвенного покрова является эффективным инструментом для планирования и оптимизации использования земель, а также решения экологических вопросов. Данное исследование направлено на определение пространственной дифференциации почвенного покрова на территории ГС "Западная Березина" с использованием методов машинного обучения и на основе цифровых моделей рельефа, полевых данных почвенных обследований и архивных картографических материалов.

Цифровое почвенное картографирование является крайне актуальной темой среди иностранных и отечественных учёных. Оно позволяет производить крайне быструю предобработку данных при составлении почвенных карт, чем значительно ускоряет и упрощает работу. Чем совершеннее будут методы цифрового почвенного картографирования, тем легче и быстрее будут составляться цифровые почвенные карты, которые являются залогом эффективного землепользования и земледелия.

Целью данного исследования является определить почвенный покров по типам почв и гидроморфизму почв, а также протестировать точность автоматизированного дешифрирования почвенного покрова с помощью машинного обучения.

Результаты данного исследования будут полезны для решения вопросов экологического мониторинга на данной территории.

Таким образом, это исследование представляет собой комплексный подход к изучению почвенного покрова на территории ГС "Западная Березина" с использованием современных методов цифрового моделирования и картографирования.

**Ключевые слова.** Воздушное лазерное сканирование, лидар, цифровое почвенное картографирование, машинное обучение, автоматизированное дешифрирование.

Цифровое почвенное картографирование стало набирать популярность после статьи Алекса МакБратни [1], где была изложена модель SCORPAN и была заложена основа цифрового почвенного картографирования. Цифровое моделирование и картографирование почвенного по-

крова является эффективным инструментом для планирования и оптимизации использования земель, а также решения экологических вопросов [3]. В данном исследовании классификация почвенного покрова производилась по методу «случайные деревья с обучением» в программе «ArcGIS Pro» [2]. В исходную модель в качестве эталонов загружались данные по 118 почвенным разрезам, отобраным в полевом этапе исследования. Для основы определения использовались 25 показателей среди которых морфометрические показатели рельефа и вегетационные индексы. Морфометрические показатели рассчитывались по цифровой модели рельефа (ЦМР) в программах «SAGS» и «ArcGIS Pro». ЦМР была получена при полевых работах в результате воздушного лазерного сканирования (LIDAR), лазерным сканером «DJI Zenmuse L1» с беспилотного летательного аппарата «DJI Matrice 300 RTK». Так как разрешение растра, полученного в результате воздушного лазерного сканирования, слишком крупное (0,3 м на пиксель) для данных задач, то растр генерализирован до разрешения космического снимка – до 3 м. Также в целях однородности данных растр был проведен через «Simpl Filtr» и «Gaussian Filter». Вегетационные индексы рассчитывались по данным космического снимка разрешением в 3 метра и 8-ю спектральными каналами. Космический снимок находился в открытом доступе и был сделан с аппарата «Planet Scope».

Показатели, использовавшиеся для анализа: уклон; общая кривизна поверхности; профильная кривизна поверхности; тангенциальная кривизна поверхности; кривизна казаратти; гауссова кривизна поверхности; кривизна контура; геодезическое кручение изолиний; направление потока; топографический позиционный индекс в радиусе 3, 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150, 500 пикселей; топографический индекс влажности; индекс баланса геомассы; индекс сходимости (конвергенции); вегетационные индексы «MTVI2», «RTVICore», «SAVI».

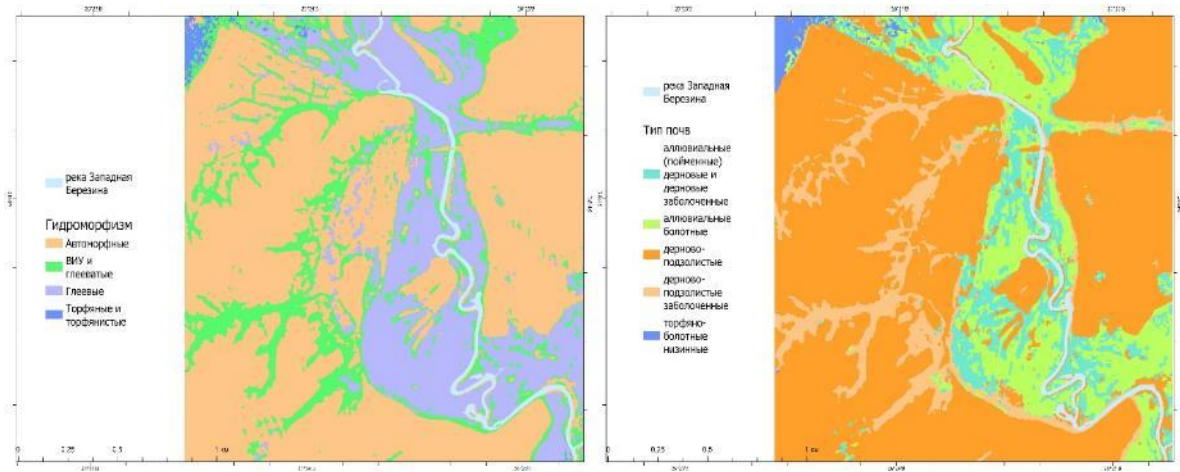
Так как основой для определения почвенного покрова являлись 118 почвенных разрезов, они были разделены на 4 группы по гидроморфизму (в скобках указано количество почвенных разрезов, отнесённых к группе): автоморфные (70), временного избыточного увлажнения и глееватые (33), глеевые (34), торфяные и торфянистые (9).

В результате классификации и проверки точности путем сравнения с эталонной почвенной картой было установлено, что точность определения по гидроморфизму почв составляет 68,83 %. Лучше всего прогнозируются автоморфные почвы, а хуже всего торфяные и торфянисто-глеевые.

Для определения почвенного покрова по типам почв разрезы были сгруппированы следующим образом (в скобках указано количество почвенных разрезов, отнесённых к группе): дерново-подзолистые (70), дер-

ново-подзолисты заболоченные (23), аллювиальные болотные (22), аллювиальные (пойменные) дерновые и дерновые заболоченные почвы (20), торфяно-болотные низинные (11).

Общая точность классификации составляет 63,63 %, лучше всего классификации поддаются дерново-подзолистые и аллювиальные болотные почвы. Связано это с тем, что их доля в площади почвенного покрова наибольшая.



Результат классификации почв по гидроморфизму и по типу

Точность определялась путем создания сети точек с интервалом в 10 метров и сопоставлением значения с эталонной карты с результирующим растром. При проведении анализа установлено, что больше всего на классификацию влияют такие факторы как уклон, топографический индекс позиции, вегетационный индекс SAVI.

В данном исследовании было показано, что прогнозное почвенное картографирование на основе машинного обучения способно достигать достаточно высокой точности в прогнозировании почвенного покрова как по гидроморфизму почв, так и по типам почв. Однако метод обучения модели и классификаций "случайных деревьев с обучением" в настоящее время недостаточно точен, чтобы полностью заменить работу человека. Тем не менее, он может быть использован для предварительной обработки данных и для определения наиболее важных показателей, которые могут повысить точность модели.

Таким образом, цифровое почвенное картографирование с использованием методов машинного обучения является мощным инструментом для прогнозирования почвенного покрова и создания почвенных карт. Однако для достижения наилучших результатов необходимо проводить дополнительные исследования и эксперименты, чтобы уточнить методики и выбрать наиболее важные показатели для обучения модели.

## Библиографические ссылки

1. *McBratney A. B., Mendonça Santos M. L., Minasny B.* On digital soil mapping // *Geoderma*. 2003. №1–2. P. 3–52.
2. Классификатор произвольных деревьев с обучением (Image Analyst) // Esri. ArcGIS Pro. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/tool-reference/image-analyst/train-random-trees-classifier.htm> (дата обращения: 05.01.2023).
3. *Флоринский И. В.* Картографирование почвы на основе цифрового моделирования рельефа (по данным кинематических GPS-съемок и почвенных наземных съемок) // *Исследование Земли из космоса*. 2009. №6. С. 56–65.

## ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО СТОКА В ЛОКАЛЬНЫХ ВОДОСБОРАХ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МИНСКА

С.В. Алисиевич<sup>1)</sup>, Н.В. Ковальчик<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
*email: sviatalv@gmail.com*

<sup>2)</sup> Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
*email: kovalchiknv@gmail.com*

Управление поверхностным стоком городов должно вестись с учетом характеристик локальных водосборов, различающихся условиями формирования поверхностного стока. Проблема затопления является актуальной для г. Минска. Выполнена типизация локальных водосборов г. Минска по подверженности формированию избыточного объема поверхностного стока. Картографирование водосборов проводилось в программном комплексе ESRI ArcGIS Desktop 10.7 с использованием инструментов гидрологического моделирования модуля Arc Hydro. Для оценки условий отвода поверхностного стока использованы показатели: гидрологическая почвенная группа, плотность дренажа, запечатанность почвенного покрова и обеспеченность территории сетями ливневой канализации. По результатам оценки составлена картосхема условий формирования избыточного стока на территории г. Минска. Выявлено, что для большинства локальных водосборов характерны средний и высокий уровни подверженности формированию избыточного стока, что свидетельствует об уязвимости более 80% территории города к последствиям экстремальных погодных явлений, связанных с выпадением большого количества атмосферных осадков.

**Ключевые слова:** территория города; локальный водосбор; гидрологическое моделирование; поверхностный сток; экстремальные погодные явления.

На территории Беларуси одним из проявлений глобальных климатических изменений стало увеличение повторяемости экстремальных погодных явлений [1]. Наибольшую повторяемость имеют сильные дожди, снегопады и ветры, и в крупных городах число дней с ливневыми дождями наблюдается чаще, чем в других населенных пунктах, что обусловлено большим накоплением ядер конденсации в воздухе и ослаблением скорости ветра из-за плотной застройки [2].

Избыточное поступление осадков на земную поверхность нередко создает проблему затопления и требует внедрения нестандартных подходов к управлению ливневым стоком городов. В застроенных кварталах искусственные поверхности менее проницаемы, чем природные, поэтому воды быстрее достигают водоприемников. В таких условиях пути водоотведения должны удерживать большие и часто внезапные объемы поверхност-

ного стока. На сегодняшний день одним из наиболее актуальных и эффективных подходов к комплексному управлению водными ресурсами городов является применение «зеленых» решений.

Развитие процесса урбанизации приводит к существенной трансформации водосборных территорий. Коренное преобразование земной поверхности и создание дренажно-канализационной системы формируют новые условия поверхностного стока.

В статье рассматривается опыт выделения локальных водосборов на территории г. Минска и оценка условий формирования избыточного поверхностного стока в их пределах.

Проблема отведения ливневых вод в г. Минске существует уже на протяжении десятилетий [3]. На территории города поверхностный сток частично отводится в р. Свислочь и ее притоки по системе дождевой канализации отдельно от сточных вод промышленных предприятий и жилищно-коммунального хозяйства [4]. Схема дождевой канализации направляет поверхностные воды с водосборных площадей в магистральный коллектор с целью последующей очистки в замыкающем створе перед выпуском в поверхностный водный объект. В настоящее время с ростом интенсивности градостроительного освоения наблюдается тенденция увеличения доли водонепроницаемых площадей. Кроме того, меняются климатические факторы формирования стока: увеличивается продолжительность периодов оттепели в зимний период, наблюдается наложение периодов весеннего половодья и выпадения ливневых осадков. В итоге усложняется возможность водоотведения и очистки стока [5].

Выделение локальных водосборов проводилось в программном комплексе ESRI ArcGIS Desktop 10.7 с использованием инструментов гидрологического моделирования модуля Arc Hydro. В качестве исходных данных была использована цифровая модель рельефа (ЦМР) г. Минска с пространственным разрешением 10 м. На территории города было выделено 72 локальных водосбора.

Для оценки природно-антропогенных факторов, влияющих на скорость отвода поверхностного стока с водосборов, согласно методике [6], были использованы показатели: гидрологическая почвенная группа, плотность дренажа, запечатанность почвенного покрова и обеспеченность территории сетями ливневой канализации.

Отнесение почв каждого выделенного водосбора к одной из 4-х гидрологических почвенных групп выполнялось на основе анализа их гранулометрического состава с учетом геоморфологических условий. В пределах водосборов города преобладают песчаные, супесчаные, суглинистые почвы разного генезиса, торфяно-болотные почвы отличаются незначительной долей площади в пределах водосборов.

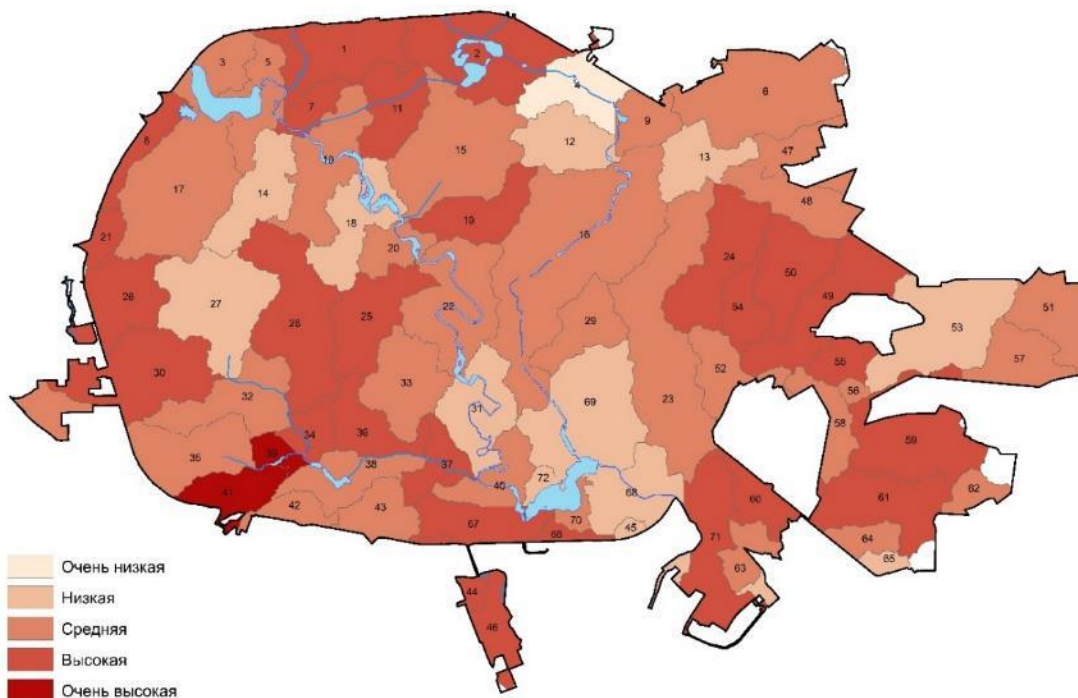
Плотность дренажа характеризует естественную топографию территории. Низкие значения плотности дренажа характерны для локальных

высот, возвышенностей, высокие значения – для понижений и впадин, промежуточные значения имеют обратные откосы с более высокими значениями для крутых склонов [7]. Показатель рассчитывался по слою дренажной сети, полученному из исходной ЦМР в модуле Arc Hydro с помощью функции Drainage Line Processing («Обработка дренажной линии»).

Оценка запечатанности почвенного покрова города проводилась по данным [8]. Как запечатанные поверхности выделялись все здания и строения, асфальтированные поверхности и другие непроницаемые покрытия.

Обеспеченность территории сетями ливневой канализации в условиях отсутствия более точных данных, таких как расположение и пропускная способность всех дождеприемных колодцев, может использоваться как параметр оценки водосборной инфраструктуры города [6]. Для определения показателя была использована схема развития дождевой канализации города. Обеспеченность территории каждого водосбора сетями ливневой канализации оценивалась по 5-бальной шкале с использованием метода классификации «равный интервал».

Далее балльные покомпонентные показатели суммировались и распределялись по классам оценки: очень низкая, низкая, средняя, высокая, очень высокая. На основе суммарной оценки была составлена картосхема условий формирования избыточного поверхностного стока на территории г. Минска (рис.).



Оценка условий формирования избыточного поверхностного стока в пределах локальных водосборов г. Минска

Согласно полученным результатам, высоким уровнем подверженности формированию избыточного стока характеризуются 27 локальных водосборов (35 % площади города), 30 водосборов характеризуются средним уровнем, а для 12 водосборов (17,2 % площади города) характерен низкий уровень оценки. Два локальных водосбора в юго-западной части города характеризуются очень высокими значениями оценки.

Таким образом, в пределах локальных водосборов г. Минска преобладают средний и высокий уровни оценки возможности формирования избыточного стока, что представляет опасность в условиях повышения частоты экстремальных погодных явлений. Полученные результаты изучения территориальной неоднородности условий формирования поверхностного стока на территории г. Минска могут быть использованы для комплексного управления водными ресурсами города с использованием «зеленых» решений.

### Библиографические ссылки

1. Климат Беларуси / В. Ф. Логинов [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т геол. наук; под общ. ред. В. Ф. Логинова. Минск, 1996. 235 с.
2. Шпока И. Н. Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.30 / И. Н. Шпока; Ин-т природопользования НАН Беларуси. Минск, 2012. 23 с.
3. Просто летний дождь прошел. История минских наводнений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bolshoi.by/lifeshot/rain-in-minsk/> Дата доступа: 01.02.2023.
4. Овчарова Е. П. Эколого-геохимическая оценка поверхностного стока с городской территории (на примере г. Минска): автореф. дисс. канд. геогр. наук. Минск: Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси, 2006. 22 с.
5. Гапанович Е. В. Особенности развития системы дождевой канализации г. Минска / Е. В. Гапанович [и др.] // Водные ресурсы и климат : материалы V Международного Водного Форума: в 2 ч. редкол.: проф. О. Б. Дормешкин [и др.]. Минск : БГТУ, 2017. Ч. 2. С. 56–59.
6. Kaur R., Gupta K. Blue-Green Infrastructure (BGI) network in urban areas for sustainable storm water management // A geospatial approach, City and Environment Interactions. 2022. Vol. 16.
7. Dobos E., Daroussin J. (n.d.). Calculation of Potential Drainage Density Index (PDD) // Digital Terrain Modelling. 2022. P. 283–295.
8. OpenStreetMap [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.openstreetmap.org>. Дата доступа: 20.02.2022.



## СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТИ И РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ПРИМЕРЕ ПЛОЩАДКИ ВБЛИЗИ БЫВШЕГО НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА ЯСНАЯ ПОЛЯНА

**Е.В. Копыльцова, Н.В. Шамаль, В.Н. Сеглин, А.Н. Никитин,  
Н.И. Тимохина**

*Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», Гомель, Республика Беларусь,  
email: [avkopyltsova@gmail.com](mailto:avkopyltsova@gmail.com)*

Представлены результаты создания цифровой модели поверхности радиоактивно загрязненной территории вблизи бывшего населенного пункта Ясная поляна Чечерского района Гомельской области. Выбранная площадка характеризуется лесными насаждениями разных типов, различается составом древостоя и условиями местопрорастания, а также вариабельностью радиоактивного загрязнения. Для создания цифровой модели были использованы данные, полученные в результате аэрофотосъемки с помощью беспилотного летательного аппарата, дистанционного зондирования земли и радиоэкологического обследования площадки: отбор образцов грунта и лесной подстилки, *in situ* измерение мощности амбиентной дозы методом мобильной гамма-спектрометрии. Экспериментальные данные, полученные на площадке, визуализированы в виде векторных слоев карты в QGIS. Полученные результаты будут использованы для разработки сценариев радиационно-экологических последствий при различных видах лесных пожаров для повышения уровня информированности при принятии решений.

**Ключевые слова:** цифровая модель поверхности; БПЛА; ГИС; радиоэкологическое обследование; содержание радионуклидов; мощность амбиентной дозы.

Лесные пожары на радиоактивно загрязненных территориях могут приводить к образованию большого количества радиоактивных веществ, которые впоследствии могут создавать радиационную опасность для участников пожаротушения и жителей близлежащих населенных пунктов, а также стать источником вторичного загрязнения больших территорий [1, с. 517].

Относительно новый подход в области оценки экологических, а также лесопожарных рисков – это подход с использованием геоинформационных методов и систем основанных на создании цифровых карт горючих материалов и лесных насаждений, которые используются в сочетании с математическими моделями и экспертными системами для оценки пожарной опасности в лесах, выбора стратегии тушения пожаров, транспортной логистики и т.д. [2].

В последние годы при создании и обновлении картографических материалов используется цифровая фотограмметрия. Цифровая аэрофото-съемка, выполненная с использованием БПЛА, является одним из наиболее оперативных способов получения геопространственной информации и отличается большей точностью по сравнению с бесплатными космическими снимками [3, с. 70]. Кроме того, использование БПЛА позволяет проводить дистанционный мониторинг растительных сообществ и устанавливать закономерности пространственного распределения структурных компонентов и биомассы различных экосистем [4, с. 202], в том числе динамики лесных горючих материалов с высокой эффективностью при минимуме наземных работ, значительной экономии времени и финансовых средств.

Для отработки методологии создания цифровой модели поверхности и радиационной обстановки была заложена площадка вблизи бывшего населенного пункта Ясная поляна Чечерского района Гомельской области. На начальном этапе исследований, анализировались спутниковые снимки выбранной площадки посредством бесплатного модуля сетевого сервиса доступа к спутниковым данным Sentinel Hub. На основе проведенного анализа, на площадке в 26 точках был проведен отбор образцов грунта и *in situ* измерение мощности амбиентной дозы методом мобильной гамма-спектрометрии. Определена влажность почвы, глубины лесной подстилки и удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в точках отбора. Исследования показали, что выбранная площадка характеризуется лесными насаждениями разных типов, различается составом древостоя и условиями местопроизрастания, а также вариабельностью радиоактивного загрязнения.

Экспериментальные данные, полученные на площадке, визуализированы в виде векторных слоев карты в QGIS. На данном этапе исследований создано несколько групп слоев, имеющие следующие условные обозначения: «Подложка», «Фон», «Измерения».

Группа «Подложка» включает в себя слои с картой Google Map, спутниковые снимки Sentinel-2 с комбинацией различных спектральных каналов. На основе данных аэрофотосъемки, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата DJI MAVIC 2 Enterprise Dual были созданы цифровая модель поверхности и ортофотоплан исследуемой территории, которые также добавлены в виде отдельных слоев группы. При выполнении съемки полет осуществлялся в автоматическом режиме от взлета до посадки на высоте 100 м от точки взлета по заранее разработанному маршруту. Фотограмметрическая обработка материалов аэрофотосъемки проводилась последовательно: загрузка фотографий и их положения, выравнивание фотографий и построение разреженного облака

точек, построение плотного облака точек, построение модели, построение текстуры, построение ортофотоплана.

Группа «Измерения» содержит данные о влажности почвы, глубине лесной подстилки, удельной активности и плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  в точках отбора, а также описание растительности в каждой из них (рис. 1). Полученные слои данной группы являются основой для оценки радиационной обстановки на исследуемой территории.

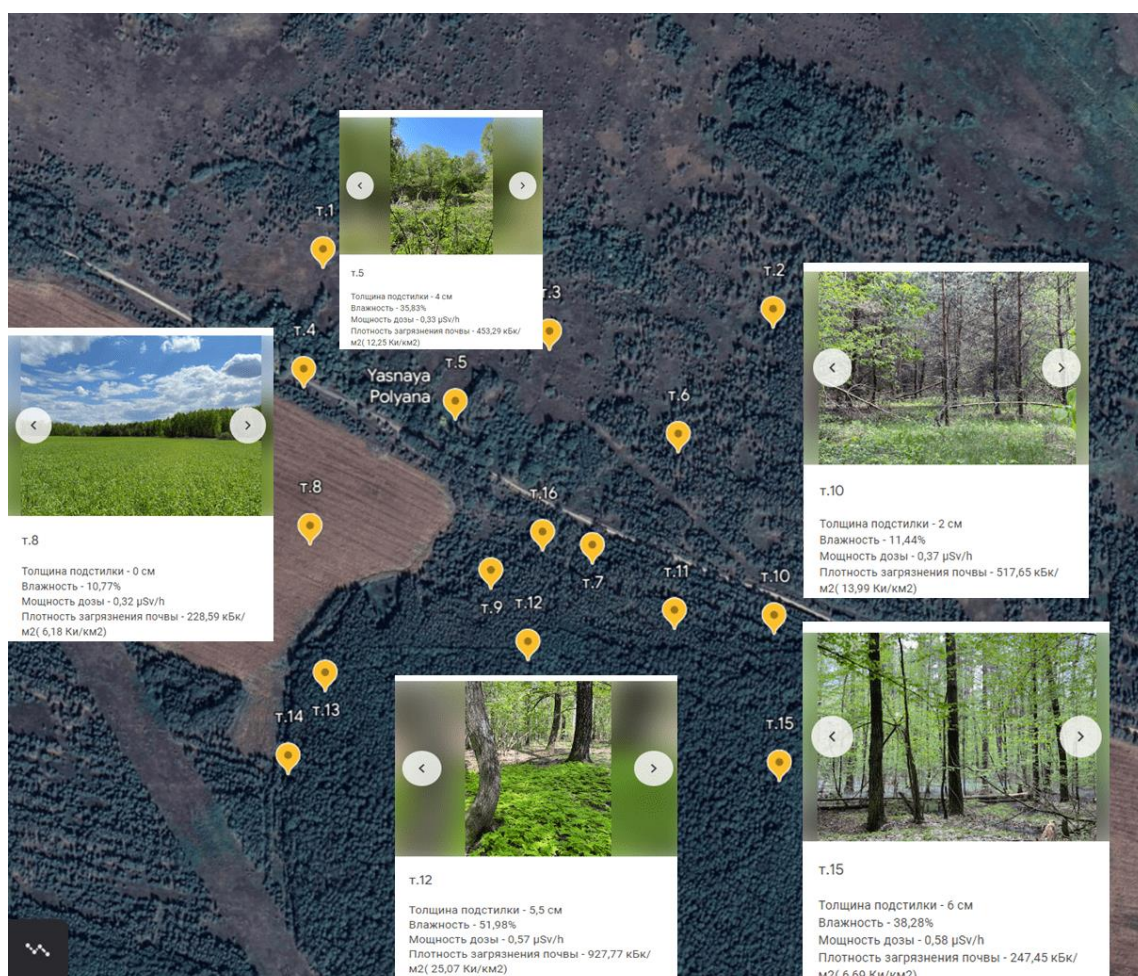


Рис. 1. Данные обследования экспериментальной площадки вблизи бывшего населенного пункта Ясная Поляна Чечерского района Гомельской области

Слой «Фон» отображает информацию о пространственном распределении, измеренной *in situ* мощности амбиентной дозы (рис. 2).

На последующих этапах исследования полученные результаты будут использованы в качестве информационной базы для разработки сценариев радиационно-экологических последствий при различных видах лесных пожаров для повышения уровня информированности при принятии решений.

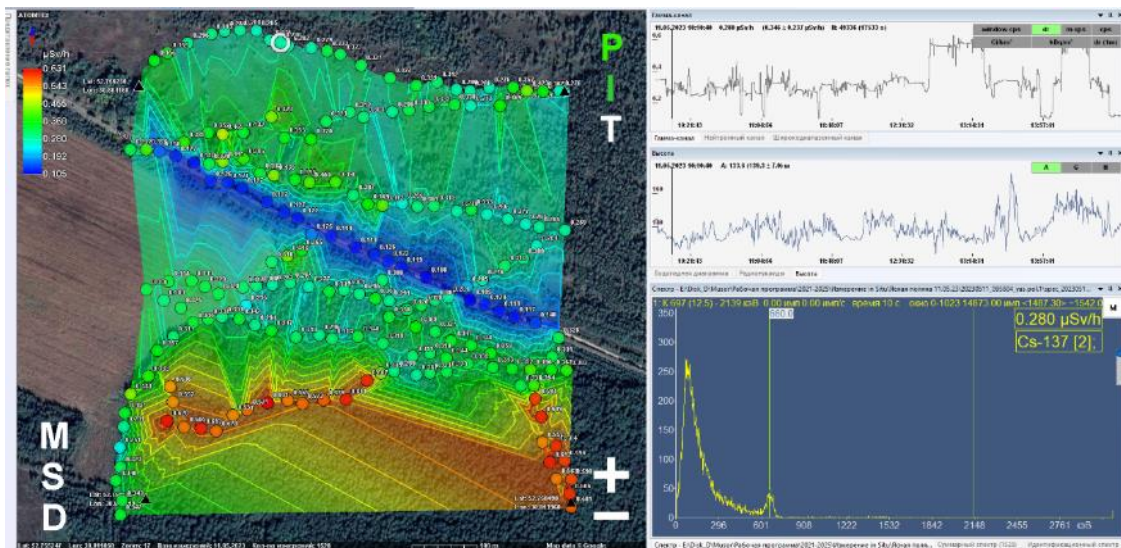


Рис. 2. Данные in situ измерение мощности ambientной дозы методом мобильной гамма-спектрометрии вблизи бывшего населенного пункта Ясная Поляна Чечерского района Гомельской области

Проведенные исследования показали перспективность комплексного подхода при проведении радиэкологического мониторинга и необходимость совместной обработки данных наземных измерений и результатов фотограмметрической обработки снимков, полученных с БПЛА.

### Библиографические ссылки

1. Радиологические последствия пожара в Чернобыльской зоне отчуждения в апреле 2015 года / В. А. Кашпаров [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. 2017. Т. 57, № 5. С. 512–527.
2. Концепция создания автоматизированной системы аэрокосмического мониторинга лесных пожаров / В. Т. Жуков [и др.] // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2022. № 24. 18 с.
3. Абишева М. Т., Хлебникова Е. П. Комплексное использование данных аэрофотосъемки и наземных измерений при оценке радиационной обстановки водных объектов // Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26, № 1. С. 68–75.
4. Мусина Г. А., Ожигин Д. С., Ожигина С. Б. Экологический мониторинг на основе снимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. С. 196–204.



## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

О.В. Решоткин<sup>1)</sup>, И.О. Алябина<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,  
Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 2, 142290, Россия,  
email: reshotkin@rambler.ru*

<sup>2)</sup> *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва,  
Ленинские Горы, 1, 119991, Россия*

На основе многолетних данных 906 метеостанций, расположенных на территории Европейской России и Западной Сибири, с использованием геоинформационных систем проведён анализ распределения температур воздуха и их изменения в пределах участков 10 почвенных зон (подзон) и 40 почвенных провинций за период 1951–2020 гг. Установлено, что наиболее существенный рост температуры воздуха в последнее десятилетие наблюдается на северо-востоке Европейской России и на севере Западной Сибири, в подзонах арктической тундры, субарктической тундры и северной тайги. Показано, что современное потепление ведёт к изменению климата почв Европейской России и Западной Сибири и, как следствие, смещению почвенно-климатических зон в северо-восточном направлении. Для Европейской территории России и Западной Сибири созданы картографические модели среднегодовой температуры воздуха, а также картографические модели изменения температуры воздуха (среднегодовой и по сезонам года). На примере дерново-подзолистых суглинистых почв Среднерусской и Западно-Сибирской южно-таёжных почвенных провинций показано, что последние десятилетия характеризуются устойчивой тенденцией потепления почв.

**Ключевые слова:** климат; изменение климата; почвенные зоны; температура почвы; геоинформационные системы.

Виды и плодородие сельскохозяйственных, лесных и других категорий земель во многом определяются количественными показателями климатических ресурсов. Для разных видов сельскохозяйственных и лесных культур требуется свой температурный режим воздуха и почвы, а также режим увлажнения. В этой связи оценка климатических ресурсов и их изменения имеет важное практическое значение.

Наблюдаемое в настоящее время изменение климата характеризуется как глобальное потепление. По данным Росгидромета, территория России теплеет существенно быстрее, чем планета Земля в целом. Скорость роста осреднённой по России среднегодовой температуры воздуха составила 0,49 °C/10 лет за период 1976–2021 гг. [1, с. 22]. Рост температуры воздуха и изменение количества и режима выпадения осадков ведёт к изменению

климата почв. Такие его показатели, как режимы температуры и влажности, обладают наибольшей скоростью изменения под влиянием атмосферного климата [2, с. 1035].

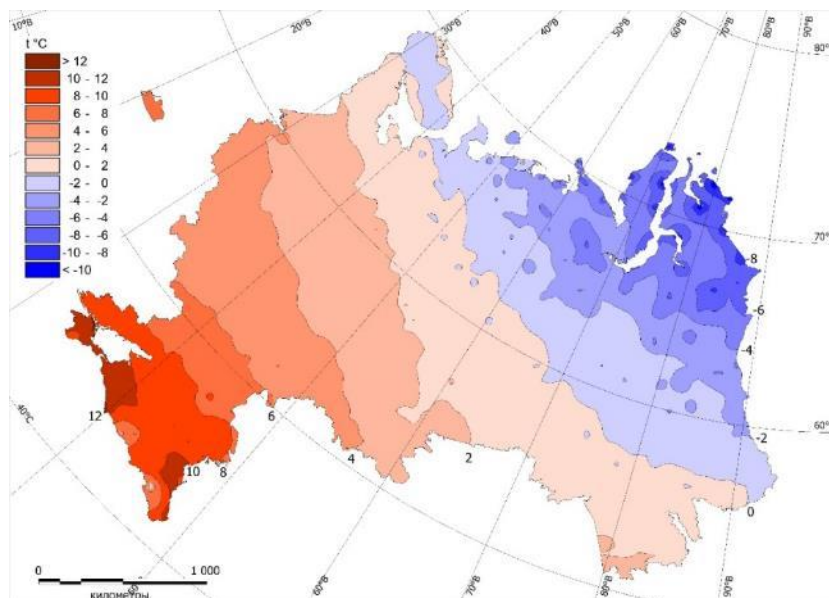
В системе почвенно-экологического районирования России в равнинных условиях основной единицей является почвенная зона (подзона) с зональным почвенным типом (подтипом). Климатические условия (температурный режим, увлажнение, континентальность климата) неоднородны в меридиональном и широтном направлении. Внутри почвенных зон (подзон) выделяются почвенные провинции с видами или фациальными подтипами зональных почв. Поскольку климат является ключевым критерием для выделения почвенных провинций, изучение зональных и провинциальных особенностей изменения атмосферного и почвенного климата с выявлением возможных путей эволюции почв представляет существенный интерес.

При построении картографических моделей с изолиниями использованы данные наблюдений за температурой воздуха на 906 метеостанциях сети Росгидромета, расположенных на территории Европейской России и Западной Сибири за период 1951–2020 гг. Период 1961–1990 гг. взят в качестве климатической нормы (КН), относительно которой проанализировано изменение температуры воздуха и почвы, осреднённой за каждое десятилетие. Динамику температуры воздуха и почвы исследовали в границах равнинных почвенных провинций по Карте почвенно-экологического районирования Российской Федерации 2019 года [3]. Горные территории исключили из рассмотрения. В пределах равнинной территории находится 861 метеостанция. Для каждой почвенной провинции были рассчитаны средние параметры климатических данных.

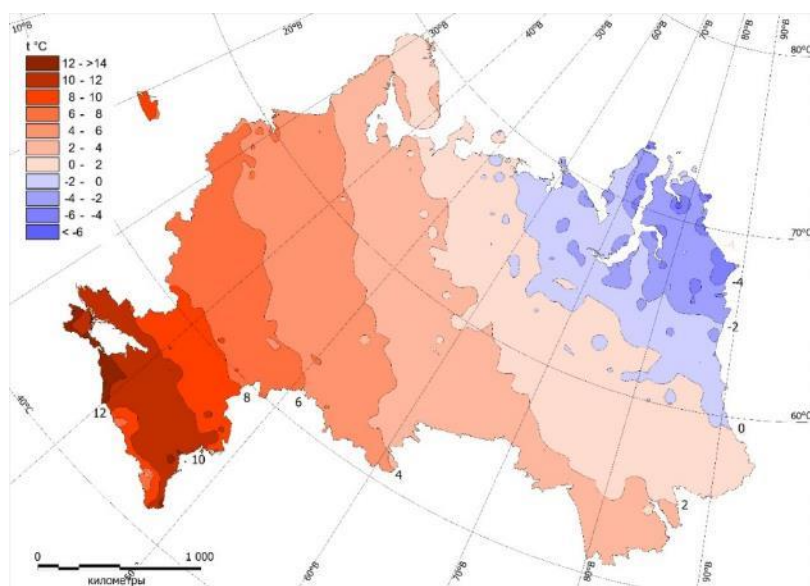
Для построения карт и проведения расчётов использовали геоинформационные системы Аксиома версия 4.4 и MapInfo Professional v.17.0.4. Картографические модели (статистические поверхности методом обратных взвешенных расстояний (IDW) и изолинии) по рядам данных построены в ГИС Аксиома версия 4.4 (Модуль «Работа с поверхностями и растрами» v.012).

На созданных нами картографических моделях среднегодовой температуры воздуха хорошо заметно смещение изотерм в северо-восточном направлении в 2011–2020 гг. относительно климатической нормы 1961–1990 гг. (рис. 1). На севере исследуемой территории наблюдается существенное сокращение площади с отрицательными среднегодовыми температурами воздуха, а на юге – увеличение площади со средней годовой температурой выше +10°C в Европейской части России и выше +2°C в Западной Сибири. Смещение нулевой изотермы в 2011–2020 гг. относительно КН составило около 400 км в Европейской части России (довольно ровное

смещение на северо-восток) и от 150 до более чем 500 км в Западной Сибири (смещение на северо-северо-восток, изотерма 2011–2020 гг. неровная, языковатая).



1961–1990 (климатическая норма)



2011–2020

Рис. 1. Средняя годовая температура воздуха, °С

При общей тенденции потепления различные почвенные зоны (подзоны) Европейской России и Западной Сибири по-разному реагируют на изменения климата. Наиболее значительный рост температуры воздуха в 2011–2020 гг. наблюдается на севере в подзонах арктической тундры, суб-

арктической тундры и северной тайги. В этих подзонах среднегодовая температура воздуха превысила КН на 2,6–4,2°C в Западной Сибири и на 1,9–3,7°C в Европейской России. По мере движения на юг к сухостепной зоне рост температуры воздуха становится менее заметным, что свидетельствует о зональности потепления.

Период 2011–2020 гг. стал самым тёплым за всё время наблюдений во всех почвенных провинциях Европейской России и почти во всех почвенных провинциях Западной Сибири, за исключением провинций степной и сухостепной зоны, в которых среднегодовая температура воздуха была на уровне предыдущего десятилетия 2001–2010 гг. В большинстве провинций среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму на величину в диапазоне от 1 до 2°C. Более существенное потепление наблюдается на северо-востоке Европейской территории России и, особенно, на севере Западной Сибири (рис. 2).

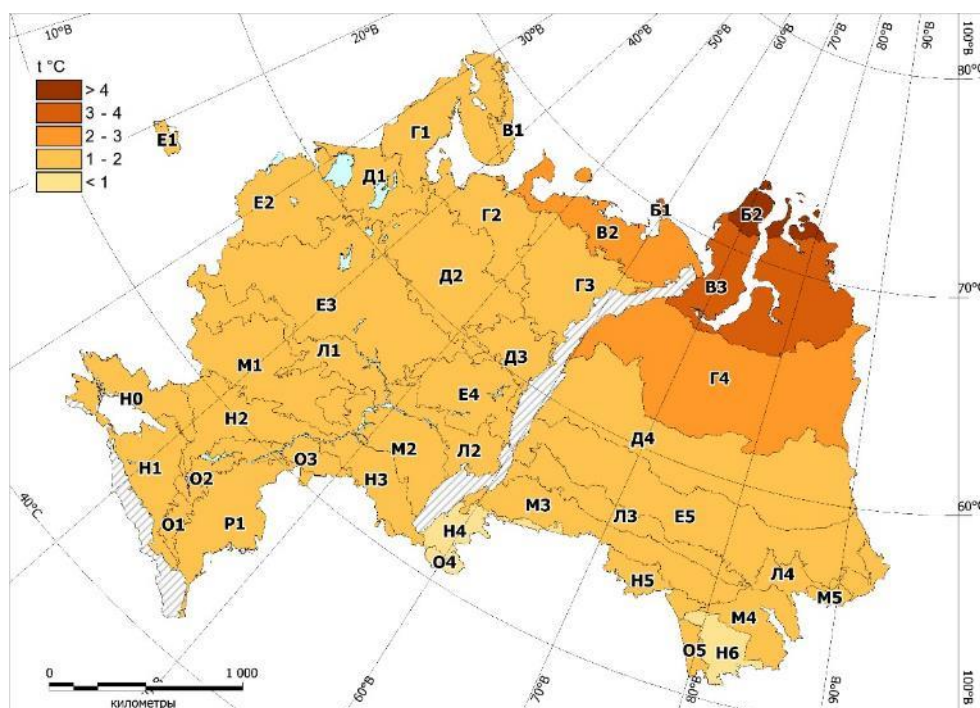


Рис. 2. Превышение среднегодовой температуры воздуха в 2011–2020 гг. над климатической нормой (1961–1990 гг.), °С

Изменение показателей климата почв рассмотрено на примере дерново-подзолистых почв Среднерусской и Западно-Сибирской южнотаёжных почвенных провинций, характеризующихся соответственно данными метеостанций Смоленск и Пудино (Томская область). Обе почвы имеют суглинистый гранулометрический состав и отличаются лишь своими фаціальными особенностями, обусловленными формированием в неодинаковых климатических условиях.



КН среднегодовой температуры воздуха составляет в Смоленске 4,6°C, а в Пудино -0,8°C. В 2011–2020 гг. среднегодовая температура воздуха превысила КН на 1,9°C в Смоленске и 1,3°C в Пудино, при этом в Пудино она стала положительной. Среднегодовая температура почвы также увеличилась относительно КН на всех глубинах от 20 до 320 см, но менее значительно, чем температура воздуха, на 1,0–1,5°C в Смоленске и 0,8–1,2°C в Пудино. Глубина проникновения температуры 0°C в почву уменьшилась в Пудино на 38 см со 110 до 72 см, а в Смоленске с 33 до величины менее 20 см. Глубина проникновения температур выше 10°C в почву превышает в Смоленске 320 см, а в Пудино она увеличилась на 46 см со 168 до 214 см.

Выявленные изменения атмосферного и почвенного климата в разных почвенных зонах и провинциях позволяют по-новому оценить почвенные и климатические ресурсы Европейской России и Западной Сибири для сельского и лесного хозяйства, с целью их адаптации и повышения устойчивости к изменениям климата.

Работа выполнена по теме государственного задания № 122040500036–9 «Влияние климатических флуктуаций и антропогенной деятельности на эволюцию и современное состояние почв юга России» и теме № 1736–р Аграрного центра МГУ имени М. В. Ломоносова.

### Библиографические ссылки

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург: Научно-технологии, 2022. 124 с.

2. Кудеяров В. Н., Дёмкин В. А., Гиличинский Д. А., Горячкин С. В., Рожков В. А. Глобальное изменение климата и почвенный покров // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1027–1042.

3. Урусевская И. С., Алябина И. О., Шоба С. А. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1:8 000 000. Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. Факультет почвоведения. Москва, 2019. URL: <https://soil-db.ru/map/eco> (дата обращения: 14.08.2023).

## БПЛА-СЪЁМКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ ТЕМНОХВОЙНОЙ ТАЙГИ

А.Р. Сафин, Е.А. Коркина

ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»,  
ул. Ленина, 56, 628600, Россия, Нижневартовск,  
email: [ajnur.safin.1999@mail.ru](mailto:ajnur.safin.1999@mail.ru)

Рациональное использование лесных ресурсов подразумевает использование ряда тематических карт, включая почвенные карты. Пространственное распределение лесных ресурсов зависит от почвенных факторов, поэтому фиксация на почвенных картах определённых почвенных условий, включая гидротермические режимы представляет практический интерес в управлении лесными хозяйствами. Темнохвойные леса тайги (урманы), елово-пихтово-кедровой формации, являются затруднительными объектами в области картографирования. Применяемые в последнее время методы дешифрирования космоснимков не решают задач по определению структуры почвенного покрова, выявлению границ типового разнообразия почв. Это связано с высокими значениями проективного покрытия тёмно-хвойной растительности и однородным фототонном изображением космоснимка. В нашем исследовании для изучения дифференциации почвенного покрова в елово-пихтово-кедровых формациях используется метод аэрофотосъёмки с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) *DJI Phantom 4*. В результате исследования были определены методические аспекты аэрофотосъёмки почвенного покрова темнохвойных лесов, с помощью БПЛА.

**Ключевые слова:** БПЛА; дистанционные методы; дешифрирование таёжных почв; криометаморфические почвы.

Возможности использовать беспилотные летательные аппараты (БПЛА) при изучении природных объектов в последнее время серьезно расширились. Стало возможным применять аэрофотосъёмку с помощью БПЛА при изучении почвенного покрова. Благодаря базовым принципам дешифрирования аэрофотоснимков, применяемых при изучении почв, а также современным методам обработки с использованием цифровых технологий, появились возможности идентифицировать дифференциацию почвенного профиля. Методы аэродешифрирования не новые, с 1930-х гг. материалы аэрофотосъёмки применялись для решения сельскохозяйственных задач [1, 2]. На сегодняшний день основными проблемами дальнейшего развития этих методов являются технические: разработка многоканальных портативных камер, а также усовершенствование подходов к геометрической коррекции изображений [3]. В последнее время, появляются методические работы, описывающие основы принципа работы с БПЛА и

детектирования характеристик и свойств почв [4]. В дальнейшем развитии нуждаются также методы детектирования отдельных свойств почв [3], включая гидрологический режим почв. Однако, это затруднительно, несмотря, что есть описательные работы [5] по выявлению типа почвы, по яркостной температуре и влагосодержания растительного покрова и моделированию гидрологической модели местности с гидролокационной съемки местности [6]. Так, например, влажность верхних органических горизонтов криометаморфических почв в сотни раз отличается от нижних минеральных горизонтов [7].

При составлении крупномасштабных почвенных карт с использованием БПЛА существуют проблемы полевого этапа. Они заключаются в двух аспектах: отсутствие топоосновы для картографирования и необходимости поиска границ фитоценозов, которые традиционно и вполне обосновано рассматриваются в качестве границ фаций [8]. Как указывают авторы статьи решение может быть осуществлено с использованием GPS-станции и GPS-приемника, привязанного к местным координатам. Границы комплексного описания фаций отбиваются на трансектах и данных беспилотной аэрофотосъемки.

В данной работе вкратце описываем методические принципы работы построения крупномасштабной карты почв с помощью БПЛА-съёмки в сложных лесо-растительных условиях урманного леса таёжной зоны Западно-Сибирской равнины.

Объектом изучения методом аэрофотосъемки стал почвенный покров водораздельной поверхности Аганского увала, с поверхности представленный среднебонитетным елово-пихтово-кедровым лесом. Возвышенность Аганского увала располагается в Обском бассейне между реками Аган и Вах и относится к северной части Западно-Сибирской равнины. Рельеф Аганского увала холмисто-увалистый, расчлененный ложбинами, мелкими реками и ручьями. Ложбины имеют недостаточную дренированность, близкое залегание грунтовых вод к поверхности. Абсолютные высоты Аганского увала колеблются в пределах 60–130 м абсолютной высоты над уровнем моря. Здесь присутствуют мерзлотные формы рельефа (бугры пучения, термокарстовые западины и другие). Увал с поверхности сложен пылеватыми суглинками позднплейстоценовой эпохи. Данные отложение являются основой для развития почв криометаморфического отдела, дифференциация которых в структуре почвенного покрова достаточно сложна.

Растительность является основным косвенным индикатором дешифрирования аэрофотоснимка, по которому можно определить тип почв. Для съемки с БПЛА растительный покров является определяющей поверхностью. Поэтому понимание растительности является важным аспектом при анализе аэрофотосъемки. Исследуемый лесной выдел представлен следующими видами древесной и кустарниковой растительности: *Picea obovata* (Ledeb.), *Abies sibirica* (Ledeb.), *Pinus sibirica* (DuTour), *Pinus sylvestris* (L.),

*Betula pendula* (Roth), *Alnus incana* (L.), *Juniperus sibirica* (Burgsd.), *Sorbus sibirica* (Hedl.), *Padus avium* (Lam.), *Rosa acicularis* (Lindl.). Таксационная характеристика лесного выдела по результатам натурного обследования: состав – 11Е7П5К2С2Б; бонитет – IV; полнота – 0,74; запас – 215 м<sup>3</sup>/га.

Цифровая модель рельефа была построена с помощью программного обеспечения Agisoft Metashape Professional. Аэрофотоснимки для обработки были получены с помощью БПЛА *DJI Phantom 4*, который оснащен встроенной камерой, с разрешением видео 1080 p на скорости до 30 кадров в секунду и фотографии с разрешением 12 Мрх. Улучшенная оптика позволяет достичь большей чистоты съемки, меньшей зернистости и лучшего качества изображения.

Основные задачи, решаемые пользователями при помощи программы Agisoft Metashape – построение цифровой модели, ортофотоплана и ЦМР. Работа с проектом осуществляется в три этапа:

1. Первый этап называется выравниванием и представляет собой блочную фототриангуляцию методом независимых связей. На этом этапе Metashape находит общие точки снимков и по ним определяет все параметры камер: положение, ориентацию, внутреннюю геометрию (фокусное расстояние, параметры дисторсии и т.п.). Результатами являются облако связующих точек в 3D пространстве модели и данные о положении и ориентации камер.

2. На втором этапе Metashape выполняет построение поверхности: полигональной 3D модели и/или Цифровой модели местности (ЦММ) 2.5D. Полигональная модель может быть текстурирована для фотореалистичного отображения объекта съемки, а в последствии экспортирована в различных форматах, совместимых с приложениями САД и средами для трехмерного моделирования.

3. На третьем этапе в Metashape доступно построение ортофотоплана, который может быть соответствующим образом географически привязан и использоваться в качестве подложки для различных карт. Кроме того, ортофотоплан может быть экспортирован для последующего анализа и векторизации.

На рис. 1 приведена технологическая схема основных этапов реализации обработки результатов аэрофотосъемки.



Рис. 1. Технологическая схема метода обработки результатов аэрофотосъемки

Аэрофотографии, полученные с помощью БПЛА, автоматически имеют привязку к координатам, использование ГНСС-приемников обусловлено получением более высокой точности, как в плане, так и по высоте.

В результате проведения исследования на первом этапе нами определены положения аэрофотоснимков в системе координат объекта или географической системе координат по элементам внутреннего и внешнего ориентирования снимков (рис. 2).

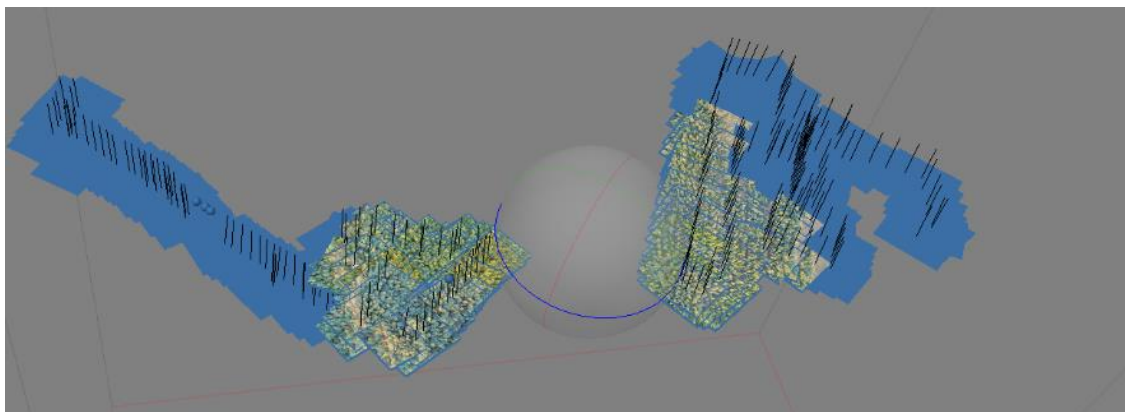


Рис. 2. Эскизы камер в программе Agisoft Metashape

В результате операции уравнивания мы получаем разреженное облако точек, данные о положении и ориентации аэрофотоснимков. Эти данные используются на дальнейших стадиях построения ортофотоплана местности и почвенной карты.

Для введения в нашу модель точек с известными координатами необходимо построить предварительную модель по разреженному облаку точек. Затем необходимо ввести координаты маркеров, полученных с помощью ГНСС-приемника. Для этого в программе открывается изображение, находится характерная точка к которой производилась привязка. В данном случае были использованы реперы, которые хорошо заметны на контрасте с окружающей местностью (мы использовали полиэтиленовый белый пакет). При установке маркера на одном изображении Agosoft автоматически показывает снимки, на которых присутствует этот же репер, как маркер. После введения уточненных координат реперов необходимо перепривязать снимки по новым координатам. Цифровая модель пересчитывается автоматически.

На втором этапе обрабатывается плотное облако точек, которое представляет собой точки с известными координатами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  в системе координат объекта и яркости их исходных изображений. Классическим методом построения является метод полуглобального отождествления Semi-global matching (SGM). Алгоритм основан на обработке отдельных стереопар, которые заранее трансформируются вдоль базисных линий. В результате каждый пиксель на левом снимке находится на соответствующей линии на правом снимке. Задача состоит в нахождении соответствующих

друг другу пикселей на левом и правом снимках. После построения плотного облака точек необходимо в полуавтоматическом режиме классифицировать точки и удалить лишние элементы, например: воду или элементы растительности.

Третий этап посвящен построению карты высот. Здесь полученная цифровая модель рельефа дает информацию пространственного распределения структуры почвенного покрова. Непосредственно почвенная характеристика накладывается на карту высот благодаря полевым и натурным исследованиям. Для построения почвенной карты такой модели высот будет достаточно, для выделения типового разнообразия почв. Так как полевые данные позволили выделить, где происходит дифференциация почвенного профиля, вывести границы органо-криометаморфической почвы без дифференциации элювиального горизонта и светлосём с выделением подзолистого горизонта.

Описанная нами методика составления цифровой картографической модели для построения почвенной карты в условиях таёжной растительности основывается на системной геоморфодинамической концепции и методе обработки аэрофотоснимков и геоданных, снятых с БПЛА. Она позволит в дальнейшем построить пространственную модель распределения влажности в почве, получить представления о гидрологических режимах в почве и визуализировать структуру почвенного покрова трудно картографируемых участков, таких как Аганский увал. Влажность почв – важный фактор в лесном хозяйстве (для проектирования хозяйственных мероприятий), но и в целом для решения задач природопользования и экологического мониторинга.

***Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (22-17-20011), а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-29-05259 «Посткриогенный педогенез Западно-Сибирской равнины», и Российского научного фонда и Правительства ХМАО-Югры № 22-17-20011, <https://rscf.ru/project/22-17-20011>.*

### **Библиографические ссылки**

1. Левенгаупт А. И. Опыт применения аэрофотосъемки при изучении Днепровских плавень // Материалы по проблеме Нижнего Днепра. 1931. Т. 2. С. 143–152.
2. Шмакова М. С. Картографирование почвенного покрова с использованием материалов аэро- и космической фотосъемки : специальность 06.01.03 "Агрофизика" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Шмакова Мария Сергеевна. Москва, 1984. 46 с.

3. *Савин И. Ю., Вернюк Ю. И., Фараслис И.* Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности почв // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2015. № 80. С. 95–105.
4. *Гафуров А. М.* Возможности использования беспилотного летательного аппарата для оценки почвенной и овражной эрозии // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2017. Т. 159, № 4. С. 654–667.
5. *Богданчиков И. Ю., Колошеин Д. В., Анисаров И. С.* Современные технологии определения влажности и температуры почв с использованием беспилотных летательных аппаратов // Актуальные вопросы современной науки и образования : сборник статей XXII Международной научно-практической конференции, Пенза, 05 сентября 2022 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2022. С. 83–86.
6. *Пархоменко Н. А., Нугманов А. А.* Использование 3D-модели для гидрологического анализа сельскохозяйственной территории по данным беспилотных летательных аппаратов // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2022. № 2 (29).
7. *Сафин А. Р.* Цифровая модель транспортировки влаги в почвах возвышенности Аганского увала // XXII Всероссийская научно-практическая конференция Нижневарттовского государственного университета : Материалы конференции, Нижневарттовск, 06–07 апреля 2020 года / Научный редактор: Д. А. Погоньшев. Часть 1. Нижневарттовск: Нижневарттовский государственный университет, 2020. С. 283–287.
8. Беспилотная аэрофотосъемка для задач крупномасштабного картографирования горных тропических лесных ландшафтов / И. П. Котлов, Р. В. Горбунов, М. Ф. Фам, В. А. Т. Дин // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – Природного заповедника РАН. 2018. № 2 (6). С. 63–84.

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИС В УПРАВЛЕНИИ ТЕРРИТОРИЕЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ»

В.А. Сипач<sup>1)</sup>, В.С. Люштык<sup>2)</sup>, О.А. Семенов<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
[slava-sipach@tut.by](mailto:slava-sipach@tut.by)

<sup>2)</sup>ГПУ «Национальный парк «Нарочанский», Нарочь, Беларусь,  
[nauka@narochpark.by](mailto:nauka@narochpark.by)

<sup>3)</sup>УП «Геоинформационные системы», Минск, Беларусь,  
[semolega@gmail.com](mailto:semolega@gmail.com)

В статье описан опыт применения современных геоинформационных систем в Национальном парке «Нарочанский» для информационного обеспечения управления данной территорией.

**Ключевые слова:** ГИС, национальный парк, управление территорией, функциональное зонирование, ArcGIS.

Национальный парк «Нарочанский» создан Указом Президента Республики Беларусь № 477 от 28 июля 1999 года. Решением Миноблсполкома от 26 июня 2001 года № 457 он был переименован в государственное природоохранное учреждение «Национальный парк «Нарочанский» (ГПУ «НП «Нарочанский»).

Национальный парк «Нарочанский» расположен в северо-западной части Республики Беларусь на территории Мядельского (96,0 %) и Вилейского (2,2 %) районов Минской области, Поставского (1,5 %) района Витебской области, Сморгонского (0,2 %) и Островецкого (0,1 %) районов Гродненской области. Общая площадь национального парка составляет 94,9 тыс. га, протяженность с севера на юг – 34 км, с запада на восток – 59 км. В границах национального парка расположено 143 населенных пункта общей численностью населения около 21 тыс. человек, включая курортный поселок Нарочь и районный центр – город Мядель [1].

Особым достоянием национального парка являются водные экосистемы, включающие 43 разнотипных озера общей площадью 16 548 га, что составляет около 17 % территории парка, водотоки (реки, ручьи) протяженностью около 80 км, рыбоводные пруды [2]. В современной структуре земельного фонда ООПТ леса занимают 45,1 тыс. га (47,5 %), болота – 2 тыс. га (2,1 %), луга – 2,9 тыс. га (3,1 %), пахотнопригодные земли – 17,5 тыс. га (18,4 %), мелколесья и кустарники – 1,7 тыс. га (1,8 %), воды – 16,8 тыс. га (17,7 %), прочие земли (населенные пункты, дороги и т.п.) – 8,9 тыс. га (9,4 %).



Национальный парк «Нарочанский» объявлен в целях сохранения уникальных природных комплексов, объединенных озером Нарочь, как эталона природных ландшафтов, хранилища генетического фонда растительного и животного мира Белорусского Поозерья и их более полного и эффективного использования в процессе природоохранной, научной, просветительской, туристической, рекреационной и оздоровительной деятельности.

Социальная инфраструктура в Нарочанском регионе динамично развивается, что связано с функционированием и развитием на его территории курортной зоны, модернизацией автомобильных дорог, изменениями структур севооборотов сельскохозяйственных предприятий при интенсификации ведения сельского хозяйства, ведением земле- и лесопользования. Поэтому ведение мониторинга и контроль за данной ситуацией, учет многочисленных изменений, влияющих на природные комплексы и объекты, является сложной, трудоемкой и дорогостоящей, но необходимой задачей [3].

Чтобы эффективно управлять такой большой по площади природоохранной территорией, а также обеспечивать сохранение уникальных природных комплексов и рационально использовать её природно-ресурсный потенциал, необходимо иметь действенную систему учета режимов охраны и использования природных территорий на основе геоинформационных технологий с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Эта система должна обеспечивать интеграцию существующих знаний о функционировании экосистем различного пространственного уровня, расширять содержание информационного обеспечения природоохранной и иной деятельности, что позволит повысить оперативность и всеобъемлющий охват территории исследования и контроля в лесоустройстве, туризме, лесной и биологической науке и охране окружающей среды в целом.

К тому же немаловажным аспектом перехода на новый более технологический уровень является потребность обеспечения всестороннего комплексного анализа и понимания процессов и явлений, происходящих на территории национального парка, как сложного природно-социально-экономического образования и последующей выработки эффективных природоохранно-ориентированных управленческих решений [3].

Для обеспечения задач по управлению территорией Национального парка «Нарочанский» в рамках Государственной программы «Развитие системы особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь на 2015–2019 годы» (с 2017 года – Госпрограмма «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов на 2016-2020 гг.») был реализован проект разработки экспериментального образца комплексной автоматизировано-справочной системы (ЭО КАСС) на базе действующих геоинформационных систем Березинского биосферного заповедника

и национальных парков с использованием информации с аппаратов космического базирования и других средств.

ЭО КАСС является единой корпоративной геоинформационной системой (ГИС) на базе программного обеспечения ArcGIS for Server Advanced Enterprise и осуществляет сбор, хранение и анализ данных по многим направлениям деятельности Национального парка «Нарочанский» для обеспечения управления его территорией на основе природоохранных подходов.

Расширение функционала ЭО КАСС было выполнено в рамках опытно-конструкторской работы «Создать систему комплексного мониторинга растительного покрова особо охраняемых природных территорий с использованием данных дистанционного зондирования Земли» раздела 2 «Развитие навигационной, геодезической и картографической деятельности на основе космических технологий» подпрограммы 7 «Исследование и использование космического пространства в мирных целях Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2016-2020 годы. В результате появилась полноценная поддержка данных дистанционного зондирования Земли для обеспечения оперативного мониторинга и контроля за территорией национального парка.

Сбор информации в полевых условиях проводится с применением мобильной ГИС, интегрированной в общую систему и имеющей готовые шаблоны наполнения данными по различным научным и практическим направлениям. С использованием прямого подключения к системе посредством сети Интернет информация оперативно поступает в единый банк данных, где мгновенно становится доступна для проведения разнообразного пространственного и атрибутивного анализа не только сотрудникам парка, но и другим заинтересованным организациям.

Анализ имеющейся и вновь поступающей информации с применением серверных ГИС-технологий позволяет повысить производительность за счет значительного сокращения необходимого времени на получение итогового результата, который может быть оперативно предоставлен лицам, принимающим управленческие решения.

Принятие управленческих решений, направленных на поддержание, охрану биологического и ландшафтного разнообразия парка с использованием новых серверных ГИС-решений, становится более оперативным и всеобъемлющим и позволяет учитывать огромное количество факторов и воздействий за счет учета и анализа больших массивов разноплановой и разнородной информации.

Немаловажной особенностью системы является возможность предоставлять всю имеющуюся информацию по основным направлениям деятельности парка как сотрудникам различных подразделений парка, так и

сторонним организациям для выполнения своих функциональных обязанностей или проведения научных исследований, как самостоятельно, так и совместно. Эти данные предоставляются в виде веб-сервисов или готовых приложений по различным направлениям [4].

В настоящее время ЭО КАСС, как единая платформа используется для реализации задач по различным направлениям деятельности парка, которые влияют на принятие решений по управлению Национальным парком «Нарочанский»:

1. Мониторинг редких и находящихся под угрозой исчезновения на территории Республики Беларусь видов диких животных и дикорастущих растений, включаемых в Красную книгу Республики Беларусь. Данные используются для введения ограничений на использование территорий мест обитания и произрастания данных видов.

2. Мониторинг инвазивных видов растений и животных. На основе полученных данных разрабатываются мероприятия по борьбе с данными видами растений и животных.

3. Лесопатологический мониторинг вредителей леса.

4. Оценка территории на выявление «угроз» (ветровалы, подтопления, пожары, нарушение землепользования, рубки и др.) экосистемам национального парка.

5. Мониторинг за рекреационной нагрузкой и антропогенным воздействием на природные экосистемы национального парка.

6. Оценка состояния водоемов в части их зарастания на территории Национального парка «Нарочанский».

7. Контроль за нарушениями землепользования.

Все выше перечисленные данные и результаты их анализа в ЭО КАСС используются при разработке следующих документов, обеспечивающих правовое использование территории и управление ею:

1. Плана управления территорией Национального парка «Нарочанский».

2. Лесоустроительного проекта.

3. Плана мероприятий по сохранению и восстановлению редких и находящихся под угрозой исчезновения на территории Республики Беларусь видов диких животных и дикорастущих растений, включенных в Красную книгу Республики Беларусь.

4. Проекта Охотустройства территории.

5. Паспортов и охранных обязательств на редких и находящихся под угрозой исчезновения на территории Республики Беларусь видов диких животных и дикорастущих растений, включаемых в Красную книгу Республики Беларусь.

6. Схем перераспределения рекреационной нагрузки по территории Национального парка «Нарочанский».

Применение ГИС и данных ДЗЗ в национальном парке позволяет оперативно и полноценно оценивать происходящие процессы в экосистемах, а также принимать эффективные природоохранно-ориентированные управленческие решения.

### Библиографические ссылки

1. Возможность использования данных дистанционного зондирования Земли, получаемых Белорусской космической системой дистанционного зондирования Земли, в географической информационной системе национального парка «Нарочанский» / В. А. Сипач [и др.] // Современные технологии в деятельности ООПТ: ГИС-Нарочь, 2014: материалы международной научно-практической конференции, Курортный поселок Нарочь, Беларусь, 12–16 мая 2014 г.: (избранное) / [под общей редакцией В. А. Сипача, В. С. Люштыка]. [Б. м. : б. и., 2014]. С.145–164.

2. Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. Выпуск 1. Минск.: Белорусский дом печати. 2006. 268 с.

3. От локальных ГИС ООПТ к единой ГИС ООПТ / В. А. Сипач [и др.] // Проблемы изучения и восстановления ландшафтов лесостепной зоны: историко-культурные и природные территории: Сборник научных статей, Тульская область, с. Монастырщино, 15–18 октября 2018 года. Вып. 4. Тула: Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Государственный военно-исторический и природный музей-заповедник «Куликово поле», 2018. С. 223–228.

4. ГИС как инструмент учета, изучения и принятия управленческих решений в целях сохранения биологического и ландшафтного разнообразия национального парка "Нарочанский" / А. А. Новиков [и др.]. // Хартия Земли – практический инструмент решения фундаментальных проблем устойчивого развития: сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию реализации принципов Хартии Земли в Республике Татарстан, Казань, 27–28 октября 2016 года. Казань: Татарское книжное издательство, 2016. С. 179–182.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА НА ПОЛИГОНЕ «КАРБОН-ПОВОЛЖЬЕ»

**Б.М. Усманов, А.М. Гафуров, М.А. Иванов, П.В. Хомяков**

*Казанский государственный университет, Казань, ул. Товарищеская, 5,  
420097, Россия, email: [busmanof@kpfu.ru](mailto:busmanof@kpfu.ru)*

В статье рассматривается порядок организации дистанционного мониторинга на лесном и водном участках полигона "Карбон-Поволжье". Рассматриваются и подчеркиваются преимущества и ограничения различных дистанционных методов и датчиков, включая оптические, мультиспектральные, радарные и лидарные, которые широко используются для оценки AGB и оценки CS. Представлены первые результаты полевых исследований на полигоне "Карбон-Поволжье". Используются различные методы дистанционного зондирования от эхолокации до мультиспектральной и лидарной съемки, определяются наиболее оптимальные данные дистанционного зондирования и методы их обработки. Также авторами разработана структура дистанционного мониторинга карбонового полигона, подчеркивается необходимость использования комплексного подхода для получения наиболее полной информации о депонировании углерода на разных масштабных уровнях. Показано, что именно использование разнообразных подходов к исследованию углеродного баланса позволит осуществлять мониторинг на карбоновых полигонах на высоком научном уровне.

**Ключевые слова:** карбоновый полигон, дистанционное зондирование, фотограмметрия, мультиспектральная съемка, воздушное лазерное сканирование.

Наиболее точными и надежными подходами для мониторинга потоков парниковых газов являются измерения методом вихревых ковариаций и исследования с помощью почвенных камер. Однако, когда нужно измерить суммарный поток парниковых газов обширной территории, используются различные дистанционные средства измерений, несмотря на относительно низкую точность. По сравнению с полевыми методами измерения основным преимуществом дистанционных систем является покрытие больших по площади территорий, а применение как космической и аэрофотосъемки позволяет проводить исследования различными сенсорами на разных масштабных уровнях.

Основная область использования дистанционных методов при мониторинге карбоновых полигонов – оценка Above-ground biomass, поскольку биомасса растительности играет решающую роль в понимании вклада экосистемы в глобальный углеродный цикл [1]. Для оценки биомассы и секвестрации углерода используются различные типы спутниковых данных,

как отдельно, так и в различных комбинациях. Основными являются: Вегетационные индексы MODIS [2]; Мультиспектральная съемка Sentinel-2 [3] и Landsat [4]; Радарные данные Sentinel-1 и ALOS2 (чаще всего в комбинации с Sentinel-2 и Landsat) [5, 6], Лидарная съемка [7, 8].

Для оперативной оценки биомассы используются полевые методы измерения, основанные, преимущественно, на двух подходах – наземные измерения и съемка с пилотируемых и беспилотных летательных систем [9, 10]. В число первых входят непосредственно замеры эталонных образцов и экстраполяция полученных результатов [11], так называемые классические методы, а также современные геодезические методы, которые, используются как для построения трехмерных моделей, так и в сочетании с классическим подходом - с оценкой объема древесной биомассы по эмпирическим формулам с учетом диаметра ствола, породного состава и высоты деревьев. Подобный подход реализован, например, в программном обеспечении Katam [12], использующим методы фотограмметрии и эмпирические формулы для оценки биомассы древостоя.

Для оценки биомассы древесных сообществ с большей производительностью используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащенные различной полезной нагрузкой. Наиболее распространена аэрофотосъемка, позволяющая получать цифровые модели местности с ортофотопланом территории [13]. Более продвинутый вариант – мультиспектральная съемка, позволяющая производить расчет различных вегетационных индексов и метрик, которые совместно с моделями местности успешно используются для вероятностной оценки биомассы [14].

Наиболее точных результатов по оценке объемов древесной биомассы можно добиться при использовании лидарной съемки с БПЛА, которая, проникая сквозь листья и ветви растений позволяет оценить объем и, как следствие, биомассу древесины выше поверхности [15]. Тем не менее, лидарная съемка с БПЛА имеет свои ограничения, поэтому, наилучших результатов при оценке биомассы можно добиться, совмещая мультиспектральную, лидарную съемку с БПЛА, а также НЛС [16].

Республика Татарстан является одним регионов, где осуществляется реализация пилотного проекта по созданию на территории России карбоновых полигонов. С 2022 г. на двух участках полигона “Карбон-Поволжье” (рис. 1) сотрудниками Казанского федерального университета ведутся научно-исследовательские работы по разработке и испытанию технологий контроля углеродного баланса. Участок 1 “Обсерватория” – расположен в широколиственном лесу, испытывающем антропогенное давление средней интенсивности и имеющем длинную историю освоения. Участок 2 “Саралы” – расположен на

территории Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника, – наблюдательный участок за экосистемами Куйбышевского водохранилища.

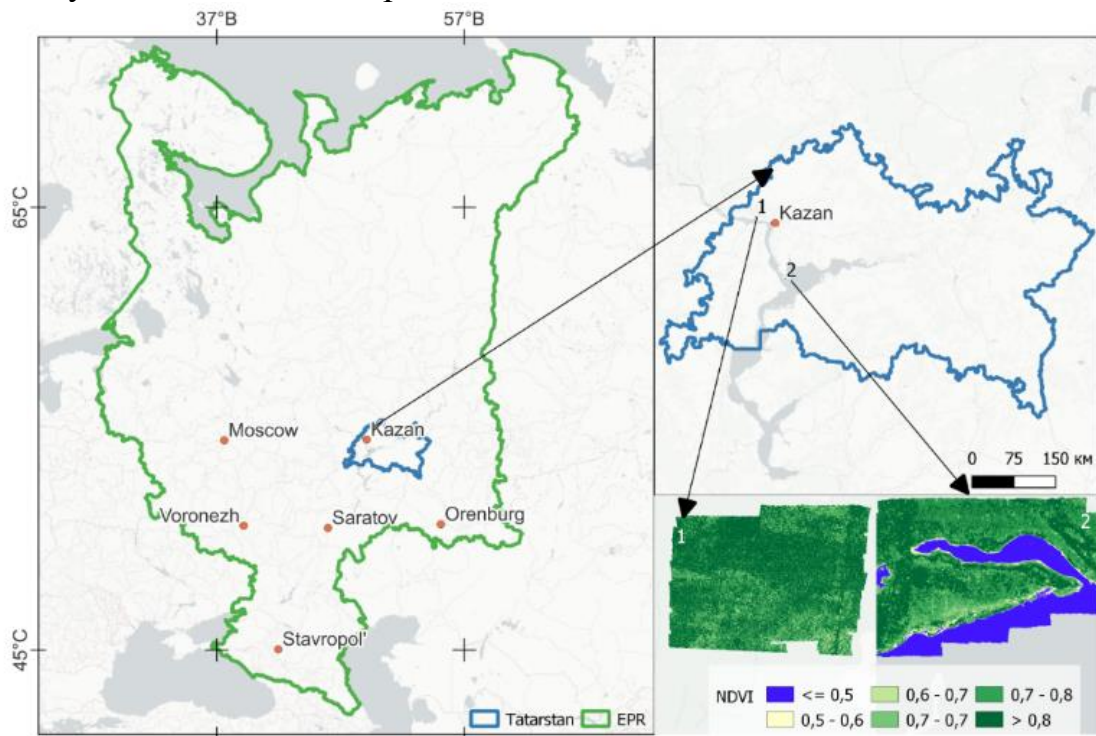


Рис. 1. Расположение лесного (1) и водного (2) участков полигона "Карбон-Поволжье"

Для исследования участков полигона использовался БПЛА Геоскан 401 Геодезия, с возможностью оснащения мультиспектральной камерой Micasense RedEdge-MX, и лидаром АГМ МС-1. На водном участке карбонового полигона для батиметрической съемки была использована ПВХ-лодка Флагман и эхолот-картплоттер Garmin GPS Map 178С.

Основными открытыми данными дистанционного зондирования для организации мониторинга на региональном уровне являются: данные мультиспектральной съемки Sentinel 2 MSI и Landsat 8, 9 OLI; радарные данные Sentinel 1 C-SAR; вегетационные индексы и биофизические параметры Copernicus и MODIS; фенологические метрики Suomi NPP and NOAA-20 VIIRS (VNP22Q2); глобальные ЦМР, модели земного покрова и землепользования, снимки высокого и сверхвысокого разрешения Google.

Работы по проведению дистанционного мониторинга полигона "Карбон-Поволжье" начаты в 2022 г. В результате анализа существующих дистанционных методов исследования карбоновых полигонов и оценки возможности их использования на территории полигона "Карбон-Поволжье", была составлена схема дистанционного мониторинга (рис. 2).

На основе *спутниковых данных* создается карта растительности с пространственным разрешением 100 м. Подход предполагает создание пространственной вероятностной модели растительных сообществ, на основе двух основных блоков. Первый блок касается моделирования условий местообитания на основе топографических индексов влажности, условий освещенности и распределения тепла, построенных по цифровой модели рельефа, типов почв. Второй блок подразумевает непосредственное распознавание растительности по серии разносезонных многолетних данных Landsat 8 и 9 и Sentinel 2. В качестве обучающей выборки и контрольных данных будут использованы данные геоботанических описаний из БД «Флора» [17].

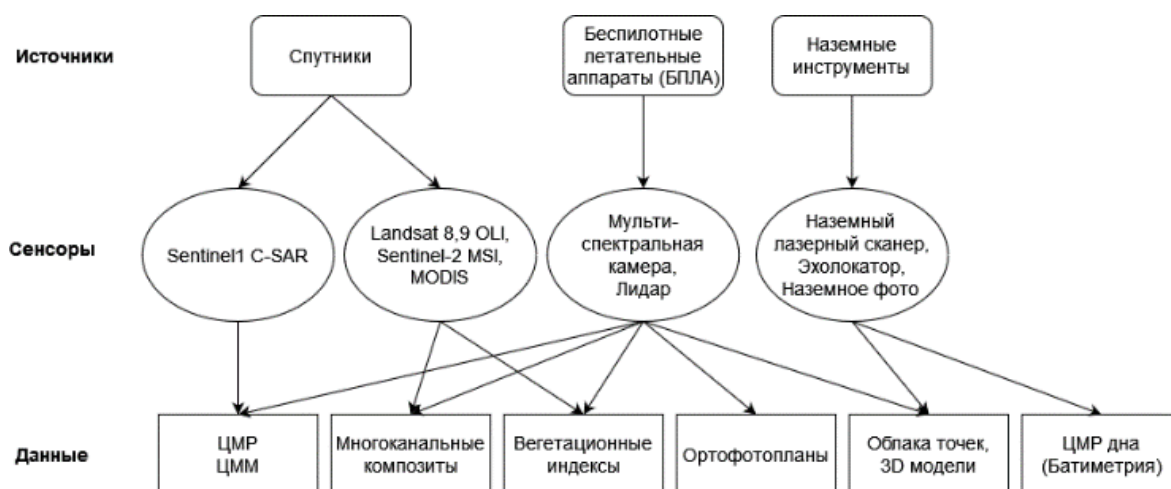


Рис. 2. Основные инструменты и данные для организации дистанционного мониторинга на полигоне “Карбон-Поволжье”

По результатам съемки БПЛА получены ортофотопланы высокого разрешения, по которым составлены высокодетальные планы участков полигона, а также карты видового состава растительного покрова. Проводится мультиспектральная съемка в 5 каналах, которая позволяет расчет различных вегетационных индексов (рис. 3а), которые активно используются при оценке биомассы и запасов углерода. Временные ряды наблюдений с заданной периодичностью формируются путем отбора наиболее репрезентативных индексов для всех периодов съемки.

Проведена низковысотная съемка лидаром AGM MC-1 на территории лесного участка "Карбон-Поволжье". В результате получена цифровая модель рельефа, находящегося под лесным покровом, карта высоты деревьев (рис. 3б). Также проведена сегментация облака точек на отдельные деревья, что позволило получить морфометрические характеристики крон для последующего определения AGB.

Для получения рельефа дна, а также для технического обоснования установки площадки наблюдений на водном участке полигона "Карбон



Поволжья" проводится *батиметрическая съемка* участка протоки на территории Волжско-Камского государственного биосферного заповедника. По результатам съемки была построена карта глубин.

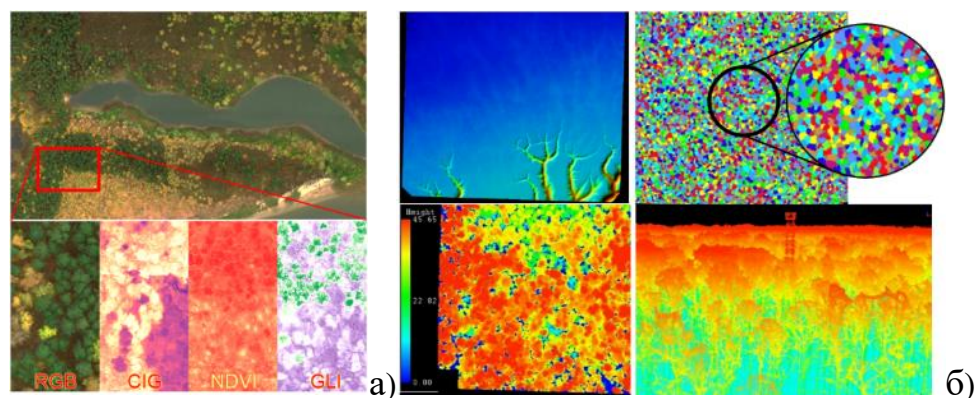


Рис. 3. Ортофотоплан, вегетационные индексы на водный участок (а), результаты лидарной съемки лесного участка полигона "Карбон-Поволжье" (б).

Таким образом, создана технологическая схема организации комплексной системы мониторинга баланса углерода на двух уровнях: локальном (в пределах полигона) и региональном (Республика Татарстан). Комплексность используемой схемы и учет разных уровней генерализации на всех этапах от сбора информации до представления результатов, а также учет международного опыта в оценке углеродного баланса позволит получать адекватные оценки секвестрационного потенциала изучаемых территорий, а также проводить экстраполяцию на другие регионы.

**Благодарности.** Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2022-0003

### Библиографические ссылки

1. Kozhevnikova M. V., Prokhorov V. E., Saveliev A. A. Predictive modeling for the distribution of plant communities of the order Quercetalia pubescenti-petraeae Klika 1933. Vestn. Tomsk. Gos. Univ. Biol. 2019. Vol. 47. P. 59–73.
2. Dai X., Yang G., Liu D. Vegetation carbon sequestration mapping in herbaceous wetlands by using a MODIS EVI time-series data set: a case in Poyang Lake wetland. China Remote Sens. 2020. Vol. 12(18), 3000.
3. Bulut S., Günlü A. Determination of total carbon storage using Sentinel-2 and geographic information systems in mixed forests. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi. 2019. Vol. 5(2). P. 127–135.
4. Mei A., Salvatori R., Bassani C. Biomass evaluation by the use of Landsat satellite imagery and forestry data. Rendiconti Online Della Soc. Geol. Ital. 2017. Vol. 42. P. 66–69.

5. *Agata H., Aneta L., Dariusz Z.* Forest aboveground biomass estimation using a combination of Sentinel-1 and Sentinel-2 data. IGARSS 2018 – IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, P. 9026–9029.
6. *Laurin G. V., Balling J., Corona P.* Above-ground biomass prediction by Sentinel-1 multitemporal data in central Italy with integration of ALOS2 and Sentinel-2 data. *J. Appl. Remote Sens.* 2018. Vol. 12(1).
7. *Jiang F., Deng M., Tang J.* Integrating spaceborne LiDAR and Sentinel-2 images to estimate forest aboveground biomass in Northern China. *Carbon Balance Manag.* 2022. Vol. 17(1), 12.
8. *Torre-Tojal L., Bastarrika A., Boyano A.* Above-ground biomass estimation from LiDAR data using random forest algorithms. *J. Comput. Sci.* 2022. Vol. 58, 101517.
9. *Gafurov A.* The methodological aspects of constructing a high-resolution DEM of large territories using low-cost UAVs on the example of the Sarycum Aeolian Complex, Dagestan, Russia. *Drones* 2021. Vol. 5(1).
10. *Gafurov A., Yermolayev O., Usmanov B.* Creation of high-precision digital elevation models using the GNSS UAV. *InterCarto InterGIS.* 2021. Vol. 27(2). P. 327–339.
11. *Chugunov R., Iskandirov P., Tishin D.* Dendroclimatic research on Scots pine growing under the conditions of the raised bog in the Volga-Kama region, Russia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2018. Vol. 107, 012083.
12. *Täll K.* Accuracy of mobile forest inventory application KatamTM Forest: evaluation of accuracy in different forest types and comparison to conventional inventory methods. Master Thesis. Second cycle, A2E. Alnarp: SLU, Southern Swedish Forest Research Centre, 2020.
13. *Karpina M., Jarzabek-Rychard M., Tymków P.* UAV-based automatic tree growth measurement for biomass estimation. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. XLI-B8*, 2016. P. 685–688.
14. *Qiao L., Zhao R., Tang W.* Estimating maize LAI by exploring deep features of vegetation index map from UAV multispectral images. *Field Crops Res.* 2022. Vol. 289, 108739.
15. *d'Oliveira M., Broadbent E., Oliveira L.* Aboveground biomass estimation in Amazonian tropical forests: a comparison of aircraft- and GatorEye UAV-borne LiDAR data in the Chico Mendes Extractive Reserve in Acre, Brazil. *Remote Sens.* 2020. Vol. 12(11), 1754.
16. *Lian X., Zhang H., Xiao W.* Biomass calculations of individual trees based on unmanned aerial vehicle multispectral imagery and laser scanning combined with terrestrial laser scanning in complex stands. *Remote Sens.* 2020. Vol. 14(19), 4715.
17. *Prokhorov V., Rogova T., Kozhevnikova M.* Vegetation database of Tatarstan. *Phytocoenologia.* 2017. Vol. 47(3), P. 309–313.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ ЗЕМЕЛЬ В ДЕТАЛЬНОМ МАСШТАБЕ

Е.С. Фруль, А.Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости 4, Минск, Беларусь, email: [zhenyafrul@yandex.ru](mailto:zhenyafrul@yandex.ru)*

Проанализирован опыт использования геоинформационных систем при анализе воздействия водной эрозии на почвенный покров. Изучены особенности проведения и обработки данных лидарной съемки. Применен геостатистический подход для исследования влажности почв на исследуемых участках. Построены картограммы влажности для каждого опытного участка и выявлена взаимосвязь между влажностью почвы и рельефом. Построена карта суммарного потенциального смыва почвы на опытном участке. Опираясь на материалы данного исследования, в дальнейшем можно будет оценивать влияние различных факторов на урожайность сельскохозяйственных культур. Также возможна перепланировка полей с учетом участков земель, сильно подверженных эрозии, и корректировка севооборотов с учетом всех факторов.

**Ключевые слова:** почвенный покров; геостатистика; вариограмма; влажность; рельеф; LIDAR; эрозия.

Исследование эрозионной деятельности является достаточно сложной задачей, так как на нее влияет большое количество факторов: эрозионная способность осадков, способность почвы к эрозии, наличие растительного покрова, длины, уклоны склонов. Такое разнообразие факторов, влияющих на эрозию, сильно усложняет ее моделирование для проведения точных расчетов. Гипотезой настоящего исследования выступила опасность деградации почвенного покрова, вызванная водной эрозией. В работе было рассмотрено большое количество работ зарубежных авторов, и главным выводом является то, что уникальные природные особенности территории не позволяют применять одну и ту же модель к различным регионам, поэтому стоит проблема разработки теоретических моделей в неисследованных регионах. Разнообразие моделей позволяет их применять как на больших территориях, так и на локальных участках.

Объектом исследования являются 5 опытных участков, заложенных на территории Барановичского района Брестской области. Для исследования был выбран именно этот район, так как в пределах него представлены ключевые особенности рельефа Новогрудской

возвышенности. При этом для почв данного района характерно значительное проявление эрозионных процессов.

Информация для исследования, была получена в ходе полевого исследования, в результате которой было отобрано 565 почвенных проб. С помощью лазерного сканирования были получены детальные цифровые модели рельефа для каждого опытного участка [2].

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС), или лидарная съемка – достаточно новая технология, позволяющая создать цифровую модель объекта на основе облаков точек с определенными пространственными координатами. Для их получения используется лазерный сканер – LiDAR, который в процессе съемки записывает для каждой точки координаты (XYZ) и численный показатель интенсивности отраженного сигнала. Он зависит от свойств поверхности, на которую визируется лазерный луч.

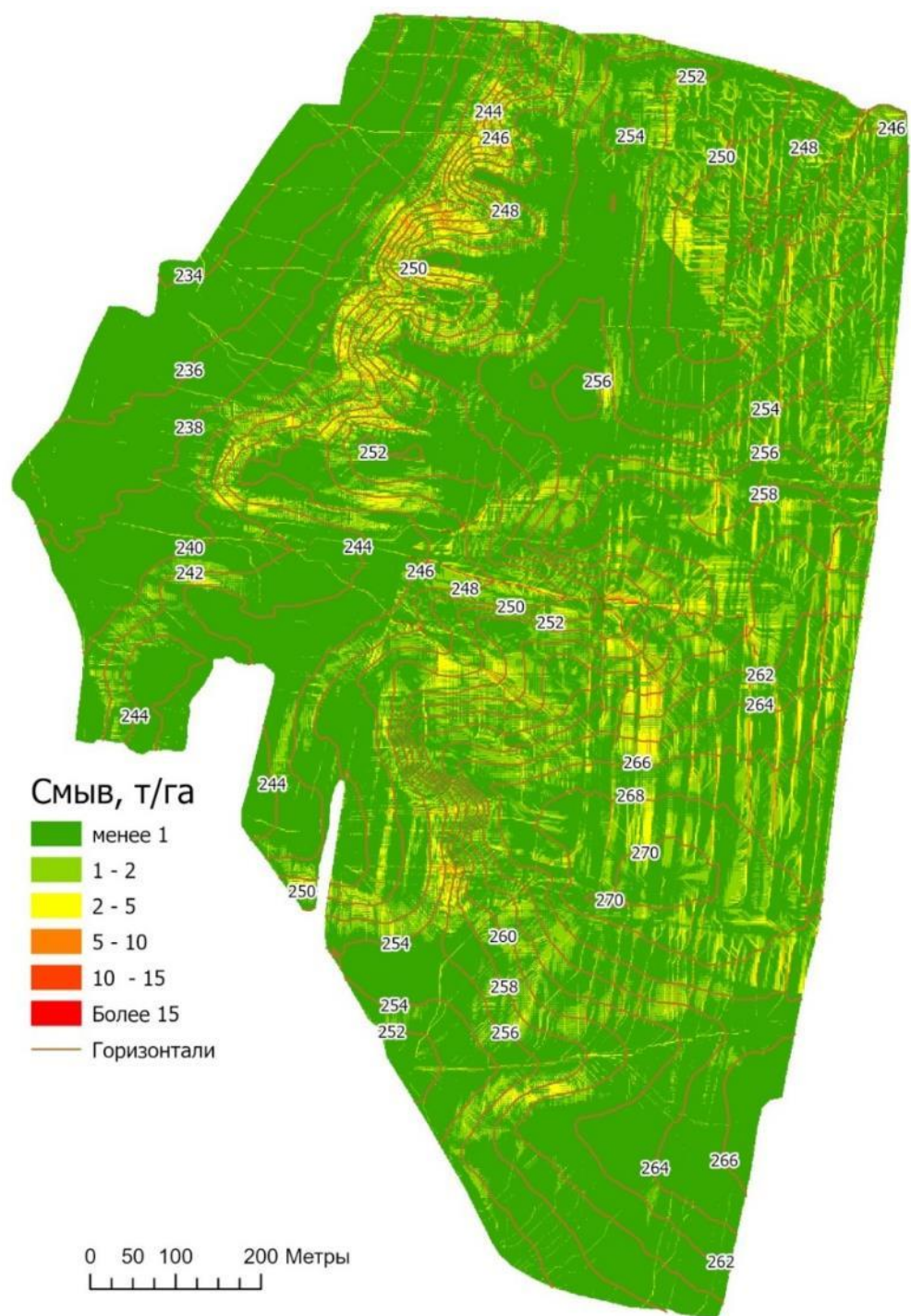
В ходе исследования были созданы картограммы влажности почвы, почвенная карта, а также карта суммарного потенциального смыва почвы. Для моделирования использовалось адаптированное к условиям Беларуси универсальное уравнение Уишмейра-Смита [1]. При составлении картограмм влажности использовались геостатистические методы [3].

Для моделирования и расчета суммарного потенциального смыва почвы был использован программный продукт ArcGIS Pro 3.0. В данном программном комплексе возможно представление информации в виде грида, что в свою очередь позволяет использовать функции картографической алгебры, а именно сложение и произведение ячеек растра.

Значение потенциального смыва почвы ( $A$ ) определяется суммой смыва, обусловленного ливневыми осадками ( $A_1$ ) и смыва под действием талых вод ( $A_2$ ), и описывается адаптированным к условиям Беларуси универсальным уравнением В.Х. Уишмейра и Д.Д. Смита:

$$A = A_1 + A_2 = R \cdot K \cdot L \cdot S + K \cdot h \cdot L \cdot S,$$

где  $A_1$  – смыв почвы ливневыми осадками, т/га в год;  $A_2$  – смыв почвы талыми водами;  $R$  – фактор осадков, выраженный через эрозионный индекс осадков;  $K$  – фактор почвы, выраженный через коэффициент противоэрозионной стойкости почвы;  $L$  – фактор длины склона, м;  $S$  – фактор уклона, °;  $h$  – слой склонового стока за период снеготаяния, мм.



### Суммарный потенциальный смыв почвы

Главным выводом проведенного исследования служит то, что современные ГИС позволяют производить моделирование даже таких сложных природных процессов, как эрозия почв. А также использование геостатистики в почвенных исследованиях позволяет произвести математический анализ исследуемых явлений и подтвердить

правильность полученных выводов с помощью математических формул. Современное оборудование, а именно БПЛА, оснащенные лидаром, помогают в короткий срок получать точную цифровую модель рельефа местности при небольших трудозатратах.

### **Библиографические ссылки**

1. *Червань А. Н., Черныш А. Ф., Устинова А. М.* Геоинформационное моделирование в почвозащитной организации агроландшафтов Беларуси / Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2013. Випуск 44. С. 388–396.

2. Применение воздушного лазерного сканирования в археологических исследованиях на территории Беларуси / А. А. Сазонов [и др.] // ГИС-технологии в науках о Земле [Электронный ресурс] : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 16 нояб. 2022 г. Минск: БГУ, 2022. С. 283–287.

3. *Клебанович Н. В., Киндеев А. Л., Сазонов А. А.* Геостатистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв // Геосферные исследования. 2021. № 3. С. 80–91.

## ГЕОСТАТИСТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ОСНОВНЫХ ВИДОВ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А.Л. Киндеев<sup>1)</sup>, А.А. Сазонов<sup>2)</sup>, В.В. Яскељчик<sup>3)</sup>

1) Белорусский государственный университет, Минск, пр. Независимости, 4,  
2203030, Беларусь, email: AKindeev@tut.by;

2) Белорусский государственный университет, Минск, пр. Независимости, 4,  
2203030, Беларусь, email: alexey.szonov@gmail.com;

3) УП «Белнипградостроительства», Минск, пр. Машерова, 29,  
220002, Беларусь, email: vijaleta@gmail.com

В настоящем исследовании рассматриваются вопросы классификации кислотности почвы при помощи геостатистических показателей ее пространственного распределения на пахотных, луговых и лесных землях. Был выведен новый относительный показатель – вариация на метр, с помощью которого доказаны существенная схожесть однотипных участков и различия между видами земель. Было установлено, что относительная вариация кислотности почвы на метр для лесных земель составляет – 1,73–2,14 %, луговых – 0,89–1,07 %, а для пахотных – 0,13–0,15 %.

**Ключевые слова:** кислотность почв; геостатистика; вариограмма; неоднородность; вариация на метр.

Современный этап развития цифровой почвенной картографии (ЦПК) характеризуется в первую очередь синтезом применения прямых и косвенных методов картографирования почвенного покрова и его свойств [1], активным внедрением машинного обучения [2] и, как следствие, перехода к прогнозному почвенному картографированию [3].

В данных тенденциях особое место занимает геостатистический анализ неоднородности отдельных свойств почвы, как основной инструмент прямых методов картографирования почвенного покрова. Также геостатистика является неотъемлемым инструментом в агрохимическом обследовании земель в системах точного земледелия [4], т.к. для фермеров первоочередное значение имеет показатели отдельных агрохимических показателей почвы на каждом из полей [5].

При этом точное прогнозирование в местах, где не проводился детальных отбор проб, невозможно без классической теории географии почв и понимания протекания геохимических процессов, вызванных рельефом местности, растительностью и другими факторами почвообразования, что является основой косвенного почвенного картографирования.



Синтез этих двух подходов определенно возможен и в ряде исследований был апробирован [6]. Однако, до сих пор нет четкой геостатистической классификации почвенного покрова (как, например, полезных ископаемых в геологии), что обуславливается в первую очередь необходимостью огромных полевых и лабораторных изысканий, при этом возможно провести первичную оценку кислотности почвенного покрова. Кислотность, с одной стороны, является одним из важнейших свойств почвы, с другой – характеризуется простотой химического анализа.

Используя метод «ключей», были заложены 6 опытных участков на лесных, луговых и пахотных землях (по 2 шт. на каждый вид) вблизи УГС «Западная Березина» в долине реки Западная Березина, Воложинского района Минской области Республики Беларусь. В отношении к почвенно-экологическому районированию данные ключи характеризуют Ошмянско-Минский район.

С лесного массива № 1 (опытный участок № 1) площадью 12,6 га было отобрано 80 образцов. Почвы преимущественно дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные. Участок № 2, являющийся вторым лесным массивом, составил 11,3 га, с которого было отобрано 78 образцов. Почвы – дерново-подзолистые.

С опытного участка на поле (опытный участок № 3) площадью 10,6 га с дерново-подзолистыми супесчаными почвами на посевах многолетних трав было взято 110 образцов. С поля (опытный участок № 4), где выращивалась кукуруза на площади 17,6 га, было отобрано 102 образцов. Почвы – дерново-подзолистые супесчаные.

На луговом (пойменном) участке (опытный участок № 5) были обнаружены преимущественно аллювиальные дерновые заболоченные почвы, на гривах (повышениях) – аллювиальные дерновые оподзоленные почвы. Площадь участка – 30,7 га; количество отобранных образцов – 79. Опытный участок № 6 также представлен луговой поймой с аллювиальными дерновыми заболоченными почвами и аллювиальными дерновыми оподзоленными на повышениях. Площадь участка составила 44,2 га; количество образцов – 85.

Значения  $pH_{КС1}$  были получены потенциометрически в лаборатории с последующим геостатистическим анализом (подробно методика изложена в [7]). В связи с тем, что между участками есть различия по площади, в ряде случаев значительные (более 30 га), для сравнения геостатистических величин был предложен новый показатель – «вариация на метр». В связи с тем, что порог вариограммы отражает дисперсию, а ранг – расстояние, то можно рассчитать дисперсию, приходящуюся на одну единицу рассто-



яния. Данный показатель позволяет перейти от сравнения абсолютных величин к относительным, тем самым вынося за скобки размеры сравниваемых участков.

Новый показатель, вместе с параметрами вариограмм ключевых участков приведен в таблице ниже.

**Параметры вариограмм ключевых участков**

Параметры	Лесные участки		Пахотные участки		Луговые участки (пойма)	
	ключ 1	ключ 2	ключ 3	ключ 4	ключ 5	ключ 6
$e(r)$	0,169	0,002	0,001	0,000	0,013	0,038
$s(r)$	1,110	0,907	0,009	0,006	0,534	0,495
$s(r)+e(r)$	1,279	0,909	0,010	0,006	0,547	0,533
L, м	34,0	33,0	24	38	46	64
R, м	172	58,9	182	71,3	160	241
D, %.	13,2	0,20	10,0	0,00	2,37	7,12
M	4,98	5,8	5,91	6,1	5,44	5,26
$s(r)+e(r)/R$	0,00743604	0,01543293	0,00005494	0,00008415	0,00341875	0,00221161
ср.кв.откл/R	0,08623251	0,12422937	0,00741249	0,00917341	0,05847007	0,04702784
V/R	1,732%	2,142%	0,125%	0,150%	1,075%	0,894%
$An, ^\circ$	0,00	0,00	21,4	0,00	52,5	0,00
ME	-0,014	-0,023	0,012	-0,002	0,004	-0,0004
RMSE	-0,579	0,945	0,409	0,491	0,596	0,645
RMSS	1,070	1,013	1,008	1,050	1,060	1,058

Сразу определяются основные геостатистические различия «ключей». В первую очередь стоит отметить, что среднее расстояние между точками (L) участков одной группы отличается незначительно, что позволяет сопоставлять полученные результаты. Показатель остаточной дисперсии (D) у всех участков менее 13,2 %, что говорит о сильной пространственной взаимозависимости показателей кислотности.

Выделяется Порог ( $s(r)+e(r)$ ) – порядок цифр для почв лесных земель составляет единицы (от 0,9 до 1,3), для пахотных почв – тысячные и сотые (0,006–0,01), а для луговых (поймы) – десятые (0,53–0,54). Полученные значения нового показателя (V/R) подтверждают описанные выше различия – у почв лесных земель вариация колеблется в районе 2 процентов, у пахотных – одной-двух десятых процента, а у луговых – около 1 %.

Отмеченные низкие значения остаточной дисперсии позволяют говорить о высокой точности полученных картограмм (рис. 1–3). Практически на всех рисунках наблюдается высочайшая степень гетерогенности кислотности. На лесных участках выделяются значения от 4,0 до 8,5; на пашне – от 4,5 до 8,0 и на пойме – 3,5 до 7,5.

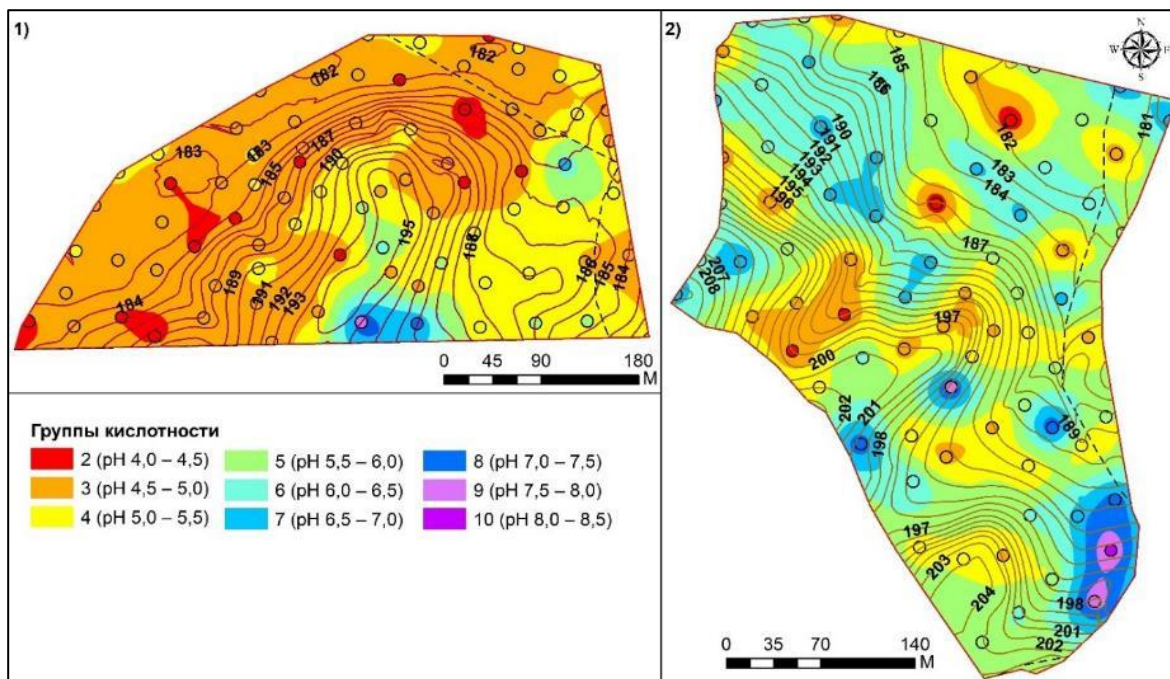


Рис. 1. Картограммы кислотности почв лесных участков

На лесных землях неоднородность кислотности почв обусловлена совокупной гетерогенностью растительности, рельефа и подстилающей породы. Наиболее ярко это выражено на ключе №2.

Значительно меньшую дифференциацию кислотности почв, как внутрипольную, так и между собой, имеют участки на пашне (рис. 2).

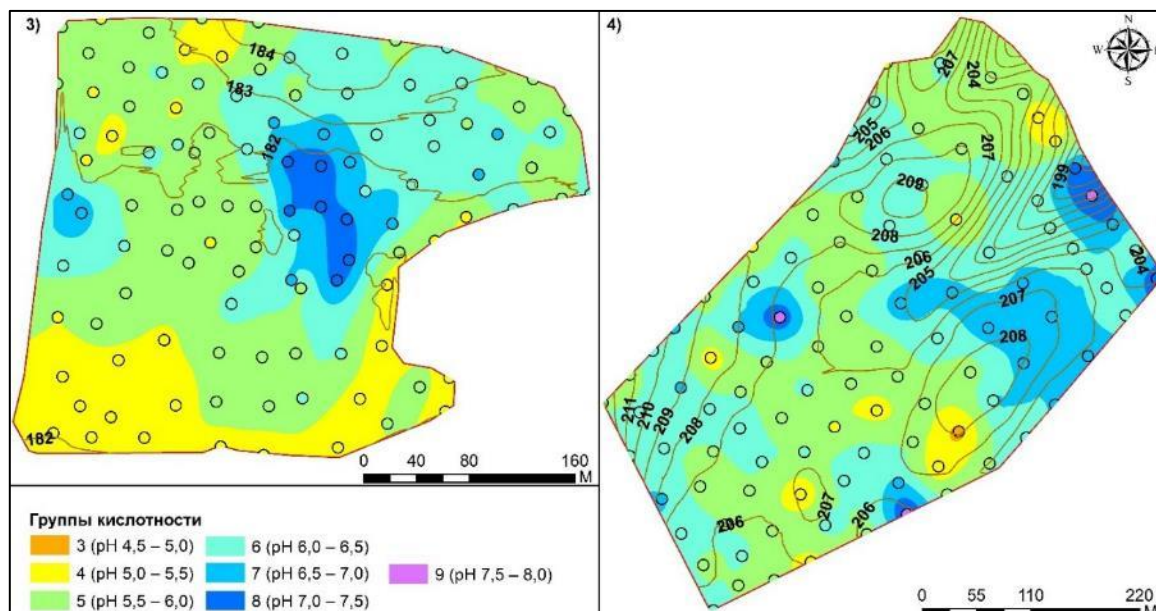


Рис. 2. Картограммы кислотности почв пахотных участков

На пахотных землях кислотность почв не опускается ниже 5,0, однако присутствуют микроконтуры щелочных почв, которые не могут быть учтены при проведении стандартного агрохимического обследования, что негативно отразится на урожайности и приведет к неэффективным затратам.

Почвам луговых земель, представленным участками на пойме, как и лесных массивов, свойственна высокая степень дифференциации кислотности почвы, что отражено на рисунке 3.

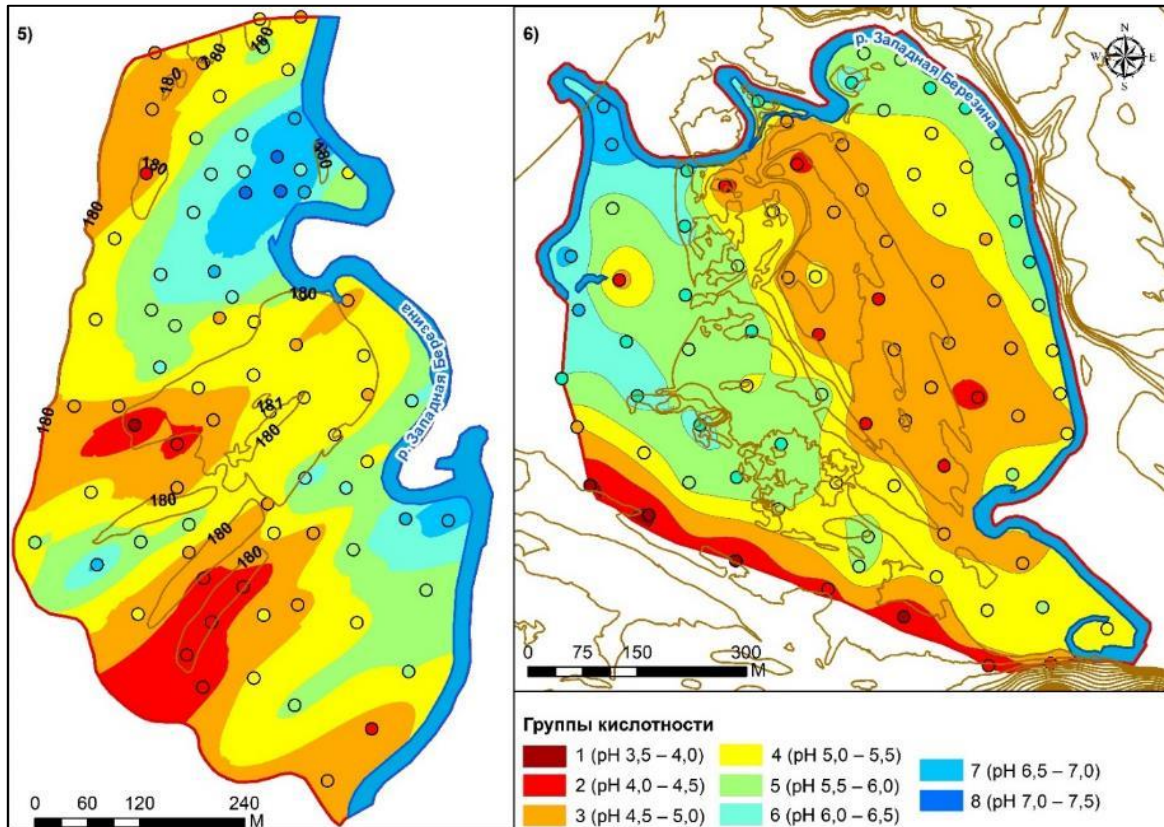


Рис. 3. Картограммы кислотности почв луговых участков

На луговых участках можно выделить контуры кислых и среднекислых почв, приуроченные к аллювиальным гривам, слабощелочных и нейтральных почв с близким залеганием грунтовых вод, а также участки поймы, удаленные от русла, где происходят процессы торфообразования.

Вместе с геостатистическими показателями приведенные карты показывают, что при картографировании в детальном масштабе закономерности распределения кислотности почв могут быть описаны только с помощью современных методов геоинформационного и геостатистического анализа.

В свою очередь, классические представления об однотипном распределении кислотности в почвах конкретной разновидности требуют переосмысления и уточнения.

### Библиографические ссылки

1. Красильников П. В., Таргульян В. О. На пути к «новой географии почв»: вызовы и решения (обзор) // Почвоведение. 2019. № 2. С. 131–139.
2. Heuvelink G. B. M., Webster R. Spatial statistics and soil mapping: A blossoming partnership under pressure // Spatial statistics. 2022. Т. 50. 29 p.
3. Червань А. Н., Киндеев А. Л. Современные направления географии почв и почвенного картографирования // Плодородие почв – основа продовольственной безопасности государства: Материалы VI съезда Белорусского общества почвоведов и агрохимиков, Минск, 21 июля 2022 г. / Институт почвоведения и агрохимии, Белорусское общество почвоведов и агрохимиков; редкол.: Ю.К. Шашко [и др.]. Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. С. 340–344. ISBN 978-985-7149-83-4.
4. Soil survey manual United States Department of Agriculture Handbook No. 18 / Soil Science Division Staff; eds. C. Ditzler, K. Scheffe, H. C. Monger. Columbia region, Washington: Government Printing Office. 2017. 604 p.
5. Савин И. Ю., Жоголев А. В., Прудникова Е. Ю. Современные тренды и проблемы почвенной картографии // Почвоведение. 2019. № 5. С. 517–528.
6. Червань А. Н., Киндеев А. Л., Сазонов А. А. Структура почвенного покрова, педо- и биоразнообразие Березинского биосферного заповедника // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1215–1227.
7. Киндеев А. Л. Перспективные направления геостатистического анализа и стохастического моделирования с учетом экономических издержек при точном земледелии // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2022. № 2. С. 59–70.



## ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ-ЗАДАНИЯ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНДЕКСА NDVI

**И.А. Чекалов**

*РУП «Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси»,  
Витебская обл., аг. Тулово, ул. Витебская, д. 1, email: [ivanchekalov@hotmail.com](mailto:ivanchekalov@hotmail.com)*

В статье изложена методика расчёта карт-заданий для дифференцированного внесения азотных удобрений, позволяющих распределить их по полю в зависимости от густоты стеблестоя. В качестве исходных данных используются мультиспектральные снимки со спутника Sentinel-2 на дату, предшествующую дате проведения подкормки. Обработка снимков, расчёты и подготовка карт-заданий проводится в открытой геоинформационной системе QGIS. Предложенная методика расчёта карт-заданий на основе данных дистанционного зондирования Земли позволяет рационально распределить азотные удобрения по полю, что способствует увеличению валового сбора и окупаемости внесенных удобрений.

**Ключевые слова:** дифференцированное внесение; аппликационные карты; ГИС-технологии; точное земледелие; удобрения; вегетационный индекс.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений – один из наиболее экономически эффективных элементов в системе точного земледелия. Постоянный рост цен на удобрения и ГСМ заставляют аграриев задумываться о более рациональных способах использования ресурсов. Дифференцированное внесение или технология переменного нормирования при выращивании сельскохозяйственных культур является элементом точного земледелия, позволяющим адекватно условиям почва-растение-ландшафт обрабатывать поля и проводить агротехнические приемы выращивания растений по заданному критерию эффективности [1].

Существует два подхода к составлению карт-заданий для внесения удобрений:

– Первый метод, при котором на более плодородных участках поля вносятся повышенные нормы удобрений с целью реализации максимального потенциала культуры, а на более бедных участках норму внесения уменьшают так как экономическая эффективность применения повышенных доз удобрений на таких участках снижается. Такая стратегия наиболее подходит для расчёта норм внесения азотных удобрений ввиду высокой подвижности данного элемента в почве.

– Второй метод противоположен первому, на бедных участках вносятся повышенные дозы удобрений, а на более плодородных участках пониженные с целью выравнивания плодородия на поле. Такой способ пригоден для внесения фосфорных и калийных удобрений при условии, что низкая урожайность обусловлена дефицитом элементов питания, а не другими факторами.

Основой для расчёта карт дифференцированного внесения могут служить такие данные как: результаты агрохимического анализа, данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), цифровая модель рельефа (ЦМР), карты урожайности, полученные с уборочной техники, оснащенной датчиками урожайности.

Растения поглощают свет в двух главных диапазонах спектра: синем (450 нм) и в красном (670 нм), из-за поглощения двух главных пигментов листа: хлорофилла а и в, которые составляют 65 % полного пигмента листа вегетирующих растений.

В ближнем ИК диапазоне (700–1300 нм) оптические свойства листа объясняются его структурой. Пигменты листа и клетчатка прозрачны в этом диапазоне длин волн, и, следовательно, поглотительная способность листа является очень маленькой (10 %-ый максимум), но коэффициент отражения листа и коэффициент пропускания, наоборот, велики и могут достигать 50 %. В этой области в спектре листа есть типичное плато коэффициента отражения («плечо»). Уровень этого плато целиком определяется внутренней структурой листа и свободным пространством в мезофилле, которое определяет различные коэффициенты преломления (воздушные или жидкостные элементы). Коэффициент отражения листа увеличивается при большем количестве гетерогенных форм ячеек структуры листа, а также и с увеличением числа слоев ячеек и их размеров. Этот коэффициент отражения поэтому зависит от относительной толщины мезофилла [1].

Вегетационный индекс NDVI (Normalized difference vegetation index) – один из наиболее распространённых в сельском хозяйстве индексов, отражающий количество фотосинтетически активной биомассы. Для его расчёта используется 4-ый (665 нм) и 8-й (833 нм) каналы спутника Sentinel-2.

Расчёт производится для поля РУП «Витебский зональный институт сельского хозяйства НАН Беларуси» Витебского района Витебской области. Культура – озимая пшеница, сорт «Амелия», площадь – 114,8 га. Под планируемую урожайность 60 ц/га КУПП «Витебская областная проектно-изыскательская станция химизации сельского хозяйства» была рассчитана потребность в азотных удобрениях для этого поля, дозы подкормок составили 70 + 40 + 50 кг/га. Для расчёта вегетационного индекса

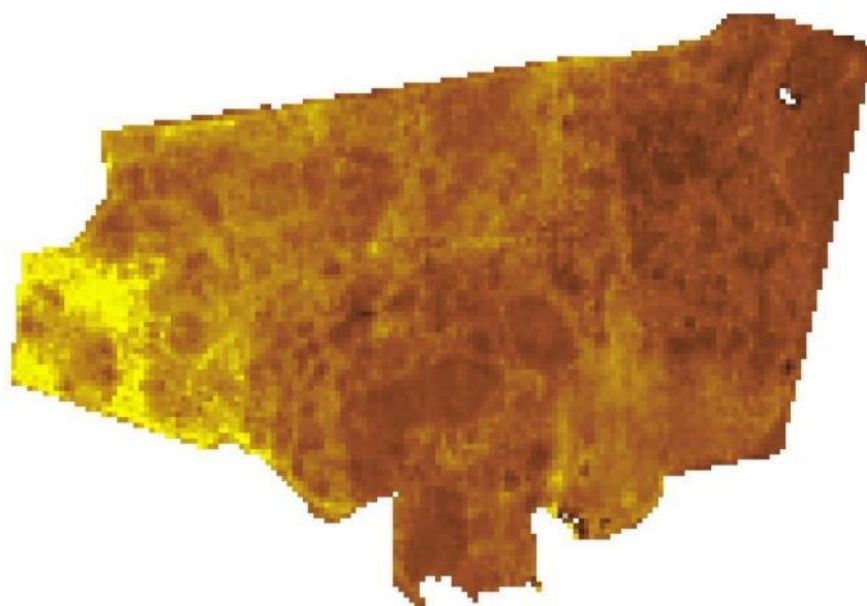
NDVI использованы спутниковые снимки Sentinel-2 за 03.04.2022, 05.05.2022 и 25.05.2022. Для расчёта NDVI применяется формула:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

где NDVI – Значение индекса NDVI; NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра.

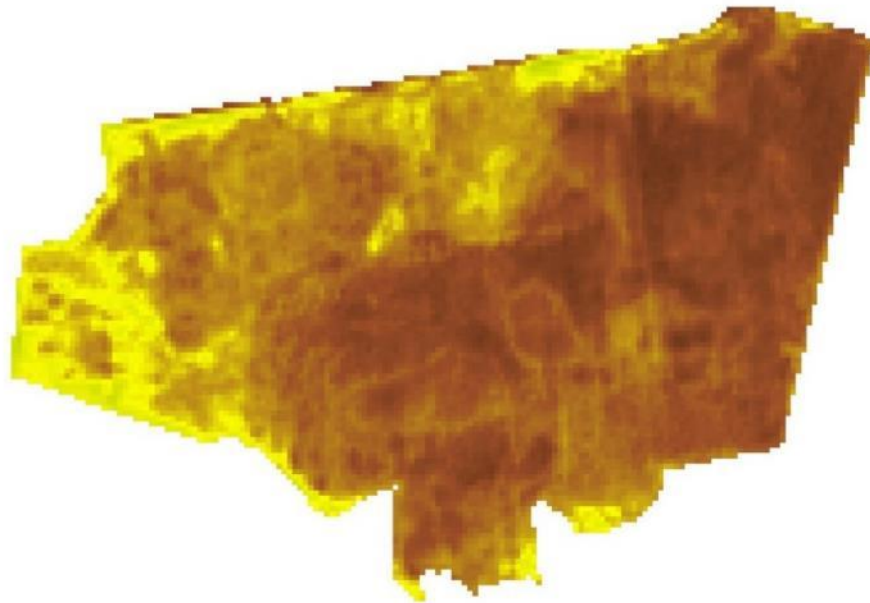
Все расчёты и создание карты-задания проводятся в геоинформационной системе QGIS.

Скачивание спутниковых снимков производится с сайта Copernicus Open Access Hub. После загрузки снимков с помощью калькулятора растров рассчитывается индекс NDVI и обрезается по контуру поля.



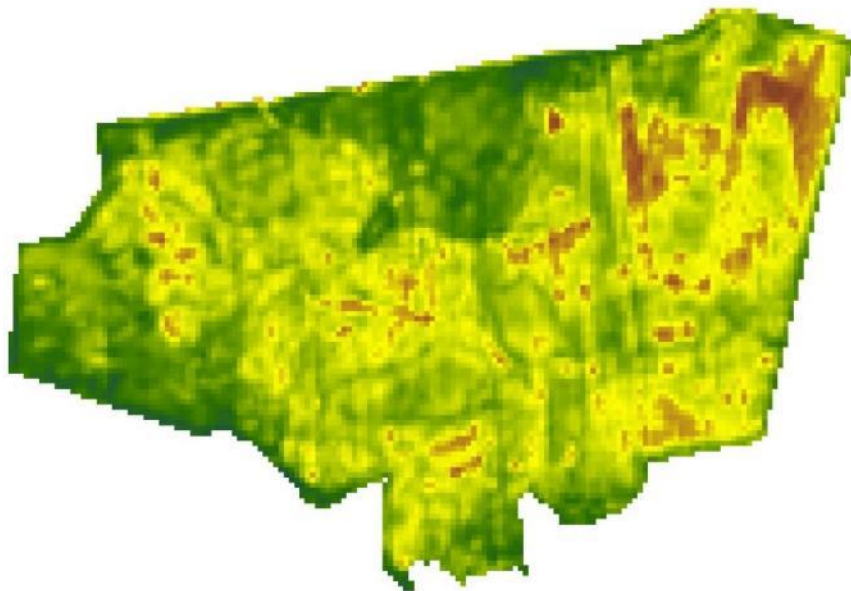
>0.05	0.2	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1

Рис. 1. Индекс NDVI на 03.04.2022



>0.05	0.2	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1

Рис. 2. Индекс NDVI на 05.05.2022



>0.05	0.2	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1

Рис. 3. Индекс NDVI на 25.05.2022



Полученные растры приводятся к разрешению, равному ширине захвата разбрасывателя, и при помощи инструмента *Создание полигонов* конвертируются в полигональный слой, в котором каждый пиксель растра становится полигоном, содержащим в атрибутах значение индекса NDVI. Дальнейший пересчет значения индекса в количество удобрения производится по формуле:

$$НВ = НВ_{\min} + \frac{(НВ_{\max} - НВ_{\min}) \times (NDVI - NDVI_{\min})}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$$

где НВ – норма внесения удобрений в данной зоне, кг/га;  $НВ_{\min}$  – минимальная норма внесения удобрений на данном поле, кг/га;  $НВ_{\max}$  – максимальная норма внесения удобрений на данном поле, кг/га; NDVI – значение индекса в данной зоне;  $NDVI_{\min}$  – минимальное значение индекса на данном поле;  $NDVI_{\max}$  – максимальное значение индекса на данном поле.

Минимальная норма внесения удобрений принимается как рекомендуемая норма, уменьшенная на коэффициент вариации индекса NDVI. Максимальная норма принимается как рекомендуемая норма, увеличенная на коэффициент вариации индекса.

Норма внесения карбамида, кг/га

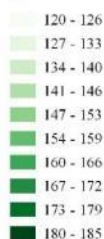


Рис. 4. Карта-задание на первую подкормку

Норма внесения карбамида, кг/га

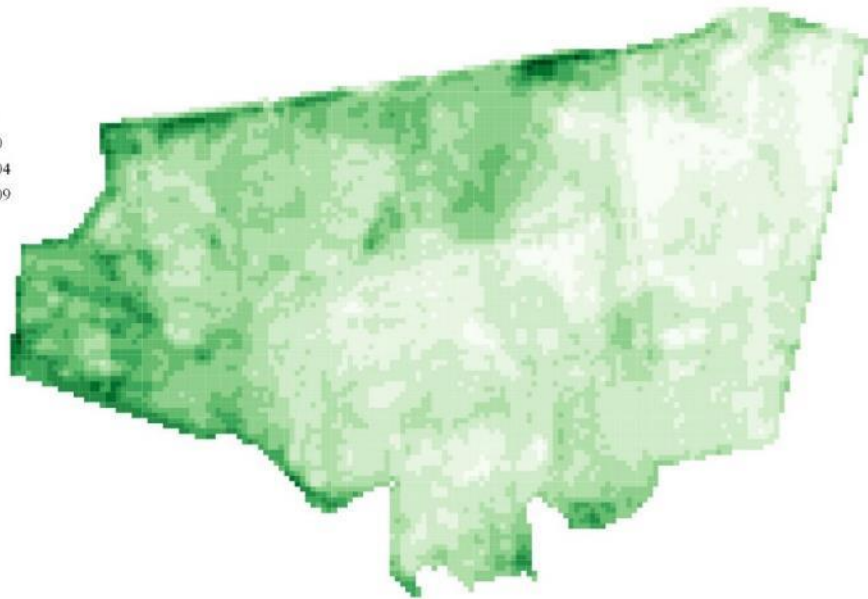
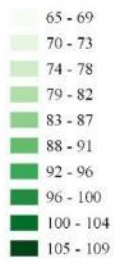


Рис 5. Карта-задание на вторую подкормку

Норма внесения карбамида, кг/га

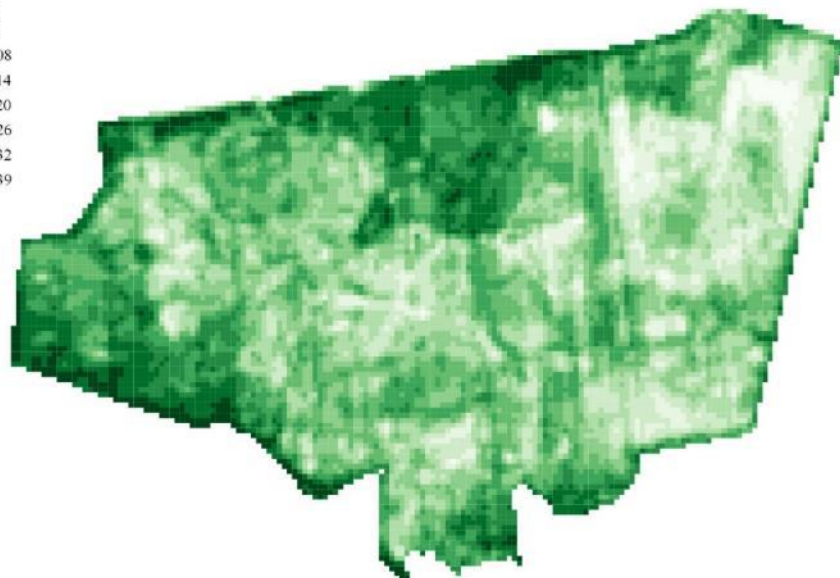
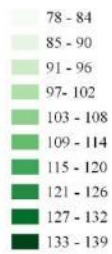


Рис 6. Карта-задание на третью подкормку

При традиционном способе внесения на первую подкормку необходимо 17 470 кг карбамида, на вторую подкормку необходимо 9 983 кг, на третью – 12 478 кг, всего необходимо 39 931 кг карбамида. При внесении по разработанным аппликационным картам необходимое количество удобрений составит: 18 277 кг, 9 059 кг и 12 596 кг соответственно, всего – 39 932 кг. Исходя из расчётов при обоих способах внесения требуется одинаковое количество удобрений, но за счёт более эффективного использования выход валовой продукции при дифференцированном способе внесения увеличится так как в местах с большей густотой стояния вносятся повышенная норма удобрения, что положительно скажется на урожайности этих участков. В местах с разреженным стеблестоем норма внесения понижается, так как малое количество растений не способны усвоить большое количество азота.

Таким образом, предложенная методика расчёта карт-заданий с помощью геоинформационной системы QGIS на основе данных дистанционного зондирования Земли позволяет рационально распределить азотные удобрения по полю, что способствует увеличению валового сбора и окупаемости внесенных удобрений.

### Библиографические ссылки

1. Рубцов С. А., Голованев И. Н., Каптанов А. Н. Аэрокосмические средства и технологии для точного земледелия. М.: МГСХА, 2008. 330 с.
2. Технологии, машины и оборудование для координатного (точного) земледелия / В. И. Балабанов [и др.]; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Москва : Росинформагротех, 2016. 238 с.
3. Труфляк Е. В. Основные элементы системы точного земледелия Краснодар : КубГАУ, 2016. 39 с.
4. Экономическая эффективность off-line дифференцированного внесения минеральных удобрений с использованием менеджмент-зон / О. А. Куцаева // Аграрная экономика. 2020. №8. С. 55–66.
5. Астахов В. С., Иванчиков Г. О. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твёрдых минеральных удобрений и пути их решения // Вестник БГСХА. 2022. С. 133–136.
6. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS / J. W. Rouse [et al.] // Third ERTS Symposium. NASA SP351. 1973. Vol. 1. P. 309–317.
7. Copernicus Open Access Hub [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sci-hub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Дата доступа: 01.02.2023.