

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ  
БЕЛОРУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО



# **МАТЕРИАЛЫ I БЕЛОРУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО КОНГРЕССА**

**К 90-ЛЕТИЮ ФАКУЛЬТЕТА ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ  
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
И 70-ЛЕТИЮ БЕЛОРУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА**

**Минск, 8–13 апреля 2024 г.**

**В семи частях**

**Часть 4**

**ПОЧВЕННЫЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.  
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Научное электронное издание

МИНСК, БГУ, 2024

ISBN 978-985-881-576-9 (ч. 4)  
ISBN 978-985-881-572-1

© БГУ, 2024

УДК 631.41:004.9(06)  
ББК 40.32с51я431

**Редакционная коллегия:**

кандидат географических наук, доцент *Е. Г. Кольмакова* (гл. ред.);  
кандидат географических наук, доцент *Н. В. Гагина*;  
кандидат географических наук, доцент *Ю. А. Гледко*;  
кандидат географических наук, доцент *А. А. Карпиченко*;  
кандидат геолого-минералогических наук, доцент *О. В. Лукашёв*;  
кандидат географических наук, доцент *Е. В. Матюшевская*;  
кандидат географических наук *Л. О. Сушкевич*;  
кандидат географических наук, доцент *А. А. Топаз*;  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. Н. Червань*;  
*Т. С. Юдчиц* (отв. секретарь)

**Материалы** I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. [Электронный ресурс]. В 7 ч. Ч. 4. Почвенные и геохимические исследования. Геоинформационные технологии / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-985-881-576-9.

В рамках международного научного форума «I Белорусский географический конгресс» рассмотрены важнейшие вопросы почвенных и геохимических исследований, геоинформационных технологий анализа и моделирования, включающие проблемы генезиса, эволюции и классификации почв, геохимии ландшафтов, рационального использования земельных ресурсов.

---

**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 *Т. С. Юдчиц*

Подписано к использованию 03.04.2024. Объем 1,68 МБ

Белорусский государственный университет.  
Управление редакционно-издательской работы.  
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.  
Телефон: (017) 259-70-70.  
e-mail: [urir@bsu.by](mailto:urir@bsu.by), <http://elib.bsu.by>

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Акабоев И. З., Мирабдуллаев Б. Б.</i> Исследование загрязнения атмосферы с помощью географических информационных систем .....	7
<i>Артемяева О. В., Алифанов Н. А.</i> Опыт картографирования объектов культурного наследия Русского Севера с использованием географических информационных систем .....	12
<i>Баранов Д. Ю.</i> Геохимическая миграция макроионов Si, Fe, Al, Cu, Zn в элементарных ландшафтах Валдайской возвышенности .....	17
<i>Березко О. А., Васнева О. В., Кононова Т. А., Черевач Е. М., Шиманович В. М., Боброва П. И.</i> Составление карт распространения основных водоносных комплексов на примере белорусской части бассейна реки Западный Буг с применением ГИС-технологий .....	22
<i>Богдасаров М. А., Маевская А. Н., Шешко Н. Н.</i> Методика прогноза и оценки залежей общераспространенных полезных ископаемых территории Брестской области .....	27
<i>Ватутин Г. Д., Филимоненко Е. А., Упорова М. А., Арбузова Е. А., Соромотин А. В.</i> Влияние пожаров на содержание ртути в почвах субарктических экосистем .....	32
<i>Волков А. Ю., Конькова Е. С., Громов С. А.</i> Использование оценки повторяемости крупномасштабных атмосферных переносов воздушных масс при планировании новых станций трансграничного мониторинга ЕМЕП .....	38
<i>Вологодина Л. И., Горбанева Н. С.</i> Разработка туристического геопортала курортного посёлка Домбай и близлежащих территорий .....	43
<i>Воробей М. В., Киндеев А. Л.</i> Крупномасштабное картографирование кислотности почв геостатистическими методами .....	49
<i>Галушин Д. А., Громов С. А.</i> Ретроспективный анализ динамики выпадения серы и азота из атмосферы в районах российских и белорусских станций ЕМЕП по данным моделирования .....	56
<i>Гальченко С. В., Чердакова А. С., Умеренкова А. А.</i> Декоративные растения — фиторемедиаторы городских почв .....	61
<i>Гарбелик А. В., Ермакович В. Р., Саечников В. А.</i> Использование БПЛА в географических исследованиях для создания высокодетализированных карт и 3D-моделей местности .....	66
<i>Гафуров А. М., Кожевникова М. В., Прохоров В. Е.</i> Применение методов машинного обучения для картографирования лесной растительности Республики Татарстан .....	72
<i>Глебова А. Б., Сергеев И. С.</i> Геоинформационный анализ с построением модели нейронной сети для прогноза размещения археологических памятников скифского времени (VIII–III вв. до н. э.) в ландшафтах юго-восточного Алтая .....	77

<i>Гутько Ф. С., Киндеев А. Л.</i> Сравнительный анализ экономической эффективности детального учета кислотности при переходе к системам точного земледелия .....	83
<i>Енчилик П. Р., Семенов И. Н., Безбердая Л. А., Васильчук Дж. Ю., Кошелева Н. Е.</i> Вариабельность содержания химических элементов в гранулометрических фракциях РМ <1 и РМ 1–10 дерново-подзолистых почв (Центрально-Лесной заповедник, Россия) .....	89
<i>Енчилик П. Р., Шопина О. В., Семенов И. Н.</i> Дифференциация содержания подвижных форм элементов в почвах хвойно-широколиственных лесов на разных стадиях постагрогенной сукцессии национального парка «Смоленское Поозерье» (Россия) .....	94
<i>Жидкин А. П., Фомичева Д. В.</i> Особенности эрозии почв и их самовосстановления в северной, центральной и южной лесостепи Среднерусской возвышенности .....	98
<i>Жуховцова А. Н.</i> Учет факторов окружающей среды для кадастровой оценки земель г. Минска.....	103
<i>Замотаев И. В., Грачева Р. Г., Конопляникова Ю. В., Долгих А. В., Карелин Д. В., Белоновская Е. А., Добрянский А. С., Михеев П. В.</i> Почвы полей фильтрации сахарной промышленности в Центральном Черноземье и их агроэкологическая оценка в посттехногенный период .....	108
<i>Иванов М. А.</i> Дешифрирование современной структуры земель на территории Среднего Поволжья РФ по данным Landsat .....	113
<i>Клебанович Н. В., Ересько М. А.</i> О почвенных параметрах оценки устойчивости экосистем территории мезоуровня к антропогенному влиянию....	119
<i>Книга П. В., Парфенов В. В., Савченко С. В., Сосновская Н. Е., Хомич В. С.</i> Динамика содержания тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных геотехсистем крупного города .....	125
<i>Ковальчик Н. В., Суховило Н. Ю.</i> Современное состояние и устойчивость аквальных ландшафтов озера Глубля.....	130
<i>Ковбашин Д. И.</i> Моделирование адаптации земельного проекта к регулированию выбросов парниковых газов (на примере сельскохозяйственных угодий Ставрополя и Калмыкии) .....	135
<i>Колбас А. П., Колбас Н. Ю.</i> Мониторинг содержания тяжелых металлов в почвах лесных ягодников Брестского региона.....	140
<i>Костюченко Н. Н., Подлужная А. М., Волчек А. А.</i> Накопление тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах при различных сроках хранения подстилочного навоза в полевых условиях .....	145
<i>Крицков И. В., Лим А. Г., Лойко С. В., Кулижский С. П., Покровский О. С.</i> Органогенная речная взвесь — важный источник CO <sub>2</sub> в реках Западной Сибири .....	150



<i>Крицков И. В., Лойко С. В., Кулижский С. П., Покровский О. С.</i> Сезонная динамика взвешенного стока в некоторых реках бассейна Средней Оби.....	155
<i>Кузьмина Д. М., Лойко С. В., Лим А. Г., Истигечев Г. И., Кулижский С. П., Покровский О. С.</i> Выщелачивание химических элементов из органогенных горизонтов торфяных и минеральных почв лесоболотных ландшафтов северной тайги Западной Сибири.....	160
<i>Кухарчик Т. И., Какарека С. В., Рябычин К. О., Мелешко А. А., Чернюк В. Д., Кудревич М. А.</i> Методические подходы к изучению загрязнения почв пластиком и микропластиком.....	164
<i>Ласточкина С. И.</i> Теоретико-правовые аспекты рационального использования земельных ресурсов, земельно-имущественные отношения и механизмы управления и охраны земель в контексте действующего земельного законодательства Республики Беларусь.....	169
<i>Лим А. Г., Лойко С. В., Крицков И. В., Кузьмина Д. М., Кулижский С. П., Покровский О. С.</i> Запасы химических элементов в дисперсном льду молодых тундровых болот и реликтовых раннеголоценовых полигональных болотах Западной Сибири.....	174
<i>Лим А. Г., Лойко С. В., Раудина Т. В., Крицков И. В., Кулижский С. П., Покровский О. С.</i> Химические элементы в почвах плоскобугристого болота зоны прерывистого распространения многолетней мерзлоты (Западная Сибирь).....	178
<i>Лисецкий Ф. Н., Полетаев А. О., Родионова М. Е.</i> Оценка изменения органического углерода и плодородия постагрогенных лесостепных почв в районе длительного землепользования.....	183
<i>Лозбенева Э. А., Калуцкова Н. Н.</i> Исследования эстетического восприятия ландшафта дистанционными методами.....	188
<i>Лойко С. В., Кузьмина Д. М., Истигечев Г. И., Крицков И. В., Лим А. Г., Климова Н. В., Кулижский С. П., Покровский О. С.</i> Влияние процессов закустаривания в южной тундре Западной Сибири на почвы.....	193
<i>Лойко С. В., Лим А. Г., Крицков И. В., Истигечев Г. И., Кулижский С. П., Покровский О. С.</i> Гидрохимические свойства льда в торфяно-мерзлотной катене полигонального болота южной тундры Западной Сибири.....	198
<i>Мартын И. А.</i> Геоинформационная система гидрометеорологического обеспечения при низкой освещенности океанологической и гидрологической обстановки территории.....	203
<i>Мергелов Н. С., Горячкин С. В., Зазовская Э. П., Долгих А. В.</i> Супрагляциальные почвы и почвоподобные тела: разнообразие и органоминеральные взаимодействия.....	208
<i>Метлицкий И. В., Киндеев А. Л., Карпиченко А. А.</i> Взаимосвязь кислотности почв как индикатора загрязнения тяжелыми металлами урболандшафтов и теплового загрязнения на примере г. Жабинки.....	212

<i>Михальчук Н. В., Качанович П. В.</i> Оценка воздействия полигонов твердых коммунальных отходов Брестской области на подземные воды и почвы сопредельных территорий .....	216
<i>Раецкая О. С.</i> Применение геоинформационных технологий для представления результатов сейсмологических наблюдений в Антарктике, включая район размещения белорусской антарктической станции.....	221
<i>Раудина Т. В., Истигечев Г. И., Смирнов С. В.</i> Изучение фотохимической трансформации растворенного органического вещества и поведения металлов в природных водах северной тайги Западной Сибири .....	228
<i>Ревина О. А.</i> Особенности природной и антропогенной миграции цинка на территории Смоленской области.....	232
<i>Романкевич Ю. А.</i> Особенности распределения тяжелых металлов в донных отложениях прудов г. Несвижа.....	236
<i>Романов С. Л., Червань А. Н.</i> О специфике пространственного распространения онкологических заболеваний на территории юго-востока Беларуси .....	243
<i>Тренева М. Г., Ракова А. И.</i> Особенности автоматизированного ретроспективного геокодирования этнографических данных.....	250
<i>Усманов Б. М., Гафуров А. М., Кожевникова М. В., Тишин Д. В.</i> Оценка биомассы лесной растительности на территории полигона «Карбон-Поволжье» по данным ВЛС.....	255
<i>Хомяков П. В., Иванов М. А.</i> Построение цифровых моделей дна мелководий Куйбышевского водохранилища по данным батиметрической съемки .....	260
<i>Червань А. Н., Давидович Ю. С.</i> Методика и принципы типологии геосистем Белорусского Полесья.....	265
<i>Чердакова А. С., Гальченко С. В., Егорова С. А.</i> Роль гуминовых препаратов в восстановлении экологического состояния загрязненных почв.....	271
<i>Яковлев А. С., Шкрябина М. А., Магид Е. А.</i> Применение методов геоинформационного картографирования для комплексного представления неосвоенных территорий стран БРИКС.....	277
<i>Zhao B., Chervan A. N.</i> A method of detecting soil degradation in the Central soil-ecological province of Belarus based on open remote sensing images .....	282

УДК 004.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**И. З. Акабоев<sup>1)</sup>, Б. Б. Мирабдуллаев<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Наманганский государственный университет, Давлатабадский район 3-50-81,  
г. Наманган, Узбекистан, [iakaboev@mail.ru](mailto:iakaboev@mail.ru)*

<sup>2)</sup>*Наманганский государственный университет, село Мингбулок, Марифат 7,  
Улугнорский район, Андижанская обл., Узбекистан, [b.mirabdullayev.007@gmail.com](mailto:b.mirabdullayev.007@gmail.com)*

В статье на основе статистических данных изучено состояние загрязнения атмосферного воздуха Ферганской долины в 2012-2021 гг., тщательно проанализированы источники загрязнения, а также выделены преимущества дистанционных исследований с использованием современных геоинформационных систем и электронных карт.

**Ключевые слова:** источники выбросов загрязнения; предел допускаемый концентрация (ПДК); пыль; аэрозоли; оценка загрязнения атмосферного воздуха; атмосферный воздух; база данных; геоинформационная система; пространственный анализ; электронные карты.

## RESEARCH OF ATMOSPHERIC POLLUTION USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

**I. Z. Akaboyev<sup>1)</sup>, B. B. Mirabdullayev<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Namangan State University, Davlatabad district 3-50-81,  
Namangan city, Uzbekistan, [iakaboev@mail.ru](mailto:iakaboev@mail.ru)*

<sup>2)</sup>*Namangan State University, Mingbulok village, Marifat 7,  
Ulugnor district, Andijan region, Uzbekistan, [b.mirabdullayev.007@gmail.com](mailto:b.mirabdullayev.007@gmail.com)*

In this article, based on statistical data, the state of atmospheric air pollution in the Ferghana Valley in 2012-2021 was studied, the sources of pollution were carefully analyzed, and the advantages of remote studies using modern geoinformation systems and electronic maps were highlighted.

**Keywords:** sources of pollution emissions; Maximum permissible concentration (MPC); dust; aerosols; assessment of atmospheric air pollution; atmospheric air; database; geoinformation system; spatial analysis; electronic maps.

Атмосферный воздух как компонент природных ресурсов является национальным достоянием и охраняется государством. Человек может прожить без воды несколько дней, без еды — месяц, а без воздуха — всего

несколько минут. Загрязнение воздуха всегда вызывало беспокойство из-за его вредного воздействия на здоровье человека. Загрязнение воздуха отрицательно влияет на здоровье человека и является одной из причин аллергии и заболеваний органов дыхания. Вот почему качество воздуха, которым мы дышим, очень важно.

Загрязнение атмосферы можно определить как превышение допустимой концентрации (ПДК) химических отходов, аэрозолей и взвешенных отходов в составе атмосферного воздуха. ПДК на протяжении всей жизни, которая прямо или косвенно не оказывает неблагоприятного воздействия на настоящее или будущее поколение, не снижает работоспособность человека, не ухудшает его состояние и санитарно-бытовые условия жизни.

Загрязнение атмосферы подразделяется на естественное и антропогенное. Изменения химического состава атмосферы и количества аэрозолей естественным путем наблюдаются уже много лет, и сама природа имеет возможность ее очистить. Однако, похоже, антропогенное влияние, кажущееся нам незначительным, оказывается чрезмерным для природы. В XXI в. 90,1 % загрязнений атмосферы происходит из природных источников и 9,9 % из антропогенных источников (рис.1), схема создана авторами на основе информации с сайта [www.uznature.uz](http://www.uznature.uz).

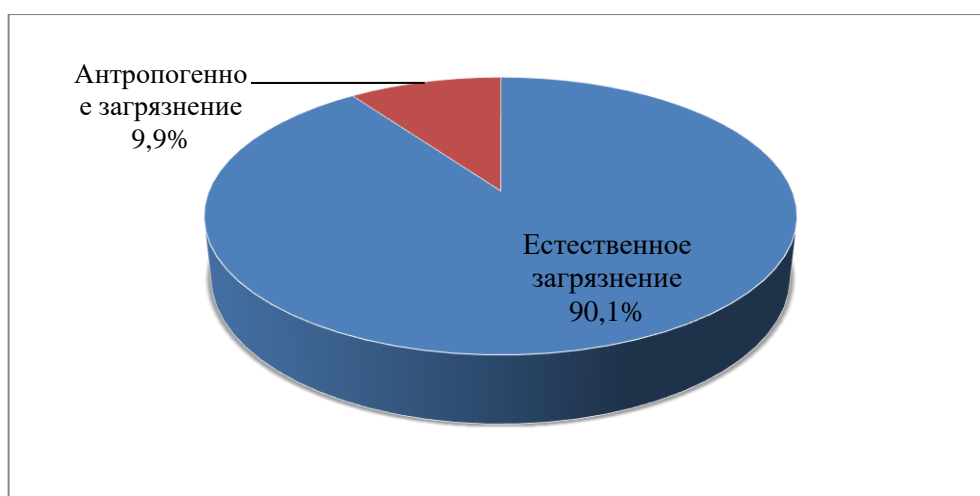


Рис. 1. Доля природных и антропогенных факторов в загрязнении атмосферы

Мониторинг загрязнения воздуха отслеживается и изучается в странах мира на протяжении многих лет. В сегодняшний век передовых технологий такие исследования позволяют всестороннее обучение по всему миру с помощью передовых технологий. В частности, доказано, что прогнозировать показатели загрязнения можно с помощью высокоточных приборов мониторинга и геоинформационных систем. Многие страны совместно друг с другом создают специальные «карты показателей

загрязнения атмосферы» и публикуют данные на официальных сайтах. Правильное и эффективное использование этих ресурсов будет способствовать активизации мероприятий по охране атмосферного воздуха. Благодаря картам и технологиям, показывающим состав атмосферного воздуха и происходящие в нем процессы, можно наглядно увидеть ситуацию на определенной территории в режиме реального времени. Также с помощью атмосферных воздушных масс и направлений ветра, скорости и других динамических показателей можно определить уровень и степень загрязнения атмосферы на одну или несколько недель вперед (рис. 2).

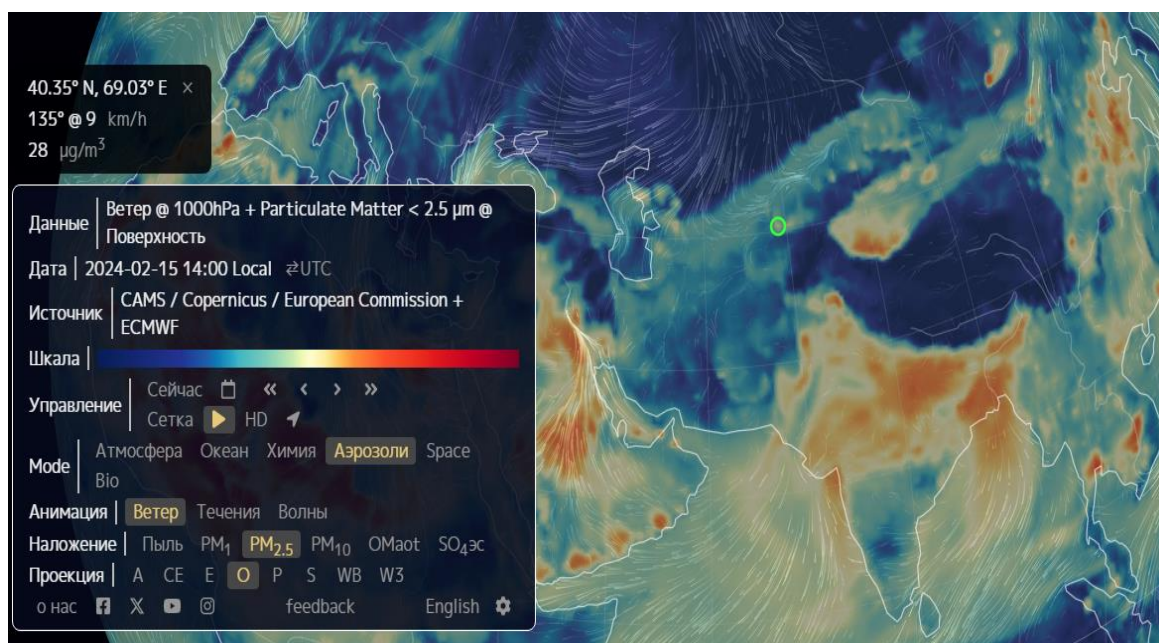


Рис. 2. Источник: <https://earth.nullschool.net/ru>

Как и в развитых странах, мониторинг загрязнения атмосферного воздуха Узгидрометом осуществляется в Узбекистане в соответствии с постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан № 737 от 5 сентября 2019 г. «О совершенствовании системы государственного мониторинга природной среды в Узбекистане». В Республика Узбекистане на 63 стационарных наблюдательных пунктах в 25 городах (Алмалык, Ангрен, Андижан, Бекобад, Бухара, Гулистан, Денов, Кокан, Когон, Карши, Маргилан, Мубарак, Навои, Наманган, Нукус, Нурабад, Самарканд, Сариосия, Ташкент, Ургенч, Фергана, Чирчик, Шахрисабз, Янгйул). На пунктах мониторинга ведется мониторинг 12 загрязнителей воздуха [4].

Основными загрязняющими веществами, измеряемыми на стационарных точках мониторинга, являются оксиды азота (NO), диоксид азота

(NO<sub>2</sub>), диоксид серы (SO<sub>2</sub>), оксид углерода (CO), взвешенные частицы (пыль), а также аммиак (NH<sub>3</sub>) и озон (O<sub>3</sub>).

Современные измерительные приборы, используемые при определении и изучении состояния загрязнения атмосферы, наблюдаемые в столице нашей республики с последних лет, и анализы базы международной компании IQ Air показали, насколько необходимо использовать современные технологии. Ведь до внедрения этих технологий и методов факт загрязнения воздуха в Ташкенте на таком уровне не был определен точными данными и измерениями. В этом заключается необходимость уделять достаточно внимания атмосфере столичного региона. В результате Ташкент стал одним из «лидеров» в рейтинге городов с наибольшим загрязнением воздуха в мире. Результаты многих анализов показывают, что атмосфера Ферганской долины становится сильно загрязненной. Например, при анализе данных метеостанций, расположенных в долине, показано, что индекс загрязнения увеличился в 2,5 раза (рис. 3, составлено авторами на основе данных Наманганского метеопоста).

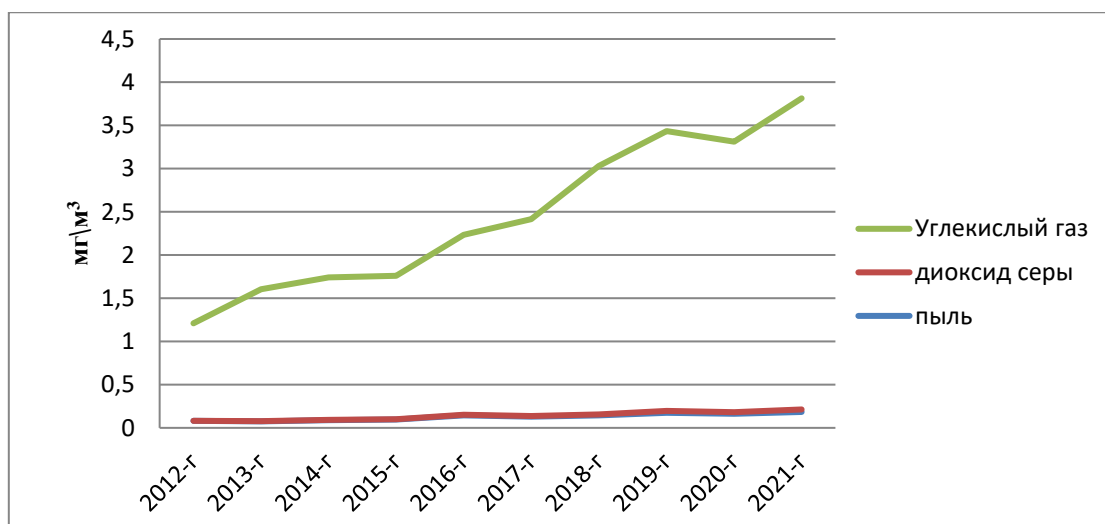


Рис.3. Состояние загрязнения атмосферы города Намангана в 2012-2021 гг.

Однако это также информация, полученная с помощью технологически устаревших средств измерений и методов. Потому что в долине до сих пор не используются современные измерительные приборы и технологии определения состава атмосферного воздуха. Это, в свою очередь, скрывает реальную ситуацию и препятствует реализации комплексной экологической политики, основанной на заблаговременных планах.

В заключение можно сказать, что многие научные инновации выявляются при изучении загрязнения атмосферного воздуха с помощью современных измерительных технологий и геоинформационных систем.

Удобно обобщать полученную информацию и обмениваться информацией друг с другом. Это, в свою очередь, помогает эффективно использовать информацию и точно отслеживать состояние загрязнения атмосферы. С помощью геоинформационных систем, путем мониторинга уровня загрязнения в отдаленных районах и доведения данных до населения, у людей создается стимул к предотвращению загрязнения атмосферного воздуха. Исследование загрязнения атмосферы с использованием геоинформационных технологий — это важное направление, которое позволяет эффективно анализировать и мониторить качество воздуха в различных регионах. Вот некоторые шаги и аспекты, которые могут включаться в такое исследование: сбор данных, геоинформационная система (ГИС), мониторинг и анализ, прогнозирование, информирование общества, сотрудничество. Геоинформационные технологии значительно облегчают анализ и визуализацию данных, что способствует более эффективному пониманию и управлению проблемой загрязнения воздуха.

### Библиографические ссылки

1. *Глаголев В. А., Баженов Р. И.* Реализация геоинформационной системы качественной оценки загрязнения атмосферного воздуха городской территории // Вестник НГИЭИ. 2017. № 12 (79). С. 43–52.
2. [www.uznature.uz](http://www.uznature.uz).
3. <https://earth.nullschool.net/ru>.
4. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 5 сентября 2019 года № 737.
5. *Akaboyev I. Z., Mirabdullayev B. B.* The importance of electronic maps in the distribution of agricultural Theoretical & Applied Science. № 4 (84).P. 123–126.
6. *Кориев М. Р.* Namangan viloyati atmosfera havosining ifloslanishi. География: Природа и Общество. 2021. № 2(1).
7. *Mirabdullayev B.* Increase in the amount of aerosols polluting the atmospheric air.
8. *Akaboev I. Z., Mirabdullaev B. B.* Some aspects of the process of creating an industrial map using arcgis. Экономика и социум. 2020. № 11 (78). С. 50–56.
9. *Акабоев И. З., Хакимов М. М., Турдалиев И. Э.* Значение экологических карт в охране природы и окружающей среды. Экономика и социум. 2023. № 6-1 (109). С. 593–598.
10. *Soliev A. E., Berdiyev G. H., Akbarov G. A.* Statistical and comparative analysis of temperature and oil in Fergana. 2022.



УДК 528.94:004.9:904

## **ОПЫТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ РУССКОГО СЕВЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**О. В. Артемьева, Н. А. Алифанов**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская набережная, д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия, [ovartemyeva@mail.ru](mailto:ovartemyeva@mail.ru)*

Сохранение и сбережение объектов культурного наследия в настоящее время является одной из главных государственных задач. Северные территории Российской Федерации хранят уникальные объекты культуры, созданные руками различных народов, их количество исчисляется сотнями и тысячами. Статья демонстрирует опыт разработки серии разномасштабных карт инструментами геоинформационного картографирования с целью попытки создания ряда обобщенных классификаций, до сих пор не отраженных в разработках сферы картографии. Данное исследование может помочь региональным администраторам упорядочить знания об объектах культурного наследия Русского Севера и способствовать развитию туризма на севере Российской Федерации.

**Ключевые слова:** объекты культурного наследия; Русский Север; тематическое картографирование; объекты культуры федерального и регионального значения.

## **EXPERIENCE OF MAPPING CULTURAL HERITAGE OBJECTS OF THE RUSSIAN NORTH USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS**

**O.V. Artemeva, N. A. Alifanov**

*Saint Petersburg State University, Universitetskaya Emb., 7–9, 199034, St. Petersburg, Russia, [ovartemyeva@mail.ru](mailto:ovartemyeva@mail.ru)*

Preservation and conservation of cultural heritage sites is currently one of the main government tasks. The northern territories of the Russian Federation contain unique cultural objects created by the hands of various peoples; their number amounts to hundreds and thousands. The article demonstrates the experience of developing a series of different-scale maps using geoinformation-mapping tools in order to try to create a number of generalized classifications that have not yet been reflected in the developments of the field of cartography. This study can help regional administrators organize knowledge about the cultural heritage sites of the Russian North and promote the development of tourism in the north of the Russian Federation.

**Keywords:** cultural heritage objects; the Russian North; thematic mapping; cultural objects of federal and regional importance.



Сохранение исторического и культурного богатства прошлого — одна из главных государственных задач. Одним из способов подчеркнуть особую роль того или иного памятника истории является придание ему статуса объекта культурного наследия, который позволяет находиться под наблюдением и охраной федеральных или местных органов власти.

Средоточием подобных памятников является Русский Север — историческая территория, занимающая часть современного Северо-Западного федерального округа. Уникальные объекты культуры, созданные поморами, карелами, саами [1], вкуче с памятниками, появившимися позднее, распределены по значительной площади, а их количество исчисляется тысячами.

На порталах органов власти каждого субъекта федерации, входящего в состав Русского Севера, можно найти перечни объектов культурного наследия, оформленные в виде таблиц или списков. Однако при большом числе памятников перечни занимают десятки страниц, по причине чего затрудняется поиск ошибок в списках, оказываются ограниченными возможности анализа и систематизации подобных объектов в рамках государственного учёта или научных исследований. Расширить возможности анализа и упростить его в таких случаях может помочь географическая карта — оперативный и наглядный способ представления информации [2].

Удобной средой для создания карт на основе обширной базы данных является географическая информационная система (ГИС). Она отвечает за сбор, обработку, анализ и хранение пространственной информации и связанных с ней атрибутивных данных. Базы данных в ГИС являются и источником анализа, и хранилищем информации в целях ее дальнейшей визуализации и обработки.

В Институте наук о Земле СПбГУ уже проводились работы по картографированию объектов культуры [3], однако настоящим проектом был реализован опыт геоинформационного картографирования не только серии карт различных масштабов, отражающих размещение объектов культурного наследия на территории Русского Севера, но и их качественные и функциональные характеристики. В ходе составления карт серии авторы опирались на такие издания, как Национальный атлас Арктики [4] и Национальный атлас России [5], на труды современных ученых-картографов, продолжающих традиции тематического картографирования, заложенные Берлянтон А. М., Ведениным Ю. А. [6], Боярским П. В., Ельчаниновым А. И. [7, 8], Свешниковым В. В. [9].

Итогом проведенной работы являются несколько карт: «Русский Север. Объекты храмовой архитектуры федерального значения»; дающая часть упомянутой карты в более крупном масштабе карта «Русский Север.

Объекты храмовой архитектуры Заонежья»; «Русский Север. Объекты промышленной и гражданской архитектуры федерального значения»; «Русский Север. Объекты культурного наследия регионального значения» (рис. 1, 2).

В отличие от карт подобной тематики, представленных на геопорталах и сайтах органов власти субъектов федерации, обычно рассматривающих памятники культуры с точки зрения только некоторых классификаций, для изображения объектов на картах серии применялось сравнительно большее число классификационных подходов. Помимо законодательно установленного разделения по видам (на памятники, ансамбли и достопримечательные места), по территориальному статусу (объекты федерального, регионального и местного значения), а также выделения отдельной группы объектов культурного наследия ЮНЕСКО, авторы предлагают дополнительно подразделять памятники по качественной содержательной составляющей, т. е. по типам, среди которых — объекты храмовой, промышленной и гражданской архитектуры и др. На карте, например, посвященной памятникам Заонежья, храмы по архитектурным особенностям группируются на клетские и шатровые.

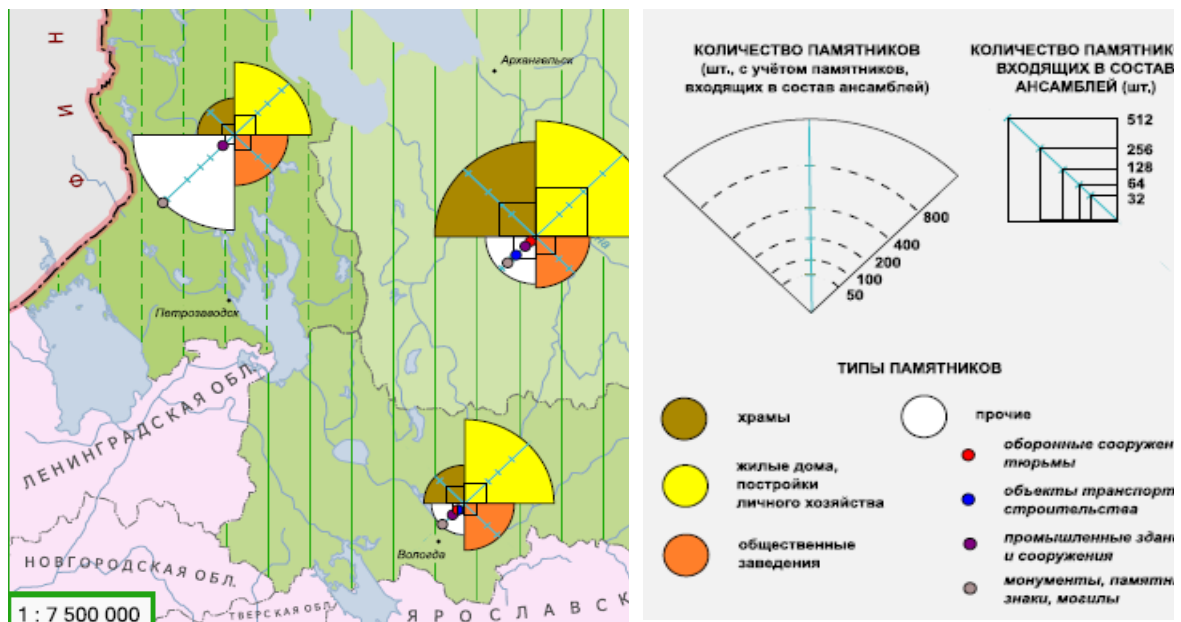


Рис. 1. Фрагмент изображения и легенды карты «Русский Север. Объекты культурного наследия регионального значения»

Общегеографическая нагрузка карт была получена средствами ГИС QGIS, условные знаки были выполнены в среде графического редактора Inkscape. При построении картодиаграмм для карты объектов

регионального значения ансамбли были отображены как совокупности памятников, и их доля была показана в общем числе памятников определенного типа. Построение картодиаграмм проводилось в графическом редакторе Inkscapе. Создание шкалы количества памятников, отображаемой на диаграмме, проводилось следующим образом: было решено, что число объектов может быть выражено площадью сектора, а это ведет к построению концентрических окружностей площадью 200, 400, 800, 1600, 3200 кв. мм. Соответствующие окружности, таким образом, показали 50, 100, 200, 400, 800 памятников в отдельном секторе.

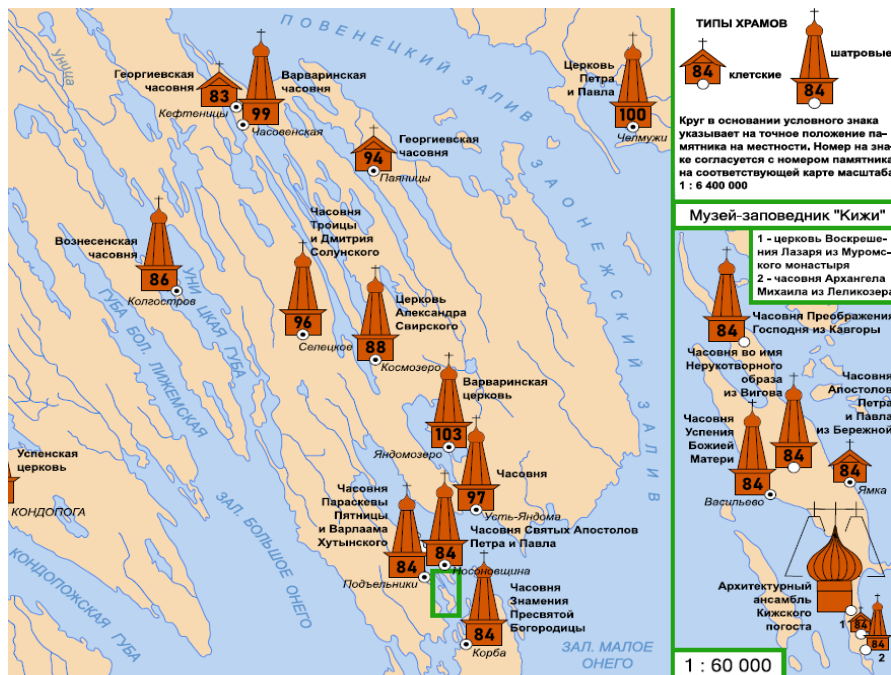


Рис.2. Фрагмент карты «Русский Север. Объекты храмовой архитектуры Заонежья»

При создании карты об объектах храмовой архитектуры федерального значения был разработан общий принцип отображения принадлежности объекта к памятникам или ансамблям: так как во многих населенных пунктах находится несколько объектов, решено было вместо собственно объектов показывать населённые пункты, применяя к ним геометрический значок в виде кружка в случае, когда на их территории расположены только памятники, значок в форме квадрата — когда в пунктах представлены только ансамбли, совмещенный значок кружка и квадрата — в случае нахождения в пункте и памятников, и ансамблей. Использование простых геометрических фигур в качестве условного обозначения оправдано по причине большого числа близко расположенных населенных пунктов на карте храмовой архитектуры; при отображении прочих объектов федерального значения кружки и квадраты

удобны для показа доли памятников и ансамблей разных типов в отдельном пункте.

Авторы придерживаются мнения, что данные карты, созданные методами геоинформационного картографирования как результат функционирования ГИС, могут служить основой для пропаганды интереса широкой публики к объектам культуры Русского Севера, а атрибутивные базы данных, заложенные в ядро информационной системы, хранилищем информации для удобства принятия решений администраторами региональных уровней по вопросу сбережения уникального наследия прошлого.

### Библиографические ссылки

1. Жуков П. В. Развитие инфраструктуры туризма в условиях русского Севера // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. 2013. № 5. С. 67–72.
2. Разработка электронных карт объектов культурного наследия Русского Севера / О. В. Артемьева [и др.] // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2023. Т. 29, № 2. С. 307–323.
3. Артемьева О. В., Воробей Р. Ю. Объекты культурного наследия Русского Севера: особенности разработки базы данных для создания электронных картографических моделей // Научные исследования и инновации: сборник статей X Международной научно-практической конференции «Научные исследования и инновации». Саратов : Изд-во «Цифровая наука», 2021. С. 427-432.
4. Национальный атлас Арктики. Москва: АО «Роскартография», 2017. 496 с.
5. Национальный атлас России. Т. 4: История. Культура / Гл. ред. Ю. А. Веденин. М.: Роскартография, 2008. 496 с.
6. Картографирование наследия России / М-во культуры Рос. Федерации, Рос. акад. наук. Рос. науч.-исслед. ин-т культур. и природ. наследия им. Д.С. Лихачева. Москва, 2003. 182 с.
7. Боярский П. В., Ельчанинов А. И. Культурное, духовное и природное наследие в национальном атласе Арктики // ИнтерКарто. ИнтерГИС, 2018. Т. 24, № 1. С. 485-500.
8. Ельчанинов А. И. Картографирование культурного и природного наследия России // Геодезия и картография. 2013. № 2. С. 39–47.
9. Ельчанинов А. И. Научное наследие В. В. Свешникова и его вклад в развитие комплексного и тематического картографирования // Геодезия и картография. 2016. № 8. С. 41–50.

УДК 504.54

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ МАКРОИОНОВ  
Si, Fe, Al, Cu, Zn В ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЛАНДШАФТАХ  
ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

**Д. Ю. Баранов**

*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского, ул. Косыгина 19,  
стр.1, 199911, г. Москва, Россия, [dmitrybaranovjob@gmail.com](mailto:dmitrybaranovjob@gmail.com)*

Исследована геохимическая миграция элементов в почвенных водах, формирующихся в пределах элементарных ландшафтах Валдайской возвышенности. Рассмотрены изменения поведения элементов при изменении pH и увеличении глубины формирования почвенных вод. Обобщены данные наблюдений с 2015 по 2019 гг. на основе проведения натурального эксперимента.

**Ключевые слова:** геохимическая миграция; элементарные ландшафты; почвенные воды; Валдайская возвышенность.

**GEOCHEMICAL MIGRATION OF MACRO-IONS, SI, FE, AL, CU,  
ZN IN LANDSCAPES FACIES OF THE VALDAY UPLANDS**

**D. Yu. Baranov**

*Vernadsky Institute, st. Kosygina 19 build. 1,  
199911, Moscow, Russia, [dmitrybaranovjob@gmail.com](mailto:dmitrybaranovjob@gmail.com)*

The geochemical migration of elements in soil waters formed within the elementary landscapes of the Valdai Upland has been studied. Changes in the behavior of elements with changes in pH and an increase in the depth of soil water formation are considered. Observational data from 2015 to 2019 are summarized based on a full-scale experiment.

**Keywords:** geochemical migration; elementary landscapes; soil waters; Valdai Upland.

Элементарные ландшафты характеризуются резкой дифференциацией вещества и физико-химических условий в вертикальном разрезе. Почвы являются компонентом ландшафта, который развивается при взаимодействии между другими его компонентами, а также отражает материальный состав и состояние процесса. Наиболее динамичной средой в почвах являются почвенные растворы. С почвенным раствором происходит миграция элементов, перераспределение веществ по профилю почвы и их вынос в сопредельные среды [1]. Польшов (1953) отмечал, что системообразующую роль в сопряженных почвах и элементарных

ландшафтах играет миграция химических элементов [2]. В настоящее время, важным вопросом является определение прямых и обратных связей во внутреннем строении элементарного ландшафта. Поэтому исследование было направлено на оценку изменения химического состава почвенных вод в трансэлювиальном и элювиальном видах элементарных ландшафтов с учетом вертикальных изменений состава почвенного профиля.

На исследуемом участке Валдайской возвышенности можно выделить все основные типы элементарного ландшафта по условиям миграции элементов: элювиальный, трансэлювиальный, супераквальный и субаквальный [3]. Наиболее интересным для исследования является оценка различий между элювиальным и трансэлювиальными типами элементарных ландшафтов, главные аспекты которых заключаются в особенностях рельефа и почвенных горизонтов.

Целью исследования являлось изучение химического состава почвенных вод, формирующихся в различных звеньях элементарных ландшафтов и оценка путей вертикальной миграции макроионов и Si, Fe, Mn, Al, Cu, Zn.

В работе отражены результаты исследований, которые проводились в период с 2015 по 2019 гг. на экспериментальном участке Валдайской возвышенности, расположенным в 20 км на СЗ от г. Валдай рядом с оз. Гусиное. было заложено 6 лизиметрических установок, учитывающих влияние почвенных слоев и рельефа на миграцию элементов в зоне аэрации. В элювиальном и трансэлювиальном видах элементарного ландшафта почва оказывает преобладающее влияние на изменение состава лизиметрических вод. Лизиметры были заложены в почвенный субстрат с ненарушенным строением на глубине 20 и 30 см на локальном поднятии (холме) с относительно ровным рельефом и на пологом склоне холма. Почвенный фильтрат отбирали систематически в весенне-осенний сезон в среднем один раз в 1,5 месяца. Растительность представлена сосняком черничным свежим с редким подлеском [4]. В течение 48 ч. после отбора проб почвенных растворов определяли pH, электропроводность, мутность, цветность, щелочность, содержание основных анионов. Элементный состав определяли методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в Институте геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского (ГЕОХИ РАН).

*Элювиальный тип элементарного ландшафта.* Содержание основных катионов и анионов (Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>) в почвенных водах генетического горизонта А растет изменении значений pH от слабокислого к нейтральному. Отмечается повышение концентраций K и Na почти в 3 раза, SO<sub>4</sub> — в 7 раз. Среди переходных металлов сходная тенденция возможна для Zn, Cu за счет повышенной гидролизуемости

(принцип Ле-Шателье). При этом увеличение содержания Cu при повышении pH незначительно, а концентрация Zn возрастает в 3 раза. Концентрации Fe, Al достаточно стабильны по глубине, что может быть связано с разнообразием видов химической миграции, а содержание Si значительно возрастает. Согласно данным, миграционная способность большинства микроэлементов увеличивается при снижении pH до кислых и слабокислых, однако, в проведенных исследованиях, аналогичное поведение характерно только для Mn, что обусловлено сложными миграционными типами передвижения элементов, включая биологическое потребление [5].

Для всех рассматриваемых щелочных/щелочноземельных катионов диапазон варьирования концентраций крайне мал (кроме ионов Na). В почвенных водах горизонта В содержание  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{NO}_3$  незначительно увеличивается при возрастании pH, а концентрация  $\text{SO}_4$  увеличивается более чем в 2 раза. Диапазон изменения основных катионов не такой контрастный, как в почвенных водах горизонта А. Рост концентраций Si, Zn при повышении pH связан с комплексной и анионной формами миграции элементов. Резкий рост содержания цинка обусловлен его высокими высокими концентрациями в почвенных водах горизонта А данного района [6].

*Трансэлювиальный тип элементарного ландшафта.* В почвенных водах на глубине горизонта А отмечено увеличение содержания макроионов (от 1.5 до 2 раз) при росте значений pH. Однако их средние содержания ниже, чем в почвенных водах элювиального ландшафта, что, вероятно, связано с наклоном рельефа. Поведение Si, Cu, Zn, Mn схоже при смене кислотно-основных условий среды остается аналогичным поведению в элювиальном типе элементарного ландшафта.

В почвенных водах горизонта контрастное изменение содержаний элементов характерно для гидрокарбонатов, сульфатов и натрия, наблюдается превышение в 3, 8 и 10 раз соответственно, можно предположить, что на это, главным образом, влияет различие минералогического состава генетических горизонтов.

Среди микроэлементов увеличение концентраций при повышении pH характерно для кремния, меди, цинка, т.к. эти компоненты образуют в слабокислых средах высокомолекулярные неорганические соединения с участием гидроксидионов. Стоит отметить, что поведение марганца меняется на противоположное: концентрация увеличивается при повышении pH, а изменение содержаний Al, Fe незначительно.

Для ряда других элементов наблюдается либо повышение содержания при повышении pH (свинец, кадмий, марганец), либо совсем незначительное изменение концентраций (Al, Fe, Co), связанные с гидролизуемостью катионов.

*Направленность изменения химического состава почвенных вод.* При инфильтрации почвенных вод через генетические горизонты в пределах элювиального ландшафта происходит их подщелачивание, значение рН возрастают на 0,6-2,9 раз (Рисунок). Электропроводность и содержание органического вещества снижается в среднем; окислительно-восстановительный потенциал имеет тенденцию к снижению, однако амплитуда изменений варьирует от -200 до 500 мВ. В течение всего периода исследований почвенные воды обогащаются Na (около 2 мг/л), гидрокарбонат-ионами и сульфатами 3,9 и 2,4 мг/л соответственно. Содержание ионов кальция, магния и нитратов увеличивается незначительно, однако имеет устойчивую тенденцию к росту с повышением глубины почвенных вод. Снижение концентрации K с глубиной, указывает на снижение его биопотребления. Тенденция к стабильному повышению содержания с ростом глубины отмечается для Si, Zn. Рост концентрации Si можно связать с возрастанием содержания кварца. Содержание алюминия, марганца и железа снижается, чему способствует окислительно-восстановительная обстановка подзолистых почв, характерная для образования железо-марганцевых конкреций.

При формировании почвенных вод в пределах трансэлювиального ландшафта наблюдается устойчивый рост рН с увеличением глубины, также отмечается снижение электропроводности и окислительно-восстановительного потенциала среды. По сравнению с группами элементов, выделенными в элювиальном ландшафте, преобладающие изменение (знак) миграции концентраций выявлено для Si. Поведение макрокатионов в трансэлювиальном типе имеет противоположный тренд относительно элювиального типа: концентрации Ca, Mg, Na, SO<sub>4</sub> снижаются, а содержание K, HCO<sub>3</sub> увеличивается.

В почвенных горизонтах А в пределах формирования исследуемых типов элементарных ландшафтов рост значений рН активизирует выщелачивание K, Na, Zn, Si, SO<sub>4</sub>. Наклон рельефа является ключевым фактором, влияющим на миграцию Ca, Mg, Na. Формирование химического состава почвенных вод элювиального ландшафта имеет разнонаправленные тренды и связано с изменением кислотно-основных свойств. Миграционная способность железа не зависит от изменения рН среды и глубины формирования почвенных вод. Среди микроэлементов Al, Fe, Cu и Mn имеют устойчивый тренд к снижению их концентраций в почвенном растворе при увеличении глубины, для Zn характерно усиление выщелачивания.



## Библиографические ссылки

1. Раудина Т. В. Почвенный раствор: от классических представлений к современным понятиям // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. 2015. С. 87–93.
2. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей. 1999. 762 с.
3. Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск: Ойкумена. 2002. 288 с.
4. Фрагментация и разнообразие лесов Национального парка «Валдайский» / Е. А. Белоновская [и др.] // Лесоведение. 2022. №4. С. 658-673.
5. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, 2010. 548 p.
6. Баранов Д. Ю. Миграция элементов в почвенных водах Валдайской возвышенности // Геохимия. 2022. № 5 (67). С. 482–493.

УДК 556.334(476-14)

**СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОСНОВНЫХ  
ВОДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ПРИМЕРЕ БЕЛОРУССКОЙ  
ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

**О. А. Березко, О. В. Васнева, Т. А. Кононова, Е. М. Черевач,  
В. М. Шиманович, П. И. Боброва**

*Филиал «Институт геологии» Государственного предприятия «НПЦ по геологии»,  
ул. Купревича, 7, 220084, г. Минск, Беларусь, [gidrogeol@geologiya.by](mailto:gidrogeol@geologiya.by)*

В статье на основе анализа и обобщения геолого-гидрогеологической информации представлен комплект карт распространения основных водоносных комплексов, составленный с применением ГИС-технологий с целью обеспечения территории исследований подземными водами хозяйственно-питьевого назначения, а также решения задач, поставленных в рамках реализации Целей устойчивого развития 6 «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех».

**Ключевые слова:** подземные воды; гидрогеологические карты; четвертичные и дочетвертичные отложения; водоносные комплексы; геолого-гидрогеологические разрезы; артезианский бассейн; ГИС-технологии.

**COMPILATION OF DISTRIBUTION MAPS OF MAIN AQUIFER  
COMPLEXES ON THE EXAMPLE OF THE BELARUSIAN PART OF  
THE WESTERN BUG RIVER BASIN USING GIS TECHNOLOGIES**

**O. A. Berezko, O.V. Vasneva, T. A. Kononova, E. M. Cherevach,  
V. M. Shimanovich, P. I. Bobrova**

*Branch «Institute of Geology» of the State Enterprise "SPC for Geology",  
7 Kuprevicha St., 220084, Minsk, Belarus, [gidrogeol@geologiya.by](mailto:gidrogeol@geologiya.by)*

Based on the analysis and generalization of geological and hydrogeological information, the article presents a set of distribution maps of main aquifer complexes, compiled using GIS technologies in order to provide the study area with groundwater for domestic and drinking purposes, as well as to solve the tasks set within the framework of the implementation of Sustainable Development Goals 6 “Ensuring the availability and sustainable management of water and sanitation for all”.

**Key words:** groundwater; hydrogeological maps; Quaternary and pre-Quaternary deposits; aquifer complexes; geological and hydrogeological sections; artesian basin; GIS technologies.

Объект исследований — подземные воды бассейна р. Западный Буг. Цель исследования — составление комплекта карт основных водоносных комплексов для хозяйственно-питьевого водоснабжения в пределах бассейна р. Западный Буг на территории Беларуси в масштабе 1:500 000 с использованием ГИС-технологий (программа QGIS).

Выполнен сбор и анализ геолого-гидрогеологических материалов по условиям распространения четвертичной (напорные воды) и дочетвертичной (палеогеновый-неогеновый, меловой, юрский водоносные комплексы) толщ пород территории бассейна р. Западный Буг. Составлен каталог опорных скважин, оборудованных на четвертичные отложения (напорные воды) — по 94 скважинам и на дочетвертичные (палеогеновые-неогеновые, меловые, юрские) отложения — по 106 скважинам. В качестве опорных скважин были выбраны наблюдательные и эксплуатационные скважины на групповых водозаборах, одиночные эксплуатационные скважины, скважины гидрогеологических постов, а также скважины, приведенные в отчетах геологосъемочных работ и кадастрах «Подземные воды БССР», что, в свою очередь, позволило уточнить геолого-гидрогеологические разрезы четвертичных и дочетвертичных отложений территории исследований.

Дана характеристика геолого-гидрогеологических условий осадочной толщи территории исследований, содержащей пресные подземные воды.

Четвертичные отложения сплошным чехлом покрывают данную территорию, представлены водопроницаемыми и слабопроницаемыми породами различной мощности, литологического состава и генезиса. Водовмещающие породы — в основном пески различного гранулометрического состава. Общая мощность четвертичной толщи изменяется от первых метров на юге территории в местах высокого залегания кровли меловых пород до 180–200 м в северо-западной и северо-восточной частях территории в пределах Высоковской, Каменецкой и Пружанской возвышенностей, где развиты краевые моренные образования [1, с. 33-42].

Четвертичные водоносные горизонты и комплексы приурочены к аллювиальным, озерно-болотным и перигляциальным породам голоцена и к озерно-аллювиальным, ледниковым и межледниковым образованиям плейстоцена. По гидродинамическим характеристикам выделяются горизонты и комплексы грунтовых и напорных вод.

Геолого-гидрогеологические условия дочетвертичной толщи пород определяются ее геологическим и тектоническим строением. В соответствии со схемой гидрогеологического районирования территория бассейна р. Западный Буг относится к западной части Брестского

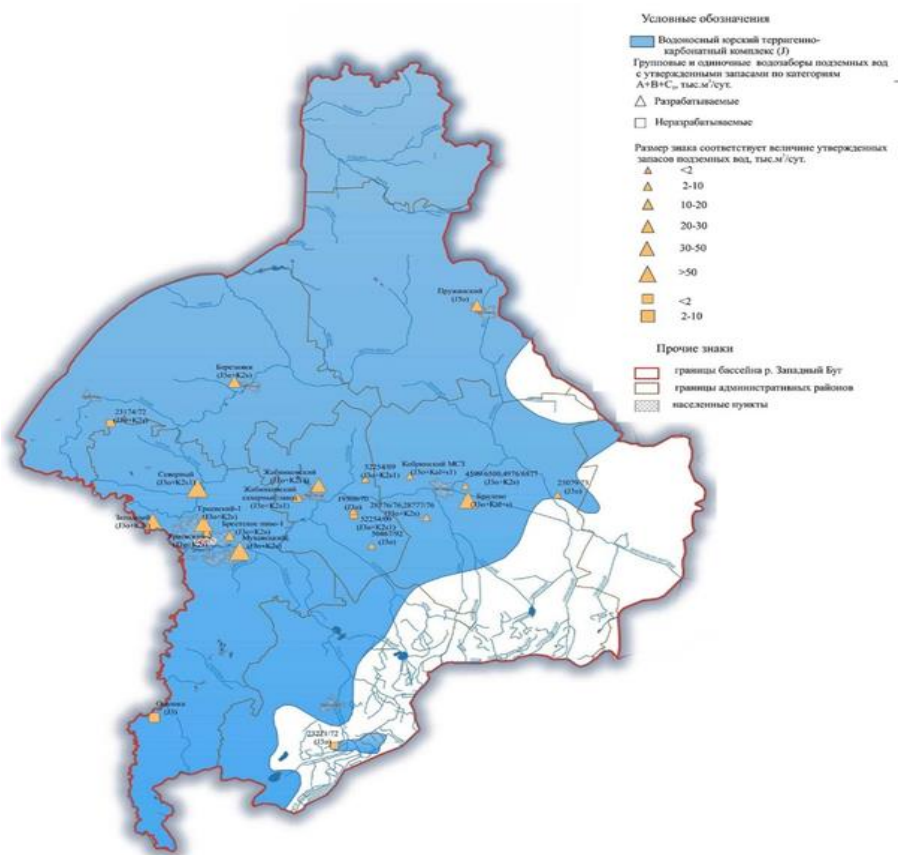
артезианского бассейна, на крайнем юге к — Волыно-Подольскому артезианскому бассейну. Горизонты и комплексы, содержащие пресные воды, достигают общей мощности от 150-350 до 1000-1300 м и сложены водопроницаемыми и слабОВОдоносными отложениями рифея, венда, кембрия, ордовика, силура, нижнего девона, карбона, перми, триаса, юры, мела, палеогена и неогена. Кристаллический фундамент вскрывается на глубинах от 200 до 1700 м. Общее погружение его отмечается в юго-западном направлении [2, с. 636; 3, с. 430].

Основываясь на данных предыдущих исследований по выбору перспективных водоносных горизонтов для хозяйственно-питьевого водоснабжения территории бассейна р. Западный Буг, определены 5 водоносных комплексов: днепровский-сожский водно-ледниковый, березинский-днепровский водно-ледниковый, палеогеновый и неогеновый терригенный, меловой карбонатно-терригенный, юрский терригенно-карбонатный [4, с. 33-52; 5, с. 28-35].

В результате анализа и обобщения всей собранной информации составлен комплект цифровых карт распространения основных четвертичных (напорные воды) и дочетвертичных водоносных комплексов для хозяйственно-питьевого водоснабжения в пределах бассейна р. Западный Буг в масштабе 1:500 000.

При составлении карт использовались сведения об условиях залегания, геологических и гидрогеологических характеристиках основных водоносных горизонтов и комплексов, данные о разведанных эксплуатационных запасах подземных вод и их использовании на территории исследований. На большей части территории бассейна р. Западный Буг прослеживаются три-четыре водоносных горизонта (комплекса), перспективных для использования в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения. Степень их изученности неоднозначна как по площади, так и по глубине. Относительно детально они изучены лишь на участках, в пределах которых выполнены поисково-разведочные работы с целью обоснования строительства групповых и одиночных водозаборов. Выделенные водоносные комплексы показаны цветовой закрашкой, соответствующей их возрасту. На каждой из карт распространения водоносных комплексов определенными значками показаны водозаборы подземных вод: треугольниками — действующие водозаборы с утвержденными запасами по категориям А+В+С1, тыс.м<sup>3</sup>/сут; квадратами — перспективные водозаборы с утвержденными запасами по категориям А+В+С1, тыс. м<sup>3</sup>/сут. Размер знака соответствует величине утвержденных эксплуатационных запасов подземных вод в градациях: <2; 2-10; 10-20; 20-30; 30-50; >50 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Определены площади распространения основных четвертичных (напорные воды) и дочетвертичных водоносных комплексов в границах бассейна р. Западный Буг. Всего составлено 5 карт распространения водоносных комплексов: днепровский-сожский водно-ледниковый, березинский-днепровский водно-ледниковый, палеогеновый и неогеновый терригенный, меловой карбонатно-терригенный, юрский терригенно-карбонатный. Карта распространения водоносного юрского терригенно-карбонатного комплекса представлена на рисунке ниже.



Карта распространения водоносного юрского терригенно-карбонатного комплекса (J)

Карты построены с использованием программы QGIS (в географической системе координат EPSG:28405 - Pulkovo 1942 / Gauss-Krugerzona 5). Слои ГИС подготовлены в формате Esri (shp). Полученный в ходе разработки цифровой картографический материал будет иметь высокоточную пространственную привязку и может оперативно изменяться с учетом новейших опубликованных данных, материалов инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, что позволит значительно упростить задачи геолого-гидрогеологического картографирования всей толщи отложений, содержащей пресные подземные воды.

Карты будут использованы различными организациями при проведении комплекса геологоразведочных работ не только на подземные воды, но и на другие виды полезных ископаемых, а также в процессе выполнения геологосъемочных, инженерно-геологических, геоэкологических работ; высшими учебными заведениями в учебном процессе при подготовке специалистов-геологов; в качестве источника информации при заполнении форм отчетности по глобальному целевому показателю ЦУР 6.5.2 «Доля площади трансграничного водного бассейна, в отношении которой имеется действующий механизм трансграничного сотрудничества» в рамках Цели устойчивого развития 6 «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех».

### **Библиографические ссылки**

1. *Станкевич Р. А.* Артезианские воды Бреста и их использование. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2004. 184 с.
2. Геология Беларуси / под ред. А.С. Махнач, Р.Г. Горецкого, А. В. Матвеева [и др.]. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. 814 с.
3. Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ / Редкол: П.З. Хомич [и др.]. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. 528 с.
4. Пояснительная записка к серии гидрогеологических карт территории Беларуси масштаба 1:500 000 / РУП «БелНИГРИ». Минск: ООО «Смэлток», 2010. 160 с.
5. Сводная легенда для гидрогеологических карт масштаба 1:200 000 Белорусской серии листов / РУП «БелНИГРИ». Минск, 1986. 58 с.

УДК 553.041 (476.7)

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗА И ОЦЕНКИ ЗАЛЕЖЕЙ ОБЩЕРАСПРОСТРАНЕННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

**М. А. Богдасаров<sup>1)</sup>, А. Н. Маевская<sup>1)</sup>, Н. Н. Шешко<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина,  
бульвар Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь, [bogdasarov73@mail.ru](mailto:bogdasarov73@mail.ru)*

<sup>2)</sup>*Брестский государственный технический университет,  
ул. Московская, 267, 224017, г. Брест, Беларусь, [optimum@tut.by](mailto:optimum@tut.by)*

Предложена методика прогноза и оценки залежей общераспространенных полезных ископаемых (ОПИ), связанных с кайнозойскими отложениями на территории Брестской области. Оценочная структурно-логическая схема представлена в виде пяти блоков. Последовательная реализация данных блоков позволяет провести комплексную оценку минерально-сырьевых ресурсов региона, а также обосновать рациональную последовательность вовлечения потенциальных залежей ОПИ Брестской области в обработку.

**Ключевые слова:** Брестская область; кайнозойские отложения; общераспространенные полезные ископаемые; ГИС-моделирование; прогнозно-минералогические карты.

## METHODOLOGY OF FORECASTING AND EVALUATION OF DEPOSITS OF COMMONLY OCCURRING MINERALS OF THE BREST REGION

**M. A. Bogdasarov<sup>1)</sup>, A. N. Mayevskaya<sup>1)</sup>, N. N. Sheshko<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Brest State A. S. Pushkin University, Cosmonauts Boulevard, 21,  
224016, Brest, Belarus, [bogdasarov73@mail.ru](mailto:bogdasarov73@mail.ru)* <sup>2)</sup>*Brest State Technical University,  
Moskovskaya St., 267, 224017, Brest, Belarus, [optimum@tut.by](mailto:optimum@tut.by)*

The methodology of forecasting and evaluation of deposits of common mineral resources (CMR) associated with Cenozoic sediments in the Brest region is proposed. The structural and logical scheme of the methodology is presented in the form of six blocks. The sequential implementation of these blocks allows to perform a comprehensive assessment of mineral resources of the region, as well as to justify a rational sequence of involvement of potential deposits of mineral resources of the region in mining.

**Keywords:** Brest region; Cenozoic sediments; common minerals; GIS-modelling; prognostic-mineralogic maps.

В специализированной научной литературе проблеме прогноза и оценки полезных ископаемых уделено много внимания. Однако, большинство представленных методик ориентированы на решение задачи оценки горючих и рудных ресурсов и не позволяют учитывать специфику ОПИ [1].

Строительным видам сырья присущи следующие особенности: широкое распространение; небольшая глубина залегания; повсеместность потребления; открытый способ добычи; масштабность добычи; многоцелевое использование. Эти особенности оказывают непосредственное влияние на специфику разработки полезных ископаемых и должны учитываться при создании оценочных схем для таких ресурсов [2].

В настоящей статье предложен подход к прогнозу и оценке минерального строительного сырья конкретного региона — Брестской области. Предлагаемый подход основан на комплексной методике оценки ОПИ, которая предложена авторами ранее и подробно описана в [3; 4].

Структурно-логическая схема прогноза и оценки залежей нерудного сырья Брестской области включает пять блоков (Рисунок). Далее остановимся более подробно на каждом из этих блоков.



Структурно-логическая схема методики прогноза и оценки залежей нерудного сырья Брестской области

*Блок 1. Систематизация и актуализация сведений о геологическом строении Брестской области.* Введение в схему подобного блока, нацеленного на получение системных представлений о геологическом устройстве региона, истории его развития было важно по двум причинам: (1) геологическое строение является ключевым фактором, определяющим закономерности размещения минерально-сырьевой (МСБ) региона и ее специфику; (2) понимание особенностей геологического строения необходимо для построения корректной геологической модели.



Для реализации рассматриваемого блока проведены сбор и обобщение многочисленных материалов о геологическом строении данной территории, накопленных предшественниками. Уточнение сведений, полученных исследователями этой территории ранее, проводилось на основе авторского комплекта карт, составленных на основе разновременных данных геологического бурения региона. Вошедшие в комплект карты отражают сведения о мощностях горизонтов кайнозойской толщи и отражают пространственные особенности распространения отложений по каждому горизонту кайнозойской толщи [5].

*Блок 2. Выбор программных продуктов для создания цифровой геологической модели.* На современном этапе задача прогноза и оценки полезных ископаемых наиболее эффективно может быть решена с применением средств ГИС. Поэтому важной частью методики стал блок 2, реализация которого направлена на выбор программных оболочек для построения цифровой геологической модели. Модель в данном случае выступает системой сконцентрированной информации о геологическом строении кайнозойских отложений на территории области и позволяет проводить прогноз и оценку залежей на качественно новом уровне.

В качестве программной оболочки для создания цифровой геологической модели исследуемой территории рассматривались два ГИС-пакета: недропользовательская ГИС Petrel и общегеографическая ГИС ArcGIS 10.5.

Ввиду того, что пакет Petrel разрабатывался, в первую очередь, для использования в секторе разведки и добычи нефтяной промышленности, где сеть буровых данных является достаточно плотной и равномерной. применение его для интерпретации геологоразведочных данных, используемых в настоящем исследовании, ввиду их специфики (разреженная и неоднородная сеть данных бурения), не представлялось возможным. Поэтому конечный выбор сделан в пользу общегеографической системы ArcGIS 10.5.

С целью решения задач моделирования, не поддающихся реализации с помощью стандартного набора инструментов, представленных в среде ArcGIS, дополнительно производился отбор вспомогательных программных средств, применявшихся в ходе моделирования. Такими средствами выступали: СУБД MSAccess, табличный процессор MicrosoftExcel, Blender, WolframMathematica.

*Блок 3. Цифровое геологическое моделирование.* Данный блок методики является самым объемным, а потому наиболее продолжительным по времени реализации. Его выполнение нацелено на решение следующих задач:

- разработку алгоритма обработки материалов геологического бурения, использовавшихся для построения цифровой геологической модели кайнозойских отложений [6];

- построение трехмерной цифровой геологической модели региона, процедура реализации которой детально изложена в [7];

- формирование двухмерной модели, наиболее приемлемой с точки зрения анализа заинтересованными организациями.

Кроме того, выполнение данного блока предполагает расчет наиболее важных геолого-промышленных параметров для каждого типа пород кайнозойской толщи. К числу таких характеристик, применительно к строительным полезным ископаемым, относятся следующие: вертикальная мощность отложений, мощность вскрышных пород, коэффициент вскрыши.

Итогом реализации блока стал набор прогнозно-минерагенических карт, показывающих сведения о перспективных площадях, наиболее распространенных и значимых по мощности видов нерудного сырья исследуемой территории [7].

*Блок 4. Ранжирование земельного фонда Брестской области по приемлемости к разработке залежей нерудного сырья.* Дополнение предложенной методики подобным блоком, позволяющим учитывать статус земель района размещения залежей, был обусловлен особенностями разработки строительных видов сырья в целом:

- добыча строительных полезных ископаемых всегда сопряжена с негативным воздействием на компоненты окружающей среды, что оказывает значительное влияние на величину вложений в освоение залежей, в связи с необходимостью последующего возмещения ущерба, прежде всего связанного с использованием и деградацией различных категорий земель, и территории Брестской области в частности:

- добыча строительного сырья в пределах региона производится в основном путем разработки внутрихозяйственных карьеров, в результате чего нарушенные земли крайне проблематично вовлечь в хозяйственный оборот.

Результатом выполнения блока стали разработанный механизм ранжирования земель Брестской области по отношению к возможности открытой добычи и сформированная на основе него цифровая растровая модель [8].

*Блок 5. Классификация залежей нерудного сырья Брестской области по рациональному использованию.* Для проведения классификации выделенных в результате цифрового геологического моделирования залежей нерудного сырья исследуемого региона учитывались:

- рассчитанные геолого-промышленные параметры по каждой залежи;  
- рассчитанные весовые коэффициенты, отражающие степень приемлемости разных подтипов земель Брестской области к разработке ОПИ.

Наглядным результатом выполнения блока стал набор карт, отражающих благоприятность освоения залежей с учетом статуса земель, к которым они приурочены [9].

Таким образом, в работе изложен научно-методический подход к прогнозу и оценке МСБ ОПИ территории Брестской области, который уже апробирован на данных геологического бурения региона. Преимущества описанного подхода заключаются в том, что он учитывает специфические особенности, присущие строительному сырью и базируется на использовании компьютерных технологий. Это в свою очередь будет способствовать быстрому и своевременному обновлению картографических материалов, а также принятию обоснованных решений по рациональному использованию МСБ Брестской области.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках выполнения задания «Разработка геолого-информационной модели кайнозойских отложений территории Брестской и Гродненской областей как основы для прогнозирования новых наиболее доступных месторождений минерального сырья» (№ГР 20211417) ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

### Библиографические ссылки

1. Модельный кодекс о недрах и недропользовании для государств – участников СНГ [Электронный ресурс]. URL: <https://iacis.ru/public/upload/files/1/140.pdf>(дата обращения: 28.01.2024).

2. *Лютягин Д. В.* Геолого-экономическое обоснование вовлечения в отработку месторождений общераспространенных полезных ископаемых : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05. М., 2006. 187 с.

3. *Богдасаров М. А., Маевская А. Н., Шешко Н. Н.* Методические особенности прогноза и оценки общераспространенных полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. 2023. № 3. С. 45–52.

4. *Богдасаров М. А., Шешко Н. Н., Маевская А. Н.* Методические подходы к прогнозированию и оценке ресурсов минерального строительного сырья // Літасфера. 2021. № 1 (54). С. 138–146.

5. *Богдасаров М. А., Маевская А. Н., Шешко Н. Н.* Разработка и создание веб-атласа «Геологическое строение кайнозойской толщи Брестской области» // Разведка и охрана недр. 2023. № 12. С. 52–57.

6. *Маевская А. Н., Шешко Н. Н., Богдасаров М. А.* Алгоритм обработки данных геологических изысканий с применением ГИС-технологий (на примере материалов буровой изученности территории Брестской области) // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. 2020. № 2. С. 94–103.

7. Геолого-генетическое моделирование кайнозойских отложений Брестской области с применением информационных технологий / А. Н. Маевская [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2023. № 1. С. 107–118.

8. *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.

9. *Маевская А. Н., Богдасаров М. А., Шешко Н. Н.* Обоснование схем рационального использования залежей нерудного сырья Брестской области // Природопользование. 2023. № 1. С. 135–150.

УДК 550.47

## **ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ПОЧВАХ СУБАРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ**

**Г. Д. Ватутин, Е. А. Филимоненко, М. А. Упорова,  
Е. А. Арбузова, А. В. Соромотин**

*Тюменский государственный университет, ул. Володарского, 6,  
625003, г. Тюмень, Россия, [georgyvatutin@yandex.ru](mailto:georgyvatutin@yandex.ru)*

Оценено влияние пожара на содержание ртути (Hg) в почвах субарктической зоны Западной Сибири. Найдена достоверная взаимосвязь между увеличением содержания органического углерода (Сорг) и увеличением концентрации ртути в почвах. Содержания Сорг и Hg в почвах лесотундры снизились после пожара. Концентрации Hg в почвах тундры не изменились после пожара низкой интенсивности, а изменения в растительности привели к повышению Сорг в почвах.

**Ключевые слова:** ртуть; почва; пожары; почвенный органический углерод.

## **EFFECT OF WILDFIRES ON MERCURY CONTENT IN SUBARCTIC SOILS**

**G. D. Vatutin, E. A. Filimonenko, M. A. Uporova,  
E. A. Arbuzova, A. V. Soromotin**

*University of Tyumen, Volodarskogo St., 6,  
625003, Tyumen, Russia, [georgyvatutin@yandex.ru](mailto:georgyvatutin@yandex.ru)*

Wildfires release soil mercury (Hg) to the atmosphere. The purpose of the study was to assess effect of wildfires on Hg content in subarctic soils. It was found a statistically significant correlation between soil organic carbon (SOC) content increasing and Hg content increasing in soils. SOC and Hg contents in forest-tundra soils have decreased after wildfire. Low-intension wildfire is insufficient to destroy «Mercury-Organic Matter» bonds in tundra soils.

**Key words:** mercury; the soil; fires; soil organic carbon.

Ртуть — это высокотоксичный тяжелый металл. Ртуть выбрасывается в атмосферу, преимущественно в результате антропогенной деятельности, включающей сжигание угля, добычу полезных ископаемых и деятельность промышленных предприятий [1, с. 526]. Естественные источники Hg включают мобилизацию ртути в атмосферу в результате вулканической и геологической активности [2, с. 46]. Ртуть обладает высокой летучестью и способна переноситься на

значительные расстояния в виде элементарной ртути  $Hg^0$  в атмосфере, в конечном итоге окисляясь до  $Hg^{+2}$ , которая осаждается на поверхности суши, накапливается в элементах экосистем и представляет угрозу для живых существ при преобразовании в нейротоксин метилртуть ( $MeHg$ ) [1, с. 526]. В глобальном биогеохимическом цикле  $Hg$ , почва является основным репозиторием для выброшенной в атмосферу ртути [3, с. 4967]. Арктический регион характеризуется высокими темпами изменения климата [4, с. 1], что приводит к увеличению частоты природных пожаров, учитывая, что летние температуры и количество осадков являются наиболее важными климатическими факторами, определяющими вероятность возникновения новых пожаров в тундре и лесотундре [5, с. 5056]. Пожары приводят к термическому разрушению связанной с органическим веществом в почвах ртути и реэмиграции  $Hg$  в атмосферу. [6, с. 5].

Целью исследования является оценка воздействия природных пожаров на динамику содержаний  $Hg$  в почвах экосистем субарктической зоны Западной Сибири.

Исследование проводилось на 4 участках в зоне тундры и лесотундры Западной Сибири в пределах Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа (рис. 1). Влияние пожаров на подстилку и минеральный горизонт почв было в промежутке от трёх до пяти лет. Отбор проб производился на пирогенно трансформированном и контрольном участках в пяти полевых повторностях в органическом и минеральном (на глубине 0-5, 5-10, 10-20 и 20-30 см) горизонтах. Территории исследования были представлены максимально похожим набором растительных сообществ и одинаковым типом почв (*Turbic Cambic Cryosols*; WRB, 2022). Все пробы почв (120 образцов) были высушены при комнатной температуре, просеяны через сито и гомогенизированы на вибрационной мельнице Retsch MM 400. Аналитическое определение содержаний  $Hg$  в образцах почв проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе РА-915М с пиролизической приставкой «РП-91С» (Люмэкс, Россия) с использованием программного обеспечения РАПИД в соответствии с методикой выполнения измерений М-03-09-2013. Содержания *Sорг* определены методом сухого сжигания на элементном анализаторе Vario Pyro Cube Analyzer (Elementar, Германия).

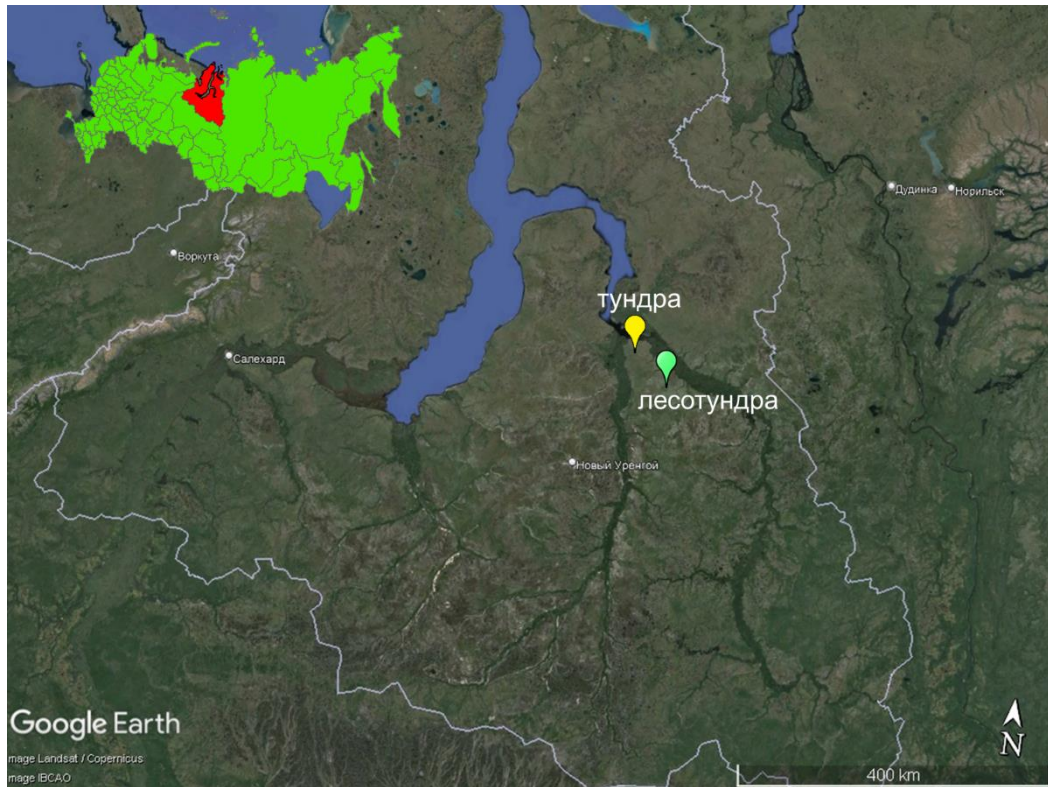


Рис. 1. Местоположение района исследования

Найдена достоверная зависимость между увеличением содержания органического углерода и увеличением концентрации ртути на всех исследованных участках (рис. 2). Такая зависимость объясняется тем, что ртуть в почвах связывается с различными органическими соединениями в комплексной структуре [7, с. 4178].

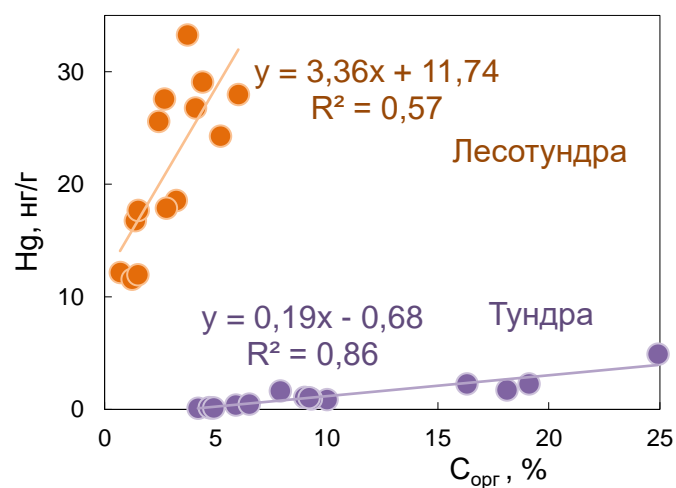


Рис. 2. Регрессия между увеличением концентрации Hg и повышением содержания органического углерода

Почвы исследуемого района характеризуются аккумулятивным типом распределения органического углерода по почвенному профилю (рис. 3). Наивысшие значения  $C_{орг}$  ( $21,3 \pm 5,7$  % в тундре и  $30,3 \pm 4,6$  % в лесотундре) характерны для органического горизонта почв. В минеральном горизонте почв на глубине 0-5 см содержание органического углерода в почвах тундры снижается в 12,2 раза относительно значения для органического горизонта и составляет  $1,74 \pm 0,4$  %, в почвах лесотундры –  $4,8 \pm 1,2$  % (понижение в 6,3 раза).

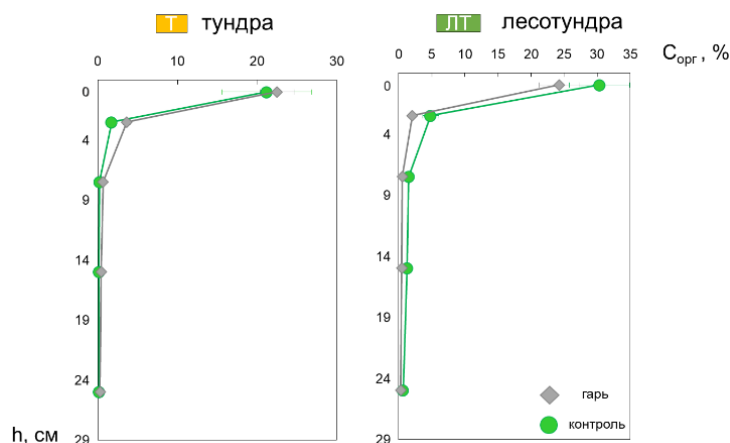


Рис. 3. Распределение содержаний органического углерода в почвенных профилях исследуемых экосистем

При этом наблюдается разный эффект пожаров на содержание  $C_{орг}$  в почвах тундры и лесотундры. В почвах тундры пирогенное воздействие привело к увеличению содержания органического углерода в почвенном профиле относительно значений, полученных для контрольного профиля почвы. Пожары в тундре имеют высокую скорость продвижения при низкой теплопередаче в более глубокие минеральные слои. Поэтому, природный пожар в тундре не приводит к прямой пирогенной потере органического углерода из почвы.

После пирогенного воздействия в тундровых экосистемах происходит смена растительного покрова: мохово-лишайниковый покров сменяется травянистыми растениями (карликовая берёза, ива, кипрей узколистный) [8, с. 64] которые имеют более развитую корневую систему, увеличивая принос  $C_{орг}$  в постпирогенную почву.

В экосистемах лесотундры имеется большой запас горючего материала (высохший валежник, кустарники, кустарнички, небольшие деревья), который приводит к большей по сравнению с тундрой интенсивности пожара и является существенным источником потери почвенного органического углерода при пирогенном воздействии.



Концентрации Hg в контрольном почвенном профиле лесотундры выше, чем в тундровых почвах в 2-3 раза, что подтверждает регрессию между увеличением содержания Сорг и увеличением значений Hg в почвах.

В органическом горизонте тундровых почв (рис. 4) среднее содержание Hg после пожара ( $96,7 \pm 9,6$  нг/г) снижено на 13 % относительно средней концентрации Hg для контрольных участков ( $109,4 \pm 23,3$  нг/г). В минеральном горизонте почв тундры влияние пирогенного фактора на содержание Hg не наблюдается.

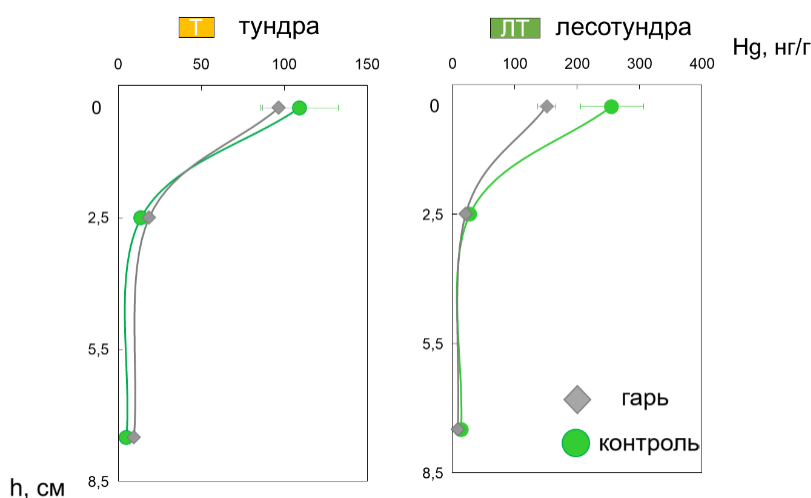


Рис. 4. Концентрации Hg в почвенных профилях экосистем

Пожары в лесотундре приводят к снижению содержаний ртути как в органическом, так и в верхнем минеральном горизонтах почв. В органическом горизонте почв средняя концентрация Hg для сгоревших участков ( $151,2 \pm 14,3$  нг/г) снижена в 1,7 раза относительно значения для контрольных участков ( $255,9 \pm 50,3$  нг/г). В минеральном горизонте почв наибольшие различия в содержании Hg характерны для постпирогенных ( $8,7 \pm 0,7$  нг/г) и контрольных ( $14,3 \pm 1,4$  нг/г) почв на глубине 5-10 см.

Таким образом, пожары приводят к изменениям содержаний Hg и Сорг в почвах, однако эти изменения могут иметь разный характер в зависимости от типа экосистемы. В лесотундровых экосистемах природные пожары приводят к уменьшению содержания ртути в почвах, что вызвано реэмиграцией ртути из почв в атмосферу. В тундровой зоне изменение растительного покрова через несколько лет после пожаров приводит к увеличению содержания Сорг, а незначительная интенсивность пожара не влияет на содержание ртути в почвах.



## Библиографические ссылки

1. Observed decrease in atmospheric mercury explained by global decline in anthropogenic emissions / Zhang Y. [et al.] // PNAS Early Edition. 2016. Vol. 113, iss. 3. P. 526–531.
2. *Selin N. E.* Global Biogeochemical Cycling of Mercury: A Review // Annual Review of Environment and Resources. 2009. Vol. 34, iss. 1. P. 43–63.
3. Mercury as a Global Pollutant: Sources, Pathways, and Effects / C. T. Driscoll [et al.] // Environmental Science & Technology. 2013. Vol. 47, iss. 10. P. 4967–4983.
4. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979 / M. Rantanen [et al.] // Communications Earth & Environment. 2022. Vol. 3, iss. 168. P. 1–10.
5. Reviews and syntheses: Arctic fire regimes and emissions in the 21st century / J.L. McCarty [et al.] // Biogeosciences. 2021. Vol. 18, iss. 18. P. 5053-5083.
6. The potential wildfire effects on mercury remobilization from topsoils and biomass in a smelter-polluted semi-arid area / M. Tuhý [et al.] // Chemosphere. Vol. 247, iss. 125972. P. 1–7.
7. Complexation of Mercury (II) in Soil Organic Matter: EXAFS Evidence for Linear Two Coordination with Reduced Sulfur Groups / U. Skyllberg [et al.] // Environ. Sci. Technol. 2006. Vol. 40, iss. 13. P. 4174–4180.
8. Постпирогенная трансформация растительного покрова в тундровой зоне за 5 лет / Л. В. Бродт [и др.] // Проблемы региональной экологии. 2022. № 2. С. 62–66.

УДК 551.513

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЦЕНКИ ПОВТОРЯЕМОСТИ  
КРУПНОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНОСОВ  
ВОЗДУШНЫХ МАСС ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ НОВЫХ СТАНЦИЙ  
ТРАНСГРАНИЧНОГО МОНИТОРИНГА ЕМЕП**

**А. Ю. Волков<sup>1)</sup>, Е. С. Конькова<sup>1)</sup>, С. А. Громов<sup>1,2)</sup>**

<sup>1)</sup>ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», ул. Глебовская, д. 20Б, 107258, г. Москва, Российская Федерация, [Alex.u.volkov4@gmail.com](mailto:Alex.u.volkov4@gmail.com), [E.Konkova.IGCE@gmail.com](mailto:E.Konkova.IGCE@gmail.com)

<sup>2)</sup>ФГБУН «Институт географии РАН», Старомонетный переулок, дом 29, стр. 4, 119017, г. Москва, Российская Федерация, [gromov@igras.ru](mailto:gromov@igras.ru)

В статье приведено использование повторяемости приходящих воздушных масс для определения направлений переносов и ориентировочных размеров площадей области покрытия для двух станций мониторинга, которые удалены друг от друга на несколько сот километров. Показаны различия районов возможного охвата территории, с которой приносится атмосферное загрязнение. По полученным выводам предложены возможные районы размещения новых станций мониторинга ЕМЕП на территории Республики Беларусь.

**Ключевые слова:** станции мониторинга; воздушные массы; трансграничный перенос; загрязнение атмосферы; ЕМЕП.

**USING THE FREQUENCY ASSESSMENT OF LARGE-SCALE  
ATMOSPHERIC AIR MASS TRANSFERS IN PLANNING NEW  
EMEP TRANSBOUNDARY MONITORING STATIONS**

**A. Yu. Volkov<sup>1)</sup>, E. S. Konkova<sup>1)</sup>, S. A. Gromov<sup>1,2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, st. Glebovskaya, 20B, 107258, Moscow, Russian Federation, [Alex.u.volkov4@gmail.com](mailto:Alex.u.volkov4@gmail.com), [E.Konkova.IGCE@gmail.com](mailto:E.Konkova.IGCE@gmail.com)*

<sup>2)</sup>*Institute of GeographyRAS, Staromonetny Lane, 29, 119017, Moscow, Russian Federation, [gromov@igras.ru](mailto:gromov@igras.ru)*

The paper presents the use of the recurrence of incoming air masses to determine the directions of transports and the approximate sizes of the areas of the coverage area for two monitoring stations that are several hundred kilometers away from each other. Differences of areas of possible coverage of the territory from which atmospheric pollution is brought are shown. According to the obtained conclusions, possible areas of location of new EMEP monitoring stations on the territory of the Republic of Belarus are proposed.

**Keywords:** monitoring stations; air masses; transboundary transport; atmospheric pollution; EMEP.

На химический состав атмосферных примесей всегда влияло множество факторов. С развитием промышленности к природным факторам воздействия добавился также антропогенный, который включает в себя выбросы с промышленных объектов, средств транспорта и др.

С усовершенствованием технологий люди стали замечать накопление загрязняющих веществ (ЗВ) не только в районах расположения производственных объектов, но и на территориях, удаленных от них на сотни и тысячи километров, в том числе, за границами стран. Появилось понятие трансграничного атмосферного загрязнения как части дальнего переноса ЗВ в атмосфере. Этим термином обозначают ситуацию, когда физически источники загрязнения находятся на территории одной страны и оказывают влияние на качество воздуха в других государствах. Для контроля и оценки переноса атмосферного загрязнения организована программа ЕМЕП — Международная совместная программа мониторинга и оценки дальних переносов атмосферных загрязняющих веществ в Европе. В этой деятельности принимает участие более 40 стран [1].

В бывшем СССР для исследования трансграничного переноса загрязненных воздушных масс станции мониторинга размещались вблизи границ, на территориях, не подверженных локальному техногенному воздействию, например, в заповедниках. Используя этот подход, удастся получать не искаженные локальным влиянием данные об изменениях концентраций химических веществ при многолетних наблюдениях.

Ключевым моментом в планировании и размещении пунктов наблюдения является определение возможной территории, с которой происходит приход воздушных потоков. На территории Европы преобладает западный перенос воздушных масс, поэтому в Российской Федерации сеть станций мониторинга расположена в основном вдоль западной границы страны. Информация, получаемая при выполнении программы ЕМЕП, является систематической, получена по отработанным в течение длительного периода работы методикам и протоколам наблюдения, поэтому ее можно использовать для получения достоверных статистических оценок [2, с. 136].

В качестве объектов исследования для проведения оценки повторяемости крупномасштабных атмосферных переносов и определения различий между районами охвата было решено использовать характерные условия для двух пунктов. Их отбор производился из кандидатов станций комплексного фонового мониторинга и пунктов сети ЕМЕП. Кроме того,

выбор основывался на общности климато-географических условий с Республикой Беларусь.

По заданным характеристикам выбраны места размещения Курской биосферной станции Института географии РАН (КБС), расположенной в Медвенском районе Курской области, и площадка предполагаемой станции мониторинга в пределах Национального парка (НП) «Смоленское Поозерье». Расстояние между ними составляет порядка 500 км (рис. 1).

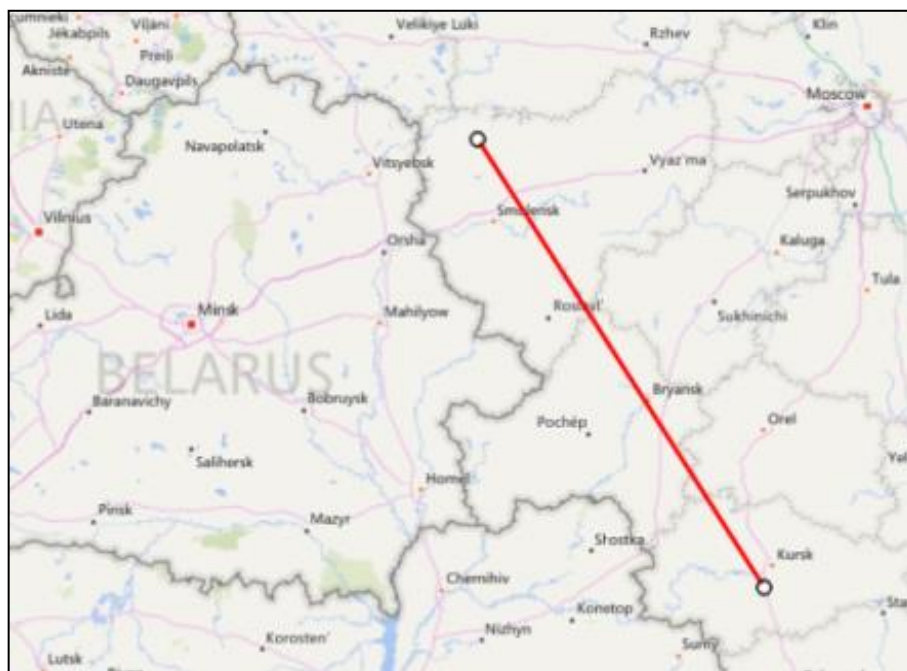


Рис. 1. Географическое расположение Курской биосферной станции ИГ РАН и НП «Смоленское Поозерье»

Для анализа путей переноса воздушных масс использована Web-версия программы HYSPLIT [3], позволяющая по данным реанализа метеополей вычислять обратные траектории перемещения воздушных масс, определяя их координаты для заданных промежутков времени.

Анализ проводился для 2010, 2015, 2020 гг. и включал в себя построение обратных 72-ух часовых траекторий, начинавшихся через каждые 12 часов в течение каждого месяца на высотах 0,5 и 1 км над уровнем земной поверхности. По результатам расчетов и обобщения получены карты частотного распределения прохождения траекторий над районами Европы для каждого месяца (рис. 2).

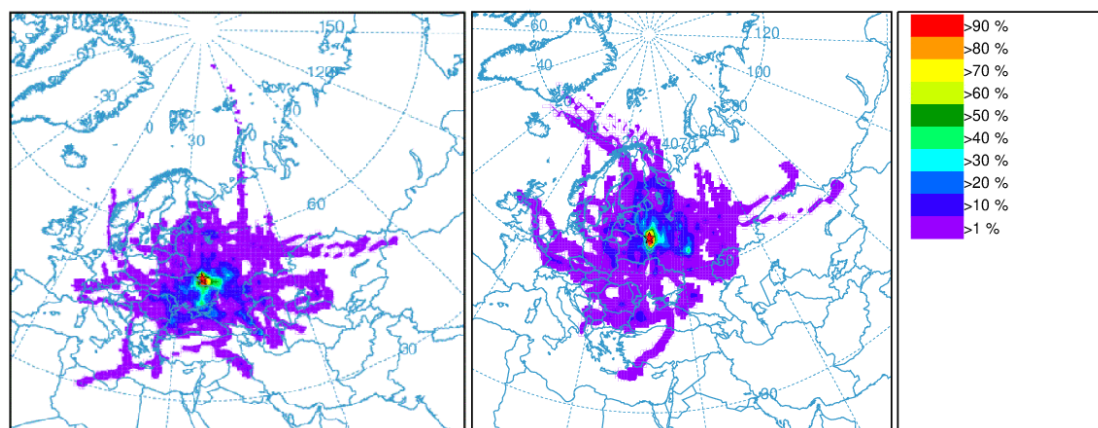


Рис. 2. Траекторный анализ для станции в Курском биосферном заповеднике (слева), в национальном парке «Смоленском Поозерье» (справа). Январь 2010 г., 1000 м

По картам частотного распределения прохождения траекторий через ячейки градусной сетки было определено, что существуют различия в границах объединения регионов, откуда приходят воздушные массы. Станция в национальном парке «Смоленское Поозерье» отслеживает воздушные массы, пришедшие с более северных территорий, в то время как Курский биосферный заповедник осуществляет мониторинг для переносов с южных районов. По территориям охвата они дополняют друг друга в составе единой сети.

Полученные результаты позволяют говорить о том, что уже на расстоянии 500 км заметны различия в региональной циркуляции атмосферы, и наиболее полную картину экологической обстановки в приграничных участках протяженной границы можно получить, увеличив количество пунктов наблюдения.

В Республики Беларусь измерения по программе ЕМЕП проводят на специализированной трансграничной станции «Высокое» (западная граница республики). На станции фоновое мониторинга (СФМ) Березинский заповедник анализируется состояние воздуха и атмосферных осадков по программе Глобальной Службы Атмосферы [4].

В целях увеличения информации о формировании загрязнения воздуха в результате переноса ЗВ предлагаем расширить сеть мониторинга трансграничного загрязнения путём открытия двух новых станций на севере и юге Республики Беларусь на расстоянии 400-500 км от станции «Высокое» (рис. 3).

В качестве возможных пунктов организации наблюдений, мы предлагаем метеостанции: Верхнедвинск ( $55^{\circ} 49' 14''$  с. ш.,  $27^{\circ} 56' 29''$  в. д.) и Брагин ( $51^{\circ} 47' 14''$  с. ш.,  $30^{\circ} 15' 36''$  в. д.) [5]. Они расположены на удалении 450 км от станции «Высокое» в приграничных районах с относительно низким уровнем антропогенной деятельности.



Рис. 3. Зона охвата трансграничного загрязнения станцией «Высокое»

Авторы благодарят Лабораторию воздушных ресурсов NOAA (ARL) за предоставление модели переноса и рассеивания HYSPLIT и веб-сайт READY (<https://www.ready.noaa.gov/>), использованных для работы.

Исследование выполнено в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120013190049-4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)» (План НИТР Росгидромета на 2023 г., т. 4.4). Подготовка данных и часть аналитических работ сделана по государственному заданию Института географии РАН FMWS-2024-0009 №1023032700199-9.

### Библиографические ссылки

1. ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля» [Электронный ресурс] // Международная совместная программа мониторинга и оценки дальних переносов атмосферных загрязняющих веществ в Европе (ЕМЕП) (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe (or, European Monitoring and Evaluation Programme - EMEP)) URL: <http://www.igce.ru/performance/international/emep/> (дата обращения: 05.02.2024).
2. Кислотные дожди / Ю. А. Израэль [и др.]. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 269 с.
3. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system / A. F. Stein [et al.] // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2015. № 96, P. 2059-2077. URL: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1> (дата обращения: 05.02.2024).
4. Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Минприроды Республики Беларусь, радиационно-экологический мониторинг [Электронный ресурс] // Мониторинг атмосферного воздуха. URL: <https://rad.org.by/articles/vozduh/monitoring-atmosfernogo-vozduha> (дата обращения: 06.02.2024).
5. Погода в Беларуси и Минске [Электронный ресурс] // Метеорологические станции Республики Беларусь. URL: <http://belmeteo.net/stations.html> (дата обращения: 06.02.2024).



УДК 910.3+528(921)(946)

**РАЗРАБОТКА ТУРИСТИЧЕСКОГО ГЕОПОРТАЛА  
КУРОРТНОГО ПОСЕЛКА ДОМБАЙ  
И БЛИЗЛЕЖАЩИХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Л. И. Вологодина, Н. С. Горбанева**

*ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет, ул. Пушкина, 1, 355017,  
г. Ставрополь, Российская Федерация, mafiozinons@gmail.com, 99nina9@gmail.com*

В статье приводится анализ работ, выполненных в сфере разработки геопорталов и туристических геопорталов, в частности. Предложен проект туристического геопортала курортного поселка Домбай. Определены цели и поставлены задачи проекта, выработаны рекомендации по его разработке.

**Ключевые слова:** геопортал; туризм; туристический геопортал; Домбай; web-картография.

**DEVELOPMENT OF A TOURIST GEOPORTAL  
DOMBAI RESORT AND SURROUNDING AREAS**

**L. I. Vologdina, N. S. Gorbaneva**

*North Caucasus Federal University, 1 Pushkin str. 355017, Stavropol,  
Russian Federation, mafiozinons@gmail.com.com, 99nina9@gmail.comcom*

The article provides an analysis of the work carried out in the field of development of geoportals and tourist geoportals in particular. The project of the tourist geoportals of the Dombay resort village is proposed. The goals and objectives of the project have been defined, and recommendations for its development have been developed.

**Keywords:** geoportals; tourism; tourist geoportals; Dombay; web cartography.

В нашей стране сейчас набирает обороты спрос на внутренний туризм. Резко возрос интерес к курортам Северного Кавказа. Однако далеко не все точки притяжения достаточно хорошо описаны и легко доступны для туриста в информационном плане.

Одним из ярких примеров таких курортов является Домбай, в котором реализуется сразу несколько видов туризма: спортивно-развлекательный, экологический, историко-культурный и гастрономический. Каждый из них выполняет множество значимых функций как на региональном, так и на государственном уровне: социальные, экологические, экономические и др., а потому раскрытие этих функций и в целом

потенциала курортного поселка имеет особую практическую значимость не только для желающих отдохнуть в Домбае, но и для Северо-Кавказского федерального округа и страны в целом; более того, это поможет развитию сразу нескольких сфер бизнеса в курортном посёлке: экскурсионного, гостиничного, ресторанного, транспортного и пр.

Тематика геопорталов активно разрабатывается различными исследовательскими группами университетов нашей страны: ПГНИУ [10], СПбГУ [1], МИИГАиК [7], РГУТиС [8, 9] и др. Однако в данный момент исследователи пока не пришли к общему определению геопортала, так как эта тема является одной из новейших в картографии и геоинформатике. Тем не менее, уже предложены основные функции этого картографического продукта, в разной степени выделяемые авторами различных определений: поиск, загрузка и визуализация пространственных данных по описательной информации (метаданным). Прочие функции и дополнительные сервисы носят факультативный характер, о чём говорит Шевин А. В. [13]. Мы остановимся на толковании, предложенном Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. и др. [2], согласно которому геопортал — это «веб-сайт или веб-портал с функциями управления пространственными данными и метаданными, а также предоставления доступа к данным и сервисам, связанным с этими данными», потому что оно отражает все указанные функции. Расхождения в определениях также объясняются и тем, что объект исследования довольно сложен: геопорталы могут различаться по территориальному охвату (глобальные, государственные, региональные и муниципальные), тематике (туристические, исторические, научные и др.) и техническим характеристикам [6].

Анализ источников. Картографический дизайн как научное направление уже пополняется исследованиями касаясь геопорталов различных видов. В целом в направлении дизайна геопорталов преобладают скорее практические наработки, нежели теоретические. Также можно отметить, что вопросы, затрагивающие Веб-ГИС и геопорталы, нередко разрабатываются в связке с исследованиями, относящимися ГИС и АИС [3, 4, 5, 12, 15]. Это связано с тем, что геопорталы требуют основательного информационного оснащения, являясь частью инфраструктуры пространственных данных (ИПД).

Одной из наиболее распространённых тем отечественных публикаций касаясь геопорталов является туристическая [8, 9, 10]. Это связано с несколькими причинами: наличие заинтересованных лиц (заказчиков); свобода при разработке дизайна и в целом наполнения геопортала; и в большинстве случаев для туристического геопортала не требуется ведения большой базы данных, что может вызывать трудности у



разработчиков как на этапе проектирования, так и на этапе сопровождения уже готового продукта.

Наиболее общие решения при разработке туристического геопортала. Авторы предлагают различные технологии при создании туристических геопорталов. Токарчук С. М., Цибульский Е. А. обобщили их, сведя к трём наиболее важным этапам: 1) сбор различных типов информационных материалов, накопленных в ходе научной и практической деятельности и реализованных интерактивных картографических веб-продуктов; 2) интеграция данных материалов в единую систему; 3) обеспечение общего доступа к информации для заинтересованных лиц [11].

На данный момент уже имеется некоторый отечественный опыт в создании туристических геопорталов [1, 14], а также совместной разработки тематических геопорталов преподавателями и студентами [8]. Однако не каждый крупный курорт располагает подобным инструментом, а ведь он является весьма эффективным при привлечении туристов.

Авторская концепция туристического геопортала курортного посёлка Домбай. Мы предлагаем к разработке геопортал для курортного посёлка Домбай. Геопортал будет строиться на основе опыта МИИГАиК [7], ПГНИУ [10], РГУТиС [8], СПбГУ [1]. Целевая аудитория охватывает туристов, владельцев обслуживающего их бизнеса и управленцев. Также разработка геопортала представляет интерес ввиду необходимости создания инфраструктуры пространственных данных для СКФО и России в целом.

Цель проекта — создать удобный и информативный туристический геопортал для посёлка Домбай, который позволит туристам легко находить информацию о достопримечательностях, маршрутах, гостиницах, ресторанах и других объектах инфраструктуры, а также организовывать свой отдых в этом регионе. Это позволит привлечь больше туристов, повысить длительность их пребывания в Домбае и поспособствует развитию туристической индустрии в регионе.

В связи с целью, ставятся следующие задачи:

- 1) географический анализ территории курортного посёлка Домбай и близлежащих территорий;
- 2) определение особенностей целевой аудитории геопортала;
- 3) проектирование геопортала на концептуальном, содержательном и технологическом уровнях;
- 4) формирование базы данных и планирование наполнения геопортала;
- 5) верстка сайта, его тестирование;
- 6) продвижение и сопровождение готового продукта.

Этапы содержательной части проекта. На аналитическом этапе проекта (при выполнении первой и второй задачи) предусматривается анализ географических особенностей территории Домбая с тем, чтобы выявить, какие проблемы имеются у курорта и как они влияют на развитие местного туризма и бизнеса. Это важно для понимания интересов и трудностей, с которыми сталкиваются представители различных сегментов целевой аудитории. Последнюю тоже необходимо изучить, ведь учёт интересов всех категорий потенциальных пользователей: туристов, владельцев бизнеса и управленцев – должен стать основой для дизайна и наполнения разрабатываемого геопортала.

На проектном этапе работы (при продвижении по третьей и четвёртой задачам) будет разработана концепция геопортала согласно особенностям его целевой аудитории и охватываемой территории; сформирована собственная база геоданных посредством унификации данных и метаданных из различных источников. Также будет разработано медиа-наполнение сайта, чтобы привлечь внимание потенциальных пользователей посредством обработки тематических источников, исходя из уже развитых сфер туризма в пос. Домбай; выбраны средства для реализации геопортала на технологическом уровне.

На практическом этапе (пятая задача) ожидается, что результаты выполнения предыдущих задач будут интегрированы для непосредственной разработки и наполнения сайта (геопортала) на таких языках веб-программирования как HTML, CSS, JS и др. Далее он будет насыщен интерактивными географическими картами с помощью серверной геоинформационной системы NextGIS Web. Могут быть использованы и иные средства и технологии, предложенные при планировании геопортала на технологическом уровне. Готовую HTML-страница рекомендуется протестировать с тем, чтобы произвести ее отладку и внести необходимые правки.

Далее геопортал Домбая следует (шестая задача) осветить и популяризировать с помощью средств массовой информации, используя для этого средства таргетированной рекламы и искусственного интеллекта. Затем должен быть проведен анализ касавшего полученного практического опыта (результатов проекта), предложены методические рекомендации для дальнейшего проектирования геопорталов и их сопровождения; получены выводы о качествах и особенностях туристических геопорталов как инструмента развития внутреннего туризма и привлечения внимания общества к проблеме информационного обеспечения курортов и точек интереса туристов; оценён потенциал дальнейшего развития полученного геопортала, описаны позитивные изменения и его возможные негативные последствия (при наличии), а также дополнительные (косвенные) эффекты.

Таким образом, выполнение поставленных задач приведет к поставленной цели: создать удобный и информативный туристический геопортал Домбая, который позволит туристам легко находить информацию об объектах инфраструктуры, а также организовывать свой отдых в этом регионе, а иным заинтересованным лицам (бизнесу, управлению) адаптироваться под туристический поток и повысить качество работы. Также разработка проекта позволит интегрировать и унифицировать пространственные данные на соответствующую территорию, что может стать основой для ее дальнейших исследований.

### Библиографические ссылки

1. Региональный Геопортал "Невский край": структура, содержание и технологии создания / Т. А. Андреева [и др.] Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2015. № 3. С. 73–83.

2. Геоинформатика: в 2 кн.: учебник для студ. высш. учебн. заведений / под ред. В. С. Тикунова. М.: Академия, 2010. Кн. 1. 416 с. Кн. 2. 432 с.

3. *Картавцева Е. Н.* Использование геоинформационных систем в компьютерной графике и картографическом дизайне (на примере ГИС Mapinfo) // Научные вести. 2019. № 2. С. 148–154.

4. *Корниенко С. И., Круглова А. С., Пьянков С. В.* Геопортал «Историко-культурное наследие Пермского края» как новый полиинформативный источник и программно-технологический инструмент для реализации междисциплинарных исследовательских проектов // Информационный бюллетень ассоциации «История и компьютер». 2015. № 43. С. 87–92.

5. *Круглова А. С., Пьянков С. В.* Геопортал «Историко-культурное наследие Пермского края». Опыт создания и возможности реализации междисциплинарных исследований // Цифровая гуманитаристика: ресурсы, методы, исследования : Материалы Международной научной конференции. В 2-х частях, Пермь, 16–18 мая 2017 года. Том Часть 2. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. С. 37–41.

6. *Миронова Ю. Н.* Туристический геопортал и его свойства // Актуальные проблемы науки и техники : Материалы II Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию ИМИ – ИжГТУ и 60-летию СПИ (филиал) ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», Сарапул, 19–21 мая 2022 года. Ижевск: Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2022. С. 427–429.

7. *Митрофанов Е. М., Королева И. С.* Информационная структура туристического геопортала // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. 2023. Т. 9, № 4. С. 25–36.

8. *Саранча М. А.* Разработка туристских геопорталов как инновационная форма практикоориентированного обучения студентов системы высшего образования и инструмент повышения доступности технологии для субъектов туристской сферы // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29, № 4. С. 534–543.

9. *Саранча М. А.* Потенциал и организация развития туристско-рекреационной деятельности в Удмуртской Республике: географический анализ и оценка: дисс. докт. геогр. наук: 25.00.24. Воронеж, 2011. С. 309.
10. *Сафарян А. А.* Туристский геопортал как инструмент визуализации результатов исследования и продвижения дестинации // *Сервис в России и за рубежом.* 2016. Т. 10, № 4 (65). С. 56–70.
11. *Токарчук С. М., Цибульский Е. А.* Геопортал «Экотуризм в малых городах Брестской области» // *Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки.* 2023. Т. 16, № 4. С. 95–107.
12. *Цыдыпова М. В.* Создание научно-образовательного геопортала Бурятского государственного университета // *ИнтерКарто. ИнтерГИС.* 2021. Т. 27, № 2. С. 67–74.
13. *Шевин А. В.* Геопорталы как базовые элементы инфраструктуры пространственных данных: анализ текущего состояния вопроса в России // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий).* 2016. № 3 (35). С. 102–110.
14. *Яковлев Д. В.* Геопортал Воронежской области – инструмент эффективного обмена географическими знаниями // *Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы III Всероссийской научно-практической конференции (Воронеж, 15–18 сентября 2011 г.).* Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2011. 166 с.
15. *Ямашкин С. А.* Управление природно-социально-производственными системами посредством геопорталов // *Современные наукоемкие технологии.* 2023. № 7. С. 122–128.
16. Национальная библиографическая база данных научного цитирования РИНЦ. URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 12.02.2024).

УДК 631.415

## КРУПНОМАСШТАБНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**М. В. Воробей, А. Л. Киндеев**

*Белорусский государственный университет, проспект Независимости, 4, 220030,  
Минск, Беларусь, [maks.vorobey.2020@mail.ru](mailto:maks.vorobey.2020@mail.ru)*

Целью работы является применение геостатистических методов для анализа пространственного распределения кислотности пахотного почвенного покрова. Отобраны образцы почв и проведены лабораторные измерения кислотности. С использованием геостатистических методов проведены расчеты, такие как вариограммный анализ и картирование кислотности почвы. Итогом работы стал сравнительный анализ методов картирования кислотности с учетом экономической выгоды.

**Ключевые слова:** геостатистический анализ; кислотность почвы; физико-химические свойства почвы; точное земледелие; вариограммный анализ; снижение экономических затрат.

## LARGE-SCALE MAPPING OF SOIL ACIDITY BY GEOSTATISTICAL METHODS

**M. V. Vorobey, A. L. Kindeev**

*Belarusian State University, prospect Nezavisimosti, 4, 220030, Minsk,  
Belarus, [maks.vorobey.2020@mail.ru](mailto:maks.vorobey.2020@mail.ru)*

The purpose of this paper is to apply geostatistical methods to analyze the spatial distribution of arable soil acidity. Soil samples were collected and laboratory measurements of acidity were made. Using geostatistical methods, calculations such as variogram analysis and soil acidity mapping were carried out. The outcome of the work was a comparative analysis of acidity mapping methods with regard to economic benefits.

**Keywords:** geostatistical analysis; soil acidity; soil physicochemical properties; precision agriculture; variogram analysis; economic cost reduction.

Физико-химические свойства почвы, такие как кислотность, играют важную роль в определении ее плодородия и способности поддерживать здоровый рост растений. В большинстве развитых странах мира учет неоднородности свойств почвенного покрова применяется при дифференцированном внесении удобрений и является основой точного земледелия [1]. При этом большое количество усилий вкладывается в

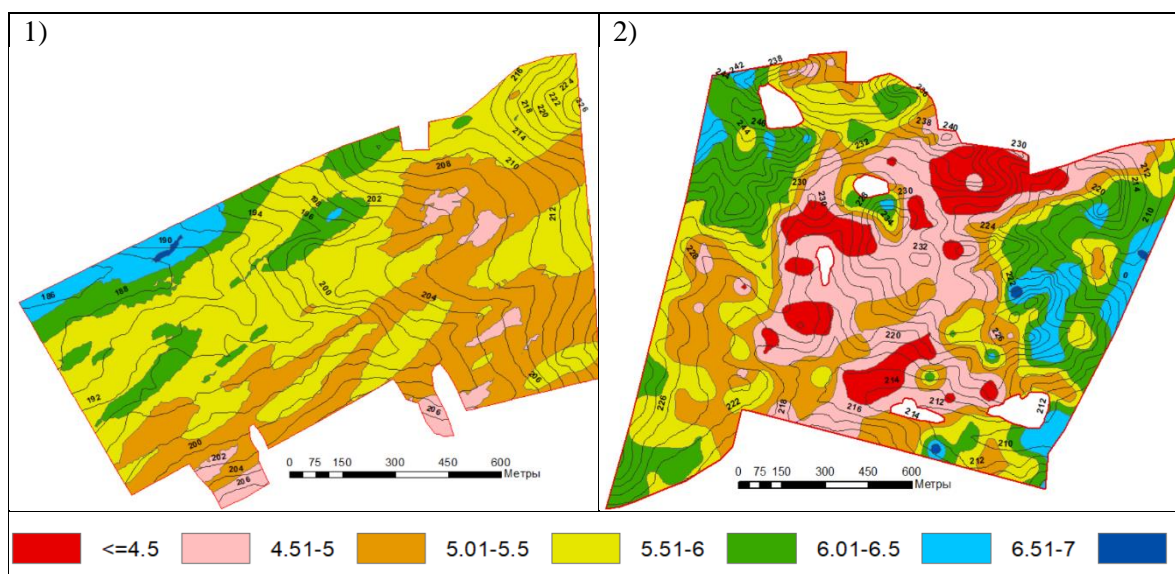
разработку машинно-аналитических комплексов по автоматизированному отбору проб [2]. В свою очередь, в Беларуси при агрохимическом обследовании с/х земель с одного элементарного участка отбираются 30-35 уколов общим весом 0,6 кг, из которых отбирается смешанный образец [3]. Это приводит к абсолютному игнорированию полевых особенностей. Что в свою очередь приводит к понижению уровня эффективного плодородия и последующей частичной гибели урожая.

Использование геостатистического подхода при анализе пространственного распределения кислотности почвы становится все более важным для оптимизации уровня кислотности и повышения урожайности. В современной цифровой почвенной картографии происходит объединение различных методов изучения почвенного покрова и его свойств, а также активное использование машинного обучения для прогностического картографирования почвы.

В качестве контрольных площадок, были выбраны два поля, которые используются для возделывания тритикале, находящихся в хозяйстве ОАО «Кошелево-Агро», Новогрудского района. Поле № 1 имеет площадь 119,7 га и перепады высот 40 метров и располагается близ населенного пункта «Радюки» и поле № 2, площадь 180,6 га, находится близ деревни «Милевцы», перепады высот составляют 38 метров. На обоих полях в сентябре 2023 года был произведен отбор образцов с интервалом в 70 метров и глубиной отбора 0-20 см. На поле № 1 было отобрано 229 образцов, на поле № 2 — 343. В лаборатории пробы прошли первичную обработку, далее были получены значения кислотности почвы потенциометрическим способом.

На поле № 1 преобладают почвы дерново-подзолистые рыхлосупесчаные, развивающиеся на моренных суглинках, среднее содержание гумуса – 2,5 %. Поле № 2 менее однородно по типу почв и генезису почвообразующих пород: почвы — дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные; большая часть поля имеет моренное происхождение, однако северо-западная часть поля имеет лессовидное подстилание, также имеются мелкоконтурные ареалы дерново-карбонатных почв. На большей части территории преобладают связно-супесчаные почвы, с средним содержанием гумуса — 1,5 %.

Полученные данные были проанализированы и преобразованы в программе ArcMap (рис. 1).



Картограммы распределения кислотности,  $pH_{KCl}$  поле № 1 и № 2

Для поля № 1 входные данные преобразованы не были, так как у них изначально наблюдается нормальное распределение, также был выбран первый порядок удаления тренда. Лучшим вариантом при вариограммном анализе стала устойчивая модель: самородком (наггет-эффектом) 0, порогом 0,426 и средней стандартной ошибкой 0,604 при минимальном входном значении 4,25 и максимальном 7,82.

Для поля № 2, после анализа входных значений, выбраны логарифмические преобразования и второй порядок удаления тренда, при вариограммного анализе выбраны модели экспоненциальная и J-Бесселя: самородком (наггет-эффектом) 0, частичный порог 0,02 и средней стандартной ошибкой 0,664 при минимальном входном значении 3,72 и максимальном 7,9.

Остаточная дисперсия для обоих полей равна 0, что говорит о сильной автокорреляции между точками и высокой точностью полученных картограмм. Шаг для обоих полей равняется 70 [4]. Результатом геостатистических операций стали полученные картограммы распределения кислотности (рис. 1).

Кислотность почв зависит от большого количества факторов: состав материнской породы, климатические условия, грунтовые воды, растительный покров и т. д., из-за чего сложно установить какую-либо достоверную зависимость и их влияние на распределения кислотности от отдельных факторов [5]. Помимо этого, поле является объектом хозяйственной деятельности человека, что вносит значительные изменения и накладывает дополнительные трудности в установлении зависимости распределения кислотности на с/х землях. Поэтому

выявление закономерностей в распределении кислотности в почвенном покрове в рамках данного исследования является не целесообразным, а также нуждается в гораздо большей выборке данных.

Изучение полученных картограмм полей № 1 и № 2 показывает, что на территории, расположенной ниже по склону от хвойных лесов, наблюдается влияние процесса подкисления почв хвойными породами. Данное влияние можно отметить на южной части поля №1 и северной части поля № 2. Также на поле № 2 можно наблюдать влияние карбонатных отложений на показатели кислотности в сторону понижения кислотности.

Для сравнительного анализа двух способов картографирования кислотности почв: классического агрохимического обследования и геостатистическими методами, был проведен расчет потребности почв в известковании по данным способам. Расчет проводился по инструкции Н. В. Клебановича [6].

На поле № 1 по классическому способу агрохимического обследования площадь, нуждающаяся в известкований составила 47,1 га, а по методу кригинга составили 44,2 га. Разница составила 2,9 га, что является незначительной частью от общей площади поля, менее 2,5 %. При рассмотрении количества тонн  $\text{CaCO}_3$ , необходимых для известкования, было установлено, что классический способ требует 202,4 тонны, а метод геостатистических методов — 146,2 тонны. Разница уже является более существенной, а именно в денежном эквиваленте 4833 бел. руб. (табл. 1).

Таблица 1

**Затраты на известкование поля № 1, белорусских рублей**

<b>Затраты на известкование по классическому способу агрохимического обследования</b>						
Группа почв	Гумус, %	pH <sub>KCl</sub>	$\text{CaCO}_3$ , т/га	Площадь, га	$\text{CaCO}_3$ , тонн	Затраты, бел. руб
Связносупесчаные	1,51-2	4,51-5	5,25	5,8	30,5	2623
Связносупесчаные	2,01-2,5	4,51-5	6,25	6,8	42,5	3655
Рыхлосупесчаные	2,01-2,5	5,01-5,5	3,75	34,5	129,4	11128
<b>Почвы, не нуждающиеся в известковании</b>				<b>72,6</b>	-	-
<b>Сумма</b>				<b>119,7</b>	<b>202,4</b>	<b>17406</b>
<b>Затраты на известкование по агрохимическому обследованию с применением геостатистических методов</b>						
Песчаные	2,01-2,5	4,5-4,75	4,5	0,1	0,5	43
Связносупесчаные	1,51-2	4,76-5	5	0,4	2	172



Окончание табл. 1

Рыхлосупесчаные	2,01-2,5	4,76-5	4	2,5	10	860
Песчаные	1,51-2	4,76-5	3,5	1,7	6	516
Связносупесчаные	1,51-2	5,01-5,25	4,5	2	9	774
Рыхлосупесчаные	1,51-2	5,01-5,25	3,5	11,4	39,9	3431
Песчаные	2,01-2,5	5,01-5,25	3	1,4	4,2	361
Связносупесчаные	1,51-2	5,26-5,5	4	1,2	4,8	413
Рыхлосупесчаные	2,01-2,5	5,26-5,5	3	22	66	5676
Песчаные	1,51-2	5,26-5,5	2,5	1,5	3,8	327
<b>Почвы, не нуждающиеся в известковании</b>				<b>75,5</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Сумма</b>				<b>119,7</b>	<b>146,2</b>	<b>12573</b>

Наблюдается сходство между показателями поля № 2, полученными с помощью двух различных методов. Эти показатели включают площадь, требующую известкования, а также количество тонн  $\text{CaCO}_3$ . Однако применение геостатистических методов позволяет не только количественно, но и качественно улучшить внесение  $\text{CaCO}_3$  благодаря учету неоднородности в распределении кислотности в почвенном покрове (табл. 2).

Таблица 2

**Затраты на известкование поля № 2, белорусских рублей**

<b>Затраты на известкование по классическому способу агрохимического обследования</b>						
Группа почв	Гумус, %	pH <sub>KCl</sub>	$\text{CaCO}_3$ , т/га	Площадь, га	$\text{CaCO}_3$ , тонн	Затраты, бел. руб
Связносупесчаные	1,01-1,5	≤4,5	6,25	21,5	134,4	11558
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,51-5	5,25	49,8	261,5	22489
Песчаные	1,01-1,5	4,51-5	3,75	7,2	27	2322
Связносупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,5	4,25	4,5	19,1	1643
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,5	3,25	6	19,5	1677
<b>Почвы, не нуждающиеся в известковании</b>				<b>91,7</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Сумма</b>				<b>180,7</b>	<b>461,5</b>	<b>39689</b>

<b>Затраты на известкование по агрохимическому обследованию с применением геостатистических методов</b>						
Связносупесчаные	1,01-1,5	<4,25	6,5	4,3	28	2408
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,25-4,5	6	12,2	73,2	6295
Песчаные	1,01-1,5	4,25-4,5	4,5	0,8	3,6	310
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,51-4,75	5,5	18,2	100,1	8609
Песчаные	1,01-1,5	4,51-4,75	4	0,5	2	172
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,76-5	5	20,7	103,5	8901
Песчаные	1,01-1,5	4,76-5	4	0,1	0,4	34
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	4,76-5	3,5	0,4	1,4	120
Связносупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,25	4,5	16,5	74,3	6390
Песчаные	1,01-1,5	5,01-5,25	3,5	1,3	4,6	396
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,25	3	0,7	2,1	181
Связносупесчаные	1,01-1,5	5,26-5,5	4	14,4	57,6	4954
Песчаные	1,01-1,5	5,26-5,5	3	5	15	1290
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	5,26-5,5	2,5	0,4	1	86
<b>Почвы, не нуждающиеся в известковании</b>				<b>85,2</b>	-	-
<b>Сумма</b>				<b>180,7</b>	<b>466,8</b>	<b>40146</b>

Тщательный отбор проб почвы, несмотря на свою трудоемкость по сравнению с традиционными методами, предоставляет более точные и репрезентативные данные о кислотности почвы. Это открывает значительные экономические выгоды:

1. Оптимизированное применение извести: Тщательный отбор проб почвы позволяет точно определить потребность в известковании, экономя средства на ее приобретение и предотвращая чрезмерное известкование.

2. Повышенная урожайность: Точное применение извести создает оптимальные условия для роста растений, что приводит к увеличению урожайности и повышению прибыльности сельскохозяйственных культур.

### **Библиографические ссылки**

1. 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. 360 с.

2. *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.

3. *Клебанович Н. В.* Методы обследований земель: учеб. пособие Минск: БГУ, 2011. 208 с.

4. *Киндеев А. Л.* Стохастическое моделирование кислотности почв. Минск, 2022.

5. Границы и причины изменчивости параметров кислотности почв лесных биогеоценозов среднего Поволжья : науч. ст. / Ю.П. Демаков [и др.]// Вестник ПГТУ. 2019. №1(41).

6. *Клебанович Н. В., Василюк Г. В.* Известкование почв Беларуси. Минск: БГУ, 2003. 322 с.

УДК 504.3.054

## РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВЫПАДЕНИЯ СЕРЫ И АЗОТА ИЗ АТМОСФЕРЫ В РАЙОНАХ РОССИЙСКИХ И БЕЛОРУССКИХ СТАНЦИЙ ЕМЕП ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д. А. Галушин<sup>1)</sup>, С. А. Громов<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. ак. Ю. А. Израэля»,  
ул. Глебовская, 20Б, 107258, г. Москва, Россия, [galushin2012@yandex.ru](mailto:galushin2012@yandex.ru)

<sup>2)</sup>ФГБУН «Институт географии Российской академии наук»,  
пер. Старомонетный, 29, 119017, г. Москва, Россия, [gromov@igras.ru](mailto:gromov@igras.ru)

В статье проводится сравнительный анализ изменений выпадения серы и азота на территории России и Беларуси за длительный период времени по результатам моделирования в программе ЕМЕП. Исследуется динамика поступления основных загрязняющих веществ (окисленные сера и азот, восстановленный азот), массово содержащихся в антропогенных выбросах, в районах размещения станций мониторинга трансграничного атмосферного загрязнения.

**Ключевые слова:** окисленная сера; окисленный азот; моделирование; загрязнение окружающей среды; кислотные осадки, ЕМЕП.

## RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF SULFUR AND NITROGEN ATMOSPHERIC DEPOSITION IN EMEP STATION AREAS OF RUSSIA AND BELARUS BASED ON MODELING DATA

D. A. Galushin<sup>1)</sup>, S. A. Gromov<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Glebovskaya str., 20B, 107258,  
Moscow, Russia, [galushin2012@yandex.ru](mailto:galushin2012@yandex.ru)

<sup>2)</sup>Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Staromonetny line, 29,  
119017, Moscow, Russia, [gromov@igras.ru](mailto:gromov@igras.ru)

The article provides a comparative analysis of changes in sulfur and nitrogen deposition in Russia and Belarus over a long period of time based on the results of modeling in the EMEP program. The dynamics of the intake of the main pollutants (oxidized sulfur and nitrogen, reduced nitrogen), massively contained in anthropogenic emissions, in the areas where monitoring stations for transboundary atmospheric pollution are located, is studied.

**Keywords:** sulfur oxides; nitrogen oxides; modeling results; environmental pollution; acid deposition; EMEP.

Распространение, в результате человеческой деятельности, антропогенного воздействия на окружающую среду, вследствие естественных геофизических и химических процессов в атмосфере и смежных с ней средах, является одной из ключевых проблем в экологии. Проявления интенсивного загрязнения атмосферы в начале XX в. являлись локальными. С развитием индустриализации, потреблением энергии и широким использованием транспорта в разных регионах мира, больше стало проявляться не только непосредственное воздействие выбросов загрязняющих воздух веществ, но и последствия их переноса и трансформации в атмосфере для экосистем, сельского хозяйства, поверхностных вод и др. Выпадение кислотных осадков — одна из таких проблем регионального масштаба. Как известно, в атмосфере есть соединения сульфатов и нитратов естественного происхождения в минимальных, фоновых количествах. Однако в 60–70 гг. прошлого века в ряде европейских стран, а также в США, резко возросли кислотность атмосферных осадков, концентрации в них сульфатов и нитратов, происхождение которых связано с антропогенными источниками. Продолжительное воздействие таких атмосферных выпадений приводило к закислению почв и водоемов, гибели лесных насаждений и другие неблагоприятные последствия [1, с. 5]. Именно в 60–70 гг. научное сообщество перешло к обсуждению создания специализированных сетей мониторинга за состоянием и загрязнением окружающей среды, поскольку до этого программы мониторинга атмосферы сводились к измерению метеопараметров (температура воздуха, количество осадков и т. д.). Регулярные наблюдения за выпадениями загрязняющих веществ с атмосферными осадками, а также мониторинг переноса загрязняющих веществ на дальние расстояния, не проводился до конца 70-х гг. [2, с. 11].

В результате международной деятельности Совместной программы мониторинга и оценки дальнего переноса загрязняющих веществ в Европе (ЕМЕП) в рамках Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (1979 г.) была сформирована система получения и анализа данных о переносе загрязняющих веществ и трансграничных потоков на дальнее расстояние. Одним из важных ее элементов является моделирование атмосферных переносов и расчеты выпадений веществ с использованием совместных данных о выбросах в атмосферу, результатов мониторинга загрязнения атмосферных осадков и воздуха, а также реальных метеорологических данных. В рамках программы ЕМЕП публикуются официальные результаты и отчеты, в которых включены оценки концентраций и выпадений основных загрязняющих веществ.

Один из основных центров — Метеорологический Синтезирующий Центр-Запад (МСЦ-3) ЕМЕП, проводит регулярное моделирование

трансграничных переносов подкисляющих веществ. Главными задачами его являются ежегодные оценки выпадений соединений серы и азота, в том числе, «страна на страну», а также уровни загрязнения атмосферы этими и некоторыми другими веществами [3, с. 93].

При хорошем соответствии результатов моделирования данным наблюдений существующих станций ЕМЕП, достигаемых при использовании последних для верификации модели, долгосрочное моделирование может решать вопросы о восполнении информации при отсутствии или нехватке станций в отдельных частях (или даже странах) региона ЕМЕП, дополнять пространственную неоднородностью сети [4, с. 5], а также восстанавливать динамику загрязнения для отдельных мест.

В данной работе были обработаны и проанализированы результаты моделирования для районов станций наблюдений ЕМЕП в России и Беларуси за многолетний период (с 2000 по 2021 гг.). В Российской Федерации действуют 4 станции ЕМЕП; на северо-западе Европейской части (ст. Янискоски, до 2022 г.; и Пинега), и в Центральном федеральном округе (ст. Лесной заповедник, Тверская область; ст. Данки, юг Московской области) [5, с. 64]. На территории Республики Беларусь функционируют 2 станции, работающие по программе ЕМЕП – ст. Высокое и ст. Березинский Заповедник.

Для проведения исследований из результатов моделирования были взяты следующие вещества и параметры: окисленная сера и азот (сухое выпадение, влажное выпадение, общее выпадение), восстановленный азот (сухое выпадение, влажное выпадение, общее выпадение). Значения из модельных расчетов для районов станций были выбраны для соответствующих ячеек сетки ЕМЕП размером в  $0,1 \times 0,1$  гр. [3, с. 93].

Анализ результатов модельных расчетов за 2000-2021 гг. показывает снижение общего выпадения окисленной серы на российских и белорусских станциях ЕМЕП в целом на 70 % за 20-летний период (рис. 1). Выпадения окисленной влажной серы занимают первое место среди всех выпадений загрязняющих веществ по данным моделирования ЕМЕП. Максимальное выпадение окисленной серы по данным моделирования на 2000 г. характерны для станций Республики Беларусь и станций Центрального федерального округа (ЦФО) в России. От центральных районов России значения снижаются по направлению к северу. В соответствии с модельными расчетами, выпадения влажной окисленной серы на станции Пинега составляют  $260 \text{ мг/м}^2$ , а на станции Янискоски —  $180 \text{ мг/м}^2$  (рис. 1, 2).

К 2021 г. значение выпадения влажной окисленной серы для станций ЕМЕП, находящиеся на территории Белоруссии и Центра ЕЧР не превышали  $180 \text{ мг/м}^2$ , а на севере России — не выше  $100 \text{ мг/м}^2$ .

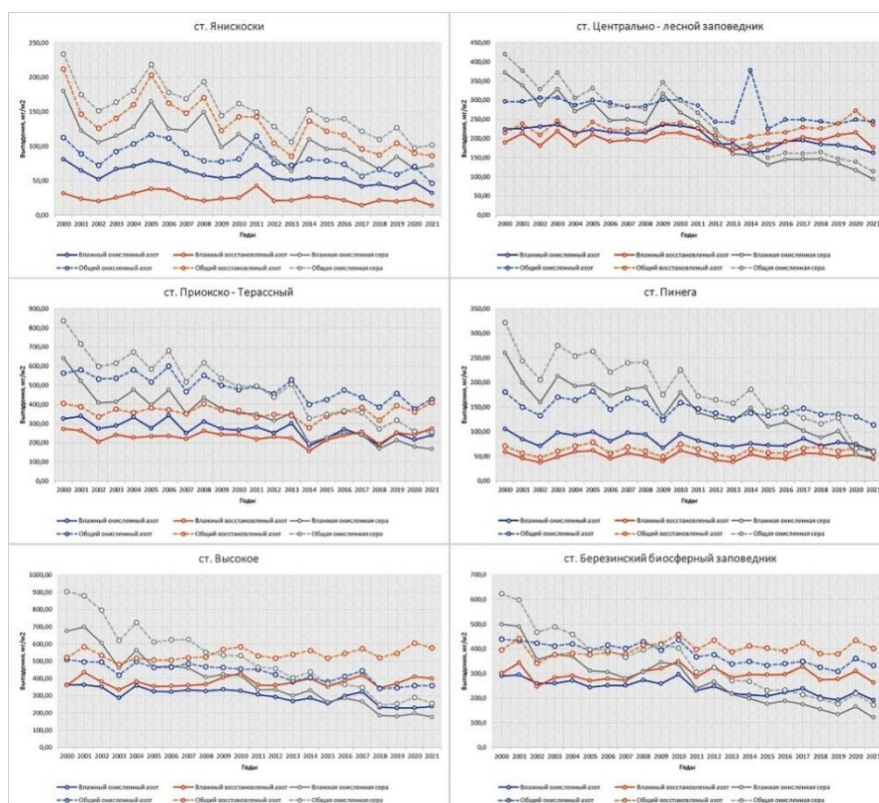


Рис. 1. Динамика выпадения загрязняющих веществ на станциях ЕМЕП с 2000 по 2021 гг. (по данным моделирования ЕМЕП)

Ст. Пинега	Выпадение в мг/м² в 2000	Выпадение в мг/м² в 2021	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг.	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг. (%)	Ст. Янискоки	Выпадение в мг/м² в 2000	Выпадение в мг/м² в 2021	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг.	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг. (%)
Влажные выпадения окисленного азота	105,65	60,89	-44,77	-42%	Влажные выпадения окисленного азота	81,17	32,16	-49,01	-60,38%
Влажные выпадения восстановленного азота	59,16	44,54	-14,62	-25%	Влажные выпадения восстановленного азота	31,61	14,02	-17,59	-55,66%
Влажные выпадения окисленной серы	260,07	47,40	-212,66	-82%	Влажные выпадения окисленной серы	180,04	72,25	-107,79	-59,87%
Сухие выпадения окисленного азота	74,67	52,91	-21,75	-29%	Сухие выпадения окисленного азота	53,8	29,4	-24,46	-45,43%
Сухие выпадения восстановленного азота	11,54	13,31	1,77	15%	Сухие выпадения восстановленного азота	7,0	4,2	-2,79	-40,03%
Сухие выпадения окисленной серы	62,11	12,46	-49,65	-80%	Сухие выпадения окисленной серы	38,0	28,9	-9,08	-23,93%
Общее выпадение окисленного азота	180,32	113,80	-66,52	-37%	Общее выпадение окисленного азота	112,78	46,17	-66,61	-59,06%
Общее выпадение восстановленного азота	70,70	57,85	-12,85	-18%	Общее выпадение восстановленного азота	211,65	86,27	-125,38	-59,24%
Общее выпадение окисленной серы	322,18	59,87	-262,31	-81%	Общее выпадение окисленной серы	233,89	101,63	-132,26	-56,55%
Ст. Приокско - Террасный заповедник	Выпадение в мг/м² в 2000	Выпадение в мг/м² в 2021	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг.	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг. (%)	Ст. Центрально - лесной заповедник	Выпадение в мг/м² в 2000	Выпадение в мг/м² в 2021	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг.	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг. (%)
Влажные выпадения окисленного азота	325,76	240,55	-85,20	-26%	Влажные выпадения окисленного азота	224,35	162,71	-61,64	-27%
Влажные выпадения восстановленного азота	272,52	274,21	1,70	1%	Влажные выпадения восстановленного азота	189,74	175,46	-14,28	-8%
Влажные выпадения окисленной серы	640,86	167,19	-473,67	-74%	Влажные выпадения окисленной серы	371,64	94,04	-277,60	-75%
Сухие выпадения окисленного азота	237,69	186,42	-51,27	-22%	Сухие выпадения окисленного азота	72,06	81,33	9,27	13%
Сухие выпадения восстановленного азота	132,01	135,06	3,05	2%	Сухие выпадения восстановленного азота	24,67	59,88	35,21	143%
Сухие выпадения окисленной серы	196,94	89,14	-107,80	-55%	Сухие выпадения окисленной серы	48,25	19,63	-28,62	-59%
Общее выпадение окисленного азота	563,45	426,98	-136,47	-24%	Общее выпадение окисленного азота	296,42	244,04	-52,37	-18%
Общее выпадение восстановленного азота	404,53	409,27	4,75	1%	Общее выпадение восстановленного азота	214,41	235,34	20,93	10%
Общее выпадение окисленной серы	837,80	256,33	-581,47	-69%	Общее выпадение окисленной серы	419,89	113,67	-306,22	-73%
Ст. Березинский БЗ	Выпадение в мг/м² в 2000	Выпадение в мг/м² в 2021	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг.	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг. (%)	Ст. Высокое	Выпадение в мг/м² в 2000	Выпадение в мг/м² в 2021	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг.	Изменение выпадения между 2000 и 2021 гг. (%)
Влажные выпадения окисленного азота	290,2	191,8	-98,39	-34%	Влажные выпадения окисленного азота	362,18	237,49	-124,69	-34%
Влажные выпадения восстановленного азота	300,5	263,9	-36,64	-12%	Влажные выпадения восстановленного азота	360,29	399,35	39,05	11%
Влажные выпадения окисленной серы	499,5	121,5	-377,97	-76%	Влажные выпадения окисленной серы	675,50	176,63	-498,87	-74%
Сухие выпадения окисленного азота	148,4	140,2	-8,26	-6%	Сухие выпадения окисленного азота	148,58	121,28	-27,30	-18%
Сухие выпадения восстановленного азота	95,1	138,1	43,03	45%	Сухие выпадения восстановленного азота	161,29	177,41	16,12	10%
Сухие выпадения окисленной серы	124,0	50,4	-73,62	-59%	Сухие выпадения окисленной серы	228,24	78,91	-149,33	-65%
Общее выпадение окисленного азота	438,6	332,0	-106,66	-24%	Общее выпадение окисленного азота	510,76	388,77	-121,99	-30%
Общее выпадение восстановленного азота	395,6	402,0	6,38	2%	Общее выпадение восстановленного азота	521,59	576,75	55,17	11%
Общее выпадение окисленной серы	623,5	171,9	-451,59	-72%	Общее выпадение окисленной серы	903,74	255,54	-648,19	-72%

Рис. 2. Изменение выпадения загрязняющих веществ на станциях ЕМЕП (в %) между 2000 и 2021 гг. (по данным моделирования ЕМЕП)

Результаты моделирования выпадения общего окисленного азота на станциях ЕМЕП в России и Белоруссии показали снижение выпадений с меньшей интенсивностью, чем снижение выпадения окисленной серы. Это снижение составило 30 %. В начале периода моделирования, в 2000 г., высокие значения выпадений были зафиксированы на станциях Березинский БЗ, Высокое и Данки, с значениями 438, 510 и 563 мг/м<sup>2</sup> соответственно. На станциях ЕМЕП Пинега и Янискоски выпадения варьировались в диапазоне от 112 до 180 мг/м<sup>2</sup>. К 2021 г. уровень выпадений на станциях ЕМЕП в Беларуси не превысил 360 мг/м<sup>2</sup> (рис. 1, 2).

В центральных районах ЕЧР выпадения общего окисленного азота варьировались от 244 мг/м<sup>2</sup> на станции Лесной заповедник до 426 мг/м<sup>2</sup> на станции Данки. На севере ЕЧР выпадения снизились до 46 мг/м<sup>2</sup> в Янискоски и до 113 мг/м<sup>2</sup> на станции Пинега.

Результаты моделирования общего восстановленного азота демонстрируют увеличение выпадений на 1-10 % для территории Белоруссии и центрального района ЕЧР. Это может быть связано с влиянием трансграничного переноса загрязняющих веществ из других стран. С другой стороны, пункты ЕМЕП, расположенные на севере ЕЧР, характеризуются снижением выпадений — на 18 % для станции Пинега и на 59 % для станции Янискоски.

Очевидное снижение выпадения окисленной серы и азота на территории России и Белоруссии вследствие трансграничного переноса от зарубежных стран является результатом работы программы ЕМЕП, который является эффективным инструментом для мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды.

Исследование выполнено в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120013190049-4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие транс-граничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)». Оценка данных моделирования сделана в работах по государственному заданию Института географии РАН FMWS-2024-0009 №1023032700199-9.

## Библиографические ссылки

1. Кислотные дожди / Ю. А. Израэль [и др.]. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 269 с.
2. Романов Е. М. Экология: экологический мониторинг лесных экосистем: учеб. пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. 236 с.
3. Смола В. И. Диоксид серы в атмосфере: состояние, проблемы и решения. Москва: Полиграфсервис, 2017. 513 с.
4. Transboundary particulate matter, photo – oxidants acidifying and eutrophying components MSC / H. Fagerli [et al.] // W. Status Report.2021. № 1. Norwegian Meteorological Institute.
5. Загрязнение воздуха и осадков по данным станций ЕМЕП / И. М. Брускина [и др.] // Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 год. М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2023. С.64–66.



УДК 502/504

## ДЕКОРАТИВНЫЕ РАСТЕНИЯ — ФИТОРЕМЕДИАТОРЫ ГОРОДСКИХ ПОЧВ

**С. В. Гальченко, А. С. Чердакова, А. А. Умеренкова**

*Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина,  
ул. Свободы, 46, 390000, г. Рязань, Российская Федерация, [cerdakova@yandex.ru](mailto:cerdakova@yandex.ru)*

Статья посвящена оценке перспектив применения декоративных цветочных культур, традиционно используемых для озеленения урбанизированных территорий, в целях фиторемедиации городских почв, загрязненных тяжелыми металлами. В результате проведенных исследований установлено, что перспективными ремедиаторами городских почв выступают такие культуры как сальвия (*Salvia* L.), бархатцы (*Tagetes* L.) и амарант (*Amaranthus* L.), способные активно накапливать в своей фитомассе тяжелые металлы.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы; загрязнение почв; декоративные цветочные культуры; коэффициент биологического поглощения; коэффициент транслокации; урбанизированные территории; фиторемедиация почв.

## ORNAMENTAL PLANTS — PHYTOREMEDIATORS OF URBAN SOILS

**S. V. Galchenko, A. S. Cherdakova, A. A. Umerenkova**

*Ryazan State University named for S. Yesenin,  
Svobody st., 46, 390000, Ryazan, Russian Federation, [cerdakova@yandex.ru](mailto:cerdakova@yandex.ru)*

The article is devoted to assessing the prospects for the use of ornamental flower crops, traditionally used for landscaping urban areas, for the purpose of phytoremediation of urban soils contaminated with heavy metals. As a result of the research, it was established that promising remediators of urban soils are such crops as salvia (*Salvia*), marigolds (*Tagetes*) and amaranth (*Amaranthus*), which are capable of actively accumulating heavy metals in their phytomass.

**Keywords:** heavy metals; soil pollution; decorative flower crops; biological absorption coefficient; translocation coefficient; urbanized areas; soil phytoremediation.

Следствием роста темпов урбанизации является и рост количества источников загрязнения на сравнительно небольших городских территориях, что приводит к увеличению масштабов и объемов техногенного

прессинга на все компоненты урбоэкосистем, в том числе и почвы. Одними из наиболее опасных и распространенных загрязнителей городских почв на протяжении уже многих десятилетий остаются тяжелые металлы (ТМ) [1, с. 9]. При этом в городских условиях применимы далеко не все технологии восстановления загрязненных ТМ почв, что обусловлено целым рядом экологических, технологических и экономических причин. Приоритет в данной ситуации должен отдаваться экологически безопасным природоподобным технологиям. Так, по мнению Президента РФ: «Современный город — это, прежде всего, город экологического благополучия... поэтому зеленые технологии должны стать обязательным условием развития городов» [2]. Указанным принципам в полной мере отвечают фиторемедиационные технологии, основанные на применении декоративных культур, используемых для озеленения урбанизированных территорий. Однако внимание представителей мирового научного сообщества, в аспекте изучения ремедиационных свойств различных растений, в основном, сосредоточено на сельскохозяйственных и дикорастущих растениях [3, с. 1117; 4, с. 903; 5, с. 1086; 6, с. 112; 7, с. 2255]. Что же касается цветочных городских культур, то в настоящее время, их потенциал в данном аспекте изучен недостаточно.

В этой связи, проведены исследования с целью оценки перспектив применения декоративных цветочных культур в целях фиторемедиации городских почв, загрязненных ТМ.

Объектами исследования являлись декоративные растения, традиционно применяемые для озеленения урбанизированных территорий, а именно культурные сорта на основе следующих родов: амарант (*Amaranthus* L.), бархатцы (*Tagetes* L.), цинерария (*Cineraria* L.) и сальвия (*Salvia* L.). Натурные исследования проводились на территории г. Рязани — крупного промышленного центра европейской части Российской Федерации. В различных функциональных зонах города (промышленная, транспортная, селитебная, рекреационная), испытывающих неодинаковую антропогенную нагрузку были заложены мониторинговые площадки. На каждой мониторинговой площадке осуществлялся отбор проб почвы (методом конверта по ГОСТ Р 58595-2019) и проб фитомассы перечисленных декоративных культур [8, с. 3]. Во всех отобранных образцах почвы и фитомассы атомно-адсорбционным методом определялось валовое содержание ТМ, а именно свинца, меди, цинка и кадмия, которые выступают одними из наиболее распространенных загрязнителей городских почв. Критериями оценки ремедиационных свойств анализируемых культурных растений служили:

- коэффициент биологического поглощения ( $A_x$ ) ТМ фитомассой, расчет и интерпретация которого осуществлялись по формуле и шкале, предложенным А. И. Перельманом [9, с. 250];

- коэффициент транслокации ТМ (рассчитываемый как соотношение содержания элемента в надземной фитомассе к его содержанию в подземной фитомассе).

Исследованные нами культуры показали явную избирательность в поглощении и накоплении ТМ (рис. 1).

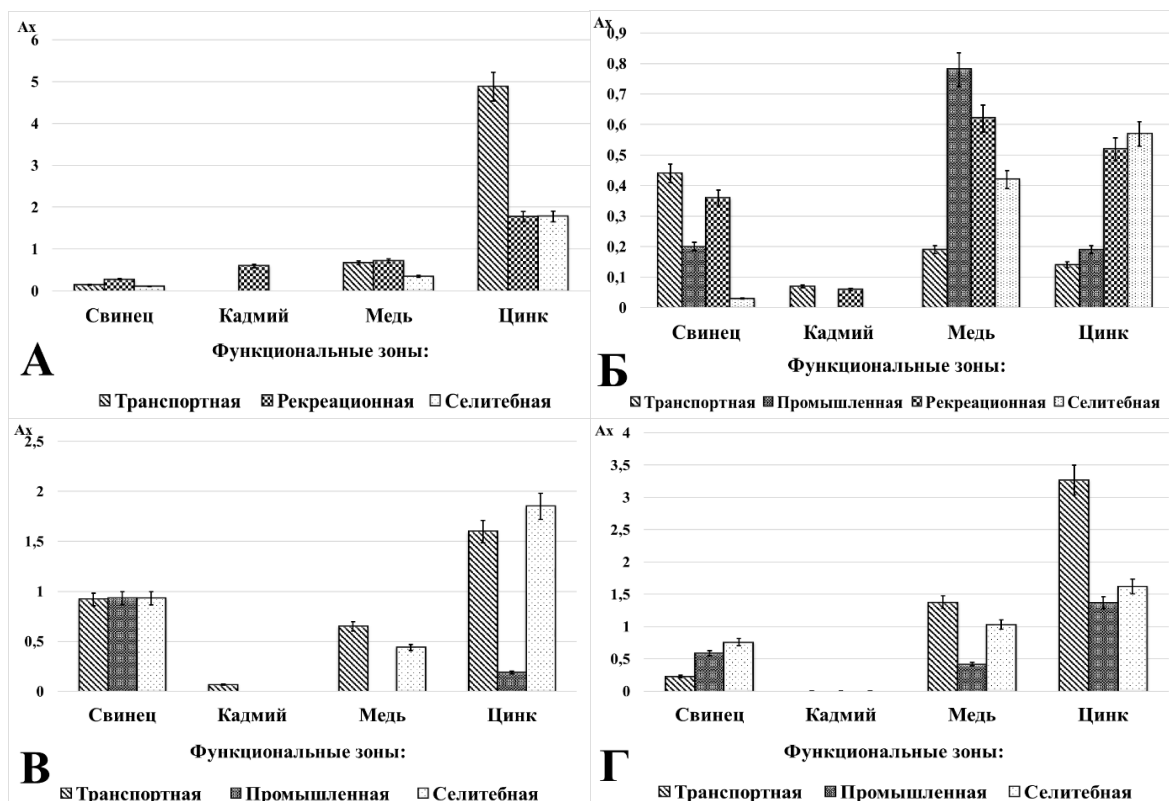


Рис. 1. Коэффициент биологического поглощения ( $A_x$ ) ТМ различными декоративными цветочными растениями:  
 А – Сальвия (*Salvia* L.), Б – бархатцы (*Tagetes* L.), В – амарант (*Amaranthus* L.),  
 Г – цинерария (*Cineraria* L.)

Установлено, что максимальные значения коэффициента биологического поглощения для всех исследованных цветочных культур отмечаются в отношении цинка и меди. При этом, наиболее активно данные элементы накапливают сальвия (*Salvia* L.) и цинерария (*Cineraria* L.).

Указанный факт мы объясняем высокой биофильностью и физиологической ролью цинка и меди. Исключение составляет амарант. Данная культура интенсивно накапливает еще и свинец — высокотоксичный тяжелый металл первого класса опасности, загрязнитель почвы

большинства современных городов. Высокое содержание свинца в городских почвах связано с длительным использованием этилированных бензинов, в составе которых в качестве антидетонационной присадки присутствовал тетраэтилсвинец. Поступая с выбросами автотранспорта в атмосферный воздух и, затем, выпадая на земную поверхность, соединения свинца накапливались в верхних почвенных горизонтах. По этой причине в настоящее время во многих странах мира, в том числе и в России, применение этилированного бензина законодательно запрещено.

Для оценки интенсивности процессов транспорта ТМ из подземных органов декоративных цветочных культур в надземные был рассчитан коэффициент транслокации. Выявлено, что для всех анализируемых культур характерна миграция ТМ (за исключением кадмия) в надземную фитомассу, но данные процессы имеют видоспецифические черты (рис. 2).

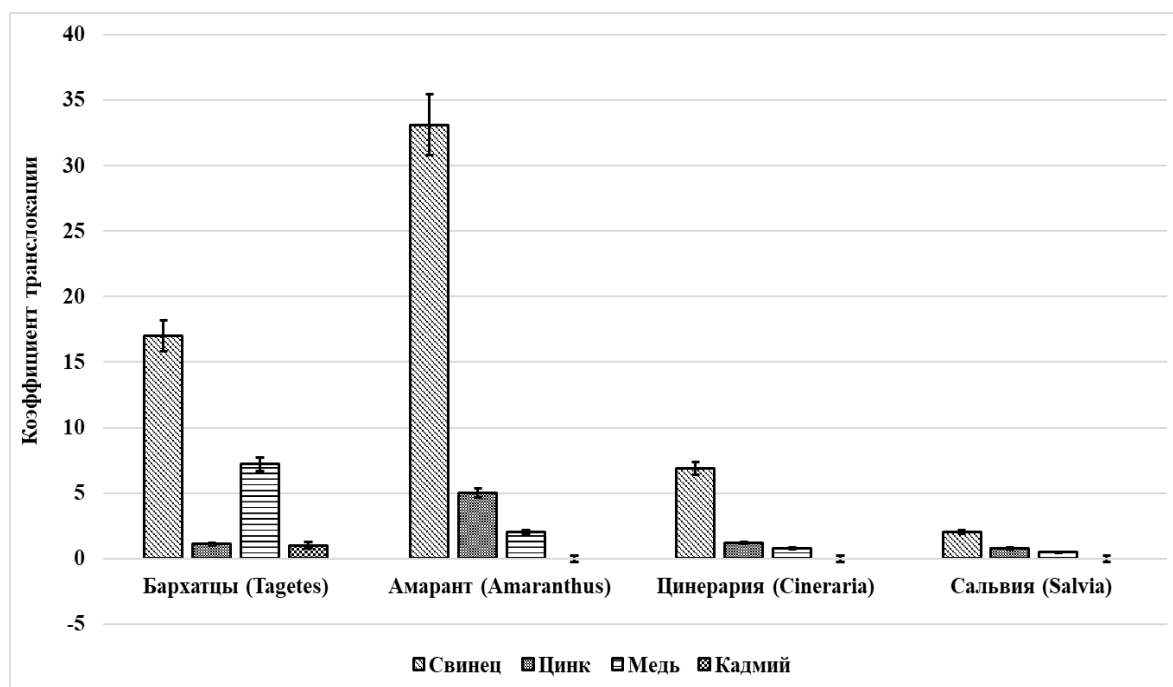


Рис. 2. Значения коэффициента транслокации ТМ различных декоративных цветочных растений

Наиболее интенсивно мигрирует и накапливается в надземной фитомассе всех исследованных культур свинец. Так, у амаранта и бархатцев значения коэффициента транслокации данного металла достигают 33,1 и 17,0, соответственно. Цинк и медь распределяются между органами анализируемых растений более равномерно. Только для амаранта характерна активная миграция в надземную фитомассу цинка, а для бархатцев меди. Ввиду крайне низкого содержания кадмия в образцах

фитомассы явных закономерностей процессов его транслокации выявить не удалось.

Таким образом, установлено, что среди исследованных цветочных культур наибольшей способностью к накоплению тяжелых металлов в фитомассе обладают сальвия, бархатцы и амарант, что указывает на перспективность их использования в качестве фиторемедиаторов урбанизированных территорий. Изученные ТМ преимущественно накапливаются в надземной части декоративных цветочных культур. Так, коэффициент транслокации ТМ у всех исследованных растений больше 1.

В этой связи, рекомендуем выращивать на загрязненных почвах цветочные культуры, обладающих высокой способностью к поглощению и накоплению в своих органах тяжелых металлов — сальвию, бархатцы и амарант. По окончании вегетационного сезона фитомасса цветочных культур подлежит удалению и обязательной утилизации. Преимущества такого подхода заключаются в безопасности для окружающей среды, эстетичности, технологической простоте исполнения, низкой трудо-, энерго-, ресурсо-, материалоемкости и, как следствие, экономической целесообразности.

### Библиографические ссылки

1. Ежегодник: Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 г. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 2023. 139 с.
2. Путин: зеленые технологии должны стать обязательным условием развития городов [Электронный ресурс] // ТАСС: федеральное информационное агентство. 2018. URL: <https://tass.ru/obschestvo/5384127?ysclid=lsf02qi62g50707472> (дата обращения: 08.02.2024)
3. *Копцик Г. Н.* Проблемы и перспективы фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами (обзор литературы) // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1113–1130.
4. Bioremediation and Phytoremediation Aspects of Crop Improvement / N. Iqbal [et al.] // In book: Climate-Resilient Agriculture. 2023. Vol 2. P.903–929.
5. Soil decontamination: bioremediation and phytoremediation / В. М. N. Cosmo [et al.] // Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas. 2023. № 17. P. 1086
6. Phytoremediation: Biotechnological Strategies for Promoting Invigorating Environs. Amsterdam: Elsevier Science, 2021. 538 p.
7. *Poddar A.* Phytoremediation For Greener And Cleaner Planet Eur // Chem. Bull. 2023. № 12 (1). P. 2254–2260.
8. ГОСТ Р 58595-2019 Почвы. Отбор проб. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.
9. *Перельман А. И.* Геохимия: Учеб. для геол. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшаяшкола, 1989. 528 с.

УДК 623.746.-519

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОДЕТАЛИЗИРОВАННЫХ КАРТ И 3D-МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ

**А. В. Гарбелик, В. Р. Ермакович, В. А. Саечников**

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск, Беларусь, [agarbelik@bk.ru](mailto:agarbelik@bk.ru)*

Работа анализирует применение БПЛА в географических исследованиях для создания высокодетализированных карт и 3D-моделей местности. Цель — оценить эффективность метода и его потенциал. Результаты показывают, что БПЛА позволяют создавать точные карты и модели, делая их ценным инструментом в географических исследованиях. Научная новизна: демонстрация преимуществ БПЛА по сравнению с традиционными методами.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты; географические исследования; высокодетализированные карты; 3D-модели местности; обработка географических данных; эффективность применения БПЛА; геоинформационные системы.

## THE USE OF UAVS IN GEOGRAPHICAL RESEARCH TO CREATE HIGHLY DETAILED MAPS AND 3D MODELS OF THE AREA

**A. V. Garbelik, V. R. Ermakovich, V. A. Saechnikov**

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk,  
Belarus, [agarbelik@bk.ru](mailto:agarbelik@bk.ru)*

The study analyzes the use of UAVs in geographical research to create highly detailed maps and 3D models of the area. The purpose is to evaluate the effectiveness of the method and its potential. The results show that UAVs can create accurate maps and models, making them a valuable tool in geographical research. Scientific novelty: demonstration of the advantages of UAVs in comparison with traditional methods.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles; geographical research; highly detailed maps; 3D models of the terrain; processing of geographical data; the effectiveness of UAVs; geoinformation systems.

С последними технологическими достижениями, включая развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), географические исследователи получили мощный инструмент для создания высокодетализированных карт и

3D-моделей местности. В сравнении с традиционными методами съемки, такими как съемка с пилотируемых летательных аппаратов или террестриальная съемка, использование БПЛА обеспечивает значительные преимущества в скорости, эффективности и точности сбора географической информации. В данной работе мы рассмотрим методы использования БПЛА для создания карт и 3D-моделей местности, а также их преимущества и перспективы.

Полученные с БПЛА данные подвергаются сложной обработке с использованием современных геоинформационных систем (ГИС) и специализированных программных инструментов. Важным этапом этого процесса является геокодирование изображений, которое позволяет привязать собранные данные к географическим координатам и создать цифровую карту местности. Затем проводится создание цифровых моделей рельефа, которые могут быть использованы для анализа местности и планирования различных проектов. Далее происходит оцифровка объектов на изображениях, их классификация и атрибуцирование, что позволяет создавать карты с различными тематическими слоями и подробными атрибутами объектов.

Для обработки данных выбрана программа AgisoftMetashape. На практике обработаны изображения, полученные из Интернета и снимки питомника БГУ с БПЛА DJI Phantom 3.

Чтобы построить 3D-модель местности нужно проделать ряд действий, таких как: загрузка исходных изображений в программу, выравнивание снимков, построение разреженного облака точек (рис. 1), построение плотного облака точек (рис. 2), построение модели и, наконец, текстурирование. Источниками текстур являются сами снимки. Для построения 3D-модели были обработаны порядка 50 снимков, которые были загружены из Интернета.

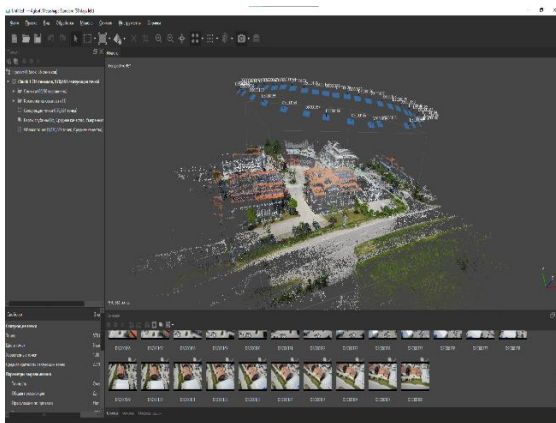


Рис. 1. Разреженное облако точек и ракурсы камер

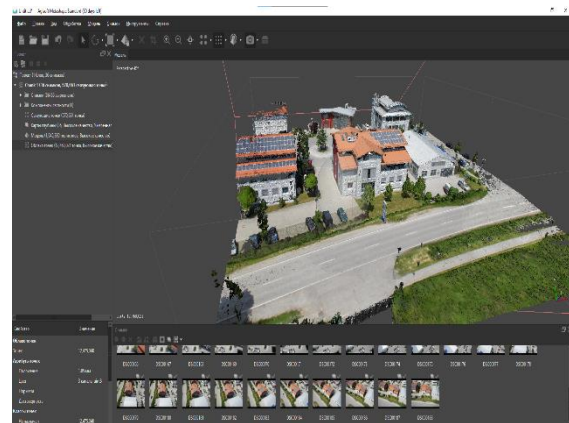


Рис. 2. Плотное облако точек



В результате обработки построены 3D-модель местности (рис. 3) и ортофотоплан (рис. 4).



*Рис. 3. 3D-модель местности*



*Рис. 4. Ортофотоплан*

Для построения ортофотоплана выполняются почти те же действия, однако для построения ортофотоплана было использовано около 200 снимков питомника БГУ, которые получены с помощью БПЛА DJI Phantom 3. Использование такого количества снимков значительно увеличило время обработки [3].

После получения плотного облака точек (рис. 5) создается цифровая модель местности (ЦММ). Это один из самых важных этапов работы с Agisoft (помимо точного выравнивая камер). Под цифровой моделью местности понимается определенная форма представления исходных данных и способ их описания, позволяющий изображать объект путем интерполяции.



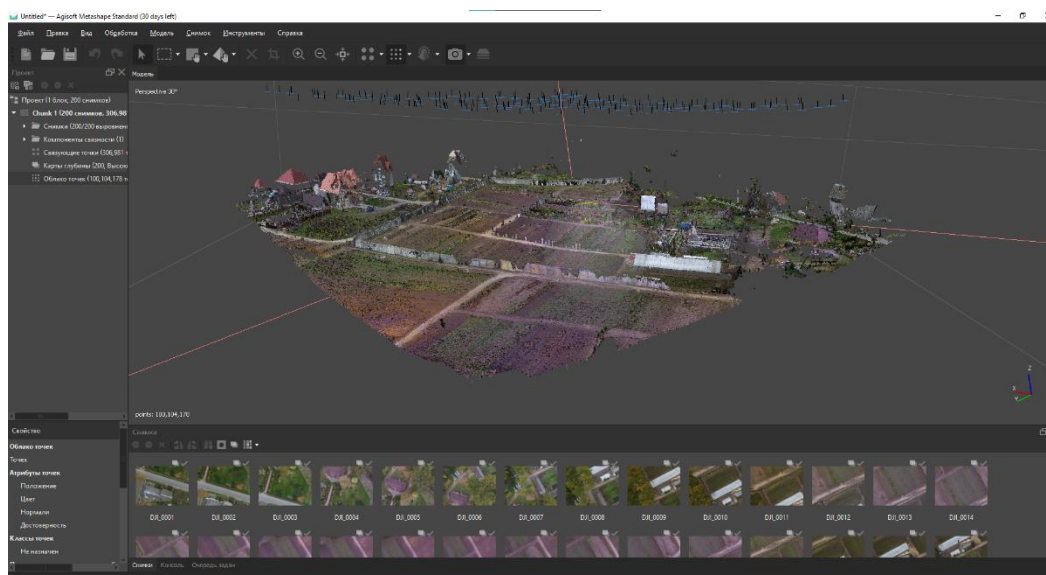


Рис. 5. Плотное облако точек

ЦММ — изображает ситуацию и рельеф местности. Она состоит из цифровой модели рельефа местности и цифровой модели контуров местности, а также имеет место быть модель специального инженерного назначения.

Строить ЦММ в Agisoft можно по любому из классифицированных объектов, которые получены на плотном облаке точек. В данном случае ЦММ построена по всем классифицированным типам. При помощи ЦММ можно построить ортофотоплан. Ортофотоплан, это цифровая карта местности, которая получается после «сшивки» снимком с разных ракурсов, так, будто эта карта была сделана при помощи одного только кадра. Ортофотоплан является очень удобным, поскольку можно иметь любое количество снимков, а карта будет одна, она будет оцифрована и точность ее везде будет одинакова [3, 5].

Проводить обработку тысячи снимков с высокой точностью затруднительно. Однако для этого Agisoft имеет возможность сшивать эти наборы (коллекции) снимков, т.е. можно сшивать ортофотопланы, ЦММ, облака точек — все, что имеется в проекте.

После проделанной работы можно отметить следующие преимущества использования БПЛА.

Высокая детализация: БПЛА позволяют получать данные с высоким разрешением, что делает создаваемые карты и модели очень детализированными.

Эффективность и экономия ресурсов: Использование БПЛА снижает время и затраты на проведение географических исследований по

сравнению с традиционными методами, такими как съемка с пилотируемых летательных аппаратов или террестриальная съемка.

Широкий спектр применения: БПЛА могут использоваться для создания карт и моделей различных типов местности, включая горные районы, леса, водные объекты и городскую застройку.

Безопасность: Использование БПЛА исключает риск для человеческой жизни, связанный с проведением съемки в труднодоступных или опасных местах.

Использование современного специализированного программного обеспечения для работы БПЛА позволяют оптимизировать работу до, возможного на сегодня, максимума. Простое, быстрое и точное планирование полетных заданий и предварительный анализ данных еще на этапе полета, позволяет экономить время и упрощает работу в последующей обработке полученных с них данных.

Собранные данные с БПЛА, и не только с него — данные, накопленные ранее и полученные при помощи сбора уже имеющейся статистики, иной географической информации, а также данных, полученных со спутника — все это обрабатывается геоинформационными технологиями, и это их главная задача.

В настоящее время существует огромное множество ГИС, каждое из них имеет свои плюсы и минусы. Каждое ГИС решение подходит для определенного множества задач, однако в данной работе рассмотрена для примера одна из них — Agisoft.

Программа AgisoftMetashape имеет богатый, удобный и функционал для пространственного фотометрического анализа состояния изучаемого поля. Мы на практике в этом убедились, изучив его базовый функционал. И испытали его в этой работе на двух разных коллекциях снимков.

Была построена достаточно точная 3D-модель местности. При помощи, построенной точной цифровой модели местности, нам удалось сшить весь набор из имеющихся 200-от снимков, полученных при помощи БПЛА, и тем самым получить ортофотоплан всей местности.

Также стоит отметить, что 3D-модели местности представляют собой мощный инструмент, применяемый в различных областях, включая градостроительное планирование, туризм и образование. Цифровые модели местности и ортофотопланы также играют важную роль в инженерных проектах, архитектурном проектировании, картографировании и экологическом мониторинге. Их широкий спектр применения подчеркивает их значимость как инструментов для анализа и визуализации географической информации в различных областях деятельности.

## Библиографические ссылки

1. Приложения для БПЛА [Электронный ресурс]. URL: <https://setphone.ru/prilozheniya/luchshie-prilozheniya-dlya-kvadrokoptera/> (дата обращения: 03.05.2023).
2. Описание программы AgisoftMetashapePrifessional [Электронный ресурс]. URL: [https://www.geoscan.aero/ru/software/agisoft/metashape\\_pro](https://www.geoscan.aero/ru/software/agisoft/metashape_pro) (дата обращения: 03.05.2023).
3. Построение ортофотоплана и цифровой модели местности (ЦММ) по данным аэрофотосъемки в программе AgisoftMetashapePro1.6(с опорными точками и без) [Электронный ресурс]. URL: [https://www.geoscan.aero/ru/software/agisoft/metashape\\_pro](https://www.geoscan.aero/ru/software/agisoft/metashape_pro) (дата обращения: 03.05.2023).
4. Белова Е. А. Создание цифровой модели местности по результатам топографической съемки. КГТУ: Вестник магистратуры. 2016. № 11-2 (62).

УДК 528.8

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

**А. М. Гафуров, М. В. Кожевникова, В. Е. Прохоров**

*Институт экологии и природопользования, Казанский федеральный университет,  
ул. Товарищеская. 5, 42097, Казань, Россия, [busmanof@kpfu.ru](mailto:busmanof@kpfu.ru)*

В исследовании используются снимки Landsat и алгоритм WekaXMeans для картографирования лесной растительности в соответствии с системой Браун-Бланке. Кластеризация с использованием 288 вегетационных индексов и метрик позволил выделить 7 классов по системе Браун-Бланке, что было проверено на 17000 релевантных данных базы данных «Флора». Данный подход способствует проведению экологических исследований и планированию природоохранных мероприятий, позволяя получить представление об экологических характеристиках лесных сообществ.

**Ключевые слова:** неконтролируемая классификация; пространственное моделирование; мультиспектральные снимки; алгоритм кластеризации Weka X-Means; система классификации Брауна-Бланке; GoogleEarthEngine; снимки Landsat.

## MACHINE LEARNING METHODS FOR FOREST VEGETATION MAPPING IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

**A. M. Gafurov, M. V. Kozhevnikova, V. E. Prokhorov**

*Institute of Ecology and Environmental Management, Kazan Federal University,  
Tovarisheskaya str., 5, 42097, Kazan, Russia, [busmanof@kpfu.ru](mailto:busmanof@kpfu.ru)*

This study leverages Landsat imagery and WekaXMeans for unsupervised classification in forest vegetation mapping, aligning with the Braun-Blanquet system. A two-step clustering method using vegetation indices classifies forest types, validated against 17,000 "Flora" database relevés, identifying 44 community types into 7 Braun-Blanquet classes. This approach enhances ecological research and conservation planning, offering insights into forest communities' ecological characteristics and sequestration potential in Tatarstan.

**Keywords:** unsupervised classification; spatial modeling; multispectral imagery; Weka X-Means clustering algorithm; Braun-Blanquet classification system; google earth engine; Landsat imagery.

Исследование посвящено совершенствованию систем классификации растительности путем интеграции методов классификации без контроля со

спутниковыми снимками с целью создания пространственной модели лесной растительности в рамках системы Браун-Бланке. Данное исследование соответствует глобальной тенденции к стандартизации процедур классификации для обеспечения последовательности и объективности различных экологических исследований [1].

Основная цель — разработать более точный и эффективный метод классификации и картирования типов растительности, в частности лесных сообществ, с использованием методов классификации без контроля [2]. Исследование направлено на минимизацию субъективности исследователей и повышение надежности карт растительности, которые имеют решающее значение для экологических, природоохранных и сельскохозяйственных приложений [3].

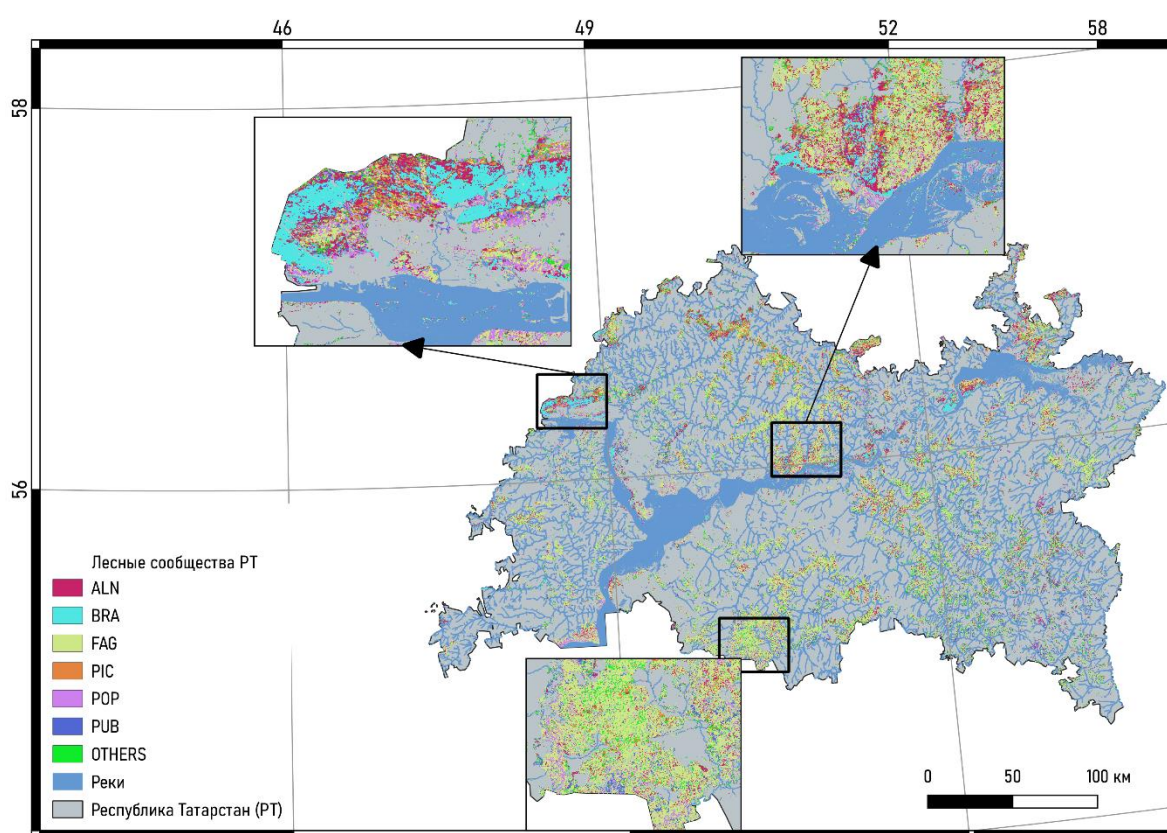
Методология включает использование спутниковых снимков Landsat 8 и 9 и применение двухэтапного подхода, сочетающего классификацию Дженкса и агломеративную иерархическую кластеризацию (АИК), реализованную в алгоритме WekaXMeans [4]. Этот подход разработан для оптимизации точности типов растительного покрова, полученных на основе спутниковых вегетационных индексов. Всего в модели было использовано 288 параметров, состоящих из 72 вегетационных индексов и их статистических метрик. Кроме того, в исследовании используется маска лесов, полученная из модели GlobalLandAnalysisandDiscovery (GLAD) [5], позволяющая сосредоточиться исключительно на лесных видах, что обеспечивает направленность анализа на основной интерес исследования.

Применение методов классификации без контроля привело к выделению 44 различных классов лесных сообществ в Республике Татарстан, Россия. Эти классы отражают не только видовой состав в группах, но и экологические условия произрастания, и его характер, например, сомкнутость кроны или рост на переувлажненных грунтах. В ходе исследования была успешно создана подробная пространственная модель, соотносящая эти классы с системой классификации Брауна-Бланке. Для этого была проведена работа по соотнесению полученных кластеров с геоботаническими описаниями из базы данных «Флора» [6], содержащая более 17000 описаний, что позволило однозначно выделить 6 классов по классификации Брауна-Бланке и один класс, требующий отдельной полевой верификации (табл. 1). Эта модель (рис. 1) является значительным шагом вперед в точном картировании и понимании динамики лесной растительности и демонстрирует потенциал неконтролируемой классификации в снижении погрешностей при классификации растительности [7].

**Матрица сопоставления классификации Брауна-Бланке (ББ)  
и классов по кластерной модели**

Сообщества по ББ	Классы кластерной модели
ALN	4, 5, 7, 17, 28, 42, 43
BRA	6, 36
FAG	11, 13, 14, 18, 19, 22, 23, 24, 29, 31, 34, 35, 37, 38, 44
PIC	2, 30
POP	1, 26, 33, 36
PUB	14, 25, 32
OTHERS	*

\* - остальные классы



*Рис. 1.* Карта лесных сообществ Республики Татарстан  
по классификации Брауна-Бланке

Так же проведена работа по определению предельного числа параметров, после которого точность классификации значительно падает. Для этого все предикторы были ранжированы по статистической важности (табл. 2) и итеративно удалялись из модели до тех пор, пока точность классификации не падала более чем на 5 %. Это позволило выявить, что точность модели начинает ухудшаться уже после удаления 9 наименее

значимых параметра (рис. 2). Полученные результаты подчеркивают необходимость дальнейшего развития и совершенствования алгоритмов классификации для дальнейшего снижения субъективности в экологическом картировании.

Таблица 2

**Топ-10 наиболее важных и репрезентативных признаков для классификации лесных сообществ**

Предиктор	Важность	F-Value	P-Value
TriVI_max	1.319 %	1093.94	< 0.0000
TriVI_stdDev	1.175 %	1046.95	< 0.0000
TGI_mean	0.934 %	435.02	< 0.0000
SEVI_median	0.919 %	319.74	< 0.0000
TGI_median	0.871 %	541.51	< 0.0000
FCVI_max	0.870 %	1075.45	< 0.0000
SR_median	0.828 %	580.48	< 0.0000
GRVI_median	0.792 %	607.80	< 0.0000
TriVI_mean	0.748 %	910.28	< 0.0000
NDYI_median	0.732 %	202.37	< 0.0000

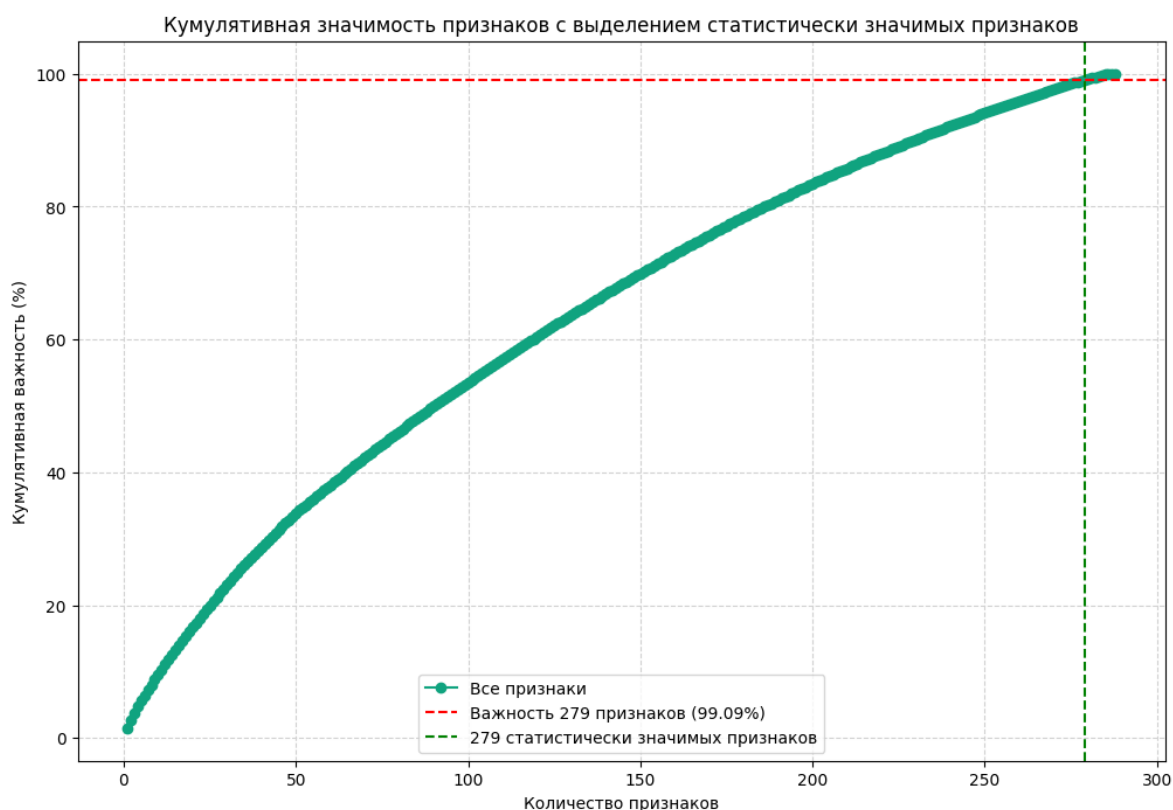


Рис. 2. Кумулятивная важность предикторов модели лесных сообществ РТ

Будущие исследования могут изучить интеграцию дополнительных источников данных дистанционного зондирования и передовых алгоритмов машинного обучения для повышения точности классификации [8]. Кроме того, исследование подчеркивает важность создания стандартизированных, воспроизводимых методов классификации растительности, которые могут применяться во всем мире, способствуя более эффективному управлению и сохранению природных ресурсов.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004.

### Библиографические ссылки

1. *Kozhevnikova M., Prokhorov V.* Syntaxonomy of the xero-mesophytic oak forests in the Republic of Tatarstan (Eastern Europe) // *Vegetation Classification and Survey*. 2021. Т. 2. Р.47–58.

2. *Гафуров А. М.* Использование глубоких нейронных сетей для картографирования сельскохозяйственных культур Республики Татарстан Казань // *Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем: Тезисы и доклады*. 2019. С. 84–90.

3. *Geography and Geoecology of Russia in the Mosaic of River Basins / O. P. Yermolaev [et al.] // Geography and Natural Resources*. 2023. Т. 44. № 3. Р. 208–214.

4. *Pelleg D.* X-means: Extending k-means with efficient estimation of the number of clusters // *International Conference on Machine Learning*. 2000. Р. 727–734.

5. *Global land use extent and dispersion within natural land cover using Landsat data / M. C. Hansen [et al.] // Environmental Research Letters*. 2022. Т. 17. № 3. С.034050.

6. *Prokhorov V., Rogova T., Kozhevnikova M.* Vegetation Database of Tatarstan // *Phytocoenologia*. 2017. Т. 47. № 3. Р. 309–313.

7. *Использование архивных пространственных данных при анализе истории землепользования территории болгарских городищ Предволжья Республики Татарстан / М. А. Иванов [и др.] // Региональные Геосистемы*. 2020. Т. 44. № 4. С. 388–403.

8. *Geospatial modelling of changes in land use/land cover dynamics using Multi-layer Perceptron Markov chain model in Rajshahi City, Bangladesh / N. N. Dey [et al.] // Environmental Challenges*. 2021. Т. 4. Р.100148.



УДК 911.3

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ С ПОСТРОЕНИЕМ  
МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА РАЗМЕЩЕНИЯ  
АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ СКИФСКОГО ВРЕМЕНИ  
(VIII–III вв. до н.э.) В ЛАНДШАФТАХ  
ЮГО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ**

**А. Б. Глебова, И. С. Сергеев**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,  
Университетская набережная, 7-9, 199034 г. Санкт-Петербург, Россия,  
[a\\_glebova@mail.ru](mailto:a_glebova@mail.ru), [igorsergeev.spb@gmail.com](mailto:igorsergeev.spb@gmail.com)*

Проведена работа по определению местоположений неисследованных археологических объектов скифского времени, расположенных в ландшафтах Юго-Восточного Алтая с применением технологий глубокого машинного обучения — нейронной сети. Осуществлен геоинформационный анализ рельефа территории и имеющихся археологических данных: получены данные распределения археологических объектов раннескифского и скифского времени по ряду ландшафтных признаков. Определена важность ландшафтных признаков мест сооружения археологических памятников. На основе полученных данных создана прогнозная карта возможных местоположений археологических объектов.

**Ключевые слова:** Юго-Восточный Алтай; ландшафт; археологические памятники; нейронная сеть; машинное обучение; Цифровая модель рельефа; геоинформационные системы; скифское время.

**GEOINFORMATION ANALYSIS WITH CONSTRUCTION  
OF A NEURAL NETWORK MODEL FOR FORECASTING THE  
PLACEMENT OF ARCHAEOLOGICAL MONUMENTS OF THE  
SCYTHIAN TIME (VIII-III centuries BC) IN THE LANDS  
OF THE SOUTHEASTERN ALTAI**

**A. B. Glebova, I. S. Sergeev**

*St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences,  
Universitetskaya embankment, 7-9, 199034 St. Petersburg, Russia,  
[a\\_glebova@mail.ru](mailto:a_glebova@mail.ru), [igorsergeev.spb@gmail.com](mailto:igorsergeev.spb@gmail.com)*

The study is devoted to determining the locations of unexplored archaeological objects of Scythian times located in the landscapes of South-Eastern Altai using deep machine learning technologies – a neural network. For this purpose, a geoinformation analysis of the territory's topography and available archaeological data was carried out: data on the distribution of archaeological objects of the Early Scythian and Scythian times was obtained

according to a number of landscape characteristics. The importance of landscape features of archaeological sites has been identified. Based on the data obtained, a forecast map of possible locations of archaeological sites was created.

**Keywords:** South-Eastern Altai; landscape; archaeological sites; neural network; machine learning; Digital Terrain Model; geographic information systems; Scythian time.

Ландшафты Юго-Восточного Алтая были хорошо освоены с древних времен. До наших дней сохранилось достаточно много археологических объектов самых разных исторических периодов. Процесс освоения ландшафтов не был постепенно-нарастающим, а имел скорее скачкообразный характер. Были периоды регрессии освоения, возможно, связанные с изменением природных и социально-экономических условий. В эти периоды население оставляло мало памятников. Но были и периоды, после которых археологических объектов сохранилось очень много. К таким периодам и относится скифское время. Большинство памятников уже описаны и зафиксированы археологами, но встречаются и такие объекты, которые нигде не учтены. Цель работы — определение местоположений неисследованных археологических объектов скифского времени, расположенных в ландшафтах Юго-Восточного Алтая, на основе технологий нейронной сети.

Впервые методика построения модели нейронной сети для прогноза размещения археологических объектов в ландшафтах Юго-Восточного Алтая была описана нами в статье [1]. Точность составленной прогнозной модели составила порядка 80 %.

Памятников скифского времени на территории исследования много, в основном они расположены группами, потому для удобства построения прогнозной модели нами были отобраны 123 памятника, более или менее разнесенные в пространстве. Из них 50 памятников относились к раннескифскому периоду, и 73 — к скифскому. Данные об археологических памятниках собирались по литературным данным [2–7] и при проведении автором собственных полевых исследований [8–10].

Скифский период подразделяется на раннескифский и скифский. По мнению большинства исследователей, хронологические рамки раннескифской эпохи определяются в пределах VIII – середины VI вв. до н. э. В это время на территории Горного Алтая существовала майэмирская культура. Среди памятников встречаются херексуры и округлые курганы небольшого диаметра. Курганы расположены микроцепочками по 3 объекта или небольшими группами. Памятники Горного Алтая VI – III вв. до н.э. объединены археологами в рамках пазырыкской культуры [5]. Большинство памятников пазырыкской культуры — это курганы 10-15 м, сгруппированные цепочками по 3-6, иногда и более курганов.

Встречаются и богатые захоронения с диаметром кургана до 60 м, а также небольшие курганы диаметром 1-2 м, скорее всего, детские захоронения. В некоторых случаях к западу от курганов и параллельно им расположены поминальные сооружения, состоявшие, как правило, из восьми камней, выложенных кругом. Иногда к востоку от курганов установлены ряды балбалов (необработанные вертикально врытые каменные столбики).

С использованием ЦМР, ландшафтных карт и имеющихся археологических данных для раннескифского и скифского периодов были созданы схемы и проведен геоинформационный анализ распределения археологических объектов по следующему ландшафтным признакам: а) абсолютной высоте; б) удаленности от водотоков; в) склонам разной крутизны; г) склонам разной экспозиции; д) распределению интенсивности солнечной радиации в июне; е) распределению интенсивности солнечной радиации в декабре; ж) видимости заснеженных горных вершин; з) удаленности от горных вершин.

Статистические закономерности распределения археологических объектов по восьми ландшафтным признакам позволили выявить ряд особенностей в зависимости от ландшафтных условий. Наибольшее количество памятников раннескифского времени расположено в диапазоне высот от 2050 до 2400 м, памятники скифского времени преобладают на высотах от 1900 до 2500 м. Подавляющая часть археологических объектов раннескифского времени распространена на поверхностях с уклоном  $3^\circ$ , скифского — по пологим склонам крутизной  $4-5^\circ$ . Преобладающее количество археологических объектов раннескифского и скифского времени обнаружены на склонах юго-западной и южной экспозиций. В летнее время древние племена для сооружения могильников выбирали места с хорошей теплообеспеченностью. Памятники раннескифского времени в основном встречаются по склонам, где в летнее время значения солнечной радиации составляют  $196-204$  кДж/м<sup>2</sup>, скифского — от 190 до 205 кДж/м<sup>2</sup>. Склоны в весеннее и летнее время прогревались, мерзлота оттаивала на большую глубину, что давало возможность людям создавать здесь курганы и другие памятники. Зимой теплообеспеченность ландшафта не имела абсолютно никакого значения. Большинство памятников расположено в непосредственной близости к водотокам, памятники раннескифского и скифского периодов в основной своей массе находятся на удалении до 500 м. Вода была источником водоснабжения, и также давала строительный материал для создания курганов. В строительстве в основном участвовали камни, принесенные с реки. Для людей, населявших ландшафты Юго-Восточного Алтая в раннескифский и скифский периоды, большое значение имела видимость заснеженной горной вершины и вершин, а также удаленность от них. В

пределах хорошо просматривающейся горной вершины концентрация археологических памятников велика, в местах, откуда горная вершина не видна или плохо различима, памятники либо не встречаются, либо единичны. Наибольшее количество археологических объектов расположено в среднем на расстоянии около 24–27 км от горной вершины.

На основе статистического анализа по восьми ландшафтными признакам была определена степень значимости каждого признака. Археологические памятники раннескифского периода целенаправленно сооружались на площадках с хорошей летней теплообеспеченностью, также большое значение имела крутизна склона. В меньшей степени играла роль удаленность горной вершины (рис. 1А). Для людей, проживающих на территории Юго-Восточного Алтая в скифский период, значение имела абсолютная высота (рис. 1В), также они учитывали крутизну склонов. Значение для них имела и видимость заснеженной горной вершины или вершин. По данным статистического анализа в меньшей степени играла роль удаленность от водотоков и горных вершин, но на наш взгляд, для людей этого времени эти признаки также были очень важны.

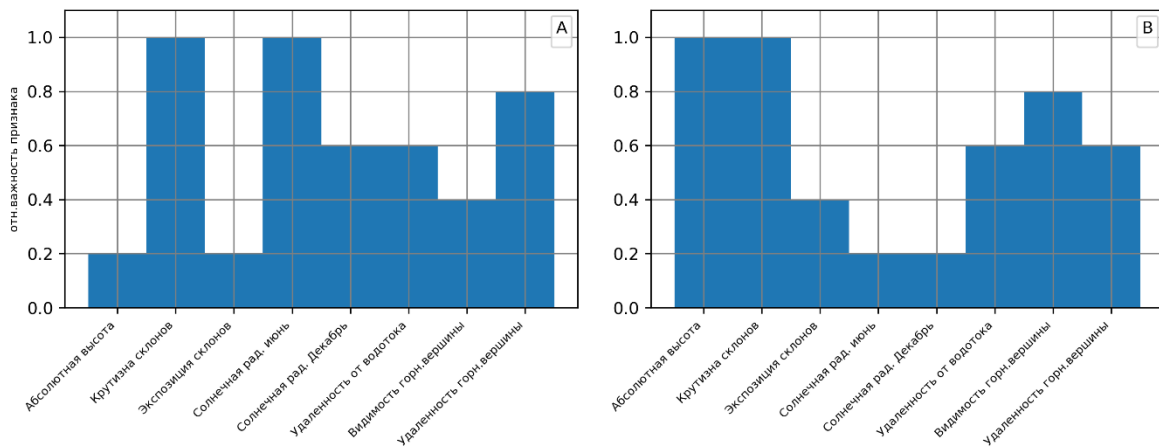


Рис. 1. Относительная важность ландшафтных признаков:  
 А – раннескифский период; В – скифский период

Результаты проведенного анализа стали обоснованием возможности построения нейросетевой прогнозной модели для двух исследуемых периодов (рис. 2). Нами использована трехслойная нейронная сеть прямого распространения, давшая хорошую прогнозную силу по результатам предварительной проверки по космоснимкам. Модель показала, что потенциальная возможность обнаружения новых археологических памятников раннескифского периода — плоскогорье

Укок и периферия Чуйской котловины по речным долинам, речные долины небольших рек, скифского периода — периферия Чуйской котловины, Курайская котловина и долины небольших рек.

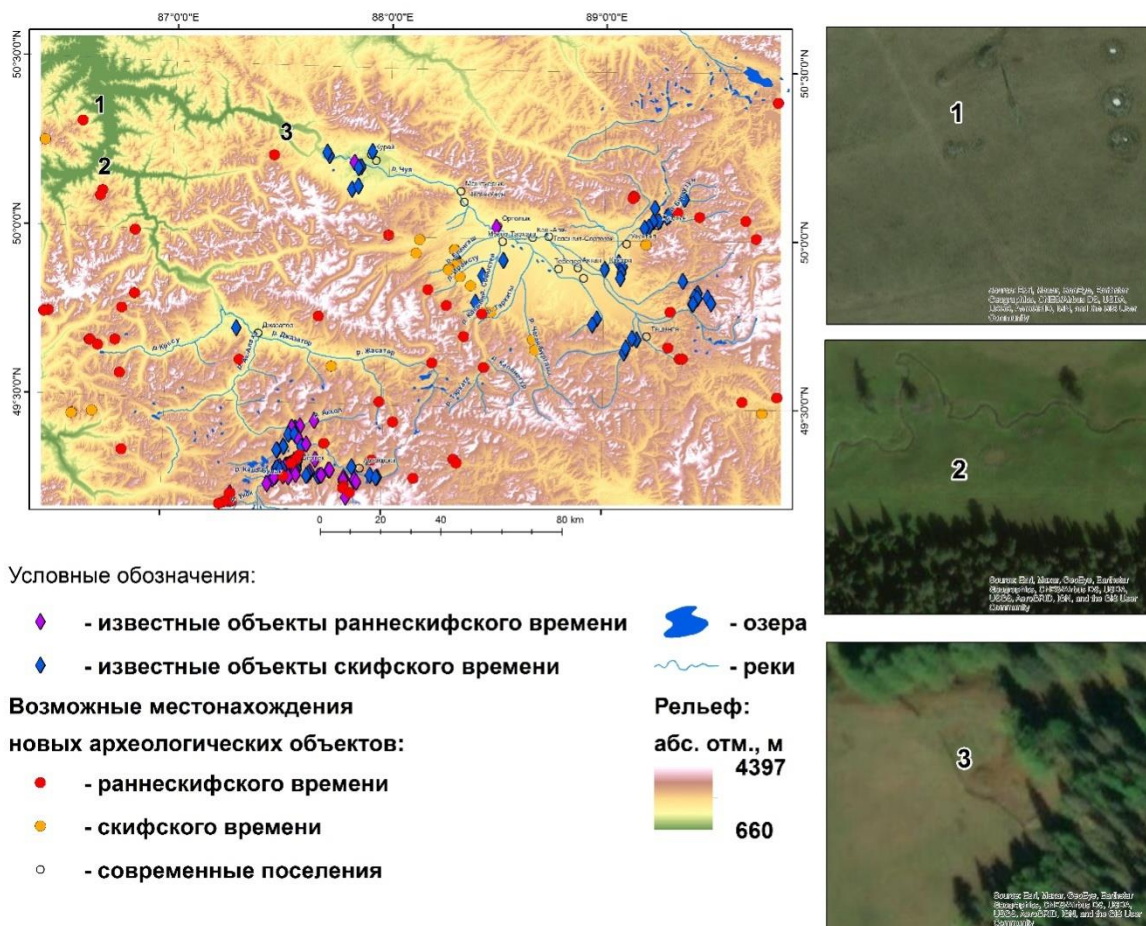


Рис. 2. Прогнозная карта археологических памятников скифского периода на основе нейросетевой модели. Справа примеры выявленных курганов по данным космических изображений (WorldImagery), показанных для трех спрогнозированных участков: 1, 2 – верховье долины р. Катунь; 3 – долина р. Чуя

Подводя итог, можно сказать, что проведенный прогноз в значительной степени сузил площади ареалов с возможным местонахождением неисследованных археологических памятников, расположенных в ландшафтах Юго-Восточного Алтая.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 24-27-00068 «Ландшафтная геоархеология Северо-Запада Внутренней Азии с построением нейросетевых моделей пространственно-временных закономерностей расселения древних народов».

## Библиографические ссылки

1. Глебова А. Б., Сергеев И. С., Быков Н. И. Геоинформационный анализ с построением модели нейронной сети для прогноза размещения археологических объектов в ландшафтах Юго-Восточного Алтая // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2022. Т. 67, № 3. С. 491-514.
2. Быкова В. А., Быков Н. И. Природные условия Юго-Восточного Алтая и их роль в жизни общества в пазырыкское время. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2014. 186 с.
3. Грязнов М. П. Алтай и приалтайская степь. В: Степная полоса Азиатской части СССР в скифо-сарматское время // Археология СССР. М., 1992. С. 161–178.
4. Древние культуры Бертекской долины. Горный Алтай, плоскогорье Укок / Отв. ред. член-корреспондент РАН В. И. Молодин. Новосибирск: Наука, 1994. 224 с.
5. Кирюшин Ю. Ф., Тишкин А. А. Скифская эпоха Горного Алтая. Ч. 2. Погребально-поминальные комплексы пазырыкской культуры. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2003. 234 с.
6. Кубарев В. Д. Курганы Уландрыка. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1987. 304 с.
7. Археологические памятники плоскогорья Укок (Горный Алтай) / В. И. Молодин [и др.] // Новосибирск: Изд-во Института археологии и этнографии СО РАН, 2004. 256 с.
8. Глебова А. Б. Ландшафтная приуроченность археологических памятников долины р. Джазатор (Алтай) // Известия Русского географического общества. 2016. Т. 148, № 6. С. 57–72.
9. Глебова А. Б., Сергеев И. С. Ландшафтная приуроченность археологических памятников в окрестностях долины р. Ортолык (Алтай) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2019. Т. 64, № 3. С. 403–420.
10. Глебова А. Б., Чистяков К. В. Базы данных для историко-ландшафтного анализа археологических памятников Алтае-Саян. Свидетельство РФ о государственной регистрации № 2014621592 от 2014.

УДК: 631.415

## СРАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕТАЛЬНОГО УЧЕТА КИСЛОТНОСТИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К СИСТЕМАМ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

**Ф. С. Гутько, А. Л. Киндеев**

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 2203030,  
Беларусь, [gytko.filip12@gmail.com](mailto:gytko.filip12@gmail.com)*

В исследовании приводится краткий анализ тенденций развития современных технологий земледелия. Определено, что детальный и наиболее качественный учет может быть достигнут при использовании методики геостатистики. Проведенные расчеты показали, что при точном учете неоднородности кислотности почв, экономия средств на опытных полях составляет 1228,8 долл. США.

**Ключевые слова:** геостатистический анализ; точное земледелие; кислотность почвы; сельское хозяйство; экономические издержки; известкование.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF DETAILED ACCOUNTING OF ACIDITY IN THE TRANSITION TO PRECISION FARMING SYSTEMS

**F. S. Gutko, A. L. Kindeev**

*Belarusian State University, Independence Ave., 4, 2203030,  
Belarus, [gytko.filip12@gmail.com](mailto:gytko.filip12@gmail.com)*

The research provides a brief analysis of trends in the development of modern farming technologies. It was determined that detailed and the most qualitative accounting can be achieved using the geostatistics methodology, the calculations showed that with accurate accounting of soil acidity heterogeneity, cost savings in experimental fields amount to 1228.8 US dollars.

**Keywords:** geostatistical analysis; precision agriculture; soil acidity; agriculture; economic costs; liming.

Развитие технологий и разработка новых методов и подходов в науке затрагивает все сферы деятельности человека, в том числе и сельское хозяйство. В последнее время все большее распространение в Республике Беларусь получают технологии точного земледелия [1]. Одной из основ таких технологий является управление продуктивностью посевов, учитывая внутрипольную изменчивость почвенных свойств. При этом



полноценного внедрения данных технологий не происходит и большинство сельскохозяйственных предприятий основываются на установленных методиках агрохимического обследования земель, установленных в стране [2].

В основе детального учета свойств почв лежат геоинформационные системы и методики пространственного анализа, которые в масштабе одного поля ведут себя случайно [3]. В связи со случайностью пространственного распределения свойств необходим методический алгоритм, основанный на теории вероятности, которым выступает геостатистика [4]. Использование методов геостатистики позволяет улучшить качество и эффективность земледельческой деятельности, оптимизировать использование ресурсов и повысить урожайность. При этом, декларируемая выше случайность распределения свойств почв подразумевает, что каждое отдельное поле будет иметь уникальную пространственную структуру, а значит, необходимы многочисленные эксперименты для подтверждения эффективности таких методик для глобального перехода на современные технологии в Республике Беларусь.

Объектом исследования данной работы являются почвы 5 опытных участков, заложенных на территории Барановичского района Брестской области. В связи с определяющей ролью кислотности почвы, именно это свойство было выбрано в качестве предмета исследования. Участки являются действующими сельскохозяйственными полями местного КФХ.

Данные участки имеют различную площадь, исходя из этой особенности была разработана 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 штук. На опытном участке № 1 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 для измерения кислотности.

Значения  $pH_{KCl}$  были получены в лаборатории потенциометрическим методом. Геостатистический анализ проводился по стандартной методике: после проверки на нормальность распределения вычленились глобальные тренды [5]. Путем вариограммного анализа определяется оптимальная модель вариограммы для каждого участка и рассчитываются такие показатели как наггет, порог, ранг и остаточная дисперсия. Качество вариограммного анализа оценивается по значению средней ошибки прогноза, среднеквадратичной ошибки



и среднеквадратической нормированной погрешности, а также по визуальному сходству математической и эмпирической моделей.

Заключительным этапом геостатистического анализа является построение картограмм кислотности почв исследуемых участков при помощи инструментов интерполяции (метод грида) (рис.1).

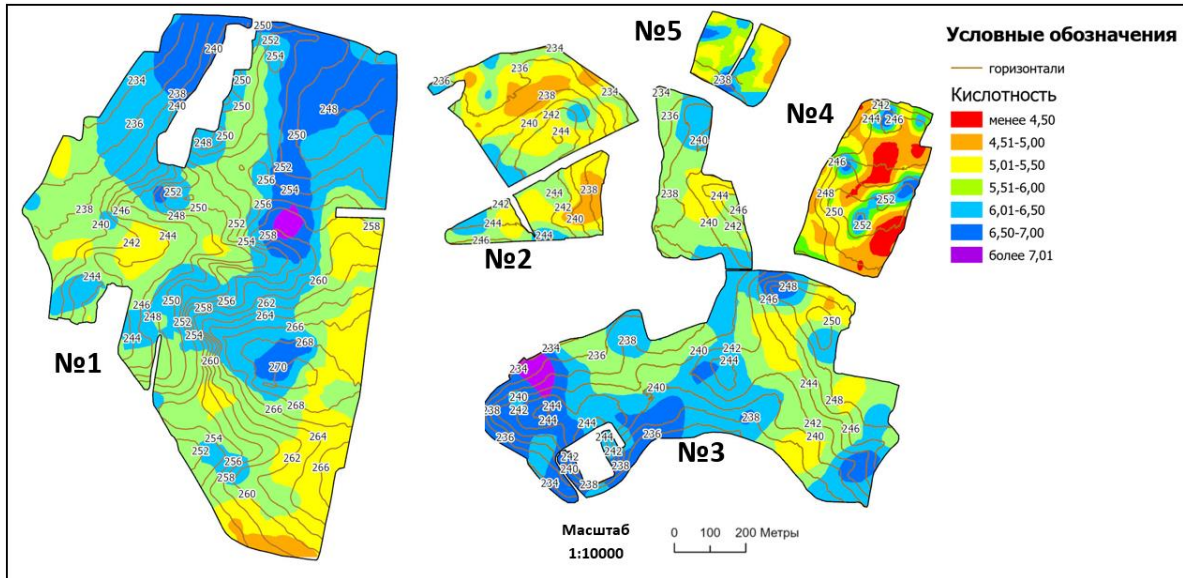


Рис. 1. Картограмма кислотности опытных участков

Следующим этапом исследования является составление карты кислотности почв по методике агрохимического обследования земель, утвержденной в Республике Беларусь. Земли опытных участков были разделены на рабочие участки по принципу их использования в севооборотах, и для каждого рабочего участка была определена кислотность и рассчитаны нормы внесения доломитовой муки (табл. 1). Стоимость доломитовой муки на момент проведения исследования (2024 г.) составляла 12 долларов США.

Также был проведен анализ кислотности почвы с учетом экономических издержек при точном земледелии. Проведены расчеты количества необходимой доломитовой муки для внесения в почву по методу грида (табл. 2).

На основании всех расчетов также была составлена сводная ведомость по затратам на известкование земель КФХ по методу агрохимического обследования земель, учрежденному в Республике Беларусь, и методу грида (табл. 3).

Таблица 1

**Затраты на известкование по методике агрохимических исследований земель КФХ**

Номер рабочего участка	pH <sub>KCl</sub>	CaCO <sub>3</sub> , т/га	Площадь, га	CaCO <sub>3</sub> , тонн	Затраты, \$ США
1	6,2	Не нуждается	12,3	0	0
2	6	Не нуждается	9,6	0	0
3	6,6	Не нуждается	16	0	0
4	5,8	2,5	14,9	37,25	447
5	6,2	Не нуждается	6,1	0	0
6	5,8	2,5	15	37,5	450
7	5,5	3,5	21,6	75,6	907,2
8	5,5	3,5	13	45,5	546
9	5,5	3,5	4,5	15,75	189
10	5,9	Не нуждается	1,9	—	0
11	5,7	2,5	4,3	10,75	129
12	5,8	2,5	8,4	21	252
13	5,2	3,5	11,4	39,9	478,8
14	5,9	Не нуждается	23,2	0	0
15	6,1	Не нуждается	9,6	0	0
16	6,8	Не нуждается	4,4	0	0
17	6,7	Не нуждается	3,2	0	0
18	6,7	Не нуждается	1,3	0	0
	Сумма		180,7	283,25	3399

Таблица 2

**Затраты на известкование по методу грида земель КФХ**

Участки	Площадь, га	CaCO <sub>3</sub> , тонн	Затраты, \$ США
1	95,5	90,2	1082,4
2	19,4	12,65	151,8
3	50,1	32,7	392,3
4	12,6	38,4	460,8
5	4,3	6,9	82,8
Сумма	181,9	180,85	2170,1

Таблица 3

## Сводная ведомость по затратам на известкование земель КФХ

Номер участка	Агрохимическое обследование		Метод грида		Дельта (разница)	
	CaCO <sub>3</sub> , тонн	Затраты, \$ США	CaCO <sub>3</sub> , тонн	Затраты, \$ США	CaCO <sub>3</sub> , тонн	Затраты, \$ США
1	150,3	1803,6	90,2	1082,4	60,1	721,2
2	61,3	735,6	12,7	151,8	48,6	583,2
3	21,0	252,0	32,7	392,3	-11,7	-140,4
4	39,9	478,8	38,4	460,8	1,5	18
5	10,8	129,6	6,9	82,8	3,9	46,8
Сумма	283,3	3339,6	180,9	2170,1	102,4	1228,8

Согласно сводной ведомости по затратам на известкование земель КФХ внесение доломитовой муки методом грида гораздо дешевле, чем методом агрохимических исследований, что позволяет экономить денежные средства хозяйства в размере около 1200 долларов США. На всех участках, кроме № 3, метод грида значительно уменьшает объемы внесения CaCO<sub>3</sub>. Но при этом на участке № 3 наблюдается обратная ситуация. Это говорит о том, что имеются значительные колебания кислотности почвы, которую нельзя увидеть при проведении агрохимического обследования, что приведет к увеличению внесения доломитовой муки на данном участке. Не смотря на увеличение затрат, детальное (точечное) внесение позволит выровнять природную гетерогенность и улучшить эффективность использования земель, что приведет к увеличению урожайности.

Результаты данного исследования показывают, что геостатистический анализ данных позволяет определить наличие ошибок и выбросов в данных, оценить основные статистические закономерности. Геостатистический анализ позволяет максимально точно и научно обоснованно строить картограммы кислотности почв экспериментальных площадей с помощью инструментов интерполяции. В целом геостатистика позволяет улучшить качество и эффективность земледельческой деятельности, оптимизировать использование ресурсов и повысить урожайность.

## Библиографические ссылки

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030. Минск: Министерство экономики РБ. С. 148.

2. Нац. акад. наук Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии / И. М. Богдевич [и др.]. Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. 48 с.

3. Якушев В. В. Программно-технические средства информационного обеспечения и реализации агроприемов в системе точного земледелия: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 06.01.03 / Агрофизический ин-т Россельхозакадемии. СПб., 2005. 24 с.

4. Клебанович Н. В., Киндеев А. Л. Геостатистическая оценка вариабельности свойств почв // Вестник УдГУ. 2018. Т. 28. № 1. С. 91–102.

5. 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.

УДК 631.41

**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ  
ЭЛЕМЕНТОВ В ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЯХ РМ <1 И  
РМ 1-10 ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ  
(ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОЙ ЗАПОВЕДНИК, РОССИЯ)**

**П. Р. Енчилик, И. Н. Семенов, Л. А. Безбердая,  
Дж. Ю. Васильчук, Н. Е. Кошелева**

*МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, 1, 119234,  
г. Москва, Россия, [polimail@inbox.ru](mailto:polimail@inbox.ru)*

Изучена пространственная вариабельность содержания Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, Ti, U, V, W, Zn, Zr в микрочастицах РМ1 и РМ1-10 гумусового и иллювиального горизонтов текстурно-дифференцированных почв Центрально-лесного заповедника. Максимальная вариабельность (50-100 %) для фракции РМ<1 обнаружена в гумусовом горизонте склоновых почв. В иллювиальном горизонте она находится в пределах 30-50 %.

**Ключевые слова:** текстурно-дифференцированные почвы (Retisols); геохимия ландшафтов; южнотаежные ландшафты; catena, илистая фракция (РМ1); физическая глина (РМ10); химические элементы.

**VARIABILITY OF CHEMICAL ELEMENT CONCENTRATIONS  
IN PM <1 AND PM 1-10 OF BACKGROUND RETISOLS  
IN CENTRAL FOREST RESERVE, RUSSIA**

**P. R. Enchilik, I. N. Semenov, L. A. Bezberdaya,  
J. Yu. Vasilchuk, N. E. Kosheleva**

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119234,  
Moscow, Russia, [polimail@inbox.ru](mailto:polimail@inbox.ru)*

The spatial variability of the content of Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, Ti, U, V, W, Zn, Zr in microparticles PM1 and PM1-10 of the humus and illuvial horizons of background Retisols in the Central Forest Reserve has been studied. The maximum variability (50-100 %) for the PM<1 fraction was found in the humus horizon of slope soils. In the illuvial horizon it is in the range of 30-50 %.

**Key words:** Retisols; environmental geochemistry; taiga; catena, clay (PM1); silt (PM10); chemical elements.

Оценка вариабельности свойств и элементного состава природных почв востребована при планировании и анализе результатов эколого-

геохимического мониторинга [1, 2], а также при определении степени загрязнения по небольшому числу проб. Вариабельность агрономических показателей в сельскохозяйственных почвах изучена достаточно подробно, однако природным почвам посвящены лишь единичные исследования [3]. Неотъемлемой частью мониторинга является анализ фоновой почвенно-геохимической структуры ландшафтов, включая катенарную, предполагающий изучение распределения химических элементов в компонентах каскадных ландшафтно-геохимических систем [6]. Гранулометрический состав почв играет важную роль в распределении и сорбции химических элементов [4]. Особое внимание уделяется микрочастицам диаметром  $<10$  мкм, как важнейшим компонентам и депозитариям токсичных веществ в твёрдой фазе [5].

Целью настоящего исследования является анализ пространственной вариабельности содержания тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) в гранулометрических фракциях РМ1 и РМ1-10 гумусового и иллювиального горизонтов дерново-подзолистых почв в фоновой ландшафтно-геохимической катене на территории Центрально-Лесного государственного заповедника (ЦЛГЗ). Исследована фоновая для Московского региона катена на вершине хорошо дренированного моренного холма с абсолютной высотой 265 м и его пологом склоне. Автономная позиция и выпуклый склон холма исследуемой катены заняты хвойно-широколиственным лесом, произрастающим на подзолистых глееватых и дерново-подзолистых оглеенных почвах. Супераквальный ландшафт заболоченной потяжины с временным водотоком занят хвойным лесом на торфянистых подзолистых оглеенных почвах.

Для анализа пространственной вариабельности содержания элементов во фракциях РМ  $<1$  и РМ1-10 отобрано 45 образцов из гумусового (ао) и иллювиального (ВТ) горизонтов в девятикратной повторности. Для выделения тонких частиц из подзолистых, дерново-подзолистых и торфянисто-подзолистых почв катены применялась методика гранулометрического фракционирования с использованием центрифуги [7] и ультразвука [8]. Гранулометрические фракции РМ  $<1$  и РМ1-10 выделяли на центрифуге «ОС-6МЦ» (ДАСТАН, Киргизия), расчёт времени и скорости оборотов — в программе «Centriset» [9]. Полученные суспензии с фракциями РМ1 и РМ1-10 фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм (EMD Millipore, Берлингтон, США). Элементный состав образцов определяли во ВНИИ минерального сырья им. Н. М. Федоровского методами масс-спектрометрии (ICP-MS) и атомно-эмиссионной спектрометрии (ICP-AES) с индуктивно-связанной плазмой с использованием приборов «Agilent 7500cx» и «Elan-6100» (США) соответственно.

Для анализа пространственной неоднородности содержания Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, Ti, U, V, W, Zn, Zr в гранулометрических фракциях PM1 и PM 1-10 горизонтов почв в программном пакете STATISTICA были рассчитаны коэффициенты вариации и определена нормальность распределения содержания ТММ для обоснования применения t-критерия Стьюдента при оценке значимости различий в содержании элементов во фракциях гумусовых и иллювиальных горизонтов почв, различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

В гранулометрических фракциях PM<1 и PM1-10 горизонта ао подзолистых и дерново-подзолистых почв ЦЛГЗ среднее для автономной и склоновой позиций содержание Al, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Mn, Mo, Pb, Rb, Ti, U, V, W и Zn выше, чем в валовом образце, а Sn и Zr — ниже. Содержание Sb и Sr ниже только во фракции PM <1, а As и Ni — только в PM1-10. При этом содержание Al, Be, Cr, Cs, Ce, Fe, Rb, Ti, V, Zn во фракции PM <1 более чем в 2 раза превышает содержание в валовом образце. Во фракции PM1-10 только содержание Al, Fe, Mn, Ti и V более чем в 2 раза превышает значения, характерные для валового образца. Содержание Zr во фракциях PM <10 в 2 раза ниже, чем в валовом образце.

В гранулометрических фракциях PM<1 и PM1-10 горизонта ВТ содержание Al, Ba, Be, Bi, Co, Cs, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Ti, U, V, W, Zn выше, чем в валовом образце, а Cd и Zr — ниже. Содержание Sr ниже только во фракции PM<1, а As, Cr и Sn — только в PM1-10. Во фракции PM<1 содержание Al, As, Be, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, V, W, Zn более чем в 2 раза превышает содержание в валовом образце, во фракции PM1-10 — только Pb. Содержание Sn во фракции PM1-10 в 2 раза ниже, чем в валовом образце. Для всех исследованных элементов различия содержания элементов во фракции PM1 и PM1-10 статистически значимые ( $p < 0,05$ ).

Во фракции PM <1 (таблица 1) содержания большинства элементов подчиняются нормальному закону распределения. Логнормальное распределение отмечено только для As, Cr, Ni в гумусовом горизонте склонового ландшафта. Содержание химических элементов во фракции PM1-10 также в основном подчиняется нормальному закону распределения. Логнормальное распределение в этой фракции у большинства элементов наблюдается в гумусовом горизонте междуречья и иллювиальном горизонте почв склона.

Вариабельность содержания химических элементов во фракции PM <1 (таблица 1) максимальна в гумусовом горизонте склоновых почв (50-100 %).

## Вариабельность и среднее содержание элементов в частицах PM1

Элемент	PM <1									
	А				ТЭ				ТЭА	
	ао		ВТ		ао		ВТ		ВТ	
	μ	Cv	μ	Cv	μ	Cv	μ	Cv	μ	Cv
Al	31490	18	114483	8	29256	54	105776	6	89730*	30
As	2,2	100	5,7	39	0,91*	100	6,4	27	8,0	46
Be	1,2	24	4,4	8	0,98	61	4,1	6	3,6	32
Bi	0,35	31	0,38	15	0,29	51	0,39	13	0,41	34
Cd	1,7	69	0,14	48	1,02	76	0,16	37	0,15	76
Ce	28	15	132	10	27	72	116	17	131	32
Co	6,3	35	20,3*	13	7,9	79	20,7	4	22,5	34
Cr	16	83	111	11	13*	100	113	11	102	35
Cs	2,4	27	8,04	12	2,3	59	7,1	13	6,6	35
Cu	22	28	57	12	16	54	51	8	60	34
Li	12	27	62	10	12	62	66	7	47	33
Lu	0,05	72	0,61	12	0,05	92	0,55	10	0,64	32
Mn	3877	58	698	35	2486	52	799	24	1489	38
Mo	1,5	28	1,01*	38	1,2	57	1,0	13	0,80	41
Na	605	100	1790	55	107*	100	1824	37	3087	50
Ni	5,6	100	62,0	12	3,2*	100	65,3	10	57,3	35
Pb	4490	44	872	14	3478	53	703	17	1039	33
Rb	60	27	171	10	56	62	164	8	134	31
Sb	0,88	29	0,70*	31	0,69	67	0,73	14	0,70	46
Sn	2,1	55	2,1*	28	0,57	100	2,2	40	2,5	53
Sr	47	31	90	8	35	54	84	8	80*	29
Ti	2764	24	5443	9	2454	58	5490	6	4645	31
U	0,93	15	2,9	12	1,1	61	2,8	7	2,5	34
V	51	68	141	11	43	100	146	8	129	33
W	1,5*	100	1,5	9	0,76	55	1,5	9	1,5*	30
Zn	190	25	167	13	180	67	149	12	165	53
Zr	43	36	167	9	28	56	162	7	169	32

μ – среднее содержание элементов (мг/кг); Звездочкой (\*) отмечены показатели с логнормальным законом распределения; распределение остальных показателей соответствует нормальному закону; Cv – коэффициент вариации (%).

В горизонте ВТ вариабельность большинства элементов находится в пределах 30-50 %. В горизонте ао автономного ландшафта у большинства элементов вариабельность находится в диапазоне 10-30 %, повышаясь у Bi, Ba, Sr, Zr (30-50 %), Cd, Mn, Sn, V (50-80%) и As, Cr, Ni, Ta, W (80-100 %).



Наименьшая вариабельность отмечается в горизонте ВТ, где для большинства элементов она ниже 30 %.

Во фракции РМ1-10 горизонта ВТ почв автономного и склонового ландшафтов вариабельность содержания химических элементов выше, чем во фракции РМ <1. В горизонте ВТ подчиненного ландшафта во фракции РМ <1 вариабельность (30-50 %) увеличивается относительно РМ1-10 (10-30 %), вероятно, из-за снижения содержания илистой фракции в этом горизонте подчиненного ландшафта. Для фракций РМ <1 и РМ1-10 вариабельность максимальна в гумусовом горизонте склоновых почв и для всех исследуемых элементов превышает 50 %.

Полевые работы выполнены при поддержке проекта № 17-05-41036 РГО а. Обработка и интерпретация данных выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ № 19-77-30004-П. Авторы благодарны В. В. Крупской за консультации по методике гранулометрического фракционирования; Д. В. Власову за помощь в интерпретации результатов; Е. В. Терской и Л. В. Добрыдневой за консультации при выполнении химико-аналитических работ.

### Библиографические ссылки

1. Spatial Variation and Influencing Factors of Trace Elements in Farmland in a Lateritic Red Soil Region of China / R. Zou [et al.] // *Agronomy*. 2022. № 12. 478.

2. Spatial variability characteristics and impacting factors of soil trace elements in Poyang Lake plain, Jiangxi of China / H. M. Yu [et al.] // *Plant Nutr. Fertil. Sci.* 2020. № 26.Р. 172–184.

3. Шапорина Н. А., Чичулин А. В., Чумбаев А. С. Пространственная вариабельность водно-физических свойств темно-серой лесной почвы в условиях Предсалаирья // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 10. С. 144–149.

4. Estimation of hourly PM1 concentration in China and its application in population exposure analysis / L. Huang [et al.] // *Environmental Pollution*. 2021. Vol. 273.

5. Contamination levels and source apportionment of potentially toxic elements in size-fractionated road dust of Moscow / D. V. Vlasov [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. V. 30. P. 38099-38120.

6. Касимов Н. С., Геннадиев А. Н. Геохимия ландшафтов и география почв: основные концепции и подходы // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2005. № 2. С.10–17.

6. Методика выделения гранулометрических фракций почв и пыли методом центрифугирования / Л. А. Безбердая [и др.] // *Инженерная экология*. 2023. С. 178–182.

7. Влияние параметров ультразвукового диспергирования при гранулометрическом фракционировании на содержание элементов в микрочастицах почв и дорожной пыли / П. Р. Енчилик [и др.] // *Инженерная экология*. 2023. С. 206–211.

8. Poppe L. J., Eliason A. E. A BASIC program to calculate gravitational and centrifugal parameters: *Geological Society of America*. 2009. V. 41. № 3. 21 p.

УДК 631.41

**ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ПОСТАГРОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ» (РОССИЯ)**

**П. Р. Енчилик<sup>1,2)</sup>, О. В. Шопина<sup>1,2)</sup>, И. Н. Семенов<sup>1,2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, ул. Профсоюзная, 84/32, стр.14, 117997, Москва, Россия, [polimail@inbox.ru](mailto:polimail@inbox.ru)*

<sup>2)</sup>*МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119234, Москва, Россия, [semenkov@geogr.msu.ru](mailto:semenkov@geogr.msu.ru)*

В нацпарке «Смоленское Поозерье» изучена дифференциация подвижных форм 28 элементов в текстурно-дифференцированных почвах под агроценозами, лугами и лесам разного возраста, характеризующими 8 стадий восстановления хвойно-широколиственных лесов. Содержание подвижных форм большинства элементов значительно увеличивается в гумусовом горизонте почв средне- и старовозрастных лесов при большем постоянстве содержания в минеральных горизонтах.

**Ключевые слова:** агрохимические показатели; плодородие почвы; агроландшафты; тяжёлые металлы и металлоиды; подвижные формы элементов; хроносерия; пространственно-временная замена.

**POSTAGROGENIC DYNAMICS OF CONCENTRATION OF CHEMICAL ELEMENT MOBILE FRACTIONS IN SOILS OF CONIFEROUS-DECIDUOUS REFORESTATION CHRONOSEQUENCE AT THE SMOLENSKOYE POOZERIE NATIONAL PARK (RUSSIA)**

**P. R. Enchilik<sup>1,2)</sup>, O. V. Shopina<sup>1,2)</sup>, I. N. Semenov<sup>1,2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS, st. Profsoyuznaya, 84/32, building 14, 117997, Moscow, Russia, [polimail@inbox.ru](mailto:polimail@inbox.ru)*

<sup>2)</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119234, Moscow, Russia, [semenkov@geogr.msu.ru](mailto:semenkov@geogr.msu.ru)*

The differentiation of mobile fractions of chemical elements in the soil horizons at different stages (agrocenosis, meadow and forest with different ages of the tree stand) of coniferous-deciduous reforestation chronosequence was studied at the Smolensk Poozerie National Park. The concentration of elements mobile fractions significantly increased in the humus horizon of soils of middle-aged and old-aged forests. The significance of changes decreased in mineral horizons.

**Keywords:** ecological indicators; agriculture; soil fertility; heavy metals and metalloids (HMMs); mobile fractions; space-for-time substitution; chronosequence.

Постагрогенное восстановление почв характерно для многих лесных территорий Восточной Европы. Национальный парк «Смоленское Поозерье» расположен между Валдайской и Смоленско-Московской возвышенностью, в области умеренно-континентального климата в переходной полосе между подтаежными широколиственно-хвойными и хвойными лесами. В зависимости от этапа восстановления и возраста хвойно-широколиственных лесов экосистемы Смоленского Поозерья можно разделить на следующие стадии [1]: 0 – агроценоз и залежь 1-3 лет на (текстурно-дифференцированных) агропочвах (остаточно-карбонатных), 1 – залежный луг на текстурно-дифференцированных агропочвах реградированных (остаточно-карбонатных), 2 – молодой (20–30 лет) березняк на текстурно-дифференцированных агропочвах реградированных (остаточно-карбонатных), 3 – средневозрастный (35–60 лет) березняк на месте пашни на (агро)дерново-(палево-)подзолистых реградированных/постагрогенных (остаточно-карбонатных) почвах, 4 – средневозрастный (70–80 лет) березняк на (агро) дерново-палево-подзолистых реградированных/постагрогенных (остаточно-карбонатных) почвах, 5 – старовозрастный осиновый и широколиственный лес (80–110 лет) на постагрогенных (дерново-палево-) подзолистых (остаточно-карбонатных) почвах, 6 – старовозрастный елово-широколиственный лес (90–130 лет; древостой разновозрастный) на (дерново-)палево-подзолистых (постагрогенных остаточно-карбонатных) почвах, 7 – старовозрастный елово-широколиственный лес (возраст древостоя 110–135).

Генетические горизонты исследованных почв объединены в группы согласно [2]: органогенные (О, Н) / грубогумусовые, т.е. возникшие в верхней части старопахотного горизонта в ходе естественного лесовосстановления (W, АО, ао), органоминеральные (АУ и переходные к нему, Р), элювиальные (ЕL, ВЕL), срединный (ВТ), порода (С). Из высушенных при +40 °С образцов (всего 188) почв подвижные формы металлов извлечены 4 параллельными вытяжками с соотношением почва:раствор 1:10 [3, 4]: легкообменные – ацетатно-аммонийным буфером с рН 7,0; труднообменные – ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8; комплексные – ацетатно-аммонийным буфером с 1 % ЭДТА; специфически сорбированные (преимущественно непрочно связанные гидроксидами Fe и Mn) – 1n азотной кислотой. Формы металлов в почвенных вытяжках определены методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой в ИПТМ РАН (г. Черноголовка). Значимость различий концентраций форм элементов на разных стадиях постагрогенной сукцессии определена с помощью теста Манна-Уитни. Различия считали значимыми при уровне  $p < 0,05$ .

*В гумусовых горизонтах* на всех стадиях восстановления значимы различия концентраций легкообменных соединений Al, В, Ве, Са, Cd, Со, Fe, Mg, Mn и Ti. Содержание В, Ве, Са, Cd, Со, Mg и Sr значимо

изменяются на ранних стадиях сукцессии, а Al, Ba, Cu, Fe, Mn и Zn – на поздних. По мере восстановления растительности в гумусовом горизонте увеличивается концентрация легкообменного Mn и снижается Cu. Содержание Al, B, Be и Fe максимально в почвах под средневозрастными (70–80 лет) березняками (4 стадия восстановления), Ba и Ca – на 5 – 7 стадиях – в почвах под старовозрастными лесами. Содержание Sr и Mg минимально в почвах под средневозрастными (35 – 60 лет) березняками (3 стадии), Cd, Co, Mg и Ti – под средневозрастными (70–80 лет; стадия 4) березняками и Zn – под старовозрастным елово-широколиственным лесом (стадия 6).

Концентрации трудно обменных соединений Co, Ti и Zn в гумусовом горизонте значимо возрастают по мере восстановления хвойно-широколиственных лесов. Содержание Ba, Be, Cd и Mn значимо изменяется на начальных стадиях восстановления, достигая максимальных значений к 5 стадии. На 4 стадии восстановления концентрации Al, Sr, Ca, Cu, Fe возрастают, а B падают.

*Для гумусовых горизонтов* почв по мере реградации свойственно значимое повышение содержания комплексных соединений Ca, и снижение – Cu. Концентрации Cd в почвах средневозрастных березняков значимо возрастают к 5 стадии. Содержание комплексных соединений Al, Mg, Ba, Be, Co, Fe, Mn, Ti, Sr и Zn значимо увеличиваются на 4 стадии восстановления, а B – значимо снижаются.

Концентрации сорбированных форм Zn значимо возрастают, а Be, Fe и Mg падают в гумусовых горизонтах почв по мере восстановления растительности. Содержание сорбированных соединений Al, Ba, Cd, Cu, B, Ca и Mn максимальны на более поздних (5-6) стадиях восстановления.

*В элювиальном горизонте* на разных этапах восстановления контрастность изменений содержаний большинства элементов снижается. Значимые изменения концентраций подвижных форм характерны только для отдельных элементов. Так, от ранних стадий восстановления к поздним значимо снижение концентраций легко обменных соединений B, Be, Cd, Co и Ti, трудно обменного B, комплексного Sr и сорбированных Ca и Sr. По мере восстановления растительности в элювиальном горизонте значимо возрастает содержание трудно обменных форм Cd и сорбированного B. Содержание комплексных соединений Be и Cu значимо увеличивается на 4 стадии, сорбированного Sr – значимо снижается на 6 стадии.

*В иллювиальном горизонте* по мере восстановления растительности от агроценозов к старовозрастным лесам значимо снижается содержание легкообменных форм Ba, Ca, Mn и Sr. На 4 стадии восстановления максимальны содержания легко обменных форм B, Be, Cd, Co и Ti. Концентрация трудно обменных форм Al и Ti возрастают от ранних стадий сукцессии к поздним, а концентрация Mn по мере восстановления растительности снижается. На 4 стадии восстановления содержание трудно обменных Ca и Mg максимально, а Cu – минимально. Концентрация комплексных соединений Ba, Be, Mg и Mn значимо

возрастает на 4 стадии. Содержания сорбированных форм Ti значительно снижаются на 5 стадии.

В породе изменения концентрации форм элементов значимы в единичных случаях. Содержания легко обменного Cu значительно возрастают на 4 стадии. Содержания трудно обменного Zn в породе значительно снижаются в старовозрастных лесах. Концентрации комплексных соединений Ba по мере восстановления почв значительно возрастают. Содержания сорбированных соединений Cd, Cu и Zn значительно снижаются к поздним стадиям. Концентрации всех исследованных подвижных форм многих элементов в породе незначительно возрастают в почвах 4 – 5 стадий восстановления.

Значимые изменения концентраций подвижных форм элементов в зависимости от стадии восстановления после распашки свойственны гумусовым горизонтам постагрогенных почв Смоленского Поозерья, где наиболее интенсивны процессы почвообразования происходят на луговой стадии и стадии зарастания молодым лесом, что приводит к интенсивному накоплению элементов питания [5] и максимальной их аккумуляции в почвах под средневозрастными лесами. Так, в гумусовых горизонтах содержания большинства форм элементов увеличиваются в почвах под средневозрастными (4 стадия восстановления) и старовозрастными лесами (5 стадия восстановления). В нижележащих горизонтах значимость изменений концентраций подвижных форм элементов резко снижается, в породе значимые изменения характерны для минимального числа элементов и только на отдельных, в большинстве случаев поздних, этапах восстановления: легкообменного Cu, труднообменного Zn, комплексного Ba и сорбированных Cd, Cu и Zn. В минеральных горизонтах значимые изменения этих элементов в большей степени характерны для поздних стадий восстановления.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-74-20171).

### Библиографические ссылки

1. Stages of restoration of components of post-agrogenic pine forest ecosystems at the National Park “Smolensk Lakeland” / O. V. Shopina [et al.] // Eurasian Soil Science. 2023. Vol. 56. № 1. P. 16–28.
2. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов [и др.]. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Method of determining loosely bound compounds of heavy metals in the soil / T. Minkina [et al.] // MethodsX. 2018. № 5. P. 217–226.
4. Пансю М., Готеру Ж. Анализ почвы. Справочник. Минералогические, органические и неорганические методы анализа. СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. 800 с.
5. Трансформация органического вещества в постагрогенных почвах средней тайги / Г. Я. Елькина [и др.] // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2019. Vol. 152. P. 100–107.

УДК 631.4

## ОСОБЕННОСТИ ЭРОЗИИ ПОЧВ И ИХ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ, ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

**А. П. Жидкин, Д. В. Фомичева**

*Почвенный институт имени В. В. Докучаева, Пыжевский пер., 7 стр. 2,  
119017, Москва, Россия, [gidkin@mail.ru](mailto:gidkin@mail.ru)*

В работе сопоставлены измеренные в полевых условиях и смоделированные с учетом и без учета самовосстановления почв мощности гумусовых горизонтов черноземов и серых лесных почв. Морфологические свойства почв проанализированы на трех участках площадью около 10 тыс. га каждый в Орловской, Курской и Белгородской областях, суммарно в более чем в тысячи точек обследования. Полученные результаты отчетливо свидетельствуют о значимой роли самовосстановления почв в формировании эрозионно-аккумулятивных структур почвенного покрова. Темпы самовосстановления черноземов и темно-серых лесных почв составили около 0,4 мм/год.

**Ключевые слова:** чернозем; серая лесная почва; WaTEM/SEDEM; гумусонакопление; деградация почв.

## FEATURES OF SOIL EROSION AND DEVELOPMENT IN THE NORTHERN, CENTRAL AND SOUTHERN FOREST-STEPPE OF THE CENTRAL RUSSIAN UPLANDS

**A. P. Zhidkin, D. V. Fomicheva**

*V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Pyzhevsky lane, 7 building 2,  
119017, Moscow, Russia, [gidkin@mail.ru](mailto:gidkin@mail.ru)*

The work compares the thickness of humus horizons of chernozems and gray forest soils measured in field conditions and modeled with and without taking into account soil development. The morphological properties of soils were analyzed in three sites with an area of about 10 thousand hectares each in the Oryol, Kursk and Belgorod regions, in total at more than a thousand survey points. The results clearly indicate the significant role of soil development in the formation of erosion-accumulative structures of the soil cover. The rate of the development of chernozems and dark gray forest soils was about 0.4 mm/year.

**Keywords:** chernozem; gray forest soil; WaTEM/SEDEM; humus accumulation; soil degradation.

Широко известно, что ведущим процессом деградации почвенного покрова в мире является эрозия почв. Под термином «эрозия почв»

зачастую подразумеваются разные процессы: а) выноса и переотложения почвенной массы; б) деградации почвенного покрова. Данные процессы близки между собой, однако не эквивалентны, поскольку деградация почвенного покрова складывается из смыва почв и её частичного самовосстановления в результате процессов гумусонакопления.

Интенсивность самовосстановления почв все еще остается дискуссионным вопросом. Согласно литературным данным, в лесостепи скорость самовосстановления почв в среднем может варьировать от 0,04 мм/год [1] до 0,45 мм в год [2, 3]. В относительно краткосрочные периоды времени (десятки лет), при сильных нарушениях почвенного покрова, скорость самовосстановления почв может возрасти в десятки раз [1]. Таким образом игнорирование самовосстановления почв может приводить к искажению ретроспективных или прогнозных оценок темпов деградации почв за длительные периоды времени.

Цель данной работы заключалась в оценке скорости самовосстановления почв на основе разницы между измеренными в полевых условиях и смоделированными мощностями гумусовых горизонтов почв на участках, расположенных в северной, центральной и южной лесостепи на Среднерусской возвышенности.

Исследования проводились на трех участках «Шебекинский» в Белгородской обл., «Воробжа» в Курской обл. и «Мценский» в Орловской обл. Каждый из участков характеризует южную, центральную и северную лесостепь в пределах Среднерусской возвышенности.

Диагностика мощностей гумусовых горизонтов почв была проведена в общей сложности в 1093 точках обследований. Под гумусированной толщиной понималась совокупная мощность гумусового горизонта (A1) и переходного горизонта (A1B).

Моделирование мощностей гумусовых горизонтов почв проводилось на основе эрозионного моделирования с учетом темпов самовосстановления почв. Темпы эрозии были смоделированы по WaTEM/SEDEM. Для каждого участка были использованы верифицированные эрозионные входные параметры. Для участка «Мценск» верификация была проведена на малом водосборе «Ломовец» [4]; для участка «Воробжа» - на малом водосборе «Спокоевка», [5]; для участка «Шебекино» - на участке «Батрацкие дачи» [6]. Верификация эрозионных моделей была проведена на основе сопоставления смоделированных и измеренных полевыми методами темпов эрозии почв, в том числе с применением методов радиоцезиевого и магнитного трассеров, независимых от почвообразовательных процессов. Примерное время распашки было установлено по Планам Генерального межевания и литературным источникам.

Были рассчитаны два сценария самовосстановления почв: а) с отсутствием самовосстановления; б) с темпом 0,4 мм/год согласно [2, 3]. Темпы 0,4 мм/год были взяты как наиболее высокие среднемноголетние темпы для долгосрочных периодов времени (в несколько сотен лет) для лесостепных почв.

Важно отметить, что исследования в данной работе проводились только в точках обследования, поскольку экстраполяция свойств почв от точек на окружающее пространство может вносить существенные искажения, которые могли повлиять на оценки темпов самовосстановления почв.

Результаты полевых исследований показали, что на участке «Шебекино» практически равное участие в почвенном покрове имеют черноземы выщелоченные (50 %) и типичные (45 %). На участке «Воробжа» доминирующие позиции занимают черноземы типичные (62 %), черноземы выщелоченные были диагностированы в 26 % точках обследования, черноземы типичные карбонатные и чернозёмно-луговые почвы в 12 %. На участке «Мценский» суммарная доля светло-серых, серых и темно-серых лесных почв составила 80 % от точек обследования, 20 % - черноземы выщелоченные и оподзоленные.

Средние темпы эрозии почв в точках обследования составили: на участке «Шебекино» 10,4 т/га в год, на участке «Воробжа» 17,7 т/га в год, на участке «Мценский» 11,6 т/га в год.

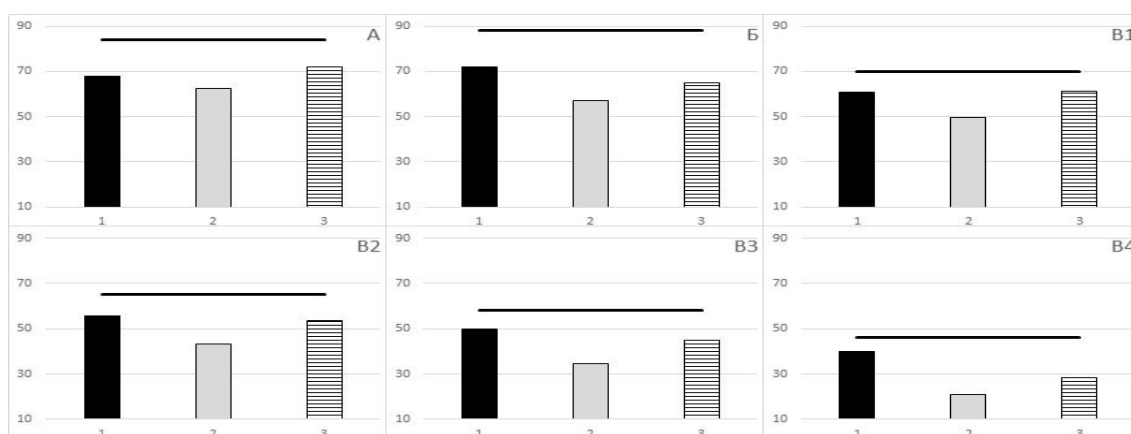
При моделировании мощностей гумусированной толщи без учета темпов самовосстановления почв данный показатель на всех участках исследования оказался ниже измеренных в поле мощностей. Разница между данными параметрами составила от 5,1 до 19 см (рисунок). Таким образом расчет без учета темпов самовосстановления почв следует признать неудовлетворительным.

Мощности гумусированной толщи черноземов, смоделированные с учетом их самовосстановления, оказались значительно ближе к измеренным мощностям. Разница между данными параметрами составила: 4,2 см для участка «Шебекино»; 7,0 см для участка «Воробжа» и 0,2 см для участка «Мценский».

Более существенные различия на участке «Воробжа» по сравнению с другими участками могут быть обусловлены более высокими темпами самовосстановления черноземов на данном участке, расположенном в центральной лесостепи, вблизи от «эталонных» черноземов типичных Центрально-Черноземного государственного природного биосферного заповедника имени В. В. Алехина. Также возможно отмечаемые различия между смоделированными и измеренными мощностями гумусированной толщи обусловлены специфическими особенностями строения



почвенного покрова на данном участке, где были выявлены так называемые реликтовые криогенные морфоструктуры (РКМ) [7]. Локально встречались ситуации, при которых в близких условиях развития эрозионно-аккумулятивных процессов на небольшом, в несколько десятков метров расстоянии, мощности гумусированной толщи варьировали на 30-40 см. В результате, возможно, измеренные в полевых условиях мощности гумусированной толщи были завышены в связи с включением в выборку почв с реликтовыми гумусовыми горизонтами, не связанными с современными процессами эрозии и почвообразования.



*Рис. 1.* Мощности гумусированной толщи (см) на участках: А – «Шебекинский», Б – «Воробжа», В – «Мценский» В1 – черноземы, В2 – темно-серые лесные почвы, В3 – серые лесные почвы, В4 – светло-серые лесные почвы; Линией показаны эталонные мощности гумусированной толщи почв, столбчатыми диаграммами показаны мощности гумусированной толщи: 1 – измеренные, 2 – смоделированные без учета самовосстановления почв, 3 – средние смоделированные в точках обследования с темпом самовосстановления почв 0,4 мм/год

На участке «Мценский» было отмечено увеличение различий между измеренными и смоделированными с учетом самовосстановления почв мощностями гумусированной толщи в ряду черноземы – темно-серые лесные – серые лесные – светло-серые лесные почвы, которые составили 0,2 см; 2,1 см; 5,1 см; 11,5 см соответственно.

Возможно, распашка почв лесного генезиса способствовала увеличению потечности гумуса [8], а также усилению педо-турбационных процессов. В результате чего произошло «растягивание» почвенного профиля серых лесных почв. Степень такого «растягивания» теоретически может зависеть от таксономической принадлежности почв, увеличиваясь в ряду черноземы – темно-серые лесные – серые лесные – светло-серые лесные почвы.

Таким образом, проведенные исследования мощностей гумусированной толщи в почвах в северной, центральной и южной лесостепи на Среднерусской возвышенности свидетельствуют о существенной роли самовосстановления почв в формировании эрозионно-аккумулятивных структур почвенного покрова и необходимости учета самовосстановления почв при долгосрочных оценках деградации почвенного покрова от водной эрозии. Темпы самовосстановления черноземов и темно-серых лесных почв, вероятно, составляют около 0,4 мм/год, что согласуется с литературными данными других авторов [2,3], выполненных на ключевых небольших по площади участках.

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

### Библиографические ссылки

1. *Goleusov P. V., Lisetskii F. N.* Soil development in anthropogenically disturbed forest-steppe landscapes // Eurasian Soil Science. 2008. Vol. 41. № 13.

2. *Геннадиев А. Н., Герасимова М. И., Пацукевич З. В.* Скорость почвообразования и допустимые нормы эрозии почв // Вестник Московского ун-та. Сер. 5 География. 1987. № 3.

3. *Пацукевич З. В., Геннадиев А. Н., Герасимова М. И.* Допустимая эрозия и самовосстановление почв // Почвоведение. 1997. № 5.

4. *Пространственно-временные изменения эрозионно-аккумулятивных процессов на малом водосборе в северной части Среднерусской возвышенности / В. Н. Голосов [и др.]* // Почвоведение. 2024. № 5.

5. *Полевая верификация эрозионных моделей на основе исследований малого водосбора в бассейне р. Воробжи (Курская область) / В. Н. Голосов [и др.]* // Почвоведение. 2022. № 10.

6. *Пространственно-временные параметры латеральной миграции твердофазного вещества почв (Белгородская область) / А. П. Жидкин [и др.]* // Вестник Московского университета. 2016. Серия 5. № 3.

7. *Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие / А. А. Величко [и др.]*. М., 1996.

8. *Караваева Н. А., Жариков С. Н., Кончин А. Е.* Пахотные почвы Нечерноземья: процессно-эволюционный подход к изучению // Почвоведение. 1985. № 11.

УДК 502.3.351.15 (476)

## УЧЕТ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ г. МИНСКА

**А. Н. Жуховцова**

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск, Беларусь, [zhuhovcova@gmail.com](mailto:zhuhovcova@gmail.com)*

Рассматривается влияние факторов окружающей среды (качество источников водоснабжения, загрязнение почв, близость мест отдыха населения) на формирование кадастровой стоимости земель г. Минска. Рассчитан соответствующий коэффициент влияния с помощью инструмента-геомодели в приложении ModelBuilder. Результат анализа показал, что с учетом данных факторов кадастровая стоимость земель может измениться до 10 % в жилых зонах и до 5 % в рекреационных.

**Ключевые слова:** кадастровая оценка; инструмент-геомодель; источник водоснабжения; почвенный покров.

## ACCOUNTING ENVIRONMENTAL FACTORS FOR CADASTRAL VALUATION OF LAND IN MINSK

**A. N. Zhuhovcova**

*Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus, [zhuhovcova@gmail.com](mailto:zhuhovcova@gmail.com)*

The influence of environmental factors (quality of water supply sources, soil pollution, proximity of recreational areas for the population) on the formation of the cadastral value of lands in Minsk is considered. The corresponding influence coefficient was calculated using the geomodel tool in the ModelBuilder application. The result of the analysis showed that, taking into account these factors, the cadastral value of land can change by up to 10% in residential areas and up to 5% in recreational areas.

**Key words:** cadastral value of lands; geomodel tool; quality of water supply sources; soil pollution.

Оценка экологического состояния земель городов должна быть ориентирована на создание благоприятных условий для проживания населения, эффективного функционирования экологического каркаса города, оптимальных условий для строительства и функционирования городской инфраструктуры [1]. В терминологии оценки недвижимости под экологическими факторами понимается состояние окружающей среды и её отдельных компонентов, которые влияют на рыночную стоимость объектов недвижимого имущества. Часто, такие факторы разделяют на отрицательные (загрязнение отдельных элементов

окружающей среды) и положительные (близкое расположение к рекреационным, оздоровительным и природоохранным зонам) [2]. В Беларуси кадастровая оценка земель проводится с учетом вида функционального использования территории. При расчете стоимости земель учитывается сводный коэффициент факторов оценки, среди которых присутствует расположение санитарно-защитных зон и расположение мест отдыха населения. Установление размеров санитарно-защитных зон проводится на основании расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, уровней физического воздействия и оценки риска для жизни и здоровья населения [3]. Для каждого вида использования территории имеют значение разные наборы факторов: например, загрязнение почвенного покрова — важный фактор для оценки земельных участков рекреационного использования, в меньшей степени — для земель зоны жилой многоэтажной застройки. Был определен набор факторов для интегрированного коэффициента окружающей среды:

- расположение санитарно-защитных зон, близость мест отдыха населения и качество водоснабжения (для жилой многоквартирной и жилой усадебной зон);

- расположение санитарно-защитных зон и загрязнение почвенного покрова (для рекреационной зоны).

Качество атмосферного воздуха является одной из самых важных характеристик экологического состояния земель в городе. Расположение санитарно-защитных зон может свидетельствовать о влиянии крупных источников загрязнения воздуха. Для комфортного проживания также необходимо учитывать качество водоснабжения. Основным высококачественным источником водоснабжения в Минске являются подземные скважины, но часть города — Московский и Фрунзенский районы — до сих пор использует поверхностные, которые хотя и удовлетворяют санитарно-гигиеническим нормам, установленным для питьевых вод, но требуют обязательного хлорирования, поэтому уступают органолептическим свойствам вод из подземных источников. Загрязнение почв в г. Минске наиболее характерно для промышленных зон, а также старого центра города за счет длительного антропогенного воздействия. Поскольку загрязнение почв влияет на устойчивость городских экосистем, оно учитывалось при выполнении оценки рекреационной зоны.

Материалами исследования были данные о загрязнении почвенного покрова [4] и источниках водоснабжения [5]. В качестве операционной единицы в работе были приняты оценочные зоны города [3].

Согласно [6] коэффициент влияния фактора  $K_f$  имеет следующий вид:

$$K_f = K \times (S_f / S),$$

где  $K$  – значение коэффициента фактора,  $S_f$  – площадь покрытия фактором оценки,  $S$  – площадь оценочной зоны.

Каждому источнику водоснабжения экспертным методом был присвоен коэффициент влияния: подземному – 1, смешанному – 0,95 и поверхностному – 0,9. Для определения коэффициента качества водоснабжения  $K_{\text{вод}}$  была рассчитана процент покрытия оценочной зоны каждым источником. При покрытии зоны несколькими источниками, коэффициент рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{вод}} = S_{\text{подзем}} + 0,95 \times S_{\text{смеш}} + 0,9 \times S_{\text{поверх}},$$

где  $S_{\text{подзем}}$  – процент покрытия подземным источником,  $S_{\text{смеш}}$  – процент покрытия смешанным источником,  $S_{\text{поверх}}$  – процент покрытия поверхностным источником.

Пороговые значения содержания химических веществ в почве, согласно ЭкоНИП, делятся на 4 группы от низкого к очень высокому. Аналогично источникам водоснабжения для каждого уровня загрязнения был присвоен коэффициент: 0,95 – низкому уровню загрязнения, 0,9 – среднему, 0,85 – высокому и 0,8 – очень высокому. Коэффициент загрязнения почвенного покрова в таком случае рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{почв}} = 0,95 \times S_1 + 0,9 \times S_2 + 0,85 \times S_3 + 0,8 \times S_4,$$

где  $S_1$  – процент покрытия с низким уровнем загрязнения,  $S_2$  – процент покрытия со средним уровнем загрязнения,  $S_3$  – процент покрытия с высоким уровнем загрязнения и  $S_4$  – процент покрытия с очень высоким уровнем загрязнения.

Для расчета итогового коэффициента факторов окружающей среды для жилой многоквартирной и жилой усадебной зон была использована следующая формула:

$$K = 0,3 \times (S_{\text{сзз}} + S_{\text{вод}} + S_{\text{рекр}}),$$

где  $S_{\text{сзз}}$  – процент покрытия санитарно-защитными зонами,  $S_{\text{вод}}$  – процент покрытия источниками водоснабжения,  $S_{\text{рекр}}$  – доступность мест отдыха населения. Коэффициент 0,3 был рассчитан экспертным методом, чтобы приблизить значение фактора к 1 и сопоставить с другими факторами, влияющими на кадастровую стоимость земель.

Для учета влияния окружающей среды в рекреационных зонах, фактор загрязнения почв был включен в расчет сводного коэффициента наравне с остальными факторами, влияющими на кадастровую стоимость.

Для проведения расчетов коэффициентов влияния факторов и выявления изменений кадастровой стоимости участков был создан инструмент-

геомодель, который позволяет использовать алгоритм с заданными параметрами многократно для получения результата.

Результаты исследования позволили определить, как может измениться кадастровая стоимость земель г. Минска с учетом факторов окружающей среды (рис. 1, 2).

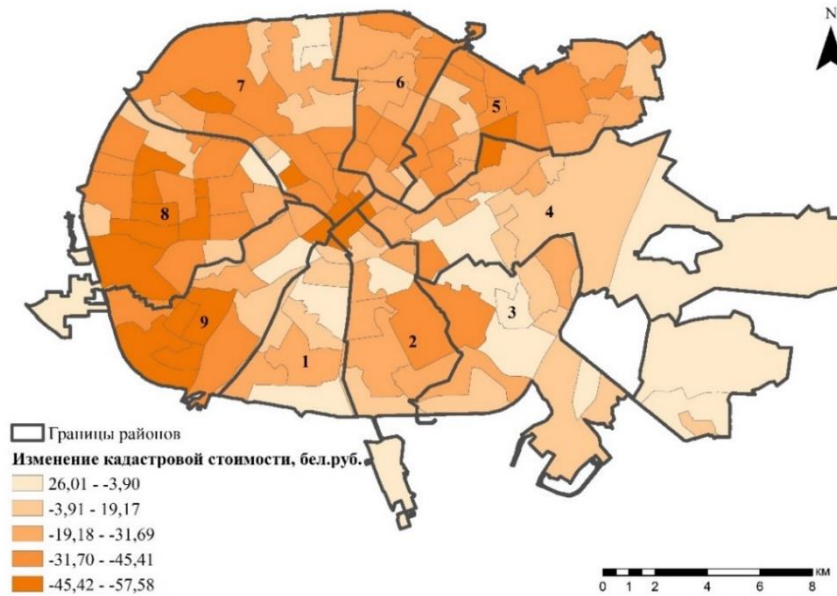


Рис. 1. Изменение кадастровой стоимости земель жилой многоквартирной зоны г. Минска. Районы: 1 – Октябрьский, 2 – Ленинский, 3 – Заводской, 4 – Партизанский, 5 – Первомайский, 6 – Советский, 7 – Центральный, 8 – Фрунзенский, 9 – Московский

Выявлено, что пересчет кадастровой стоимости земель затронет всю территорию г. Минска, поскольку коэффициент зависит от составляющих его показателей, распространенных повсеместно. В Московском и Фрунзенском районах столицы на снижение стоимости земель повлияет прежде всего поверхностный источник водоснабжения. При этом стоимость может повыситься на участках, близких к местам отдыха населения и вне санитарно-защитных зон.

В результате пересчета кадастровой стоимости земель для жилой многоквартирной зоны, она может снизиться до 10 %, для жилой усадебной — до 7 %. Для жилой многоквартирной зоны изменения более значительные, поскольку базовая стоимость таких земель выше, чем под жилой усадебной застройкой.

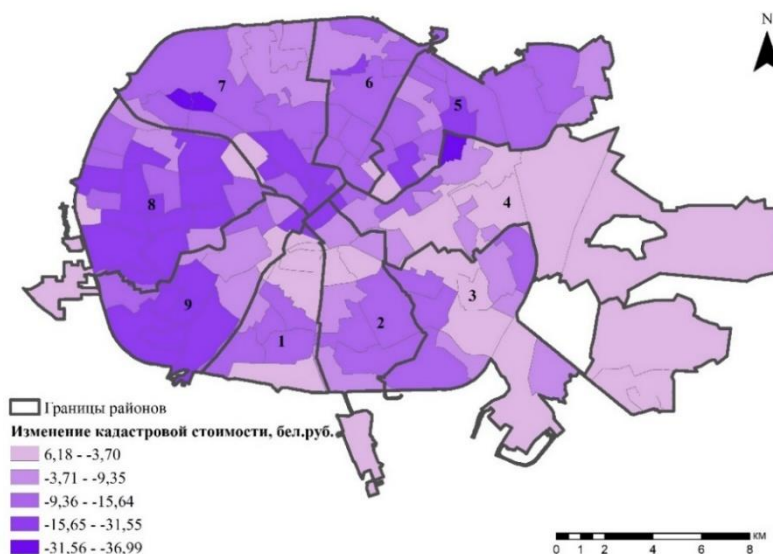


Рис. 2. Изменение кадастровой стоимости земель жилой усадебной зоны г. Минска  
 Районы: 1 – Октябрьский, 2 – Ленинский, 3 – Заводской, 4 – Партизанский,  
 5 – Первомайский, 6 – Советский, 7 – Центральный, 8 – Фрунзенский,  
 9 – Московский

Стоимость земель рекреационной зоны г. Минска в результате пересчета снизится равномерно по всей территории города на 5 %, поскольку, хотя почвенное загрязнение распространено по городской территории неравномерно, уровни загрязнения преимущественно относятся к низким.

### Библиографические ссылки

1. Коновалов П. В., Григорьева М. А. Экологические проблемы урбанизированных территорий (на примере г. Улан-Удэ) // Землеустройство, кадастр недвижимости и мониторинг земельных ресурсов, 2018. С. 194-198.
2. Грибовский С. В., Иванова Е. Н., Львов Д. С. Оценка стоимости недвижимости. М.: ИНТЕРРЕКЛАМА, 2003. 704 с.
3. Регистр стоимости земель, земельных участков [Электронный ресурс]. URL: <http://vl.nca.by/> (дата обращения: 28.10.2023).
4. Особенности загрязнения почв в различных функционально-планировочных зонах Минска / В. С. Хомич [и др.]. Минск.: Природопользование. Вып. 16, 2009. С. 71–81.
5. Качество воды в вашем доме [Электронный ресурс]. URL: <https://minskvodokanal.by/water/home/> (дата обращения: 20.09.2022).
6. Оценка стоимости объектов гражданских прав. Порядок кадастровой оценки земель, земельных участков по виду функционального использования земель «Жилая многоквартирная зона». ТКП 52.2.04-2016 (33520) / Введ. 01.05.2016. Минск: Госкомимущество, 2016. 20 с.

УДК 631.48

**ПОЧВЫ ПОЛЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ САХАРНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ  
И ИХ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
В ПОСТТЕХНОГЕННЫЙ ПЕРИОД**

**И. В. Замотаев<sup>1)</sup>, Р. Г. Грачева<sup>1)</sup>, Ю. В. Конопляникова<sup>1)</sup>,  
А. В. Долгих<sup>1)</sup>, Д. В. Карелин<sup>1)</sup>, Е. А. Белоновская<sup>1)</sup>,  
А. С. Добрянский<sup>1)</sup>, П. В. Михеев<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Институт географии Российской академии наук, Старомонетный пер., 29,  
119017, г. Москва, Россия, zamotaev@igras.ru*

<sup>2)</sup>*Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, ул. Семашко, 2,  
141014, Мытищи, Московская область, Россия*

Исследовались почвы, формирующиеся в условиях обширных очистных сооружений (полей фильтрации) сахарных заводов в лесостепной зоне Курской области. Рассмотрены техногенные факторы почвообразования, связанные с производственной свеклосахарной деятельностью, и посттехногенные процессы, действующие при забрасывании очистных сооружений. По сочетанию свойств и признаков почвы очистных сооружений не имеют прямых природных аналогов в Центральном Черноземье. Щелочные и сильнощелочные, обогащенные органическим веществом, карбонатами, фосфатами и питательными элементами, поступающими из сточных вод, почвы очистных сооружений сахарной индустрии являются ярким примером почв, развивающихся в экстремальных условиях «избытка ресурса».

**Ключевые слова:** техногенез; сточные воды; дефекал; поля фильтрации; агроэкологическая оценка почв.

**SOILS ON SUGAR INDUSTRY TREATMENT FACILITIES IN THE  
CENTRAL CHERNOZEM ZONE AND THEIR AGROECOLOGICAL  
ASSESSMENT IN THE POST-TECHNOGENIC PERIOD**

**I. V. Zamotaev<sup>1)</sup>, R. G. Gracheva<sup>1)</sup>, Yu. V. Konopliankova<sup>1)</sup>,  
A. V. Dolgikh<sup>1)</sup>, D. V. Karelin<sup>1)</sup>, E. A. Belonovskaya<sup>1)</sup>, A. S. Dobryansky<sup>1)</sup>,  
P. V. Mikheev<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetny per., 29, 119017,  
Moscow, Russia, zamotaev@igras.ru*

<sup>2)</sup>*Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, 141014, Semashko str., 2, Mytishchi,  
Moscow Oblast, Russia*

Soils that have been formed within extensive treatment facilities (decommissioned infiltration fields) of sugar beet factories in the forest-steppe zone of the Kursk region were



studied. The technogenic factors of soil formation associated with the industrial sugar beet activity, and post-technogenic processes, acting during the abandonment of treatment facilities, are considered. According to the combination of properties, the soils of wastewater treatment plants have no direct natural analogues in the central Chernozem zone. Alkaline and highly alkaline, enriched in organic matter, carbonates, phosphates and nutrients coming from wastewater, soils of the infiltration fields of sugar industry are a prime example of soils developing under extreme conditions of "excess resource".

**Keywords:** technogenesis; wastewater; press mud; infiltration fields; soil agroecological assessment.

В районах размещения отходов сахарной промышленности формируются особые ландшафты очистных сооружений — полей фильтрации (ПФ). Они наряду с сырьевой и заводской структурно-функциональными зонами рассматриваются как неотъемлемая составная часть «индустриальной геосистемы», или «индустриально-ландшафтной зоны сахарного производства» [1, с. 22].

В аккумулятивных позициях искусственно созданных мезопонижений (карт или чеков), сформированных в окружении насыпных валов, по нашим данным [2; 3] создается особый комплекс условий по сравнению с окружающим фоном: 1) более мощный и продолжительный снежный покров и, следовательно, более высокая температура почвы зимой; 2) периодическое обводнение используемых карт с дополнительным поступлением биогенных и других веществ, применяемых при переработке свеклы и рафинировании сахара; 3) широкое распространение гидрофильных и гигрофильных растительных сообществ, не характерных для фоновых лесостепных ландшафтов Центрального Черноземья, в которых доминируют мезофиты и ксеромезофиты; 4) почвообразующими субстратами на ПФ служат многокомпонентные отходы сахарной индустрии и трансформированные сточными водами карбонатные лессовидные суглинки и/или нижние горизонты черноземных почв. По своим свойствам, составу и генезису они отличаются от всех известных почвообразующих пород и во многом являются новыми объектами для изучения процессов почвообразования с известным нуль-моментом.

Объектами исследования послужили почвы ПФ сахарных заводов, действующего Льговского и закрытого в начале 2000-х гг. Пенского завода в Курской области (Курчатовский район). В качестве фоновой почвы использовался целинный чернозем типичный (миграционно-мицелярный в формате Классификации почв России [4], Курской биосферной станции (Медвенский район), согласно WRB (2015) [5] – *NaрlicChernozemPachic*.

В ландшафтах ПФ формируется широкий спектр почв техногенного и посттехногенного рядов, не характерных для природных фоновых почв. В пространстве эти почвы формируют отличный от исходного почвенный покров, сложность и контрастность которого связана с разнообразием геоморфологических условий, почвообразующих субстратов, циклами обводнения-высыхания карт полей фильтрации, особенностями растительных покровов, а также использованием карт после забрасывания, в частности, под пашню и огороды.

Исследованные почвы постлитогенного ствола почвообразования относятся к 4 отделам: 1) *слаборазвитых почв* на валах, перекрытых дефекатом, где выделяются (пелоземы техногенные на артииндустрате; WRB: Spolic Technosol (Alcalic, Calcaric, Transportic); 2) *органо-аккумулятивных почв* на межсекционных валах на природном материале (темногумусовые типичные почвы на органолитострате; Eutric Cambisol (Organotransportic); 3) *гидрометаморфических (квазиглеевых) почв* днищах используемых карт (перегнойные, перегнойно-гумусовые квазиглеевые почвы; Calcaric Gleysol (Alcalic, Clayic)) и заброшенных неочищенных от осадков карт (темногумусовые техногенные артистратифицированные; Spolic Technosols (Alkalic, Calcaric)), в которых сочетаются свойства постлитогенных почв и некоторые синлитогенных; к этому отделу отнесены и (перегнойно)-темногумусовые гидрометаморфические почвы с яркими признаками биотурбаций в заброшенных очищенных от осадков днищах карт, формирующиеся в условиях повышенной влажности; по WRB: Gleyic Cambisol (Alcalic, Loamic, Protocalcic); 4) *аккумулятивно-гумусовых почв* в заброшенных очищенных от осадков картах (гидрометаморфизованные черноземы; Naplic Cambisol (Alcalic, Protocalcic)) под покровом древесных видов с доминированием клена ясенелистного в условиях переменного-влажного режима увлажнения.

Процессы привноса твердофазного и/или хемогенного материала, гидрометаморфизация, ожелезнение и миграция разнообразных веществ, в том числе легкорастворимых солей (сульфатов) более активно протекают в почвах действующих карт, а процессы метаморфизма органического и минерального вещества, оструктурирование и турбации, связанные с деятельностью биоты и корней, доминируют в почвах заброшенных карт.

По сумме признаков или их отдельным сочетаниям формирующиеся почвенные тела в картах ПФ не имеют прямых природных аналогов в Центральном Черноземье. Щелочные и сильнощелочные, обогащенные органическим веществом, карбонатами, фосфатами, питательными элементами почвы на отходах сахарной индустрии являются ярким

примером «экстремальных почв», развивающихся «при избытке ресурса» под воздействием сахарной промышленности [6]. Помимо специфических морфо-химических свойств почвы днищ ПФ характеризуются и особым функционированием, связанным с повышенным уровнем среднегодовой эмиссии парниковых газов (диоксида углерода и метана) и активностью микробиоты. По данным [3] максимальные зафиксированные величины эмиссии  $\text{CH}_4$  составляют на обводненных, т.е. используемых, картах Львовского сахарного комбината в летний период  $+44.9 \text{ г } \text{CH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ в сут.}$ , что по абсолютной величине на пять порядков превышает фоновые ландшафтные величины потоков на черноземах [7]. Кроме того, выявлена высокая скорость формирования поверхностных горизонтов с мощностью от 10 до 25 см. Обогащение карбонатами и дополнительным органическим материалом из сточных вод в смеси с дефекатом ведет к обилию почвенных структурообразователей и, при обсыхании поверхности, к формированию гумусовых горизонтов в течение одного летнего сезона.

Полученные результаты позволяют выделить отдельную «разновидность экстремальности» для почв, формирующихся под воздействием высококонцентрированных сточных вод предприятий разных отраслей пищевой промышленности (*техно-гидро-экстремальные*), и имеющих определенную специфику поведения во времени [2].

Интенсификация земледелия является современным трендом развития сельского хозяйства в России и в первую очередь на лучших по плодородию почвах. В этой связи особую актуальность приобретают исследования, направленные на разработку методов снижения последствий деградиционных процессов (дегумификации, эрозии, выноса питательных элементов, подкисления и др.) и восстановления свойств, обеспечивающих продуктивность почв. С целью оценки пригодности выведенных из эксплуатации и заброшенных карт ПФ для выращивания сельскохозяйственных культур была проведена агроэкологическая и санитарно-гигиеническая оценка изученных почв, а также сравнение их по свойствам с фоновыми черноземами и серыми почвами.

Как показали наши исследования, в картах ПФ создаются почвы с близкими водно-физическими и агрохимическими свойствами (хорошая оструктуренность, рыхлое сложение, высокая обеспеченность почв питательными элементами и др.), которые в большинстве случаев являются благоприятными для роста и воспроизводства сельскохозяйственных культур. По изученным факторам химической и биологической природы почвы выведенных из эксплуатации карт ПФ могут быть значимым ресурсом для выращивания сельскохозяйственных культур либо

отдельными хозяйствами, либо сельскохозяйственными организациями, при условии строгой экспертизы содержания тяжелых металлов и соблюдения санитарных правил, устанавливающих требования к качеству сельскохозяйственных земель. Изучение адаптации сельскохозяйственных культур к особенностям почв ПФ на фоне вариабельности климатических параметров должно сопровождаться почвенно-генетическими и агрохимическими исследованиями в каждом конкретном случае. Это относится к ПФ, расположенным в Центральном Черноземье и других степных областях страны.

### **Библиографические ссылки**

1. *Тютюнник Ю. Г.* Виробничий ландшафт і його демуґація. К.: ІЕЕ НАН України, 2021. 142 с.
2. Почвообразование на отходах сахарной промышленности в Центральном Черноземье / И. В. Замотаев [и др.] // Почвоведение. 2023. № 11. С. 1450-1471.
3. Годовой бюджет углеродсодержащих биогенных парниковых газов при смешанном землепользовании: Львовский район как модельный объект Центрального Черноземья / Д. В. Карелин [и др.] // Почвоведение. 2023. № 8. С. 911–924.
4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. 2014. № 106. Update 2015. FAO, Rome, 2015. 192 p.
6. *Горячкин С. В.* География экстремальных почв и почвоподобных систем // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92. № 6. С. 564–571.
7. *Гарькуша Д. Н., Федоров Ю. А., Тамбиева Н. С.* Эмиссия метана из почв Ростовской области // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 4 (49). С. 44–52.

УДК 528.854.4

**ДЕШИФРИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЗЕМЕЛЬ  
НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ РФ  
ПО ДАННЫМ LANDSAT**

**М. А. Иванов**

*Институт экологии и природопользования, Казанский федеральный университет,  
ул. Товарищеская. 5, 420097, Казань, Россия, [maximko-87@mail.ru](mailto:maximko-87@mail.ru)*

В рамках исследования проведено распознавание современной структуры земель на территории крупного региона России по данным Landsat с применением алгоритма RandomForest. Особое внимание уделено подготовке обучающей выборки. Точность распознавания, как общая, так и по отдельным классам превышает 96 %. В результате получена пространственная модель землепользования/земного покрова, включающая 5 классов, рассчитаны их площади. Отработанная методика и полученные данные в дальнейшем будут использованы для детектирования заброшенных пахотных земель за период 1984-2022 гг.

**Ключевые слова:** землепользование; земной покров; Landsat; классификация; Random Forest.

**RECOGNIZING THE MODERN LAND USE STRUCTURE IN THE  
TERRITORY OF THE MIDDLE VOLGA REGION OF THE RUSSIA  
USING LANDSAT DATA**

**M. A. Ivanov**

*Institute of Environmental Sciences, Kazan Federal University,  
Tovarisheskaya str., 5, 420097, Kazan, Russia, [maximko-87@mail.ru](mailto:maximko-87@mail.ru)*

The modern land use structure in the territory of a large region of Russia was mapped on Landsat data using the Random Forest algorithm. Particular attention is paid to preparing the training sample. The recognition accuracy, both overall and for individual classes, exceeds 96 %. As a result, a spatial model of land use/land cover was obtained, including 5 classes, and their areas were calculated. The methodology and the data obtained will be used in the future to detect abandoned cropland for the period 1984-2022.

**Keywords:** land use; land cover; Landsat; classification; Random Forest.

Основной целью исследования является распознавание современной структуры землепользования/земного покрова на территории Среднего Поволжья РФ по данным Landsat 8 и 9. Для этого был решен ряд задач:

- подготовка композитов безоблачных данных Landsat 8, 9 за бесснежные сезоны 2018-2022 гг.;
- подготовка обучающей выборки основных классов землепользования/земного покрова;
- распознавание земель алгоритмом RandomForest и оценка достоверности результатов.

Территория исследования включает в себя 6 субъектов Российской Федерации: Республику Марий-Эл, Республику Татарстан, Чувашскую Республику, Ульяновскую, Самарскую и Саратовскую области. Общая площадь составляет 301733 км<sup>2</sup>.

Существует ряд открытых глобальных моделей современной структуры землепользования и земного покрова, однако большинство из них создано без использования эталонов на территории России. Кроме того, полученные данные будут использоваться для выявления заброшенных пахотных земель за период 1984-2022 гг., которые целесообразно вернуть в сельскохозяйственный оборот. Для этого необходимо соблюдать единую методику при подготовке и анализе данных за предыдущие периоды.

В качестве исходных данных были использованы снимки Landsat 8 и 9 OLI (Collection 2, Level-2 DataProducts) за бесснежный период (май-октябрь) 2018-2022 гг. Средствами GoogleEarthEngine были рассчитаны двухмесячные композиты (май-июнь, июль-август, сентябрь-октябрь) данных, каждый из которых включает медианные значения спектральных каналов 2-7, и статистические метрики (среднее, медиана, максимум, стандартное отклонение) по 3 вегетационным индексам: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI2 (Enhanced Vegetation Index 2), TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index).

Далее была подготовлена обучающая выборка для классификации основных типов землепользования и земного покрова. Согласно литературе, в идеале необходимо использовать в качестве обучающей выборки данные наземных наблюдений (GroundTruth). Однако в силу обширного пространственного охвата исследуемой территории, а также труднодоступности ряда участков допускается использование данных ДЗЗ с разрешением на порядок выше данных, по которым проводится распознавание [1, 2]. Также опорная информация должна быть близкой по дате к данным, используемым при производстве карт, чтобы избежать влияния изменения ландшафта [3], а также должна быть независима от данных, используемых при дешифрировании [4, 5].

Таким образом, в качестве опорных данных для создания обучающей выборки для дешифрирования современной структуры земель были использованы разновременные (за период 2018-2023 гг.) спутниковые снимки сверхвысокого разрешения (не хуже 1 м) из каталога

MaxarTechnologies (GeoEye-1,2; WorldView-2,3; Ikonos 1,2 и др.), представленные в программе GoogleEarth.

В качестве эталонных участков выступали векторные квадратные полигоны со стороной 90 м, что соответствует участку 3x3 пикселя на 30-метровых каналах Landsat. В качестве эталонных выбирались однородные участки, точно соответствующие тому или иному типу земель, для избегания проблемы смешанных пикселей. Обучающая выборка создавалась для 5 типов землепользования и земного покрова. Каждому полигону в таблице атрибутов присваивался соответствующий код: 1 – Водные объекты, 2 – Лесопокрываемые территории, 3 – Луга, 4 – Используемая пашня, 5 – Антропогенные объекты. Для каждого класса были определены дешифровочные признаки. Наиболее простым классом являются водоемы, отображающиеся на снимках темно-синим, почти черным цветом. Подавляющая часть полигонов выборки была выбрана на водохранилищах Волги и Камы. Леса хорошо распознаются по зеленому цвету (разного оттенка в зависимости от породного состава), характерному рисунку (зернистой текстуре), создаваемой кронами деревьев, падающей тени. В осенний и зимний период также важен цвет (желтеющая листва в лиственных и смешанных лесах, зеленые кроны хвойных пород зимой).

Особое внимание стоит уделить классу травянистой растительности (лугам). В силу того, что этот класс является не целевым для распознавания, а также по причине схожести спектральных характеристик в этот класс были включены гигрофитные пойменные луга, мезо- и ксерофитные луга, приуроченные к склонам речных долин. В это же класс были отнесены участки заброшенной пашни, которая в зависимости от давности забрасывания сначала зарастает травостоем одного-двух видов, а далее разнотравьем, которое на снимках хорошо распознается по характерному рисунку, создаваемому ассоциациями, несмотря на то, что во многих случаях сохраняются границы полей и даже следы распашки. Особенно это характерно для южной части Саратовской области. Кроме того, в это класс были отнесены сфагновые болота (сплавины). Поскольку подготовка обучающей выборки — процесс итеративный, ее создание сопровождалось проведением тестовых классификаций. Изначально болота были отнесены в отдельный класс, но результаты тестового распознавания показали низкую достоверность их выделения. Более того, из-за этого снижалась точность детектирования лугов. Поэтому было принято решение объединить этот класс с луговой растительностью.

Используемая пашня на снимках сверхвысокого разрешения легко детектируется по характерным ортогональным границам полей, цветам почв после первичной обработки, ранним всходам озимых культур (когда

естественный травостой еще не взошел), стерне и пожнивным остаткам после уборки урожая, и текстуре, создаваемой бороздами от распашки.

В качестве эталонных участков для распознавания антропогенных объектов выступали крупные здания (склады и цеха на территории промышленных предприятий, торговые центры), бетонные и заасфальтированные участки промплощадок, парковок, взлетно-посадочных полос аэропортов, а также карьеры и отсыпка строительных площадок.

Изначально было создано по 200 эталонных полигонов для каждого из пяти классов (т. е. 1800 пикселей данных Landsat), насколько возможно равномерно распределенных по исследуемой территории. После ряда тестовых классификаций и последующих корректировок на основании выявляемых ошибок, общий объем обучающей выборки составил 1328 полигонов, т. е. 11952 пикселя Landsat. Не смотря на различное количество эталонов для разных классов, обучающая выборка балансируется на этапе классификации и составляет 1000 пикселей на каждый класс.

Классификация проводилась алгоритмом RandomForest с 30 деревьями. Для оценки точности использовались 500 эталонных пикселей на каждый класс, не участвовавшие в обучении модели. Бала построена матрица ошибок. Рассчитаны ошибки оmissии и комиссии, F1-меры, коэффициент Каппа, общая точность (табл. 1).

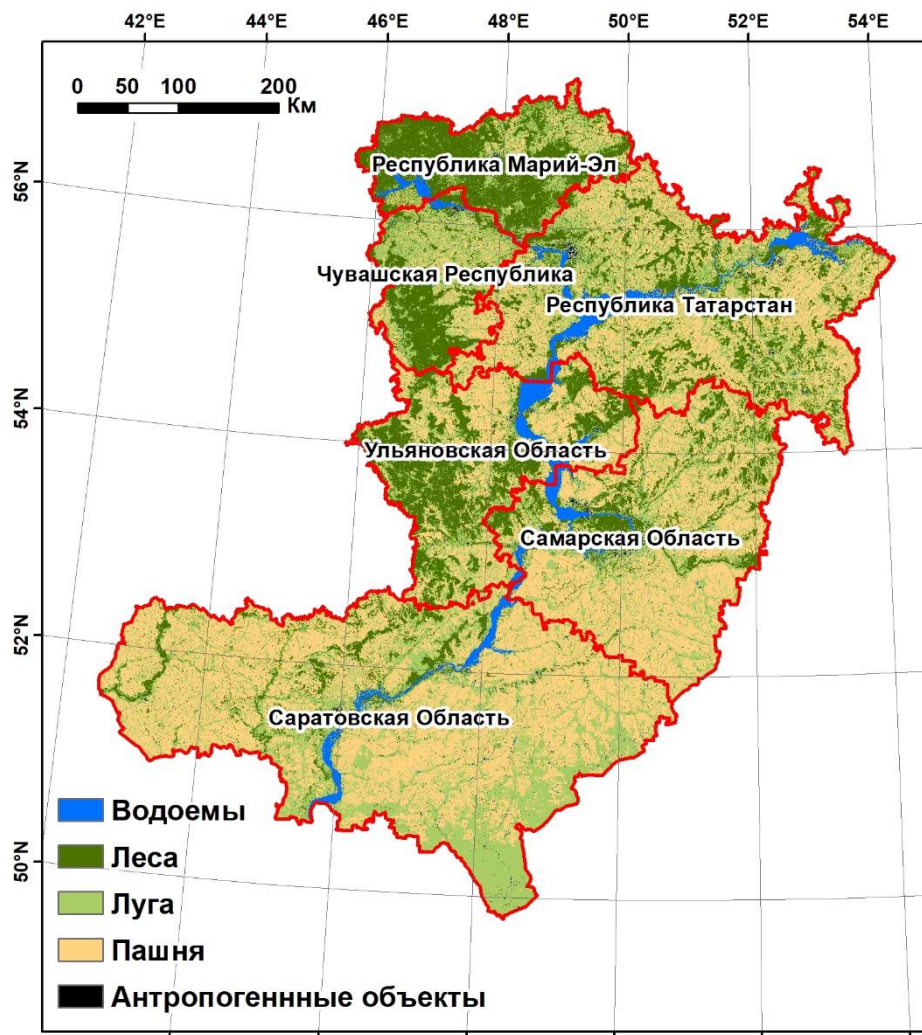
Таблица 1

**Точность распознавания**

<b>Класс</b>	<b>Validation F1</b>
Водоемы	1
Леса	0,998
Луга	0,964
Пашня	0,963
Антропогенные объекты	0,995
<b>Validation kappa: 0,98</b>	
<b>Validation overall accuracy: 0,984</b>	

В результате получена растровая модель структуры земель с пространственным разрешением 30 м (рисунок) и рассчитаны площади основных классов землепользования/земного покрова (табл. 2).





Построенная модель землепользования/земного покрова

Таблица 2

Площадь основных типов землепользования и земного покрова

Класс	Площадь, км <sup>2</sup>	Доля, %
Водоемы	10312,87	3,4
Леса	66586,38	22,1
Луга	99952,32	33,1
Пашня	122900,93	40,7
Антропогенные объекты	2105,02	0,7
Всего	301857,51	100

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-27-00292, <https://rscf.ru/project/23-27-00292/>.

## Библиографические ссылки

1. *Biging G., Colby D., Congalton R.* Sampling Systems for Change Detection Accuracy Assessment // *Remote Sensing Change Detection Environmental Monitoring Methods and Applications*. 1999. P. 281–308.
2. *Congalton R., Biging G.* A Pilot Study Evaluating Ground Reference Data Collection Efforts for Use in Forest Inventory // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1992. P. 1669–1671.
3. *Congalton R. G., Green K.* Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, Third Edition, CRC Press, 2019.
4. *Hammond T. O., Verbyla D. L.* Optimistic Bias in Classification Accuracy Assessment // *International Journal of Remote Sensing*. 1996. Vol. 17, iss. 6. P. 1261–1266.
5. *Stehman S. V.* Basic Probability Sampling Designs for Thematic Map Accuracy Assessment // *International Journal of Remote Sensing*. 1999. Vol. 20, iss. 12. P. 2423–2441.

УДК 631.41

## О ПОЧВЕННЫХ ПАРАМЕТРАХ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОСИСТЕМ ТЕРРИТОРИИ МЕЗОУРОВНЯ К АНТРОПОГЕННОМУ ВЛИЯНИЮ

Н. В. Клебанович<sup>1)</sup>, М. А. Ереско<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16,  
220030, Минск, Беларусь, [Klebanovich@bsu.by](mailto:Klebanovich@bsu.by)

<sup>2)</sup>РУП «Бел НИЦ «Экология», ул. Якубова, 76, Минск, Беларусь, [kisa\\_marina@mail.ru](mailto:kisa_marina@mail.ru)

Статья посвящена проблемам интегральной оценки состояния почв территорий мезоуровня (административных районов) с целью выявления степени устойчивости почвенного покрова к конкретным угрозам почвам, их функциям и экосистемным услугам. Дан анализ международного опыта и выявлены наиболее применяемые параметры качества почв для интегральной оценки. Предложен комплекс физических, химических и биологических параметров для проведения комплексной оценки в условиях Беларуси.

**Ключевые слова:** почва; оценка; экологическая устойчивость; индекс качества.

## SOIL PARAMETERS FOR ASSESSING THE STABILITY OF MESO-LEVEL TERRITORY ECOSYSTEMS TO THE ANTHROPOGENIC INFLUENCE

N. V. Klebanovich<sup>1)</sup>, M. A. Eresko<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian State University, Leningradskaya Str., 16,  
220030, Minsk, Belarus, [Klebanovich@bsu.by](mailto:Klebanovich@bsu.by)

<sup>2)</sup>RUE «Bel «NIC Ecology», Yakubova Str., 76, Minsk, Belarus, [kisa\\_marina@mail.ru](mailto:kisa_marina@mail.ru)

The article is devoted to the problem of integral assessment of the state of soils at meso-levels (location of regions) in order to identify the degree of resistance of the soil cover to soil threats, their functions and ecosystem services. An analysis of international experience is given and the most applicable soil quality parameters for integral assessment are determined. Comprehensive physical, nutritional and biological parameters are proposed for conducting a comprehensive assessment in the conditions of Belarus.

**Keywords:** soil; rating; environmental sustainability; quality index.

Интегральная оценка состояния окружающей среды проводится в разных странах и по различным методикам, но есть много общих подходов, многие из которых могли бы найти применение и в Беларуси. Чаще всего показатели качества почв определяются при использовании плодородия почв. Анализ литературных источников показывает, что ясная

оценка качества почвы по отношению к конкретным угрозам почвам, их функциям и экосистемным услугам редко претворялась в жизнь, и мало выработано подходов для представления понятных алгоритмов интерпретации значений измеряемых показателей.

В последнее время появились новые почвенные индикаторы, которые касаются пока игнорируемых, но важных свойств почв и процессов. Качество почвы — одна из трех составляющих экологической оценки качества окружающей среды, помимо качества воды и воздуха [1]. Качество воздуха и воды определяется в основном степенью загрязнения, которое оказывает непосредственное влияние на потребление и здоровье людей и животных или на естественные экосистемы [2, 3]. Напротив, качество почвы не ограничивается степенью загрязнения, но обычно определяется в более широком смысле как «способность почвы функционировать в границах экосистем и землепользования для поддержания биологической продуктивности, поддерживать качество окружающей среды и способствовать здоровью растений и животных» [4]. При этом здоровье животных включает здоровье человека. Качество почвы — понятие более сложное, чем качество воздуха и воды, не только, потому что почва состоит из твердой, жидкой и газообразной фаз, но также может быть потому, что почвы могут использоваться для большего количества целей.

Подходы к оценке качества почв с позиций их загрязнения стали уже рутинными в Беларуси, но могут считаться односторонней, упрощенной трактовкой термина. Качество почвы — понятие очень комплексное вследствие сложности организации почвы как компонента природной среды и объекта разнообразной хозяйственной деятельности. В общем виде в это понятие входит пригодность почв к хозяйственному использованию и способность почвы обеспечивать надежные взаимосвязи с биогеоценозами.

Для сельскохозяйственного использования качество почвы оценивается ее способностью обеспечивать производство сельскохозяйственной продукции [5]. На современном этапе развития цивилизации логично трактовать качество почв шире, как способность почвы полноценно функционировать в пределах границ экосистемы и земельного участка для поддержания биопродуктивности, сохранения качества окружающей среды, обеспечения нормального развития растений и животных, включая человека [6].

В последние годы появились новые аспекты качества почв, такие как здоровье почв, почвенные сервисы, почвенные экоуслуги, почвенные риски. Перечисленные термины часто оказываются взаимосвязаны и взаимозаменяемы в научных публикациях, например, «здоровье почвы, также называемое качеством почвы, определяется как постоянная

способность почвы функционировать как жизненно важная живая экосистема, которая поддерживает растения, животных и людей» [7]. Хотя качество и здоровье — не совсем адекватные понятия, такая модификация терминов качества почв связана с возрастанием значимости качества окружающей среды, включая почвы, в условиях возрастания численности населения и развитие рынка почвенных услуг.

Роль экологического подхода возрастает в связи с перманентным увеличением давления на биосферу и усилением антропогенного пресса на почвы, обусловленных хозяйственной деятельностью, поэтому остро стоит вопрос оценки экологического состояния самого сложного природного объекта — почвы, которая часто подвергается антропогенной деградации. Она бывает физической (ветровая и водная эрозия, переуплотнение почв), химической (дегумификация, потеря элементов питания, загрязнение нефтепродуктами, пестицидами, подкисление, загрязнение тяжелыми металлами, радионуклидами); микробиологической (нарушение функционирования микробного пула в почве) и комплексной (опустынивание, вторичное засоление, пастбищная деградация и т. д.).

Почва, ввиду особенностей своего строения и свойств, выполняет протекторную функцию, удерживая поллютанты и предотвращая их попадание в сопредельные среды и живые организмы. Обратной стороной этого является тот факт, что, связывая загрязняющие вещества, почва сама может стать потенциальным источником долговременного загрязнения компонентов гидросферы, биосферы и атмосферы [8].

На основе данных о состоянии почв возможна разработка комплексных индексов качества почвы. Такие индексы разрабатывают при помощи методов статистического анализа, особенно факторного, в частности, метода главных компонент. Например, Аскарри и Холден [9] из списка переменных, входящих в состав главных компонент, отбрасывали те, которые имеют высокую автокорреляцию и малые веса. На основе оставшихся переменных процедурой линейного оценивания и приведения к безразмерным величинам ими был разработан индекс качества почвы.

Индекс качества почв для провинции Мурсия (Испания) [14] самые высокие коэффициенты долевого участия имеет по показателям пористости (0,29), содержания органического углерода и доступной влаги (по 0,11), причем веса всех членов уравнения были рассчитаны с использованием метода главных компонент.

Для оценки изменения качества почвы, чувствительного к управленческим решениям землепользователей, предложена методология SMAF (Soil Management Assessment Framework) [11]. Методология оценки включает три этапа: выбор индикаторов, интерпретация индикаторов (при

помощи математических процедур индикаторам присваивают значения от 0 до 1) и интеграция их в единый индекс качества почвы.

В исследовании Карлен и Стотта [12] был предложен еще один индекс качества почвы, основанный преимущественно на гидрофизических характеристиках (способность регулировать инфильтрацию; способность обеспечивать перенос воды; способность противостоять деградации; способность поддерживать рост растений) с эмпирическими весами для соответствующей переменной.

При нормировании применяют также компьютерные программы, одной из которых является программа АЕРАТ (Agroecosystem Performance Assessment Tool – Инструмент оценки эффективности агроэкосистемы), разработанная для оценки результатов сельскохозяйственной деятельности и природоохранного потенциала разных видов землепользования и методов уборки урожая [13]. Измеренные значения индикаторов присваивают определенным функциям, функциям присваивают вес, после чего индивидуальные безразмерные значения функций группируют в индекс.

Концепция качества и здоровья почвы набрала обороты в 1990-х годах. Доран и Паркин [14] определили качество почвы как: «способность почвы функционировать в границах экосистемы для поддержания биологической продуктивности, поддержания качества окружающей среды и улучшения здоровья растений и животных».

Критическое значение индикатора было определено как значение, выше или ниже которого конкретная система управления земельными ресурсами больше не является устойчивой [15]. Для некоторых свойств почвы, таких как рН почвы, засоленность и токсичность металлов, они могут быть хорошо определены, но для других свойств почвы, таких как содержание органического вещества, количество дождевых червей и другие биологические показатели почвы, они могут быть недостаточно известны или количественно определены.

В некоторых исследованиях также оценивались выбранные индикаторы с использованием различных соотношений между индикатором и целью управления, таких как линейный или нелинейный, оптимальный, больше — лучше или больше — хуже, для получения безразмерных значений, которые объединяются в одно значение для дают общий индекс качества почвы [11, 12, 16, 17].

Есть некоторые проблемы с использованием физических свойств почвы в качестве индикаторов качества почвы. К ним относится тот факт, что измерение физических свойств почвы по своей природе более затратно, чем химические измерения, обычно не выполняется в лабораториях и обычно требует специального оборудования и

обучения, что затрудняет для производителей проведение измерений. Отсутствие доступных данных для физических измерений почв Беларуси делает проблематичным установление пороговых значений и определение точности измерений. Текстура была выбрана в качестве индикатора в нескольких исследованиях [18, 19] и является важным физическим свойством почвы для характеристики почв.

Анализ международного опыта и имеющихся в нашей стране пространственно распределенных данных позволяют предложить набор параметров для определения индекса качества почвенного покрова. Из физических параметров рационально использовать показатели доли легких почв в районе, доли переувлажненных почв, доли завалуненных почв, доли эродированных почв. Из химических показателей можно применить такие как: доля средне- и сильнокислых почв (с рН менее 5,0), доля условно засоленных почв (с рН более 7,0), содержание подвижных соединений фосфора и калия. Из биологических характеристик почв в настоящее время могут быть задействованы только показатели урожайности и содержания гумуса (доли низкобеспеченных гумусом почв). На основании этих 10 показателей с учетом весовых коэффициентов могут быть рассчитаны показатели экологической устойчивости почв отдельных районов к антропогенному воздействию. Предварительные расчеты показали, что более высокой устойчивостью отличаются почвы районов, приуроченных к возвышенностям, сложенным с поверхности преимущественно лессовидными суглинками: Оршанский, Шкловский, Минский, Смолевичский, Дзержинский, Слуцкий, Копыльский, Несвижский, Клецкий. В этих районах отсутствует большинство негативных характеристик почв, снижающих экологическую устойчивость.

Наименее устойчивый почвенный покров выявлен нами в 10 центральных районах Могилевской области, на Городокской, Браславской, Новогрудской возвышенностях, а также в ряде районов, приуроченных к низменностям Полесья (Лунинецкий, Глусский, Светлогорский, Речицкий, Лоевский, Гомельский). Самый низкий индекс в стране имеет Климовичский район, где половина параметров имеют самую низкую градацию устойчивости.

### **Библиографические ссылки**

1. *Andrews S. S., Karlen D. L., Mitchell J. P.* A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2002. № 90. С. 25–45.

2. Davidson D. A. Soil quality assessment: recent advances and controversies. / Progress in Environmental Science 2000. № 2. С. 342–350.
3. Soil Health. USDA, National Resources Conservation Service. URL: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/> (датаобращения: 11.02.2024).
4. Doran J. W., Parkin T. B., Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. F., Stewart, B. A. (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA, Madison, WI, 1994. P. 3–21.
5. Оценка почв и земель (основные показатели и критерии) Л. Г. Богатырев [и др.] / науч. ред. Г.С. Куст. М.: МАКСПресс, 2017. 192 с.
6. Soil quality – a critical review / E. K. Bunemann[et al.] // Soil Biol. Biochem. 2018. No. 120. P. 105–125.
7. Soil Health. USDA, National Resources Conservation Service. URL: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/> (датаобращения: 10.02.2024).
8. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв. М.: Академический проект, 2007. 239 с.
9. Askari M., Holden N. Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. Soil Tillage Resh. 2015. Vol. 150. P. 57–67.
10. Andrews S. S., Karlen D. L., Mitchell J. P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agric Ecosyst Environ. 2002. Vol. 90. P. 25–45.
11. Andrews S. S., Karlen D. L., Cambardella C. A. The soil management assessment framework: A quantitative evaluation using case studies. Soil Sci Soc Am J. 2004. Vol. 68. P. 1945–1962.
12. Karlen D. L., Stott D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran JW eds. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Madison, WI: SSSA and ASA, 1994. P. 53–72.
13. AEPAT: a computer program to assess agronomic and environmental performance of management practices in long-term agroecosystem experiments / M. A. Liebig [et al.] // Agron J. 2004. Vol. 96. P. 109–150.
14. Cropping system effects on soil quality in the Great Plains: Synthesis from a regional project / B. J. Wienhold // Renewable Agric Food Syst. 2006. Vol. 21. P. 49–59.
15. Doran J. W., Parkin, T. B. Evaluation of terrain quality. B: Assessing the quality of a sustainable environment // American Soil Science Society Special Publication No. 35. / ed. J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezedic, and B.A. Steward (American Agronomic Society: Madison, Wisconsin), 1994. P. 3–21.
16. Karlen D.L., Dietzler C., Andrews S.S. Soil quality: why and how? // Geoderma. 2003. Vol. 114. P. 145–156.
17. Lilburn L., Sparling G., Schipper L. Soil quality monitoring in New Zealand: developing an interpretation framework // Agricultural ecosystems and the environment 2004. Vol. 104. P. 535–544.
18. Developing key soil health indicators for the Australian banana industry / A. B. Pattinson [et al.] // Applied Soil Ecology. 2008. Vol. 40. P. 155–164.
19. Grace P. R. Weier K. L. Soil Health Users Manual. Version 1 2007 (Queensland University of Technology: Brisbane) 47 p. URL: [http://www.isr.qut.edu.au/downloads/soil\\_health\\_manual\\_2007.pdf](http://www.isr.qut.edu.au/downloads/soil_health_manual_2007.pdf). (date of access: 13.02.2024).



УДК 504.75

## ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГЕОТЕХСИСТЕМ КРУПНОГО ГОРОДА

**П. В. Книга<sup>1)</sup>, В. В. Парфенов<sup>2)</sup>, С. В. Савченко<sup>1)</sup>,  
Н. Е. Сосновская<sup>1)</sup>, В. С. Хомич<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Государственное научное учреждение «Институт природопользования  
Национальной академии наук Беларуси», ул. Франциска Скорины, 10,  
220076, г. Минск, Беларусь, [knigapv@mail.ru](mailto:knigapv@mail.ru)

<sup>2)</sup>Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного  
загрязнения и мониторингу окружающей среды, пр. Независимости, 110, 220114,  
г. Минск, Беларусь, [pvv@hmc.by](mailto:pvv@hmc.by)

Изложены результаты исследования изменения содержания кадмия, меди и цинка в почвах сельскохозяйственных геотехсистем на территории г. Минска за 30-летний период — с 1991 по 2021 г. Оценка динамики производилась двумя способами: 1) сравнивались разновременные выборки независимо от количества проб и 2) сравнивались выборки из проб отобранных на одних и тех же пробных площадках в 1991 и целенаправленно в 2021 гг.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы; почва; сельскохозяйственные геотехсистемы; динамика.

## DYNAMICS OF HEAVY METAL CONTENT IN SOILS OF AGRICULTURAL GEOTECHNICAL SYSTEMS LARGE CITY

**P.V. Kniga<sup>1)</sup>, V. V. Parfenov<sup>2)</sup>, S. V. Savchenko<sup>1)</sup>,  
N. E. Sosnovskaya<sup>1)</sup>, V.S. Khomich<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>State scientific institution “Institute of Nature Management of the National Academy of  
Sciences of Belarus”, F. Skorina str., 10, 220076, Minsk, Belarus, [knigapv@mail.ru](mailto:knigapv@mail.ru)

<sup>2)</sup>Republican Center for Hydrometeorology, Radioactive Contamination Control and  
Environmental Monitoring, Nezavisimosti Av., 110, 220114, Minsk, Belarus, [pvv@hmc.by](mailto:pvv@hmc.by)

The results of a study of changes in the content of cadmium, copper and zinc in soils of agricultural geotechnical systems in the territory of Minsk over a 30-year period from 1991 to 2021 are presented. The dynamics were evaluated in two ways: 1) multi-time samples were compared regardless of the number of samples, and 2) samples from samples taken at the same test sites in 1991 and purposefully in 2021 were compared.

**Keywords:** heavy metals; soil; agriculture geotechnical systems; dynamics.

Несмотря на снижение техногенных нагрузок на окружающую среду в последние два десятилетия, проблема загрязнения окружающей среды городов остается актуальной, риск для здоровья населения и состояния экосистем сохраняется. В наибольшей степени это относится к почвенному покрову, обладающему свойством депонировать загрязняющие вещества и сохранять их в своей толще на протяжении сотен лет [1, 2].

В структуре земель в городах Беларуси существенную долю (более 10 %) составляют сельскохозяйственные земли [3]. Изучение и оценка загрязнения городских пахотных почв представляет несомненный интерес, поскольку, с одной стороны, они длительный период одновременно подвергались сельскохозяйственному воздействию (применение минеральных и органических удобрений, использование средств защиты растений и др.) и интенсивным техногенным нагрузкам, обусловленным функционированием города.

В данной публикации представлены результаты изучения накопления и изменения содержания тяжелых металлов (Cd, Cu и Zn) в почвах сельскохозяйственных геотехсистем (ГТС) г. Минска за 30-летний период. В основу анализа положены результаты детальной почвенно-геохимической съемки города выполненной в 1991 г. [4] и почвенно-геохимических исследований 2021 г. Содержание металлов в смешанных пробах почвы определялось атомно-абсорбционным методом.

Поскольку в 1991 и 2021 гг. было отобрано разное количество проб оценка динамики производилась двумя способами: 1) сравнивались разновременные выборки независимо от количества проб и 2) сравнивались выборки из проб, отобранных на одних и тех же пробных площадках (ПП) в 1991 и целенаправленно в 2021 г. (34 ПП).

Для оценки изменения содержания тяжелых металлов (ТМ) в почвенном покрове за 30-летний период использовался коэффициент измененности содержания элемента в почве:  $K_{изм}$  — отношение содержания элемента в почве в 2021 г. к его содержанию в 1990 г. При значении  $K_{изм}$  от 0,8 до 1,2 изменения считались несущественными (без изменений или отсутствие тренда), при значении  $K_{изм}$  больше 1,2 — увеличение содержания, при значении  $K_{изм}$  меньше 0,8 — уменьшение содержания (отрицательный тренд).

*Общая характеристика содержания ТМ в почвах сельскохозяйственных ГТС на территории г. Минска и тренды в изменении содержания за 30-летний период по общему массиву данных.* Диапазон содержания кадмия в почвах сельскохозяйственных ГТС в 2021 г. находился в пределах от 0,10 до 0,73 мг/кг при среднем значении 0,35 мг/кг и коэффициенте контрастности 7,3. Коэффициент концентрации кадмия в почвах сельскохозяйственных ГТС по сравнению с фоном составил 2,2 (табл. 1).

Таблица 1

**Изменение средних содержаний кадмия, меди и цинка в почвах сельскохозяйственных ГТС на территории г. Минска за период с 1991 по 2021 гг.**

Показатель	Cd	Cu	Zn
Среднее содержание элемента, мг/кг	$\frac{0,49^*}{0,35}$	$\frac{7,7}{6,4}$	$\frac{23,0}{29,0}$
$K_{изм}$	0,71	0,83	1,26
Фон*	$\frac{0,18}{0,16}$	$\frac{2,3}{4,1}$	$\frac{18,9}{21,7}$
Фон**			
ОДК для песчаных и супесчаных почв [5]	0,5	33	55

\* В числителе – данные за 1991 г. (n=188), в знаменателе – за 2021 г. (n=247).

\*\* Данные по Березинскому биосферному заповеднику (1991 г.; n=11) [6].

\*\*\* По данным НСМОС для Минской области (2018-2022 гг.; n=15) [7].

Содержание меди в почвах сельскохозяйственных ГТС в 2021 г. изменялось в пределах от <5,0 до 17,8 мг/кг при среднем значении 6,4 мг/кг и коэффициенте контрастности более 3,5. Коэффициент концентрации кадмия в почвах сельскохозяйственных ГТС по сравнению с фоном составил 1,6. Содержание цинка изменялось в более широких пределах — от 8,9 до 99,3 мг/кг при среднем значении 29,0 мг/кг, коэффициенте контрастности 11,1 и коэффициенте концентрации 1,3. Среднее содержание цинка в почвах сельскохозяйственных ГТС составило среднюю величину между фоновой (19,1 мг/кг) и средней величиной для города в целом (39,3 мг/кг) [8], что вполне закономерно и определяется значительно меньшими химическими нагрузками на почвы сельскохозяйственных земель по сравнению с общегородскими.

Сопоставление полученных концентраций ТМ в почвах с их гигиеническими нормативами показало, что почвы сельскохозяйственных ГТС г. Минска загрязнены выше допустимых уровней в единичных случаях. Так, загрязнение почв цинком зафиксировано в 6,1 % проб, кадмием — в 4,0 %. Превышения гигиенического норматива в отношении меди не зафиксировано. Максимальная степень превышения ОДК для цинка составила 2,0 раза, кадмия — 1,4.

Расчеты коэффициентов измененности содержания элементов в почвах сельскохозяйственных ГТС г. Минска за 30-летний период показали неоднозначные тренды. Содержание кадмия значительно уменьшилось ( $K_{изм} = 0,71$ ), меди – изменилось незначительно ( $K_{изм} = 0,83$ ), цинка – увеличилось ( $K_{изм} = 1,26$ ) (см. табл.1).

*Оценка динамики содержания ТМ в почвах по выборкам из проб, целенаправленно отобранных на одних и тех же пробных площадках.*

Представленные в табл. 2 основные статистические параметры содержания кадмия, меди и цинка в почвах сельскохозяйственных ГТС в 1990 и 2021 гг. на дублируемых ПП свидетельствуют об их близости к параметрам по общим массивам данных по почвам сельскохозяйственных ГТС в целом по городу, представленным в табл. 1.

Таблица 2

**Основные параметры содержание кадмия, меди и цинка в почвах сельскохозяйственных ГТС на территории г. Минска в 1990 и 2021 гг. (n=34)**

Показатель	Cd	Cu	Zn
Среднее содержание, мг/кг	<u>0,45</u> 0,35	<u>8,1</u> 6,3	<u>23,7</u> 29,8
Минимальное содержание, мг/кг	<u>0,18</u> 0,17	<u>3,6</u> 5,0	<u>14,6</u> 14,6
Максимальное содержание, мг/кг	<u>1,64</u> 0,58	<u>27,7</u> 9,2	<u>41,0</u> 56,4
$K_{изм}$ (n=34)	0,78	0,78	1,26

Как следует из приведенной таблицы, в пределах сельскохозяйственных ГТС за 30-летний период произошло увеличение содержания в почве цинка с 23,7 до 29,8 мг/кг, и, наоборот, снижение содержания кадмия с 0,45 до 0,35 мг/кг и меди — с 8,1 до 6,3 мг/кг. Из этого следует, что цинк аккумулируется в почве, кадмий и медь, наоборот, рассеиваются. Необходимо отметить снижение за 30-летний период доли пробных площадок с концентрацией кадмия в почве превышающей гигиенический норматив с 26 до 6 % и, наоборот, появление случаев с превышением ОДК по цинку — 6 %. Содержание кадмия и меди уменьшилось ( $K_{изм} = 0,78$ ), цинка — увеличилось ( $K_{изм} = 1,26$ ) (таблицу 2).

*Оценка динамики содержания ТМ в почвах в разрезе отдельных пробных площадок.* Сопоставление значений коэффициентов измененности содержания ТМ в почвах сельскохозяйственных ГТС за 30-летний период в разрезе отдельных пробных площадок (34 ПП) показало, что на около половины ПП содержание в почве цинка и меди практически не изменилось, кадмия — на трети ПП. Увеличение содержания цинка произошло на 41 % ПП, кадмия и меди – примерно на 1/5 ПП или на 20,6 и 17,6 % ПП соответственно. Снижение содержания рассматриваемых элементов чаще всего имело место в отношении кадмия — на 47 % ПП, реже всего в отношении цинка — в 8,8 % случаев. Снижение содержания меди произошло на 29,5 % ПП.

Таким образом, выполненные исследования изменения содержания ТМ в почвах сельскохозяйственных ГТС крупного города за 30-летний период позволили установить тренды рассеивания в почве кадмия и меди и, наоборот, аккумуляции свинца. Снижение содержания химических элементов в почве происходило главным образом за счет снижения техногенных химических нагрузок — уменьшения доз применения минеральных и органических удобрений, средств защиты растений, снижения объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников. Основными причинами увеличения содержания цинка в почве могут быть: 1) использование (вывоз на поля) больших объемов органических отходов ферм и птицефабрики в 1990-х — начале 2000-х гг.; 2) гидрогенные потоки загрязняющих веществ от накопителей отходов; 3) сжигание пожнивных остатков; 4) пылевые выпадения. Согласно [9], коэффициент концентрации цинка в выпадениях городской пыли по отношению к незагрязненной почве составляет 100-300, в то время как для меди он равен 25-50, кадмия — менее 10.

### Библиографические ссылки

1. Почва, город, экология / под ред. Г. В. Добровольского. М., 1997.
2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мысль, 1989.
3. Кравчук Л. А. Структурно-функциональная организация ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси. Минск: Беларуская навука, 2011.
4. Хомич В. С., Какарека С. В., Парфенов В. В. Анализ структуры полей распределения тяжелых металлов в почвах г. Минска. // Природопользование. 1996. Вып. 1. Минск, 1996. С. 134–139.
5. Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности почвы» / утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 25.01.2021 № 37.
6. Парфенов В. В., Ровкач А. И., Хомич В. С. Мониторинг загрязнения почвенного покрова городов Белоруссии тяжелыми металлами. // Геохимия техногенеза. Тез. докл. II всесоюз. совещ. Минск: ИГиГ АН БССР, 1991. С. 227–230.
7. Хомич В. С. О методах изучения и оценки загрязнения почв в Беларуси // Природопользование. 2023. № 2. С.98–106.
8. Городская среда: геоэкологические аспекты: монография / В. С. Хомич [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2013.
9. Абросимова Г. В., Плеханова И. О. Биогеохимические особенности формирования почв в условиях г. Москвы. // Геохимия ландшафтов (К 100-летию А. И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конференции. Москва, 18-20 октября 2016 г. М.: Географический факультет МГУ, 2016. С.68–72.

УДК 550.47:581.526.3(476)

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ АКВАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ ОЗЕРА ГЛУБЛЯ

**Н. В. Ковальчик, Н. Ю. Суховило**

*Белорусский государственный университет,  
г. Минск, Республика Беларусь, [kovalchiknv@gmail.com](mailto:kovalchiknv@gmail.com), [sukhoviloNY@bsu.by](mailto:sukhoviloNY@bsu.by)*

Озеро Глубля — одно из фоновых озер национального парка «Нарочанский». Выполнена геохимическая типология аквальных ландшафтов озера, выделены элементарные ландшафты, приуроченные к однородным участкам подводного рельефа с соответствующим типом донных осадков и растительных сообществ, распределением типоморфных химических элементов в водах и илах. Определена устойчивость водоема к внешним воздействиям. Картосхема элементарных геохимических аквальных ландшафтов может использоваться как основа при изучении процессов поступления и накопления техногенных веществ в водоеме, прогнозировании устойчивости экосистемы озера к внешнему воздействию.

**Ключевые слова:** аквальные ландшафты; национальный парк «Нарочанский»; типоморфные элементы; подводный рельеф; высшая водная растительность.

## CURRENT STATE AND STABILITY OF AQUATIC LANDSCAPES OF LAKE GLUBLYA

**N. V. Kovalchik, N. Yu. Sukhovilo**

*Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus,  
[sukhoviloNY@bsu.by](mailto:sukhoviloNY@bsu.by), [kovalchiknv@gmail.com](mailto:kovalchiknv@gmail.com)*

Lake Glublya is one of the background lakes of the Narochansky National Park. A geochemical typology of the lake's aquatic landscapes has been completed, elementary landscapes confined to homogeneous areas of underwater relief with the corresponding type of bottom sediments and plant communities, and the distribution of typomorphic chemical elements in waters and silts have been identified. The resistance of lake to external impact was determined. The map of elementary geochemical aquatic landscapes can be used as a basis for studying the processes of entry and accumulation of technogenic substances in the lake, and predicting the resistance of the lake ecosystem to external impact.

**Key words:** Aquatic landscapes; Narochansky National Park; typomorphic elements; underwater relief; higher aquatic vegetation.

Озеро Глубля занимает площадь 0,47 км<sup>2</sup> и относится к Болдукской группе озер национального парка «Нарочанский». Из-за расположения в пределах ООПТ, слабой освоенности водосбора, а также отсутствия в

непосредственной близости населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий озеро можно отнести к водоемам, экосистемы которых находятся в состоянии, близком к естественному.

Водосбор озера холмистый, полностью покрыт лесом. Преобладают трансэлювиальные пологосклоновые ландшафты на водно-ледниковых и озерно-ледниковых песках с сосновыми и елово-сосновыми лесами на дерново-подзолистых, местами заболоченных почвах. Котловина озера ложбинного типа, склоны преимущественно крутые, поднимаются на высоту до 30–35 м над урезом воды, лишь на востоке имеются низкие заболоченные участки. Из-за небольшой площади водосбора озеро характеризуется очень медленным показателем водообмена (более 16 лет). В него впадает протока из оз. Глубелька, вытекает протока в р. Страча. Глубля относится к среднеглубоким водоемам. Средняя глубина его составляет 10,4 м, максимальная — 26,8 м. Ширина литорали не превышает 10–15 м, сублитораль крутая. Ложе озера имеет простое строение, точка максимальной глубины несколько смещена к югу от центра водоема.

Озеро Глубля является стратифицированным водоемом. При этом температурная стратификация способствует формированию кислородной стратификации. Эпилимнион хорошо насыщен кислородом. В четко сформировавшемся термоклине наблюдается максимальное содержание кислорода. Так, концентрация кислорода в верхнем четырехметровом слое в 2010 г. составляла около 9,00 мг  $O_2/дм^3$  (100 % насыщения), в зоне термоклина на глубине 4,5–7,5 м – 10–13 мг  $O_2/дм^3$  (до 123 % насыщения). Ниже в водной толще концентрация кислорода плавно снижалась, глубже 15 м кислород летом отсутствовал. Воды по химическому составу — гидрокарбонатные кальциево-магниевые с общей минерализацией 231 мг/дм<sup>3</sup>, водородным показателем 8,2. Из биогенных элементов обнаружены лишь нитраты с концентрацией 0,2 мг/дм<sup>3</sup>. По комплексу показателей озеро можно отнести к слабоэвтрофным. Фитопланктон развит слабо (менее 2 г/м<sup>3</sup>), в его составе преобладают диатомовые водоросли. Биомасса зоопланктона, представленная главным образом коловратками, составляет менее 0,4 г/м<sup>3</sup>.

В составе донных отложений на глубинах от 1 до 10–12 м доминируют карбонатные сапропели с содержанием  $CaCO_3$  более 70 %, имеющие густую кашеобразную консистенцию грязно-белого цвета. Ниже ложе выстилают смешанные (кремнеземисто-карбонатные) сапропели с примерно равным содержанием  $CaCO_3$  и  $SiO_2$  (30–34 %). Скважиной вскрыты на глубине до 1,2 м сапропели карбонатные, глубже — смешанные сапропели и опесчаненные карбонатные глины [1].

Озеро слабо зарастает высшей водной растительностью (ВВР), что связано с характером рельефа дна водоема. Общая площадь распространения макрофитов составляет 19 % его площади, максимальной ширины пояс растительности достигает на участке с относительно широкой литоралью (до 100 м) в юго-западной части озера.

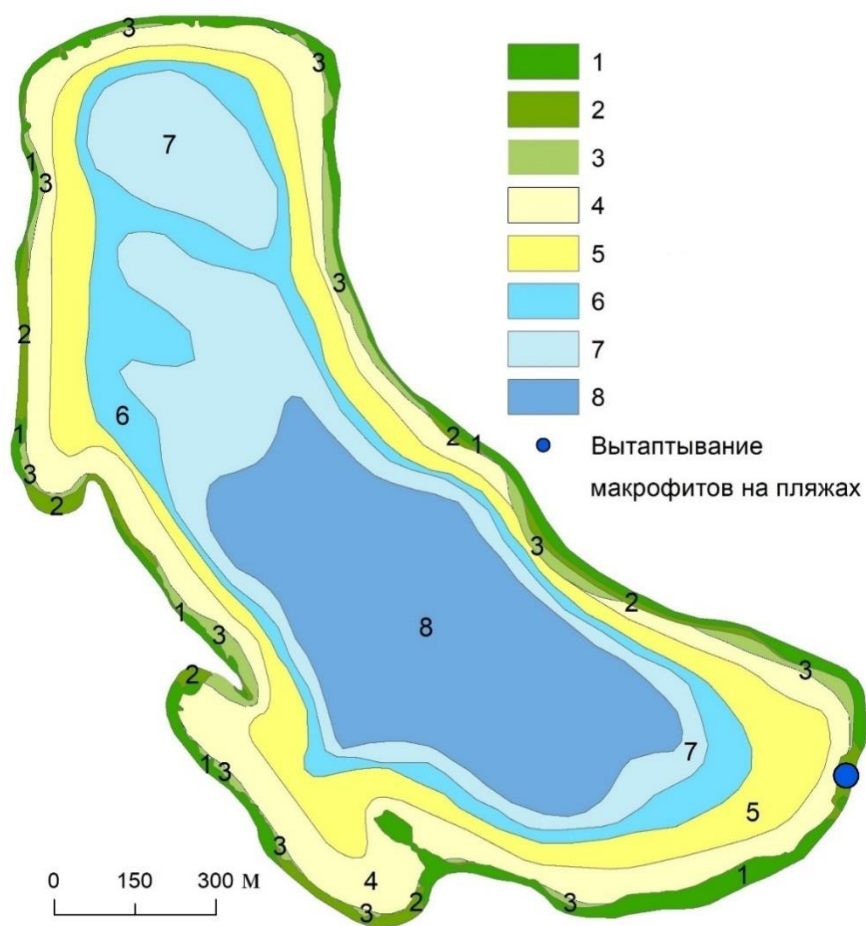
Надводные растения, среди которых доминируют тростник (*Phragmites australis* Trin. ex Steud.) и осока (*Carex* sp.), не образуют сплошной полосы, занимая участки песчаной литорали на 2,1 % площади озера. Растения с плавающими листьями встречаются на 0,7 % площади озера, представлены кубышкой (*Nuphar lutea* (L.) Smith.) и кувшинкой (*Nymphaea candida* J. et C. Presl). Погруженные макрофиты образуют сплошную полосу вдоль побережья и распространены до глубины 6,7 м. Основу их составляют уруть мутовчатая (*Myriophyllum verticillatum* L.), роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum* L.), различные виды рдестов: блестящий (*Potamogeton lucens* L.), пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.), волосовидный (*Potamogeton trichoides* Cham. et Schldl.), харовые водоросли (*Chara* sp.). Также в составе погруженных растений присутствуют редкие виды — наяда (*Najas* sp.), водяная сосенка (*Hippuris vulgaris* L.). Небольшая популяция последнего вида произрастает на пляже в южной части озера, поэтому нуждается в мониторинге и охране.

Антропогенное воздействие на озеро Глубля проявляется только в виде рекреационной нагрузки. На южном берегу озера обустроено место отдыха «Грумбинентский пляж», на северо-западном — место отдыха «Срубок», на северном побережье размещено место отдыха «Ольшевский пляж».

На основе фондовых материалов лаборатории озероведения БГУ выполнена геохимическая типология аквальных ландшафтов озера (рис.) с выделением элементарных ландшафтов, приуроченных к однородным участкам подводного рельефа с соответствующим типом донных осадков и растительных сообществ, распределением типоморфных химических элементов в водах и илах. На уровне семейства выделены элементарные ландшафты с ВВР, имеющей сплошной/прерывистый характер покрова. Классы определены с учетом показателей окислительно-восстановительных, щелочно-кислотных условий, содержания растворенного кислорода.

При определении границ элементарных геохимических аквальных ландшафтов применялись подходы А. И. Перельмана, Н. С. Касимова, А. Д. Хованского, О. Ф. Якушко [2–4].





Элементарные геохимические аквальные ландшафты озера Глубля:

*O<sub>2</sub>-HCO<sub>3</sub>-Ca трансаккумулятивные ландшафты литорали:* 1) со сплошным покровом ВВР (с преобладанием тростника) на песках и песках с известняками озерными; 2) со сплошным покровом ВВР (с преобладанием роголистника) на песках и песках с известняками озерными; 3) со сплошным покровом ВВР (с преобладанием урути) на песках и песках с известняками озерными;

*А. O<sub>2</sub>-HCO<sub>3</sub>-Ca трансаккумулятивные ландшафты сублиторали крутой:* 4) со сплошным покровом ВВР (с преобладанием хары) на сапропелях карбонатных и сапропелях карбонатных с ракушками; 5) на сапропелях карбонатных и сапропелях карбонатных с ракушками;

*В. O<sub>2</sub>-HCO<sub>3</sub>-Ca аккумулятивные ландшафты профундали:* 6) на сапропелях карбонатных; 7) на сапропелях смешанных;

*С. O<sub>2</sub>-HCO<sub>3</sub>-Ca-Fe аккумулятивные ландшафты профундали:* 8) на сапропелях смешанных

Элементарные ландшафты озера Глубля отнесены преимущественно к кислородно-гидрокарбонатно-кальциевому классу, поскольку большая часть водной массы отличается высоким кислородным насыщением и комплексом окислительных условий (занимают 76,6 % площади, в основном на литорали и сублиторали, а также частично в профундали с глубинами менее 15 м). Также выделены элементарные ландшафты кислородно-гидрокарбонатно-кальциево-глеевого класса

(23,4 % площади озера) в связи с формированием зоны аноксии в гипolimнионе и оглеением илов глубоководной профундали. Трансаккумулятивные элементарные ландшафты литорали со сплошным покровом ВВР на песках и песках с известняками озерными вытянуты узкой полосой вдоль берега и занимают глубины от уреза до 1-1,5 м, а трансаккумулятивные ландшафты крутой сублиторали на сапропелях карбонатных только в верхней части склонов (до глубины 6,7 м) имеют покров ВВР. Аккумулятивные ландшафты профундали озера развиваются на сапропелях карбонатных и смешанных, оглеенных на глубоководном участке.

Полученная типологическая картосхема может быть использована как основа при изучении процессов поступления и накопления техногенных веществ в водоеме, прогнозировании устойчивости экосистемы озера к внешним воздействиям.

В соответствии с типизацией озерных геосистем по степени устойчивости к внешнему воздействию оз. Глубля относится к слабоустойчивым (подтип 1 – озерные геосистемы с небольшими по площади, слабопроточными стратифицированными озерами с возвышенными и равнинными водосборами) [5]. Наличие зоны аноксии и оглеения в гипolimнионе свидетельствует о негативных изменениях в экосистеме водоема. В случае поступления в озеро биогенных элементов, оно очень быстро необратимо повысит трофический уровень, при потеплении климата в нем будет наблюдаться усиление температурной стратификации и ослабление внутреннего водообмена, что может привести к уменьшению мощности эпилимниона и перестройке всей экосистемы. Поэтому для ее сохранения необходимо соблюдение режима охраны, направленное на недопущение увеличения объемов поступления биогенных элементов и других загрязняющих веществ.

### **Библиографические ссылки**

1. Озера Беларуси: Справочник / Б. П. Власов [и др.] // Минск: БГУ, 2004. 284 с.
2. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрея-2000, 1999. 768 с.
3. Хованский А. Д. Геохимия аквальных ландшафтов. М: Букинист, 1993. 240 с.
4. Якушко О. Ф. Принципы выделения и классификация аквальных ландшафтов // Вестник БГУ. Сер. 2. 1986. № 1. С. 53–58.
5. Суховило Н. Ю., Новик А. А. Пространственные закономерности устойчивости озер Беларуси к внешнему воздействию // Природопользование. 2019. № 1. С. 51–65.

УДК 338.43.02

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОГО  
ПРОЕКТА К РЕГУЛИРОВАНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ  
ГАЗОВ (НА ПРИМЕРЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ  
СТАВРОПОЛЬЯ И КАЛМЫКИИ)**

**Д. И. Ковбашин**

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
Ленинские горы 1, Москва, Россия; [kovbashin\\_daniil@mail.ru](mailto:kovbashin_daniil@mail.ru)*

С использованием авторского методического подхода, проведен модельный анализ адаптации земельного проекта к регулированию выбросов парниковых газов с сельскохозяйственных угодий юга России. Учтены выбросы, обусловленные как технологическими, так и экосистемными процессами. Методы исследования операций и имитационного моделирования применены к изучению двух вариантов регулирования эмиссии парниковых газов: за счет рыночных механизмов с ориентацией на стоимость карбоновых единиц в ЕС и путем административного контроля, при котором устанавливаются предельные уровни эмиссии.

**Ключевые слова:** климатическая политика; адаптация землепользования; модель DNDC; растениеводство; земельный проект; Ставропольский край; Республика Калмыкия.

**MODELING THE ADAPTATION OF A CROP PRODUCTION  
PROJECT TO THE REGULATION OF GREENHOUSE GAS  
EMISSIONS (THE CASE OF AGRICULTURAL LANDS IN THE  
SOUTH OF STAVROPOLYE AND KALMYKIA)**

**D. I. Kovbashin**

*Lomonosov Moscow State University (MSU), Leninskie Gory 1, Moscow,  
Russia; [kovbashin\\_daniil@mail.ru](mailto:kovbashin_daniil@mail.ru)*

Using the author's methodological approach, a model analysis of the adaptation of an agricultural project to the regulation of greenhouse gas emissions from agricultural land was carried out in the south of Russia. Emissions from both technological and ecosystem processes are taken into account. Methods of operations research and simulation modeling are applied to the study of two options for regulating greenhouse gas emissions – through market mechanisms with a focus on the cost of carbon units in the EU and through administrative control, in which emission limits are set.

**Keywords:** climate policy; land use adaptation; DNDC model; crop production; agricultural project; Stavropol Krai; Republic of Kalmykia.

На международном уровне выдвигаются ряд инициатив, направленных на более активное управление выбросами ПГ с сельскохозяйственных угодий. Статьи 3.3 и 3.4 РКИК ООН предусматривают, что при расчете баланса выбросов парниковых газов (ПГ) в стране будет учитываться дополнительное связывание углерода в почвах в результате реализации специальных мер в области управления землепользованием. На Парижской конференции по климату (COP 21) в 2015 г. предложена программа добровольных действий «Инициатива 4 на 1000: почвы для продовольственной безопасности и климата», которая призвана способствовать решению трехуровневой проблемы: продовольственной безопасности, адаптации аграрного сектора к изменению климата и смягчения последствий выбросов парниковых газов [1]. Эта инициатива предусматривает увеличение фиксации углерода в почвах с помощью почвозащитных способов ведения сельского хозяйства.

В связи с этой инициативой огромные площади российских сельскохозяйственных угодий, даже неиспользуемых, обещают стать важным конкурентным преимуществом страны. В связи с этим актуально изучение вариантов климатической политики, направленных на сокращение эмиссии ПГ, а в контексте проактивного управления рисками агробизнеса — оценка возможностей адаптации землепользования к наиболее вероятным вариантам этой политики и ожидаемых последствий адаптационных мероприятий.

Целью исследования является углублённый анализ инвестиционного земельного проекта, охватывающего земельные участки сельскохозяйственного назначения, расположенные в Ставропольском крае и Республике Калмыкии, общей площадью 30,6 тыс. га.

Проведенная оценка последствий регулирования выбросов ПГ для земельного проекта основывается на новой числовой экономико-математической модели оптимального использования сельскохозяйственных угодий [2, 3], относящейся по назначению к классу задач исследования операций, по используемому математическому аппарату — к классу задач целочисленного программирования, и на существующей имитационной модели эмиссии ПГ (модель DNDC), откалиброванной применительно к исследуемому объекту [4, 5]

Для целей моделирования землепользования мы вводим пять альтернативных технологий, отличающихся от проектной уровнями интенсивности использования участков (отношениями среднегодовых валовых сборов каждой культуры к проектным валовым сборам). Для проектного сценария этот уровень равен 1, для альтернативных — 0,9; 0,75; 0,5; 0,25; 0,01. Например, если уровень интенсивности равен 0,5, то в севообороте заданной площади площадь всех предусмотренных им

культур сокращается вдвое, а высвобожденная площадь занимает, либо сидеральными культурами, либо черным паром.

Поясним сделанный выбор. Главный фактор, лимитирующий урожайность полевых культур в этой зоне, — недостаток влаги, в связи с чем, повышение интенсивности землепользования в сравнении с проектом чрезмерно капиталоемко. Поэтому технологии, превосходящие по интенсивности существующую, в множество технологий, которые могут использоваться на участках, вовлеченных в проект, не включаются.

Расчеты эмиссии CO<sub>2</sub> экв. с исследуемых участков проводились для периода в 2010-2020 гг. в зависимости от типов почв, интенсивности производства (пар/не пар) и погодных условий. Наибольшие средние эмиссии CO<sub>2</sub> определены для посевов озимой пшеницы (без паров) на темно-каштановых мицелярно-карбонатных и каштановых мицелярно-карбонатных почвах на участках в Ставропольском крае — 4,95 и 4,52 т/га соответственно. Наименьшие — 0,79 т/га для посевов на бурых солонцеватых почвах и солонцах Калмыкии.

В таблице приводятся расчеты снижения интенсивности использования участков при разных лимитах углеродного налога, проведенные с использованием модели оптимального землепользования. В целом модель показывает бóльшую чувствительность рассматриваемого инвестиционного проекта к административному регулированию эмиссий ПГ. Уже при лимите 0,9, чтобы обеспечить требуемое снижение выбросов на 10 % по сравнению с базовым периодом, целесообразно будет перевести в пар или под сидераты весь участок площадью 3716 га светло-каштановых солонцеватых и солончаковатых почв в Калмыкии, но также и небольшой участок в 287 га наиболее плодородных темно-каштановых почв в Ставропольском крае. При лимите выбросов 0,7 хозяйство будем вынуждено вывести из интенсивного оборота почти все участки (93 %) с наиболее плодородными темно-каштановыми почвами в Ставропольской части хозяйства. Именно на этих участках окупаемость выбросов ПГ продукцией оказывается одной из наихудших — хуже только на светло-каштановых солонцеватых и солончаковых почвах Калмыкии. По крайней мере, так обстоит дело применительно к множеству технологий, заложенному в модель оптимального использования сельскохозяйственных угодий.

Изначально мы ожидали, что в случае введения лимитов на выброс ПГ на участках всех типов интенсивность их использования будет, как правило, снижаться пропорционально лимитам. Однако, по мере усиления ограничений увеличивается доля участков с уровнем интенсивности 0,25 и 0, а другие промежуточные варианты интенсивности использования участков встречаются редко. Так, часть участков будут использоваться

максимально интенсивно (т. е. без паров или с сохранением их проектной доли к посевным площадям), а снижение объемов выбросов будет достигаться за счет полного перевода значительной части земель в пар, в том числе самых плодородных участков.

Таблица 1

**Соотношение площади участков разных типов с максимально интенсивным использованием при различных лимитах на объем эмиссии парниковых газов**

Лимиты выбросов ПГ, в долях к проектным	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Тип почв	Доля площади участков с максимально интенсивным использованием, %								
5 т/га пар каждый год – Буденновский район Ставропольского края									
Каштановые мицелярно-карбонатные	100	100	100	100	100	85	48	11	0
Пойменные засоленные	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3,5 т/га без пара – Арзгирский район Ставропольского края									
Темно-каштановые мицелярно-карбонатные	97	62	7	0	0	0	0	0	0
Каштановые мицелярно-карбонатные	100	100	100	100	62	0	0	0	0
Светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые	100	100	100	100	0	0	0	0	0
2 т/га пар каждый год – Ики-Бурульский район Республики Калмыкия									
Светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Бурые солонцеватые и солонцы (автоморфные)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Солонцы луговые (гидроморфные)	100	100	100	100	100	0	0	0	0

Данная закономерность наблюдается во всех районах. При введении больших лимитов в Ики-Бурульском районе Калмыкии участки с высокими объемами эмиссии полностью переводятся в пар. В Буденновском районе Ставропольского края, напротив, перевод в пар происходит только при самых жестких лимитах на эмиссию ПГ. В Арзгирском районе Ставропольского края при введении больших лимитов на эмиссию, увеличивается доля участков с низкой интенсивностью (0,25), а перевод части земель в пар начинается при лимитах 0,6 от базового варианта интенсивности. Такая модель демонстрирует весьма разные условия реализации проектов при введении регулирования

выбросов ПГ, но общим для них является малая вероятность промежуточных вариантов интенсивности ведения земледелия.

В модели исследовался и вариант введения рыночных механизмов регулирования эмиссии ПГ, когда эмитенты парниковых газов будут обязаны покупать углеродные единицы по рыночной цене. В отличие от административного регулирования выбросов ПГ, модель показывает слабую чувствительность проекта к введению рынка квот. В разных ценовых сценариях необходимость снижения эмиссии наблюдается только при ценах выше 300 евро за 1 т/ экв. CO<sub>2</sub>. При самых высоких исторических ценах в 120 евро за 1 т/ экв. CO<sub>2</sub> на Европейском рынке выбросов (EU ETS) приведенная стоимость операционного денежного потока сокращается почти на треть, но возможностей её повысить путём снижения интенсивности производства и соответствующего сокращения выбросов не возникает: стоимость недополученной продукции оказывается больше, чем снижение издержек в связи с выбросами. Таким образом, рассмотренные проекты, не получают достаточных стимулов к пересмотру технологии в направлении сокращения выбросов ПГ.

### Библиографические ссылки

1. *Soussana J.-F., Lutfalla S., Ehrhardt F.* Matching policy and science: Rationale for the ‘4 per 1000—soils for food security and climate’ initiative, *Soil Tillage Research*, 2019, no. 188. URL: <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010075246> (date of access: 22.05.2023).

2. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве / А. М. Гатаулин [и др.]. М.: Агропромиздат, 1990. 432 с.

3. Применение математических методов в управлении АПК Беларуси и России: монография / Н. М. Светлов [и др.]. М.: ЦЭМИ РАН, 2020. 177 с.

4. *Суховеева О. Э.* Приложение модели DNDC к оценке параметров углеродного и азотного обмена в пахотных почвах Нечерноземья [Электронный ресурс] // *Известия РАН. Серия географическая*. 2018. № 2. С. 74–85. URL: <https://doi.org/10.7868/S2587556618020073> (дата обращения: 14.05.2023).

5. *Суховеева О. Э.* Верификация модели DNDC для оценки параметров углеродного и азотного обмена в пахотных почвах Нечерноземья [Электронный ресурс] // *Известия РАН. Серия географическая*, 2018. № 4. С. 89–95.

УДК 504.062 : 550.47 : 911.9

## МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ ЯГОДНИКОВ БРЕСТСКОГО РЕГИОНА

А. П. Колбас<sup>1,2)</sup>, Н. Ю. Колбас<sup>1,3)</sup>

<sup>1)</sup>Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,  
ул. Советских пограничников, 41, 224030, г. Брест, Беларусь, [kolbas77@mail.ru](mailto:kolbas77@mail.ru)

<sup>2)</sup>Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Скоринны, 10,  
220076, г. Минск, Беларусь, [kolbas77@mail.ru](mailto:kolbas77@mail.ru)

<sup>3)</sup>Центральный ботанический сад НАН Беларуси, ул. Сурганова, 2в,  
220012, г. Минск, Беларусь, [n.kolbas@gmail.com](mailto:n.kolbas@gmail.com)

В работе представлены данные по содержанию 10 элементов (Pb, Cd, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Cr и Mo; метод ICP-AES) в почвах ягодников территорий Брестского региона. Был выявлен средний уровень суммарного загрязнения ТМ. Максимальные превышения ранее установленного субрегионального фона ТМ выявлены для почв земляничников (Ni) и брусничников (Pb, Cd).

**Ключевые слова:** коэффициент концентрации; почва; субрегиональный фон; тяжелые металлы; *Fragaria vesca* L.; *Rubus idaeus* L.; *Rubus subg. Eubatus*; *Vaccinium myrtillus* L.; *Vaccinium vitis-idaea* L.

## MONITORING OF HEAVY METALS CONTENT IN SOILS OF FOREST BERRIES-FIELDS IN THE BREST REGION

A. P. Kolbas<sup>1,2)</sup>, N. Y. Kolbas<sup>1,3)</sup>

<sup>1)</sup>Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus,  
Sovetskie pogranychniki St., 41, 224030, Brest, Belarus, [kolbas77@mail.ru](mailto:kolbas77@mail.ru)

<sup>2)</sup>Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Skaryna St., 10, 220076, Minsk, Belarus; [kolbas77@mail.ru](mailto:kolbas77@mail.ru)

<sup>3)</sup>Central Botanic Gardens of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Surganov St., 2в, 220012, Minsk, Belarus; [n.kolbas@gmail.com](mailto:n.kolbas@gmail.com)

The paper presents data on the content of 10 elements (Pb, Cd, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Cr and Mo; ICP-AES method) in the soils of berry fields in the Brest region. An average level of total heavy metal (HM) contamination was identified. The maximum excess of the previously established subregional background of HMs was detected for soils of strawberries (Ni) and lingonberries (Pb, Cd).

**Keywords:** coefficient of concentration; heavy metals; soil; subregional background; *Fragaria vesca* L.; *Rubus idaeus* L.; *Rubus subg. Eubatus*; *Vaccinium myrtillus* L.; *Vaccinium vitis-idaea* L.



Загрязнение различных компонентов лесных экосистем тяжелыми металлами (ТМ) является одной из современных проблем прикладной экологии. Растения природных экосистем являются важнейшим звеном пищевых цепей, при участии которого экотоксиканты могут поступать из почвы, воды и воздуха в организмы животных и человека [1]. Актуальной задачей является оценка уровня содержания ТМ в почвах лесных экосистем, а также растительной продукции. В целом, изучение химического состава естественных фитоценозов позволяет сделать выводы о степени антропогенной трансформации биогеохимических циклов на исследуемой территории и принять своевременные меры по предотвращению развития неблагоприятных ситуаций.

Важнейшим этапом мониторинга является установление субрегионального фона для различных субстратов, организмов и продукции. Геохимические аномалии, связанные со значительными отклонениями от фоновых значений, могут приводить к хроническим заболеваниям, вызванным избытком или дефицитом определенных элементов. Ранее фоновые содержания определялись для травянистых растений в некоторых природных биогеоценозах и агроценозах Беларуси и Брестского региона [2, 3], однако данные по компонентам лесных ягодников весьма малочисленны или утратили актуальность.

Целью данной работы является установление актуального содержания ТМ в почвах ягодников, (*Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Fragaria vesca* L., *Rubus idaeus* L., *Rubus* subg. *Eubatus*) в Брестском регионе.

*Материалы и методы.* Всего нами были изучены почвы 29 ягодников, среди которых 8 — черничники, 7 — ежевичники, 6 — малиники, 5 — земляничники и 3 — брусничники, расположенные в Березовском, Брестском, Жабинковском, Ивацевичском, Каменецком, Кобринском и Малоритском районах Брестской области.

Образцы почв были отобраны с глубины до 20 см. Для определения валового содержания ТМ химическое разложение почвы проводили смесью  $\text{HNO}_3$  (14 M) и  $\text{HCl}$  (12 M) в соотношении по объему 1:3; для экстракции подвижных форм элементов применяли ацетатно-аммонийный буферный раствор ( $\text{pH} = 4,8$ ). Содержание 10 потенциально токсичных элементов, из них 3 (Cd, Ni, Pb) — неэссенциальные ТМ и 7 (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo и Zn) — эссенциальные, определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) [4] с использованием спектрометра iCAP 7200 DUO (ThermoScientific).

При расчетах коэффициента концентрации (Kc), представляющего собой отношение содержания элемента в исследуемом образце к его

фоновому содержанию, мы использовали следующие значения концентрации приоритетных ТМ в почвах юго-запада Беларуси (субрегиональный фон в мг/кг): Pb – 5,39; Cd – 0,09; Cu – 1,29; Zn – 7,43; Mn – 109,6; Ni – 0,66; Co – 0,45; Cr – 1,85 [2]. Рассчитываемый нами суммарный индекс загрязнения почв для валовых форм учитывал содержание 8 элементов (из-за значительного варьирования было исключено железо, а из-за низких значений — молибден).

Все опыты выполнены в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Microsoft Excel и R версия 4.3.1 (Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

*Результаты исследования и их обсуждение.* По среднему валовому содержанию ТМ в верхнем 20-и сантиметровом слое почв ягодников можно ранжировать в следующей последовательности (в мг/кг): Fe (2234,64) > Mn (112,48) > Zn (14,57) > Pb (8,15) > Cr (3,89) > Cu (2,53) > Ni (1,85) > Co (0,83) > Cd (0,11) > Mo (0,05). Полученные нами значения для Pb, Ni и Cd согласуются с литературными данными для почв Беларуси [5, 6].

В нашем исследовании валовое содержание Mo варьировало (в мг/кг) в пределах 0,023–0,12, со средним значением 0,05, для Fe — в пределах от 577 до 7921 и со средним значением 2234 мг/кг. Для агроэкосистем ранее указывались более высокие пороги содержания Fe в 6695–11230 мг/кг [6]. Эти данные могут служить ориентировочным субрегиональным фоном для дальнейших исследований лесных экосистем.

Анализ показателей Кс и Zс (таблица) для валового содержания ТМ выявил превышение субрегионального фона для всех локаций, причем в большинстве случаев оно соответствовало среднему уровню [7, с. 82–83]: земляничник (10,8) > малинник (9,8) > брусничник (7,5) > ежевичник (6,2) > черничник (5,8). Также выявлен следующий ряд в формуле геохимической специализации элементов: Ni (2,8) > Cr (2,07) > Cu (1,96) ≈ Zn (1,96) > Co (1,85) > Pb (1,51) > Cd (1,23) > Mn (1,03).

**Коэффициенты концентрации (Кс), суммарный показатель загрязнения (Zс) для валовых форм ТМ в почвах ягодников (n – количество пробных площадок)**

ягодник	n	Pb	Cd	Ni	Cu	Zn	Mn	Co	Cr	Zс
черничник	8	1,55	1,43	1,92	1,41	1,77	1,01	1,71	1,98	5,77
брусничник	3	2,15	2,37	1,99	2,09	2,16	0,47	1,17	1,08	7,49
ежевичник	7	1,14	0,23	2,55	1,48	1,55	1,20	1,80	2,26	6,21
малинник	6	1,37	0,72	3,42	2,05	1,60	1,20	2,29	3,14	9,79
земляничник	5	1,35	1,41	4,13	2,76	2,73	1,26	2,27	1,89	10,80
среднее		1,51	1,23	2,80	1,96	1,96	1,03	1,85	2,07	8,01

Максимальное превышение по элементам отмечено для Ni, Cu, Zn, Mn в почвах земляничников, а по Pb и Cd в почвах брусничников. Превышения фоновых значений содержания техногенных ТМ в некоторых природных экосистемах юго-запада Беларуси свидетельствует об усилении аэрогенных выбросов в последние годы, в том числе за счет трансграничного переноса [8]. Представленные результаты могут рассматриваться в качестве актуальных фоновых только ориентировочно. Для мониторинга динамики содержания ТМ, выявления геохимических аномалий, а также при планировании биоремедиационных мероприятий требуется постоянный контроль субрегиональных значений и проведение более масштабных исследований в природных биогеоценозах соответствующего региона. В тоже время нами установлены случаи пониженного содержания некоторых ТМ: Cd в почвах малинников и ежевичников, а также Mn в почвах большинства исследованных ягодников.

Общее содержание *подвижных форм* анализируемых ТМ варьировало в пределах от 45,95 до 147,68 мг/кг. По содержанию подвижных форм в почвах ТМ можно ранжировать в следующей последовательности: Fe (52,88) > Mn (30,74) > Zn (4,13) > Pb (1,66) > Cu (0,15) > Ni (0,13) > Cr (0,07) > Cd (0,06)  $\approx$  Co (0,06). В изученных образцах концентрация подвижных форм Mo находилась за пределами чувствительности прибора (менее 0,007 мг/кг), поэтому его подвижные формы не рассматривались. По доле подвижных форм от валового содержания в почвах ТМ можно ранжировать в следующей последовательности: Cd (0,635) > Mn (0,343) > Zn (0,280) > Pb (0,223) > Co (0,130) > Ni (0,090) > Cu (0,083) > Cr (0,024) > Fe (0,022).

Обращает на себя внимание значительная доля подвижных форм Cd в верхнем 20-ти сантиметровом слое почв малинников (до 75 %) и Pb — в черничниках и брусничниках (до 25 %), что может нести экологические риски. В тоже время, отмечены незначительные доли подвижных форм Cu и Fe, информация по низкому содержанию подвижной меди в почвах региона приводилась в литературе ранее [2].

Анализ мониторинговых стационаров показал, что для большинства из них значение ПДК и нижние пороговые концентрации химических элементов не превышены [9, с. 225]. Из 29 изученных стационаров локация 52°65'N, 25°23'E (Ивацевичский район) по содержанию ТМ в почвах наиболее отличается от средних фоновых значений, что может быть связано с аэральным распространением поллютантов с несанкционированного места хранения отходов свинцовой золы в поселке Зеленый бор [10]. В почвах локаций 51°81'N, 23°70'E (Брестский район), 51°99'N, 24°60'(Кобринский район) и 52°14'N, 23°98'E (Жабинковский район) содержание всех исследуемых элементов не превышало средние значения для фоновых

территорий Республики Беларусь. Эти стационары могут быть предложены в качестве модельных для последующего рутинного мониторинга и уточнения субрегионального фона содержания ТМ в компонентах лесных экосистем.

### Библиографические ссылки

1. *Briffa J., Sinagra E., Blundell R.* Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans [Electronic resource] // *Heliyon*. 2020. Vol. 6, iss. 9. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691> (date of access: 14.02.2024).

2. *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; редкол. : В. С. Хомич (гл. ред.), В. Ф. Логинов, Е. В. Санец.* Минск : СтройМедиаПроект, 2019. С. 266–281.

3. *Мялик А. Н.* Фоновые уровни содержания тяжелых металлов в почвах и растительности лугово-болотных экосистем юго-запада Беларуси // *Геоботанические исследования естественных экосистем: проблемы и пути их решения : междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения Сапегина Леонида Михайловича: сборник материалов / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : Н. М. Дайнеко (гл. ред.) [и др.].* Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. С. 62–66.

4. Качество почвы. Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии индуктивно связанной плазмы (ИСП-АЭС): ГОСТ ISO 22036–2014. Введен 01.04.2017. Минск : Госстандарт, 2016. 24 с.

5. *Головатый С. Е.* Тяжелые металлы в агроэкосистемах // Минск : Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2002. 239 с.

6. *Позняк С. С.* Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах и растительности центральной зоны Республики Беларусь // *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки.* 2011. № 1. С. 254–264.

7. *Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт [и др.]. – М. : Недра, 1990.*

8. Оценки уровней загрязнения свинцом территории Беларуси с высоким пространственным разрешением : технический отчет : 4/2006 МСЦ-В/НАН Беларуси [Электронный ресурс] / И. С. Ильин, М. О. Варыгина С. В. Какарека. 2016. 61 с. URL: [https://www.msceast.org/reports/4\\_2016\\_russ.pdf](https://www.msceast.org/reports/4_2016_russ.pdf) (дата обращения: 14.02.2024).

9. Показатели безопасности и безвредности почвы. Показатели безопасности и безвредности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Гигиенический норматив. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 05.03.2021, 5/48783 [Электронный ресурс] / Утв. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 25.01.2021, № 37. URL: <https://rspch.by/Docs/post-37-2021.pdf?ysclid=lskcxhed52550877319> (дата обращения: 14.02.2024).

10. Оценка полиэлементного загрязнения некоторых территорий и субстратов в Брестском регионе / А. П. Колбас [и др.] // *Веснік МДПУ імя І. П. Шамякіна, біялагічныя навукі.* 2021. № 2 (58). С. 21–31.

УДК 631.423.3

## НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СРОКАХ ХРАНЕНИЯ ПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

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

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

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

Проведена оценка степени загрязнения почвы тяжелыми металлами при длительном хранении подстилочного навоза в полевых условиях. Установлено, что при хранении навоза на протяжении 8 месяцев концентрации никеля, цинка и меди в пахотном слое почвы превышали фоновый уровень, но их численные значения оказались ниже пороговых величин, характерных для загрязненных почв. При хранении навоза в течение 30 месяцев превышения фонового содержания тяжелых металлов в почве не обнаружено.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва; подстилочный навоз; тяжелые металлы; фоновое содержание; пороговая величина.

## ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SODD PODSOL SOILS AT DIFFERENT TIMES STORAGE OF ORGANIC FERTILIZER IN FIELD CONDITIONS

N. N. Kostiuchenko<sup>1)</sup>, A. M. Podluzhnaya<sup>1)</sup>, A. A. Volchek<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Polesie Agrarian-Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, st. Soviet border guards, 41, 224030, Brest, Belarus, [kost-n@rambler.ru](mailto:kost-n@rambler.ru)

<sup>2)</sup>Brest State Technical University, st. Moskovskaya 267, 224017, Brest, Belarus

An assessment was made of the degree of soil contamination with heavy metals during long-term storage of litter manure in field conditions. It was found that when manure was stored for 8 months, the concentrations of nickel, zinc and copper in the topsoil layer exceeded the background level, but their numerical values were below the threshold values characteristic of contaminated soils. When manure was stored for 30 months, no excess of the background content of heavy metals in the soil was detected.

**Keywords:** soddy-podzolic soil; litter manure; heavy metals; background content; threshold value.

Животноводческие комплексы являются источником загрязнения почвы и других компонентов окружающей среды. Это связано с большой концентрацией поголовья скота на ограниченной площади и образованием огромного количества отходов, в том числе навоза [1]. Подстилочный навоз в своем составе содержит множество органических и минеральных веществ, необходимых для роста и развития растений, а также тяжелые металлы [2], наличие которых является следствием обогащения кормов микроэлементами для повышения продуктивности животных. Попадая в почву, тяжелые металлы накапливаются в ней и образуют высокотоксичные соединения, значительно ухудшающие качество сельскохозяйственных культур [3]. Зачастую хранение органических удобрений осуществляется на пахотных землях, что допускается при соблюдении определенных условий [4]. Исходя из вышесказанного, целью наших исследований являлась оценка степени загрязнения почвы тяжелыми металлами при длительном хранении подстилочного навоза в полевых условиях.

Исследования проводили на территории ОАО «Племзавод Мухавец» Брестского района в окрестностях агрогородка Мухавец. Данное сельскохозяйственное предприятие является профилирующим хозяйством Брестского района в получении племенной продукции животноводства. Почвы сельхозугодий — дерново-подзолистые песчаные легкого гранулометрического состава, типичные для юго-запада Беларуси. Объектом исследований являлись участки пашни, отведенные для хранения двух штабелей подстилочного навоза крупного рогатого скота, различающихся временем хранения — 30 и 8 месяцев, — и размерами — 127×4×1 м (~510 т) и 32×12×1 м (~390 т). Почвенные пробы отбирали в мае 2023 г. с пахотного (0–25 см) и подпахотного горизонтов (25–40 см) внутри контура штабеля навоза после его использования и на различном расстоянии от места его складирования. При хранении удобрения в течение 30 месяцев (~510 т) отбор проб почвы осуществляли на расстоянии 1 м, 2 м, 5 м, 25 м от ранее расположенного штабеля. При хранении навоза в течение 8 месяцев (~390 т) отбор проб почвы проводили на расстоянии 1 м от контура ранее расположенного штабеля.

Содержание валовых форм тяжелых металлов в почве определяли методом атомно-эмиссионной спектromетрии с индуктивно связанной плазмой на приборе iCAP 7200 по ГОСТ ISO 22036-2014. Пробоподготовку осуществляли согласно ISO 11466:1995, где в качестве экстрагирующего раствора использовали смесь азотной и соляной кислот в соотношении 1:3.

Длительное хранение подстилочного навоза привело к увеличению валового содержания тяжелых металлов в почве, однако их численные

значения оказались ниже пороговых величин, характерных для загрязненных почв. На основе анализа результатов, полученных при хранении органического удобрения в течение 30 месяцев, концентрации исследуемых элементов в пахотном слое почвы на расстоянии 0–25 м от ранее размещенного штабеля можно расположить в следующем порядке:  $Mn > Zn > Pb > Cr > Cu > Ni > Co > Cd$ . Максимальные значения концентраций хрома, никеля и кобальта зафиксированы в верхнем слое почвы внутри контура штабеля навоза и составили соответственно 2,93 мг/кг (пороговое значение (ПЗ) = 45,6 мг/кг) 1,81 мг/кг (ПЗ) 21,6 мг/кг), 0,71 мг/кг (ПЗ = 24,1 мг/кг) [5] (таблица).

**Валовое содержание тяжелых металлов в почве при длительном хранении подстилочного навоза в полевых условиях**

Место отбора	Глубина отбора образца, см	Тяжелые металлы, мг/кг							
		Mn	Zn	Pb	Cr	Cu	Ni	Co	Cd
Хранение подстилочного навоза в течение 30 месяцев (~510 т).									
На месте штабеля	0–25	13,9	8,07	6,12	2,93	1,81	1,81	0,71	0,07
	25–40	4,98	4,23	3,25	1,88	0,62	1,23	0,53	0,02
1 м от штабеля	0–25	13,1	8,12	5,74	2,53	2,11	1,27	0,60	0,07
	25–40	3,78	4,08	2,36	1,36	0,88	1,02	0,36	0,01
2 м от штабеля	0–25	11,8	7,12	5,15	2,17	1,64	1,22	0,50	0,06
	25–40	3,47	2,19	1,61	1,15	0,32	0,79	0,31	н.о
5 м от штабеля	0–25	13,5	7,43	4,08	1,54	1,12	1,05	0,38	0,05
	25–40	4,56	5,98	1,65	0,69	0,24	0,50	0,21	0,01
25 м от штабеля	0–25	12,1	6,20	4,38	1,47	0,70	0,91	0,38	0,05
	25–40	4,32	2,58	2,21	0,90	0,23	0,59	0,28	0,01
Хранение подстилочного навоза в течение 8 месяцев (~390 т).									
На месте штабеля	0–25	40,8	42,7	4,43	5,15	15,69	3,95	0,84	0,07
	25–40	43,0	20,9	4,52	5,23	11,79	3,87	0,87	0,07
1 м от штабеля	0–25	61,0	17,3	5,56	2,86	3,29	2,78	0,76	0,07
	25–40	38,1	10,3	3,12	2,59	1,32	3,34	0,83	0,02
Фоновое содержание		115,2	12,65	5,98	5,55	2,52	1,80	1,10	0,18
Пороговые значения содержания для земель с/х назначения		1220	72,2	35,6	45,6	28,3	21,6	24,1	0,95

*Примечание.* Н. о – не обнаружено.

По мере увеличения расстояния от контура штабеля навоза концентрации тяжелых металлов в почве постепенно снижались и при удалении на 25 м составили: хрома — 1,47 мг/кг, никеля — 0,91 мг/кг, кобальта — 0,38 мг/кг, что в среднем в 2 раза ниже, чем внутри контура

штабеля навоза. Однако, необходимо также отметить, что численные значения исследуемых элементов на расстоянии 5 и 25 м от контура штабеля незначительно отличались. Содержание кадмия в пахотном слое почвы в месте хранения навоза и в 1 м от него находилось на одном уровне и оказалось равным 0,07 мг/кг (ПЗ = 0,95 мг/кг), концентрации меди варьировали от 1,81 до 2,11 мг/кг (ПЗ = 28,3 мг/кг), цинка — 8,07–8,12 мг/кг (ПЗ = 72,2 мг/кг). При удалении на расстояние 25 м от штабеля отмечено снижение содержания в пахотном слое цинка в 1,3 раза, кадмия в 1,4 раза, меди в среднем в 2,8 раз. Марганец характеризовался относительно равномерным распределением, его количество в пахотном слое почвы на исследуемом расстоянии составило 11,8–13,9 мг/кг (ПЗ = 1220 мг/кг). Концентрация свинца в почве в месте хранения навоза оказалась 6,12 мг/кг и незначительно превышала уровень фона для дерново-подзолистых песчаных почв (5,98 мг/кг) [6]. В то же время на расстоянии 5–25 м его содержание находилось на уровне 4,08–4,38 мг/кг, т. е. в 1,5 раз ниже.

В подпахотном горизонте количество тяжелых металлов меньше по сравнению с пахотным: никеля и кобальта в среднем в 1,6, хрома в 1,8, цинка в 2,2, свинца в 2,4, меди в 3,6, кадмия в 5,1 раз. Четкого снижения их концентраций с увеличением расстояния от контура штабеля навоза в почве на глубине 25–40 см не выявлено.

Внутри контура штабеля навоза, хранившегося в полевых условиях на протяжении 8 месяцев, зафиксировано превышение в пахотном горизонте почвы содержания никеля в 2,2, цинка — в 3,4, меди — в 6,2 раза по сравнению с фоновыми значениями. На расстоянии 1 м от контура штабеля концентрации данных элементов в верхнем слое почвы снизились, однако их содержание оказалось в 1,3–1,5 раз выше фона [6]. При этом полученные значения не выходили за пределы установленных экологических норм. В то же время в подпахотном горизонте почвы на месте удаленного штабеля навоза фоновый уровень цинка был превышен в 1,6, никеля 2,2, меди в 4,6 раз. Более высокие концентрации тяжелых металлов при меньшем сроке хранения органического удобрения, вероятно, обусловлены почвенными условиями. В результате хранения навоза в полевых условиях на протяжении 8 месяцев верхний слой почвы характеризовался слабощелочной реакцией, что привело к снижению подвижности тяжелых металлов. В то же время при хранении навоза в течение 30 месяцев происходило увеличение его кислотности, а, следовательно, и подкисление верхнего слоя почвы, на которой он хранился, что способствовало миграции тяжелых металлов в нижележащие почвенные слои. Так, при хранении данного органического удобрения в полевых условиях на протяжении 30 месяцев значение



кислотности пахотного слоя почвы оказалось равным 4,79 (рН<sub>KCl</sub>) в месте хранения и 5,00 — на расстоянии 1 м от контура ранее расположенного штабеля. При хранении штабеля подстилочного навоза в течение 8 месяцев показатель кислотности пахотного слоя составил 7,80 единиц в месте хранения и 7,61 — при удалении на 1 м. Как следует из полученных данных, хранить подстилочный навоз в полевых условиях на дерново-подзолистых песчаных почвах легкого гранулометрического состава рекомендуется не более одного года.

### Библиографические ссылки

1. *Кузнецов Е. В.* Переработка отходов животноводческих предприятий // Научные труды КубГТУ. 2019. № 3. С. 864–873.

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. *Троц Н. М., Троц В. Б., Обущенко С. В.* Влияние обработки почвы на аккумуляцию тяжелых металлов в пахотном горизонте и фитомассе зерновых культур Самарского Заволжья // Аграрная Россия. 2012. № 12. С. 7–10.

4. *Шаршунов В. А.* Органические удобрения из отходов животноводства и птицеводства. Минск : Мисанта, 2021. С. 227.

5. 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. С. 8.

6. *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.

УДК 550.461

## ОРГАНОГЕННАЯ РЕЧНАЯ ВЗВЕСЬ — ВАЖНЫЙ ИСТОЧНИК CO<sub>2</sub> В РЕКАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**И. В. Крицков, А. Г. Лим, С. В. Лойко,  
С. П. Кулижский, О. С. Покровский**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
пр. Ленина 36, 634050, г. Томск, Россия, [krickov\\_ivan@mail.ru](mailto:krickov_ivan@mail.ru)*

Изучена сезонная динамика физико-химических показателей вод малых и средних рек, относящихся к бассейну среднего течения реки Обь. Выявлены особенности речного стока с исследованной территории, факторы, определяющие величину потоков CO<sub>2</sub>, показана важность сезонности и гидрологической фазы в оценке эмиссии CO<sub>2</sub>. Показана роль растворенного и взвешенного органического вещества педогенного происхождения.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь; заболоченные водосборы; органогенная взвесь; углерод; малые реки; эмиссия CO<sub>2</sub>.

## RIVER SUSPENSION MATERIAL IS AN IMPORTANT SOURCE OF CO<sub>2</sub> IN THE RIVERS OF WESTERN SIBERIA

**I. V. Kritskov, A. G. Lim, S. V. Loiko,  
S. P. Kulizhsky, O. S. Pokrovsky**

*National Research Tomsk State University,  
Lenin Ave. 36, 634050, Tomsk, Russia, [krickov\\_ivan@mail.ru](mailto:krickov_ivan@mail.ru)*

The seasonal dynamics of physicochemical parameters of water of small and medium-sized rivers belonging to the basin of the Ob river middle reaches has been studied. The peculiarities of river runoff from the studied area, factors determining the magnitude of CO<sub>2</sub> fluxes were revealed, and the importance of seasonality and hydrological phase in the assessment of CO<sub>2</sub> emission was shown.

**Keywords:** Western Siberia; wetlands; organic suspended matter; carbon; small rivers; CO<sub>2</sub> emissions.

Реки являются важнейшим звеном, осуществляющим перенос вещества и энергии с континентов в океан. Во время транспорта от истока до устья состав твердого и растворенного стока в значительной мере трансформируется. Для выявления главенствующих факторов формирования стока крупных рек необходимо изучение его состава и трансформации в малых и средних реках. Для решения этих вопросов выбрана Западная Сибирь,

отличающаяся большей долей торфяных почв в почвенном покрове. Для оценки масштабов переноса и эмиссии углерода, а также выявления основных физико-химических регуляторов, выбраны наиболее типичные реки, характеризующие южно-таежную подзону.

Полевые исследования проводили на реках в одном и том же месте несколько раз за год, чтобы охватить все сезоны года. Измеряли концентрации растворенного органического углерода (РОУ), взвешенного органического углерода (ВОУ), растворенного неорганического углерода (РНУ), растворенного  $\text{CO}_2$  ( $\text{pCO}_2$ ), величины потоков  $\text{CO}_2$  ( $\text{FCO}_2$ ), общее микробное число (ОМЧ), а также ряд других физико-химических характеристик воды. Основной рабочей гипотезой послужило предположение, что фотодеградация РОУ и микробная деятельность на поверхности частиц ВОУ в толще воды являются важными факторами насыщения речных вод  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Ранее подобные эффекты были показаны на примере рек Западной Европы и Северной Америки [1], однако для территории ЗС подобные работы не проводились. Высокая степень заболоченности ЗС определяет более высокие концентрации ВОУ и РОУ в реках малой размерности, в сравнении с вышеупомянутыми регионами [2]. Предварительным подтверждением этой гипотезы является обнаружение локального максимума концентрации ВОУ и выбросов  $\text{CO}_2$  в реках ЗС в области южной границы зоны прерывистого распространения многолетней мерзлоты [3].

В ходе проведенного исследования установлено, что концентрации взвешенного вещества для малых и средних рек бассейна среднего течения Оби составляют  $11,0 \pm 6,4$  мг/л, что соответствует концентрациям в других бореальных реках, со слабым стоком, дренирующих заболоченные водоразделы [4], но значительно ниже, чем в среднем течении реки Обь ( $25,3 \pm 10,2$  мг/л). При этом концентрация углерода во взвеси исследованных рек оказалась довольно высокой, так в период весеннего половодья в среднем составляла 13,4 %, в летнюю межень — 12,6 %, в осеннюю межень — 20,5 %, что гораздо выше, чем в усредненной оценке по миру, составляющей всего 1 % [5], и значительно выше, чем в реках Обь, Енисей, Лена и Колыма (2,3 %, 3,6 %, 5,8 % и 3,0 %, соответственно) [6]. Это явление связано с двумя основными причинами: (1) малый продольный уклон рек (от 0,2 до 0,7 м/км) и, как следствие, слабая береговая абразии; (2) высокая степень распространения торфяных почв на водосборах (до 90 %).

Высокие концентрации органического углерода в исследованной речной взвеси обеспечивают необходимый питательный субстрат и пространственные ниши для бактерий, что приводит к сильному гетеротрофному дыханию [1]. Этой гетеротрофной переработкой можно

частично объяснить выявленное снижение концентрации углерода во взвеси от малых рек к более крупным. Но, кроме этого, большую роль играет и смена основного источника взвеси. В малых реках это в основном торфяные почвы массивов омбротрофных болот междуречий и, в меньшей мере, мезотрофных болот террас. В средних реках большую роль играет взвесь формирующаяся из педогенного материала аллювиальных почв и литогенного материала подстилающих пород и коренных берегов.

В исследованных малых реках значительное количество взвеси представлено частицами растительного происхождения, особенно в период весеннего половодья. Основным источником органического вещества являются торфяные почвы, в том числе прибрежные, а также растительный опад, поступающий в реку с поймы. Обилие органогенной взвеси подтверждается данными сканирующей электронной микроскопии и элементным составом взвеси, отобранной из малых рек. В реках средней размерности (Чулым и Кеть) взвесь представлена преимущественно минеральными компонентами, такими как кварц и полевые шпаты, со значительным количеством панцирей диатомей и спикул губок.

Концентрация РОУ (10–30 мг/л) и ВОУ (0,24–3,87 мг/л) достигает максимальных значений в период половодья, что отражает выщелачивание органических соединений из остатков пойменной растительности в зоне затопления [7], и мобилизацию из верхних горизонтов оттаивающих торфяных почв, обогащенных органическими соединениями в результате зимнего криогенного подтягивания.

Наибольшее значение ОМЧ получено для весеннего паводка, самое низкое — во время осеннего меженного стока. В течение меженного периода речная взвесь содержит большое количество остатков фитопланктона, что, вероятно, связано с увеличением биологической продуктивности по мере роста температуры воды.

Региональные оценки  $FCO_2$  в реках и ручьях сильно различаются, в основном из-за неоднородности водных объектов и недостаточного знания факторов, контролирующих эмиссию [8]. Одним из таких факторов может быть высокая концентрация ВОУ, поступающего в реки и ручьи за счет береговой абразии аллювиальных и торфяных почв, а также выноса с заболоченных водосборов. По некоторым данным, скорость биodeградации ВОУ значительно превышает скорость биodeградации РОУ [1], что может являться определяющим фактором в обеспечении  $FCO_2$ .

Максимальные концентрации  $pCO_2$  зафиксированы в период весеннего половодья (6300 ppm) и снижались примерно в 1,5 раза к лету и осени.  $FCO_2$  уменьшались от половодья к межени с  $2,9 \pm 1,8$  до  $2,0 \pm 0,3$  г(С)/м<sup>2</sup>/сут. Обнаружено, что значения  $pCO_2$  в речной воде уменьшались

по мере увеличения размера водосбора летом и осенью, и в меньшей степени весной. Однако размер водосбора оказывает незначительное влияние на измеренные  $fCO_2$ .

Значения  $pCO_2$ ,  $fCO_2$  положительно коррелировали с величинами РОУ, ВОУ, Нобщ и ОМЧ. Однако эти корреляции сильно зависят от сезона. Так, весной  $pCO_2$  демонстрирует статистически значимые связи ( $p < 0,05$ ) с содержанием С и N во взвеси, летом с  $t_{\text{воды}}$ ,  $NH_4^+$  и ВОУ. Величины  $fCO_2$  коррелировали с содержанием N, С, ВОУ, РОУ, Собщ,  $NO_2$ , ОМЧ в период весеннего половодья; с концентрацией РОУ, Собщ, Нобщ, ОМЧ, в летнюю межень; с содержанием ВОУ, Собщ и ОМЧ осенью.

Высокие  $fCO_2$  из рек этого региона связаны с эффективной биопереработкой взвешенных органических веществ в водной толще. Микробиологическая активность во взвешенных веществах, приводящая к биодеградации ВОУ, в значительной степени способствует генерации  $CO_2$ . Следовательно, микробная деятельность совместно с фотодеструкцией ВОУ и РОУ, в толще воды, являются важными факторами обеспечения речных вод растворенным  $CO_2$ . Однако вклад ВОУ и РОУ отличается от сезона к сезону, что указывает на дополнительный регулирующий фактор, которым может являться ОМЧ. Так подавляющая роль биодеградации органического вещества в выбросе  $CO_2$  подтверждается положительной взаимосвязью между  $fCO_2$  и общим количеством бактерий во все исследованные сезоны.

Проведенное исследование демонстрирует, что малые реки обогащены органическим веществом, поступающим с водосборов в супераквальные и аквальные ландшафты посредством внутриводосборного и поверхностного стока, за счёт абразионных русловых процессов и процессов мобилизации органических соединений в водные потоки на заболоченных водосборах. Высокое содержание углерода в составе твердого стока может являться следствием слабой размывающей силы речных потоков, связанной с малым продольным уклоном рек, что лимитирует вовлечение минеральной взвеси в речной сток.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00281.

### Библиографические ссылки

1. *Attermeyer K., Catalán N., Einarsdottir K.* Organic Carbon Processing During Transport Through Boreal Inland Waters: Particles as Important Sites // *J. Geophys. Res. Biogeosciences*. 2018. Vol. 123. P. 2412–2428.
2. *Krickov I. V., Lim A. G., Manasyrov R. M.* Riverine particulate C and N generated at the permafrost thaw front: Case study of western Siberian rivers across a 1700 km latitudinal transect // *Biogeosciences*. 2018. P. 6867–6884.

3. *Serikova S., Pokrovsky O. S., Ala-Aho P.* High riverine CO<sub>2</sub> emissions at the permafrost boundary of Western Siberia // *Nat. Geosci.* 2018. Vol. 11. P. 825–829.

4. *Pokrovsky O. S., Viers J., Shirokova L. S.* Dissolved, suspended, and colloidal fluxes of organic carbon, major and trace elements in the Severnaya Dvina River and its tributary // *Chem. Geol.* 2010. Vol. 273/ P. 136–149.

5. *Meybeck M.* C, N, P and S in rivers: from sources to global inputs, in: Wollast, R., Mackenzie, F., Chou, L. (Eds.), *Interaction of C, N, P, and S Biogeochemical Cycles and Global Change*. NNATO ASI Series: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1993. P. 163–193.

6. *Gordeev V. V., Kravchishina M. D.* River flux of dissolved organic carbon (DOC) and particulate organic carbon (POC) to the Arctic Ocean: what are the consequences of the global changes? // *Influence of Climate Change on the Changing Arctic and Sub-Arctic Conditions* / ed by Nihoul J. C. J., Kostianoy A. G. Springer Netherlands, Dordrecht, 2009. P. 145–160. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9460-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9460-6_11)

7. *Greenway H., Armstrong W., Colmer T. D.* Conditions Leading to High CO<sub>2</sub> (>5 kPa) in Waterlogged–Flooded Soils and Possible Effects on Root Growth and Metabolism // *Ann. Bot.* 2006. Vol. 98. P. 9–32.

8. *Richey J. E., Melack J. M., Aufdenkampe A. K.* Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub> // *Nature.* 2002. Vol. 416. P. 617–620.

УДК 550.461

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ВЗВЕШЕННОГО СТОКА В НЕКОТОРЫХ РЕКАХ БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ОБИ

**И. В. Крицков, С. В. Лойко, С. П. Кулижский, О. С. Покровский**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
пр. Ленина 36, 634050, г. Томск, Россия, [krickov\\_ivan@mail.ru](mailto:krickov_ivan@mail.ru)*

Работа посвящена изучению состава речной взвеси основного русла реки Обь и ее малых притоков. Изучены объемы твердого стока, его химический состав и сезонная динамика. Выявлены основные источники образования РВ в контрастных водосборах. Определен вклад растворенной и взвешенной фракции в общий речной сток.

**Ключевые слова:** Обь; речной сток; речная взвесь; органическая взвесь; заболоченные водосборы.

## SEASONAL DYNAMICS OF SUSPENDED FLOW IN SOME RIVERS OF THE MIDDLE OBI BASIN

**I. V. Kritskov, S. V. Loiko, S. P. Kulizhsky, O. S. Pokrovsky**

*National Research Tomsk State University, Lenin Ave. 36, 634050, Tomsk, Russia,  
[krickov\\_ivan@mail.ru](mailto:krickov_ivan@mail.ru)*

The work is devoted to studying the composition of river suspended matter in the main channel of the Ob River and its small tributaries. The volumes of solid runoff, its chemical composition and seasonal dynamics were studied. The main sources of radioactive matter formation in contrasting catchment areas have been identified. The contribution of dissolved and suspended fractions to the total river flow was determined.

**Keywords:** Ob; river flow; river suspension material; organic suspended matter; wetlands.

Континентальный сток в океан, осуществляемый реками, его состав и динамика во времени изучается довольно масштабно. Однако в большинстве исследований по этой теме внимание акцентировано на растворенной фракции речного стока, несмотря на огромный вклад в величину химического стока взвешенных и коллоидных форм нахождения химических элементов. На сегодняшний день проведено достаточно большое количество исследований в эстуарных зонах крупных рек циркумполярной и бореальной зоны. Так, в работе [1] представлен массив данных по концентрации растворенного вещества и его составу в зоне

смещения рек Оби и Енисея, [2] сезонной динамике растворенной фракции р. Таз. По элементному составу речной взвеси (РВ) бореальных и субарктических рек европейской части России [3, 4, 5], рек Восточной Сибири [6]. При этом, практически отсутствуют работы, сочетающие исследование химического состава речной взвеси (РВ) с сезонным контекстом в условиях таежной зоны Западной Сибири.

Для характеристики малых притоков Оби были выбраны две реки, берущие начало в верховых болотах, сформированных на террасе Оби. Река Андрева (площадь водосбора = 257 км<sup>2</sup>, длина = 38 км, среднегодовой расход 2,3 м<sup>3</sup>/с) протекает по узкой пойме через заболоченные таежные и березово-ивовые леса. Водосбор представлен смешанным заболоченным лесом (31 %), низкобонитетным сосновым лесом на торфяниках (25 %), лиственным лесом (20 %), лугами (19 %), темнохвойным лесом (5 %). Преобладающими почвами являются органогенные почвы (88 %), аллювиальные (9 %) и гидроморфные подзолы (3 %). Река Рыбная (площадь водосбора = 98 км<sup>2</sup>, длина = 15 км, среднегодовой расход 2,0 м<sup>3</sup>/с) берет начало в крупном болоте на выступе второй террасы Оби и также покрыта березово-сосновым лесом на заболоченных участках (58 %), низкобонитетным сосновым лесом на торфяниках (9 %), смешанным лесом (20 %), темнохвойным лесом (5 %), лугами (2 %). Почвы представлены органогенными (67 %), аллювиальными (5 %) и подзолами (28 %).

Река Обь обладает большим потенциалом обогащения стока минеральной взвесью, особенно в периоды весеннего паводка. Напротив, малые реки, с сильно заболоченными водосборами, обеднены взвешенными минеральными компонентами. В отличие от крупных рек, русло малых притоков часто локализовано в пределах заболоченных водосборов, что способствует ограничению контакта водного потока с минеральной толщей. Этим объясняется значительная разница в концентрации взвешенных веществ между рекой Обь и ее притоками в период весеннего половодья (50,7 и 8,4 мг/л соответственно). В то же время, повышенная концентрация взвешенных веществ в малых притоках в период наименьшего расхода (осенняя межень), наблюдаемая в настоящем исследовании (рис. 1), представляет наибольший интерес, так как предполагает наличие неминеральных фаз, которые мобилизованы за счет стока болотных вод, несущих органогенную взвесь, либо образованной за счет коагуляции в толще воды.



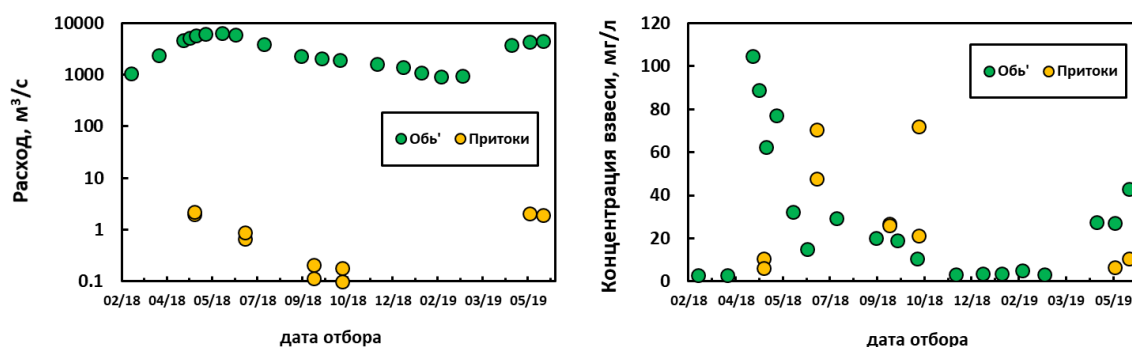


Рис. 1. Динамика расхода воды и концентрации взвеси в Оби и ее притоках

Взвешенное вещество притоков, по сравнению с Обью, обеднено Си, Zr, Tl, Pb и U, но при этом обогащено P, Fe, Mn, Co и As. Также РВ Андрея и Рыбной отличаются от РВ ЗС [7] более высокими концентрациями Fe, Mn, P, As. Высокая концентрация взвешенных веществ (от 30 до 70 мг л<sup>-1</sup>) в малых реках во время летней и осенней межени совместно с высокими концентрациями Fe и Mn во взвеси (рис. 2) указывает на протекание автохтонных процессов с образованием аморфных/полуморфных взвесей. Высокое содержание взвешенного Fe в малых притоках, может быть связано с поступлением железистых бескислородных грунтовых и почвенных вод в гипорейную зону, с последующим образованием аморфных, органически стабилизированных частиц гидроксида железа за счет окисления Fe и Mn с последующим соосаждением сопутствующих элементов (P, As, Co), как это было установлено для малых и средних рек ЗС [7]. В р. Обь, вклад железистых грунтовых вод может быть частично замаскирован содержанием этого элемента в минеральных частицах, образующихся в результате абразии берегов и русла реки.

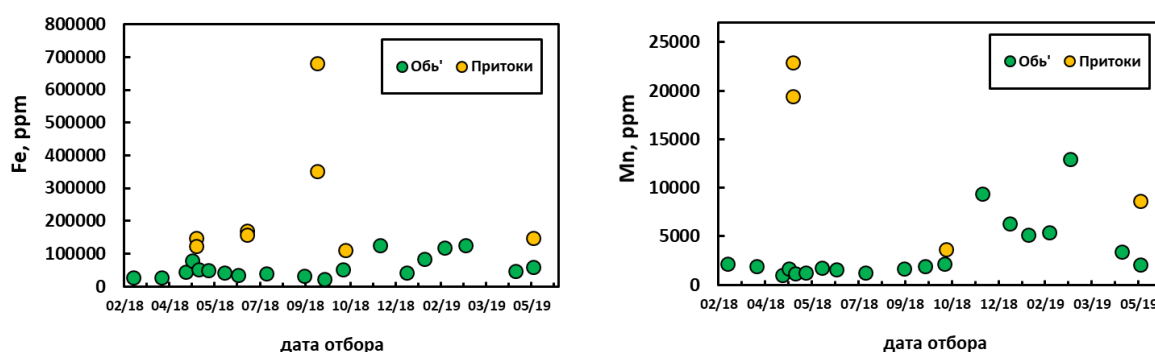


Рис. 2. Динамика концентрации Fe и Mn в речной взвеси Оби и ее притоках

Годовой сток (нормированный по площади водосбора) макро- и микроэлементов, осуществляемый рекой Обь и ее малыми притоками

существенно различается, отражая природу и доминирующий источник выноса в ландшафте (рис. 3). Так, мобилизация минеральных частиц, посредством береговой абразии в крупной реке сильно обогащает ее взвесь кремнием, алюминием и литогенными малоподвижными элементами (трех- и четырехвалентными гидролизатами), тогда как в гипорейной зоне малых рек формируются воды, обогащенные коллоидными формами Fe и Mn. Также в малых реках, в осенний и зимний период может находиться большое количество сопутствующих элементов.

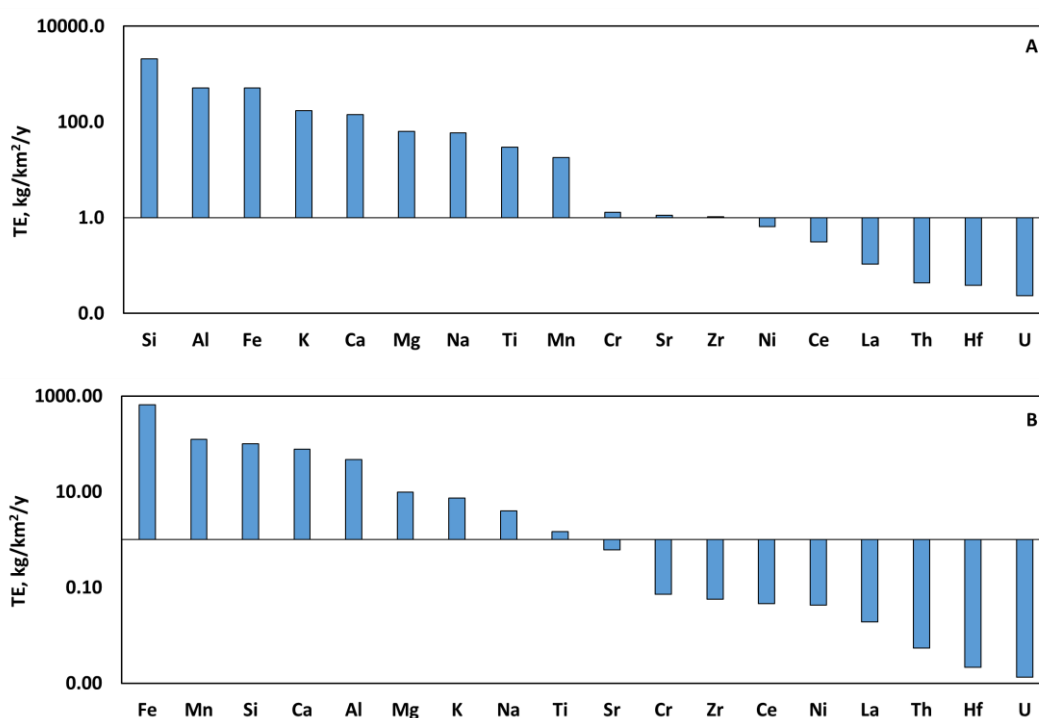


Рис. 3. Гистограммы годового стока (нормированного на площадь водосбора) некоторых петрогенных и микроэлементов во взвешенном веществе (>0.45 мкм) р. Обь (А) и малых притоках (В)

Сравнительный анализ растворенного стока [8] со взвешенным, были выявлены следующие особенности: (1) взвешенные формы миграции лабильных элементов (Na, Ca, Mg, Sr, Ba, Zn и U) составляют < 30 % от общего годового стока, при этом наиболее интенсивный вынос характерен для зимнего периода; (2) Si, K, Rb, тяжелые металлы с высоким сродством к РОВ (Cu, Ni), As и Sb мигрируют как в растворенном, так и во взвешенном виде (доля взвешенной формы колебалась от 30 до 90 %). Высокая доля взвешенного выноса этих элементов может быть связана с ролью растительного опада и растительных остатков, особенно заметной во время весеннего половодья; (3) малорастворимые трех- и

четырёхвалентные металлы (Al, Fe, Y, PЗЭ, Ti, Zr, Hf, Th) и элементы, обладающие высоким сродством к гидроксидам Fe (P, Cr, V, Co) или глинам (Cs, Cd) практически полностью (>90 %) транспортируются во взвешенном состоянии.

Твердый сток в пределах исследованной территории формируется за счет суммарного воздействия внутрпочвенного и поверхностного стока, а также разгрузки грунтовых вод в прибрежной или гипорейной зоне. В зимний период грунтовые воды, связанные с рекой, становятся важным источником растворенных веществ, которые во время транспорта в условиях малых рек могут коагулировать и в дальнейшем мигрировать в виде взвеси.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2024-0006).

### Библиографические ссылки

1. *Gebhardt A. C., Gaye-Haake B., Unger D.* Recent particulate organic carbon and total suspended matter fluxes from the Ob and Yenisei Rivers into the Kara Sea (Siberia) // *Mar. Geol.* 2004. Vol. 207. Iss. 1–4. P. 225–245.
2. *Pokrovsky O. S., Manasyro, R. M., Chupakov A. V., Kopysov S.* Element transport in the Taz River, western Siberia. *Chemical Geology.* 2022. Vol. 614. P. 121180. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2022.121180>
3. *Morozov N. P., Baturin G. N., Gordeev V. V., Gurvich E. G.* On the composition of suspended and bottom sediments in the mouth areas of the Severnaya Dvina, Mezen, Pechora and Ob'. // *Hydrochemical Materials.* 1974. Vol. 60. P. 60–73.
4. *Шевченко В. П., Покровский О. С. Филиппов А. С.* Об элементном составе взвеси реки Северная Двина (бассейн Белого моря) // *Доклады Академии наук.* 2010. Т. 430. №. 5. С. 686–692.
5. *Савенко В. С., Покровский О. С., Дюпре Б., Батурин Г. Н.* Химический состав взвешенного вещества крупных рек России и сопредельных стран // *Доклады академии наук.* 2004. Вып. 398. С.97–101.
6. *Kutscher L., Mörth C.-M., Porcelli D.* Spatial variation in concentration and sources of organic carbon in the Lena River, Siberia // *J. Geophys. Res.-Biogeo.* 2017. Vol. 122. Iss.8. P. 1999–2016.
7. *Krickov I. V., Lim A. G., Manasyrov R. M.* Major and trace elements in suspended matter of western Siberian rivers: First assessment across permafrost zones and landscape parameters of watersheds // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2020. Vol. 269. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.11.005>.
8. *Vorobyev S. N., Pokrovsky O. S., Kirpotin S. N.* Flood zone biogeochemistry of the Ob River middle course // *Appl. Geochemistry.* 2015. Vol. 63. P. 133–145. [doi:10.1016/J.APGEOCHEM.2015.08.005](https://doi.org/10.1016/J.APGEOCHEM.2015.08.005).

УДК 550.461

**ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ИЗ ОРГАНОГЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ ТОРФЯНЫХ И  
МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ  
СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**Д. М. Кузьмина, С. В. Лойко, А. Г. Лим, Г. И. Истигечев,  
С. П. Кулижский, О. С. Покровский**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
пр. Ленина 36, 634050, г. Томск, Россия, [kuzmina.d.m.95@gmail.com](mailto:kuzmina.d.m.95@gmail.com)*

Экспериментально изучен вклад постпирогенного выноса химических элементов из верхних органогенных горизонтов торфяных почв плоскобугристого болота и подзолов иллювиально-железистых сосняков террасы р. Пякупура в годовой химический сток северных рек. Выявлено влияние температуры сгорания органогенных горизонтов, ботанического состава и элемента рельефа на массу выщелачиваемых элементов. Установлены временные границы наиболее полного перехода химических элементов из золы в раствор, а также в натурном наблюдении уточнено время, после которого зола растений уже не меняет химический состав почвенных растворов и открытых микроводоемов внутри болотных массивов.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь; лесоболотные ландшафты; почвенные угли.

**LEACHING OF CHEMICAL ELEMENTS FROM BURNT ORGANIC  
HORIZONS OF BOGS AND FORESTS IN THE NORTHERN TAIGA  
OF WESTERN SIBERIA**

**D. M. Kuzmina, S. V. Loiko, A. G. Lim, G. I. Istigechev,  
S. P. Kulizhsky, O. S. Pokrovsky**

*National Research Tomsk State University, Lenin Ave. 36, 634050, Tomsk, Russia,  
[kuzmina.d.m.95@gmail.com](mailto:kuzmina.d.m.95@gmail.com)*

The contribution of pyrogenic removal of chemical elements from the upper organic horizons of peat soils of swamps and podzols of pine forests located on the terrace of Pyakupur River to the annual chemical runoff of northern rivers was experimentally studied. The influence of combustion temperature of organic horizons, botanical composition and relief on the mass of leached chemical elements was revealed. The time limits for the most complete transition of chemical elements from ash to solution have been established, and field observations have clarified the time after which plant ash no longer changes the chemical composition of soil solutions and open micro-reservoirs within bogs.

**Keywords:** Western Siberia; wetlands; soil coals.

Низовые пожары уничтожают верхние органогенные горизонты почв. Из образующейся золы во время атмосферных осадков выщелачиваются химические элементы, в том числе элементы минерального питания растений, что ведет к снижению на длительных временах экосистемной продуктивности [1, 2, 3]. Для северных территорий, где на песчаных террасах распространены малоплодородные подзолы и торфяные мерзлотные почвы, верхние органогенные горизонты являются основным источником элементов минерального питания для растений [4, 5, 6]. Выщелачивание наиболее сильно влияет на почвенные параметры сразу при первом после пожара выпадении атмосферных осадков, так как на поверхности почвы формируется тонкий слой из хорошо растворимой золы растений, которая, реагируя с водой, может сильно влиять на химические и физико-химические свойства почв и химический состав почвенных растворов. Степень воздействия выщелачивания на почвы зависит от мощности пожара, его продолжительности, температуры горения, а также типа сгораемого субстрата. Несмотря на то, что в литературе есть большое количество экспериментальных и натурных оценок влияния пожара на почвы и круговорот веществ [7; 8; 9; 10; 11], длительно-временное, остаточное влияние пожаров для лесоболотных экосистем Западной Сибири остаются плохо изученными. Поэтому целью данной работы стала оценка влияния выщелачивания золы органогенных горизонтов на величину стока химических элементов с речными водами из затронутых пожаром лесоболотных ландшафтов.

Для достижения поставленной цели было заложено три ключевых участка: два на мерзлом плоскобугристом болоте и один в сосняке лишайниково-зеленомошном. В качестве объектов исследования выбраны почвенные растворы и органогенные горизонты торфяных олиготрофных почв и торфяно-подзолов на болоте и верхние оторфованные горизонты подзолов. Почвенные растворы отбирались из мочажин, топей и микроводоемов внутри болотного массива на гари и несгоревшем участке болота, также отобраны с вершин мерзлых бугров органогенные горизонты с разным ботаническим составом (лишайниковый, моховой), а также верхние 10 см олиготрофного торфа для эксперимента. В сосняке отобраны органогенные горизонты с трех позиций рельефа: повышения, склона и понижения. Для экспериментальной части органогенные горизонты сжигались в муфельной печи, в случае с болотными очесами – при температуре 525 °С, в варианте с лесными подстилками при температурах 300, 450, 600 °С. Далее образцы выщелачивались деионизированной водой, в процессе осуществлялся интервальный отбор проб. После чего во всех полученных водных пробах определялись рН и

электропроводность, определялись концентрации  $\text{Cl}^-$   $\text{SO}_4^{2-}$  и валовое содержание еще 44 химических элементов.

Установлено, что в течении первых двух дней эксперимента с болотными очесами произошел вынос макроэлементов (Na, Ca, Mg, P, K, Si) и микроэлементов (Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Mo). Также за первые два дня выщелачивания произошел переход из золы в раствор 80% лабильных элементов. Среди исследованных субстратов зола мха выделялась своей реактивностью, так как при ее выщелачивание в водный раствор перешло наибольшее количество химических элементов.

В эксперименте с лесными подстилками выявлено, что температура является определяющим параметром для массы выщелачиваемых элементов. Так, при выщелачивании золы, полученной при более высокой температуре, масса некоторых компонентов в растворе также увеличивалась. Во вторую очередь на массу перешедших в раствор химических элементов влияет исходный состав подстилок. Оказалось, что органо-генные горизонты, обладающие большим запасом, будут отдавать в раствор после сгорания большую массу.

В натурном наблюдении семилетней гари установлено, что выщелачивание непосредственно золы сгоревших органо-генных горизонтов уже не происходит, однако некоторые различия в химическом составе почвенных растворов сгоревшего и несгоревшего участка являются результатом изменения физических параметров поверхности гари. Поверхность сгоревшего участка обладает более темной окраской, сильнее нагревается, это приводит к увеличению сезонно-талого слоя и вовлечению химических элементов в гидрологический обмен болота из ранее мерзлых слоев.

Балансовый расчет максимального вклада постпирогенного выноса с водосбора в химический сток рек показал, что максимально поступление элементов из золы в гидрологическую сеть пренебрежимо мало по сравнению с годовым речным выносом и запасами элементов в термокарстовых озерах и составляет менее 1–2 % для большинства элементов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2024-0006).

### **Библиографические ссылки**

1. *Whelan R. J.* The Ecology of Fire. Cambridge University Press, New York, 1995.
2. *Moilanen M., Silfverberg K., Hokkanen T. J.* Effects of wood-ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study // For. Ecol. Manag. 2002. Vol. 171. P. 321–338.
3. *Spencer C. N., Gabel K. O., Hauer F. R.* Wildfire effects on stream food webs and nutrient dynamics in Glacier National Park, USA // For. Ecol. Manag. 2003. Vol. 178. P. 141–153.

4. *Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M.* Climate change and forest fires // *Sci. Total Environ.* 2000. Vol. 262. P. 221–229.
5. *Kasischke E. S., Verbyla D. L., Rupp T. S.* Alaska's changing fire regime – implications for the vulnerability of its boreal forests // *Can. J. For. Res.* 2010. Vol. 40. P. 1313–1324.
6. *Ludwig S. M., Alexander H. D., Kielland K.* Fire severity effects on soil carbon and nutrients and microbial processes in a siberian larch forest // *Glob. Chang. Biol.* Vol. 24. P. 5841–5852.
7. *Köster E., Köster K., Berninger F.* Changes in fluxes of carbon dioxide and methane caused by fire in Siberian boreal forest with continuous permafrost // *J. Environ. Manag.* 2018. Vol. 228, P. 405–415.
8. *Larjavaara M., Berninger F., Palviainen M.* Postfire carbon and nitrogen accumulation and succession in Central Siberia // *Sci. Rep.* 2017. № 7. 12776.
9. *Ivanova G. A., Conard S. G., Kukavskaya E. A., McRae D. J.* Fire impact on carbon storage in light conifer forests of the Lower Angara region, Siberia // *Environ. Res. Lett.* 2011. № 6 (045203), P. 1–6.
10. *Prokushkin A., Hagedorn F., Pokrovsky O.* Permafrost regime affects the nutritional status and productivity of larches in Central Siberia // *Forests.* 2018. № 9 (6), P. 1–18.
11. *Knorre A. A., Kirilyanov A. V., Prokushkin A. S.* Tree ring-based reconstruction of the long-term influence of wildfires on permafrost active layer dynamics in Central Siberia // *Sci. Total Environ.* 2019. Vol. 652. P. 314–319.

УДК 504.53

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПЛАСТИКОМ И МИКРОПЛАСТИКОМ

**Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, К. О. Рябычин, А. А. Мелешко,  
В. Д. Чернюк, М. А. Кудревич**

*Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск,  
Республика Беларусь, [tkukharchyk@gmail.com](mailto:tkukharchyk@gmail.com)*

Обсуждаются методические подходы к изучению загрязнения почв пластиком и микропластиком, апробированные в полевых и лабораторных условиях в Беларуси. Эколого-геохимические исследования выполнены в зонах влияния промышленных предприятий по производству пенополистирольных плит и в прибрежных зонах ряда водохранилищ городских и пригородных водоемов г. Минска. Кратко охарактеризована процедура выделения частиц макро- и микропластика из почв.

**Ключевые слова:** пластик; микропластик; полимеры; полистирол; загрязнение почв.

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO STUDY OF SOIL POLLUTION WITH PLASTIC AND MICROPLASTICS

**T. I. Kukharchyk, S. V. Kakareka, K. O. Rabychyn, A. A. Meleshko,  
V. D. Chernyuk, M. A. Kudrevich**

*Institute for Nature Management of the NAS of Belarus,  
Minsk, Belarus, [tkukharchyk@gmail.com](mailto:tkukharchyk@gmail.com)*

Methodological approaches to the study of soil contamination by plastic and microplastic, tested in field and laboratory conditions in Belarus, are discussed. Ecological and geochemical studies were carried out in the influence zones of industrial enterprises producing polystyrene foam and in the coastal zones of a number of reservoirs of urban and suburban reservoirs in Minsk. The procedure for isolating macro- and microplastic particles from soils is briefly described.

**Keywords:** plastic; microplastic; polymers; polystyrol; soil pollution.

Загрязнение окружающей среды пластиком и микропластиком, их распространение в морских и пресноводных аквальных системах, ледниках и высокогорных районах, почвах различных ландшафтов признаны одной из приоритетных экологических проблем глобального характера [1-3]. Быстрый рост объемов производства и применения полимерных материалов сопровождается ростом объемов образования отходов,



экологически безопасное обращение с которыми относится к сложным задачам [4].

Опасность накопления отходов пластика связана с их крайне медленной деградацией и аккумуляцией в различных природных компонентах. Попадая в окружающую среду пластик представляет серьезную угрозу для животного мира как вследствие поступления в организм и нарушения его функционирования, зачастую со смертельным исходом, так и при внешнем воздействии (опутывание леской или пленкой др.) [5]. Кроме того, в различных видах пластика содержится широкий спектр химических веществ, негативное воздействие которых доказано на примере различных загрязнителей. Возможно также разрушение и фрагментация отходов пластика под воздействием ультрафиолета, физического истирания, перепада температурных условий, механических воздействий и других факторов, что приводит к образованию частиц микропластика – частиц размером менее 5 мм [6].

В отношении изучения и оценки загрязнения почв пластиком и микропластиком пока нет унифицированных подходов и единиц измерения. Перечень применяемых методов и процедур определяется целями и задачами исследований, природными особенностями территории, характером источников воздействия и другими факторами. Например, при изучении прибрежных зон аквальных систем используются методы последовательного обхода выделенных участков, обнаружения и/или сбора отходов; размеры участков при этом значительно варьируют [7-8]. В дополнение используется метод заложения площадок в один или несколько квадратных метров для сбора мелких фрагментов пластика. На пляжах данный метод дополняется просеиванием песка. Указанные методические подходы использованы при изучении прибрежных зон рек в разных регионах мира [9, 10].

Что касается отбора проб почв, то общие стратегии применимы к микропластикам и могут включать отбор проб по систематической, стратифицированной или случайной сети, на трансектах и/или в «горячих» точках [11, 12]. Пробы почв могут быть как точечными, так и смешанными, отобранными с различной глубины. Следует отметить, что наибольшее внимание пока уделяется источникам загрязнения почв сельскохозяйственных угодий вследствие применения полиэтиленовой пленки и мульчирования почв осадком сточных вод [13].

Основной проблемой при извлечении микропластика из почв является сложность разделения минерального субстрата и частиц пластика, а также различное содержание органического вещества. В зависимости от целей и задач исследований, типов пластика и субстратов используется сочетание методов с первоначальным фракционированием

проб на ситах и флотацией в различной плотности растворах, а также термоаналитических, микроскопических, спектроскопических и других методов [14-16].

В Беларуси изучение загрязнения почв пластиком и микропластиком начаты недавно в Институте природопользования и направлены на оценку уровней загрязнения почв в зонах локальных источников воздействия [17], а также прибрежных зон аквальных систем.

В качестве объектов исследования нами выбраны предприятия по производству пенополистирольных плит и других изделий из пенопласта, расположенные в г. Минске и Минской области. При отборе проб почв учитывались источники поступления частиц полистирола, уклоны поверхности, наличие водотоков и другие факторы. Пробы почв отбирались с поверхностных горизонтов; в ряде случаев закладывались почвенные прикопки для выявления возможной вертикальной миграции частиц полистирола.

Для изучения загрязнения прибрежных зон водоемов и водотоков разработаны и апробированы следующие методы исследования: маршрутный с учетом и/или сбором макропластика; заложение площадок со сбором пластика или с просеиванием почв через сита. В ряде случаев отбирались пробы почв и донных отложений для лабораторных определений. Исследования проводились на городских (вдхр. Цнянское, Чижовское, Комсомольское озеро, вдхр. Дрозды) и пригородных водоемах (вдхр. Вяча, Петровичское), а также удаленных от крупных населенных пунктов.

В качестве основных видов антропогенного воздействия на прибрежные зоны рассматривались пляжный организованный и неорганизованный отдых, любительская рыбалка и пешеходные прогулки (с местами для пикников и любительской рыбалки). Длина маршрутов варьировала от 10 до 1000 м в зависимости от характера использования береговой зоны, природных особенностей береговой линии, открытости водной поверхности и других факторов. При маршрутных исследованиях осуществлялась визуальная фиксация отходов пластика и его учет с дифференциацией по назначению изделий, их целостности и размеров.

Размеры площадок в пределах пляжных зон составляли 2x2 м, на участках любительской рыбалки они варьировали от 2x2 до 5x6 м, что определялось, например, размерами зоны скошенного тростника для доступа к открытой воде (в том числе для лодок), наличием специальных сооружений для доступа к воде и других факторов. На каждой площадке проводился сбор всех визуально определяемых отходов пластика или их фрагментов. Далее, совком с площадки снимался верхний слой почвы (глубиной до 1 см) и просеивался через сито с размером ячеек 5 мм. Весь

собранный пластиковый мусор, в том числе просеянный, классифицировался, измерялся, производилась процедура фотофиксации.

Выделение частиц микропластика из почвы осуществлялось с использованием различных процедур. На первом этапе проводилось просеивание проб через стандартный набор сит с определением фракционного состава и формированием навески. Для удаления органических включений использовалась перекись водорода  $H_2O_2$  и сульфат железа  $FeSO_4$ . Далее проба подвергалась флотации в солевом растворе  $ZnCl_2$ . Для разделения частиц микропластика с минеральной частью почвы и его извлечения из раствора использовалось центрифугирование, после чего с помощью фильтровальной установки и вакуумного насоса осуществлялся перенос частиц микропластика путем сливания верхнего слоя соли из пробирок на мембранный фильтр. Заключительный этап — микроскопическое определение частиц микропластика с выделением частиц в виде фрагментов, волокон, пленок и других визуально обнаруживаемых форм.

В докладе обсуждаются методические сложности идентификации частиц микропластика с определением типов полимеров и возможные подходы к решению данной проблемы. Показана необходимость развития полевых исследований и совершенствования методов учета отходов пластика, оптимизации схемы отбора проб почв и их испытаний в лабораторных условиях.

### Библиографические ссылки

1. *Bigalke M., Filella M.* Foreword to the research front on Microplastics in Soils // *Environ. Chem.* 2019. V.16. P. 1–2.
2. *Kim Y.-N., Yoon J.-H., Kim K.-H.* Microplastic contamination in soil environment – a review // *Soil science annual.* 2020. Vol. 71(4). P. 300–308.
3. *Bank M. S.* Microplastic in the Environment: Pattern and Process. *Environmental Contamination Remediation and Management.* Springer. 2022. 354 p.
4. Technical guidelines on the environmentally sound management of plastic wastes. Meeting of the SIWG on plastic wastes. Geneva, 8-10 December 2022. UNEP/CHW/PW-SIWG.3/3.
5. Seasonality of riverine macroplastic transport/van Emmerik et al. // *Sci. Rep.* 2019. № 9. P. 1–9.
6. *Plastics in the Environment/* Ed. by A. Gomiero. London, United Kingdom, IntechOpen, 2019.
7. *González F. D., Hanke G.* Toward a Harmonized Approach for Monitoring of Riverine Floating Macro Litter Inputs to the Marine Environment// *Frontiers in Marine Science.* 2017. № 4. 10.3389/fmars.2017.00086.
8. Riverbank macrolitter in the Dutch Rhine–Meuse delta / van Emmerik [et al.] // *Environmental Research Letters.* 2020. № 15 (10).104087.

9. Plastic Pirates sample litter at rivers in Germany – Riverside litter and litter sources estimated by schoolchildren/ Kiessling et al. // *Environ. Pollut.* 2019. 245. P. 545–557.
10. *Vriend P., Roebroek C., van Emmerik T.* Same but Different: A Framework to Design and Compare Riverbank Plastic Monitoring Strategies// *Frontiers in Water.* 2020. № 2. 563791.
11. A comparative study of soil microplastic pollution sources: a review /R. W. Chia [et al.] // *Environmental Pollutants and Bioavailability.* 2023. Vol. 35:1.
12. Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland/ S. Piehl [et al.] // *Sci. Rep.* 2018. № 8. P. 1–9.
13. *Möller J. N., Löder M.G.J., Laforsch C.* Finding Microplastics in Soils: A Review of Analytical Methods // *Environ. Sci. Technol.* 2020.Vol. 54. P. 2078–2090.
14. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks/ D. He [et al.]// *Trends in Analytical Chemistry.* 2018.№ 109. P. 163–172.
15. *Zhang G., Liu Y.* The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China // *Sci. Total Environ.* 2018. Vol. 642. P. 12–20.
16. Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk/ L. Yang [et al.]// *Sci. Total Environ.* 2021.Vol. 780. P. 146546.
17. *Кухарчик Т. И., Чернюк В. Д.* Загрязнение почв микропластиком при производстве пенополистирола // *Почвоведение.* 2022. № 3. С. 370–380.

УДК 349.4:33.012.332 (476)

**ТЕОРЕТИКО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЦИОНАЛЬНОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ,  
ЗЕМЕЛЬНО-ИМУЩЕСТВЕННЫЕ ОТНОШЕНИЯ  
И МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОХРАНЫ ЗЕМЕЛЬ  
В КОНТЕКСТЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗЕМЕЛЬНОГО  
ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**С. И. Ласточкина**

*Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской  
Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
213410, г. Горки, Беларусь, [7.iris@mail.ru](mailto:7.iris@mail.ru)*

Исследованы аспекты рационального использования земельных ресурсов в Республике Беларусь. Приводится право государственной собственности на землю, освещается правовой режим земельно-имущественных отношений, нормы аграрного права, гражданско-правовая ответственность за нарушение земельного законодательства в контексте действующего земельного законодательства Республики Беларусь.

**Ключевые слова:** земельный участок; земли сельскохозяйственного назначения; земельно-имущественные отношения; предоставление земельных участков; охрана земель; охрана окружающей среды; нарушение земельного законодательства.

**THEORETICAL AND LEGAL ASPECTS OF RATIONAL  
UTILIZATION OF LAND RESOURCES, LAND AND PROPERTY  
RELATIONS AND MECHANISMS OF LAND MANAGEMENT AND  
PROTECTION IN THE CONTEXT OF THE CURRENT LAND  
LEGISLATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

**S. I. Lastochkina**

*Educational Institution «Belarusian State Order of October Revolution and Labor Red  
Banner Agricultural Academy», 213410, Gorki, Belarus, [7.iris@mail.ru](mailto:7.iris@mail.ru)*

The aspects of rational use of land resources in the Republic of Belarus are studied. The right of state ownership of land is given, the legal regime of land and property relations, norms of agrarian law, civil liability for violation of land legislation in the context of the current land legislation of the Republic of Belarus is highlighted.

**Keywords:** land plot; agricultural lands; land and property relations; provision of land plots; land protection; environmental protection; violation of land legislation.

Земля, как уникальное природное тело, является основным природным ресурсом, базой для размещения всех отраслей народного хозяйства, главным средством производства в сельском и лесном хозяйстве, источником получения продовольствия, кладовой минерально-сырьевых ресурсов, а в условиях рыночной экономики приобретает функцию товара и рассматривается как объект социально-экономических отношений. Необходимость охраны земель как функции государственного управления закреплена в ст. 46 Конституции Республики Беларусь [1], в земельном законодательстве, в частности в гл. 2 Кодекса Республики Беларусь о земле [2], в других нормативных правовых актах.

В контексте действующего земельного законодательства Республики Беларусь регламентируется право государственной собственности на землю, которое охватывает как экономическую, так и правовую составляющие безопасности страны. На основании ст. 124–125 и 213, 215 Гражданского кодекса Республики Беларусь (далее – ГК) субъектами права государственной собственности на землю являются Республика Беларусь и ее административно-территориальные единицы [3].

Согласно земельному законодательству Республики Беларусь, основной единицей земельной собственности является земельный участок. Основное целевое назначение земель, земельного участка – это установленные законодательством об охране и использовании земель порядок, условия и ограничения использования земель, земельного участка для конкретных целей. Изменение целевого назначения земельных участков осуществляется на основании соответствующего решения, принятого государственным органом, осуществляющим государственное регулирование и управление в области использования и охраны земель в соответствии с его компетенцией, в порядке, установленном Советом Министров Республики Беларусь [2, 5, 6, 7].

В соответствии с нормами Кодекса Республике Беларусь о земле изъятие и предоставление земельных участков из сельскохозяйственных земель сельскохозяйственного назначения для целей, не связанных с назначением этих земель, осуществляется областными исполнительными комитетами [2, ст. 29]. Одновременно с принятием решения областные исполнительные комитеты в соответствии с их компетенцией при необходимости осуществляют перевод земельных участков из одних категорий и видов в другие [4]. Изъятие и предоставление земельных участков из сельскохозяйственных земель сельскохозяйственного назначения для целей, не связанных с назначением этих земель, а также перевод таких земель в иные категории осуществляются областными исполнительными комитетами с соблюдением требований, установленных п. 3 и п. 4 ст. 49 Кодекса Республики Беларусь о земле [2, ст. 29].

В современном мире очень сложно представить высокий уровень развития сельского хозяйства при отсутствии хорошо развитого аграрного законодательства. В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 17 июля 2014 г. № 347 [6] государственная аграрная политика является одним из направлений внутренней политики Республики Беларусь, обеспечивающим стимулирование повышения эффективности агропромышленного комплекса путем совершенствования сельскохозяйственного производства и его организационно-экономической структуры, рационального использования земель и государственной поддержки агропромышленного комплекса. В соответствии с Законом Республики Беларусь от 11 ноября 2002 года «О личных подсобных хозяйствах граждан» (далее – ЛПХ) ЛПХ представляет собой форму хозяйственно-трудовой деятельности граждан по производству сельскохозяйственной продукции, основанную на использовании земельных участков, предоставленных для этих целей в соответствии с законодательством Республики Беларусь об охране и использовании земель [7].

В то же время в процессе взаимодействия общества с окружающей средой возникают разнообразные общественные отношения. В связи с этим в нашей стране разработан комплекс мер по защите природы, основные положения которого сконцентрированы в экологическом праве. Законодательство об охране окружающей среды формулирует требования, обращенные к объектам и субъектам как источникам воздействия на природную среду и здоровье человека. Так, главой 2 «Личность, общество, государство» Конституции Республики Беларусь устанавливаются права граждан в области охраны окружающей среды, закладываются экономические основы экологических отношений (право собственности на природные ресурсы, в том числе на земельные ресурсы), определяются конституционные гарантии в экологической сфере. Конституционные основы эколого-правового статуса гражданина Республики Беларусь, право на благоприятную для жизни и здоровья окружающую среду закреплены ст. 46 и 55 Конституции Республики Беларусь [1].

На физических лиц распространяются права и обязанности в области охраны окружающей среды, предусмотренные статьями 12 и 14 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп. от 30 декабря 2022 года № 231-3). Экологическое законодательство признает физических лиц субъектами отношений по использованию природных ресурсов (право общего пользования) и субъектами права специального природопользования (хозяйственная деятельность, например, землепользование в целях ведения крестьянского фермерского хозяйства (КФХ), ЛПХ, аренда природных ресурсов, в том числе земельных участков).

Статья 60 Конституции Республики Беларусь декларирует право на возмещение в судебном порядке имущественного вреда и материального

возмещения морального вреда. Так, согласно ч. 2 ст. 46 Конституции Беларуси, наше государство осуществляет контроль за рациональным использованием природных ресурсов, в частности – земельных, в целях их охраны, защиты и восстановления экологического равновесия окружающей среды и в целом для улучшения условий жизни [1].

Согласно ст. 16 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», осуществление специального природопользования разрешается юридическим лицам и физическим лицам, в том числе индивидуальным предпринимателям, на основании решений государственных органов, договора аренды земельных участков, концессионного договора и на иных основаниях, предусмотренных законодательством Беларуси.

Социально-экономическое развитие Республики Беларусь предполагает гражданско-правовую ответственность за нарушение земельного законодательства. Субъективная сторона земельных правонарушений выражается в наличии вины правонарушителя. Земельные правонарушения могут быть совершены как умышленно, так и по неосторожности, как с прямым умыслом, так и с косвенным, а также в результате легкомыслия или небрежности. Юридические лица за земельные правонарушения привлекаются к гражданско-правовой, административной и земельно-правовой ответственности, физические лица к уголовной, административной, гражданско-правовой и земельно-правовой ответственности.

Одной из мер гражданско-правовой ответственности за нарушение земельного законодательства является возмещение вреда, причиненного в результате нарушения земельного законодательства. Вред, как правило, причиняется двумя путями: приведением земель в состояние, непригодное для использования по основному назначению; незаконным удержанием земельного участка, несвоевременным возвратом временно используемых земель. В обоих случаях землепользователь лишается возможности использовать земельный участок по назначению.

Согласно нормам Кодекса Республики Беларусь об административных правонарушениях (далее – КоАП), предусматривается административная ответственность за земельные правонарушения: нарушение порядка использования земли и требований по ее охране (ст. 16.10 КоАП Республики Беларусь); порча земель (ст. 16.11 КоАП Республики Беларусь); самовольное занятие земельного участка (ст. 16.36 КоАП Республики Беларусь); нарушение сроков возврата временно занимаемых земель (ст. 16.10 КоАП Республики Беларусь) [8].

За уничтожение плодородного слоя почвы, невыполнение правил рекультивации земель, загрязнение земель химическими или радиоактивными веществами, отходами, сточными водами, бактериально-паразитическими вредными организмами, иное незаконное повреждение земель ст.



269 Уголовного кодекса (далее – УК) предусмотрена уголовная ответственность. Часть 2 ст. 269 УК устанавливает ответственность за порчу земель, совершенную на экологически неблагоприятной территории, либо если порча повлекла умышленное или по неосторожности причинение ущерба в особо крупном размере [9].

### Библиографические ссылки

1. Конституция Республики Беларусь 1994 года [Электронный ресурс] : с изм. и доп., принятыми на респ. референдумах 24 нояб. 1996 г., 17 окт. 2004 г. и 27 февр. 2022 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2023.

2. Кодекс Республики Беларусь о земле [Электронный ресурс] : 23 июля 2008 г., № 425-3 : принят Палатой представителей 17 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. 28 июня 2008 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.07.2022 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр прав. инф. Респ. Беларусь. Минск, 2023.

3. Гражданский Кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]: 7 декабря 1998 г., № 218-3: принят Палатой представителей 28 октября 1998 г.: одобр. Советом Респ. 19 ноября 1998 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 31.12.2021 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр прав. инф. Респ. Беларусь. Минск, 2022.

4. Положение о порядке перевода земель из одних категорий и видов в другие и отнесение земель к определенным видам: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 13 января 2023 г. № 32. Минск, 2023. 24 с.

5. *Кацубо С. П.* О некоторых аспектах развития аграрно-правовой науки в Республике Беларусь // Актуальные проблемы правового регулирования аграрных, земельных отношений, природопользования и охраны окружающей среды в сельском хозяйстве : матер. междунар. науч.-практ. конф., Москва, 31 марта. 2010 г. / Отв. ред. Г. Е. Быстров, В. Ф. Понька. М. : РУДН, 2010. С. 274–284.

6. О государственной аграрной политике [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь, 17 июля 2014 г., № 347: с изм. и доп. от 28 июня 2023 г. № 195 // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр прав. инф. Респ. Беларусь. Минск, 2023.

7. О личных подсобных хозяйствах граждан, 11 ноября 2002 г., № 149-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2023.

8. Кодекс Республики Беларусь об административных правонарушениях [Электронный ресурс] : 6 января 2021 г., №91-3 : принят Палатой представителей 18 декабря 2020 г. : одобр. Советом Респ. 18 декабря 2020 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 04.01.2022 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2022.

9. Уголовный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 9 июля 1999 г., № 275-3: принят Палатой представителей 2 июня 1999 г. : одобр. Советом Респ. 24 июня 1999 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 13.05.2022 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2022.

УДК 550.47

**ЗАПАСЫ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДИСПЕРСНОМ ЛЬДУ  
МОЛОДЫХ ТУНДРОВЫХ БОЛОТ И РЕЛИКТОВЫХ  
РАННЕГОЛОЦЕНОВЫХ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ БОЛОТАХ  
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**А. Г. Лим, С. В. Лойко, И. В. Крицков, Д. М. Кузьмина,  
С. П. Кулижский, О. С. Покровский**

*Томский государственный университет, пр. Ленина, 36,  
634050, г. Томск, Россия, [lim\\_artiom@mail.ru](mailto:lim_artiom@mail.ru)*

Изучены поровые воды деятельного слоя и торфяной лед реликтового раннеголоценового полигонального болота и молодого болота котловины осушенного термокарстового озера в южной тундре Западной Сибири. Выявлено что запасы С, Р, К, Si, Ca, Mg, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Mo в поровой воде деятельного слоя выше на молодом болоте. В торфяном льду реликтового полигонального болота запасы тех же элементов в несколько раз выше, чем в молодом болоте. Эти результаты показывают, что запасы изученных элементов накапливались в реликтовых болотах в первой половине голоцена, а к настоящему времени в молодых болотах их накопилось заметно меньше. А поскольку замерзшие болота на юге тундры в Западной Сибири к концу века должны исчезнуть, они уже не могут накапливаться. Следовательно, наиболее существенный вклад в увеличение летних потоков химических элементов из водоразделов в реки будут вносить реликтовые, а не молодые болота.

**Ключевые слова:** мерзлые плоскобугристые болота; химический элементный состав; Западная Сибирь; углерод, почвы.

**STOCKS OF CHEMICAL ELEMENTS IN DISPERSED ICE OF  
YOUNG TUNDRA BOGS AND RELICT EARLY HOLOCENE  
POLYGONAL BOGS OF WESTERN SIBERIA**

**A. G. Lim, S. V. Loiko, I. V. Krickov, D. M. Kuzmina, S. P. Kulizhsky,  
O. S. Pokrovsky**

*Tomsk state university, Lenin Av., 36, 634050, Tomsk, Россия, [lim\\_artiom@mail.ru](mailto:lim_artiom@mail.ru)*

We have studied the pore waters of the active layer and dispersed ice of a relic Early Holocene polygonal bog and a young bog of a basin of a drained thermokarst lake in the southern tundra of Western Siberia. Peat accumulation in the polygonal relic bog began about 10,000 years ago. Stocks of C, P, K, Si, Ca, Mg, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Mo in the pore water of the active layer are higher in the young bog. On the contrary, in the dispersed ice of the relict polygonal bog, the stocks of the same elements are several times higher than in the young bog. These results show that the stocks of the studied elements accumulated in the relict bogs in the first half of the Holocene, and by now they have accumulated noticeably

less in young bogs. And since the frozen bogs in the south of the tundra in Western Siberia should disappear by the end of the century, they can no longer accumulate. Consequently, the most important contribution to the increase in the summer fluxes of chemical elements from watersheds to rivers will be made by relict rather than young bogs.

**Keywords:** flat frost mound bog; composition of chemical elements; Western Siberia; carbon; soils.

Последствия таяния вечной мерзлоты являются одним из центральных вопросов экологических исследований, связанных с потеплением климата в Арктике [1]. Мало что известно о химических свойствах торфяного льда, распространенного на вечномерзлых торфяниках, который может легко таять с увеличением толщины активного слоя. Это особенно актуально для континентальных низменностей, которые составляют значительную территорию Арктики и содержат большое количество органического углерода как в твердой (торф), так и в жидкой (поровые воды) фазах [2, 3]. Нами было проведено исследование элементного состава болот — молодого и раннеголоценового с целью оценки запасов элементов и их потенциального стока и воздействия на речной сток элементов.

Место исследования расположено в южной тундре Западной Сибири в зоне непрерывного распространения многолетней мерзлоты (п. Тазовский, ЯНАО, Россия). Мы изучили состав жидкой фазы 3 кернов: 2 торфяных керна с раннего голоценового полигонального болота (полигон и мочажина) и 1 керн, отобранный молодого болота, сформировавшегося на месте дренированного озера. Отбор мерзлой части керна был с использованием металлической трубы и кувалды. Мёрзлые пробы были растоплены в термостате, и затем жидкая фаза извлекалась с использованием нейлоновой сеткой с диаметром ячеек 100 мкм. Всего отобрано 40 проб. После чего, пробы центрифугировали и над осадочную часть фильтровали, используя шприцевые фильтр-насадки с диаметром пор 0,45 мкм.

В раннеголоценовом полигональном болоте вертикальные концентрации макро- и микроэлементов увеличиваются в средней части керна на глубине 70-80 см и 110-120 см, на полигоне и мочажине, соответственно. Это увеличение концентрации отчетливо наблюдается на глубине 40-70 см ниже границы оттаивания. Для примера, концентрации растворенного органического углерода (РОУ) достигали значений 2200 и 600 мг/л. Некоторые другие элементы также демонстрировали пик аккумуляции на этой глубине. Однако, такой тип распределения элементов характерен больше для раннеголоценового болота. Распределение элементов по профилю в керне молодого болота монотонно для большинства элементов (например, РОУ, Na, K, P). В керне молодого болота наблюдается увеличение концентраций элементов не для всех элементов. Концентрации таких элементов, как Na, Mg, Ca, Mn, Fe, Co, Ni и Sr оказались выше в мерзлой части, чем в талой.

Запасы большинства элементов в талом слое молодого болота в 2-12 раз больше, чем в талом слое полигона (Na, Mg, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Mo, Cd). Однако запасы редкоземельных элементов (РЗЭ) в 2-5 раза выше в раннеголоценовом болоте на полигоне, чем в молодом болоте. Запасы элементов в талой части мочажины как правило меньше в 2-3 раза, чем в молодом болоте (C, Na, Al, Si, P, K, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo,). Наблюдаются больше отличия запасов химических элементов в мерзлом слое раннеголоценового и молодого болота. Разница может достигать величин в 5-55 раз. Наиболее обогащен мерзлый слой раннеголоценового слоя. Запасы C, P, V, Zn, Rb, Cd, Cs в нем в 10-55 раз больше, чем в молодом болоте. Содержание остальных элементов (Al, K, Ca, Cr, Cu, Ga, As, Sr, U и РЗЭ) больше в 2-10 раз. В сравнении с мочажинной, запасы таких элементов как C, Be, B, Al, P, K, V, Zn, U в 2-5 раз выше по сравнению с молодым болотом. Колоссальные отличия запасов талого и мерзлого слоя в торфяной залежи варьирует в широком диапазоне. Для раннеголоценового болота на полигоне характерно превышение запасов в 50-100 раз в мерзлом слое относительно талого, то в молодом болоте большинство элементов имеет более слабую выраженность в запасах элементов между талым и мёрзлым слоем. Таким образом, получается, что потенциально оттаивание мерзлой части озерных отложений старого хасырея не окажет сильного влияния на латеральный экспорт элементов.

Запасы в талом слое очень сильно влияют на видовой состав наземной растительности и ее продуктивность. Несмотря на то, что запасы элементов талого корнеобитаемого слоя хасырея в разы превышают запасы на полигональном болоте, видовой состав и продуктивность мало чем отличается от болотного. Причиной тому является то, что в начале процесса трансформации осушенного озера в результате высокой продуктивности происходит интенсивное накопление мощной подстилки. Как правило эта подстилка со временем превращается в торф и тем самым доступ корней растений к озерным отложениям становится более затруднителен. Мощность торфяного слоя над озерными отложениями и интенсивность накопления подстилки являются лимитирующими факторами продуктивности и видового состава растительности хасыреев.

Оптические свойства органического вещества показали, что поровые воды талого слоя раннеголоценового болота характеризуются высокими показателями СУВА<sub>254</sub> (3,2-4,1). Это свидетельствует о высокой доле ароматичных компонентов в составе органических соединений. Однако в мерзлом слое раннеголоценового болота наблюдается резкое снижение СУВА<sub>254</sub> (до 1-1,5), что означает о наличии в составе органического вещества лабильных (низкомолекулярных) соединениях [4]. В молодом болоте в том же слое этот показатель ниже в 2 раза (2,1-2,4) и по вертикальному профилю монотонно неизменный. Еще один интеграль-

ный оптический показатель - спектральный наклон  $S_R$  – свидетельствуют о том, что в составе органического вещества поровых вод талого слоя преобладают соединения с высокой молекулярной массой. Причиной может быть потеря лабильного пула низкомолекулярных соединений в следствие био- и фотодеградациии, или, как следствие микробной продукции низкомолекулярных соединений [5, 6]. По сути, это является фронтом промерзания, в котором циклично год за годом происходит заморозка и оттаивание, при котором возможно формирование низкомолекулярных органических соединений [7].

В талом слое молодого болота выявлены большие запасы по сравнению с раннеголоценовым болотом. Концентрации и запасы химических элементов в мерзлой части профиля раннеголоценового болота больше, чем в талом слое и больше, чем в молодом болоте. В раннеголоценовом болоте обнаружен пик аккумуляции элементов ниже границы талого слоя, чего не было в профиле молодого болота. Запасы элементов в мерзлой части раннеголоценового болота при оттаивании могут существенно повысить сток в речную сеть. Продуктивность и видовое разнообразие растительного покрова молодого болота намного выше, чем в реликтовом раннеголоценовом болоте.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2024-0006).

### Библиографические ссылки

1. Čapek P., Diáková, K., Dickopp J. E. The effect of warming on the vulnerability of subducted organic carbon in arctic soils // *Soil Biology and Biochemistry*. 2015. Vol. 90. P. 19–29.
2. Grosse G., Goetz S., McGuire A. D. Changing permafrost in a warming world and feedbacks to the Earth system // *Environmental Research Letters*. 2016. Vol. 11, iss. 4. P. 040201.
3. Drake T. W., Wickland K. P., Spencer R. G. Ancient low-molecular-weight organic acids in permafrost fuel rapid carbon dioxide production upon thaw // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015. Vol. 112, iss. 45. P. 13946-13951.
4. Ilina S. M., Drozdova O. Y., Lapitskiy S. A. Size fractionation and optical properties of dissolved organic matter in the continuum soil solution-bog-river and terminal lake of a boreal watershed // *Organic geochemistry*. 2014. Vol. 66. P. 14–24.
5. Payandi-Rolland D., Shirokova L. S., Tesfa M. DOC biodegradation behavior along permafrost affected hydrological continuum // *Limnology and Freshwater Biology*. 2020. P. 874–875.
6. Chupakova A. A., Chupakov A. V., Neverova N. V. Photodegradation of river dissolved organic matter and trace metals in the largest European Arctic estuary // *Science of the Total Environment*/ 2018. Vol. 622. P. 1343–1352.
7. Payandi-Rolland D., Shirokova L. S., Labonne F. Impact of freeze-thaw cycles on organic carbon and metals in waters of permafrost peatlands // *Chemosphere*. 2021. Vol. 279. P. 130510.

УДК 631.412

**ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ ПЛОСКОБУГРИСТОГО  
БОЛОТА ЗОНЫ ПРЕРЫВИСТОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

**А. Г. Лим, С. В. Лойко, Т. В. Раудина, И. В. Крицков,  
С. П. Кулижский, О. С. Покровский**

*Томский государственный университет, пр. Ленина, 36,  
634050, г. Томск, Россия, [lim\\_artiom@mail.ru](mailto:lim_artiom@mail.ru)*

Рассмотрено изменение концентрацией ряда химических элементов в торфяной олиготрофной мерзлотной почве и подстилающей торфорганогенной горной породе сфагново-кустарничково-лишайникового бугра плоскобугристого болота бассейна реки Пякупур в области прерывистого распространения многолетней мерзлоты Западно-Сибирской равнины. Установлено, что наиболее обуглероженный торф сформирован в нижней части торфорганогенной залежи. Обогащенность азотом органического вещества выше в мерзлой части, что связано с меньшим содержанием сфагновых мхов в торфе в мерзлой части залежи. Концентрации Na, Mg, Ca, Zn, Ba, As, Nb и Sb выше в сезонно-талой части торфяной почвы. В многолетнемерзлой части торфяной почвы выше концентрации Al, V, Co, Cu, Zr, Nb и Mo. На формирование химического состава оказывают влияние исходный ботанический состав, пылевые выпадения и процессы микробиологической трансформации торфяной массы.

**Ключевые слова:** мерзлые плоскобугристые болота; химический элементный состав; Западная Сибирь; углерод; почвы.

**CHEMICAL ELEMENTS IN SOILS OF A FLAT MOUND BOG IN  
THE ZONE OF DISCONTINUOUS DISTRIBUTION OF  
PERMAFROST (WESTERN SIBERIA)**

**A. G. Lim, S. V. Loiko, T. V. Raudina, I. V. Kritskov, S. P. Kulizhsky, O.  
S. Pokrovsky**

*Tomsk state university, Lenin Av., 36, 634050, Tomsk, Russia, [lim\\_artiom@mail.ru](mailto:lim_artiom@mail.ru)*

The change in the concentration of a number of chemical elements in the peat oligotrophic permafrost soil and the underlying peat-organogenic rock of the sphagnum-shrub-lichen hillock of the flat-hilly bog of the Pyakupur River basin in the area of intermittent permafrost of the West Siberian Plain is considered. It has been established that the most carbonized peat is formed in the lower part of the organogenic peat deposit. The nitrogen enrichment of organic matter is higher in the frozen part, which is associated with a lower content of sphagnum mosses in peat in the frozen part of the deposit. The concentrations of Na, Mg, Ca, Zn, Ba, As, Nb and Sb are higher in the seasonally thawed

part of the peat soil. In the permafrost part of the peat soil, the concentrations of Al, Ba, B, V, Co, Cu, Zr, Nb and Mo are higher. The formation of the chemical composition is influenced by the initial botanical composition, dust fallout and the processes of microbiological transformation of the peat mass.

**Keywords:** flat frost mound bog; composition of chemical elements; Western Siberia; carbon; soils.

Особое внимание уделяется оценке воздействия климатических изменений на различные компоненты ландшафтов и потоки химических элементов. Согласно отчету ИРСС [1], наибольшие изменения затронут северные регионы, охваченные многолетней мерзлотой, что в свою очередь приведет к существенной трансформации экосистем. Ландшафты криолитозоны Западной Сибири в основном представлены мерзлыми бугристыми и полигональными болотами [2]. Их торфяная залежь, в условиях ограниченного участия грунтовых вод в зоне многолетнемерзлых пород, играет решающую роль в формировании элементного состава водоёмов, дренирующих болотные массивы [3]. При дальнейшем потеплении будет увеличиваться объём деятельного слоя болот, что приведёт к увеличению роли торфяной залежи в формировании гидрохимических параметров поверхностных вод заболоченных водосборов. В связи с этим становится актуальной оценка содержания, форм и запасов химических элементов в торфяных залежах мерзлых болот, для чего и выполнена данная работа.

Территория исследования расположена в северотаёжной зоне, для исследования был выбран участок мерзлого плоскобугристого болота ( $63^{\circ}47'50''$ ;  $75^{\circ}33'22''$ ). Образцы отобраны из керна, полученного путём механизированного бурения установкой УКБ-2. Мощность торфа 1 м. глубина сезонно-талого слоя (СТС) 43 см.

Отобранные пробы анализировали на содержание азота и углерода путём Cu-O каталитического сжигания при  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  с точностью к стандарту  $\leq 0.5\%$  (ThermoFlash 2000 CNAalyzer). Для определения элементного состава образцы предварительно подвергались кислотному разложению и затем были проанализированы на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (Agilent 7500 ce).

Несистематические вариации содержания углерода и азота наблюдались с глубиной по всему керну, с пиком концентрации N около 80 см и резким уменьшением содержания в минеральных горизонтах. Наибольшие концентрации органического углерода наблюдаются у основания торфяной залежи ( $64,4 \pm 0,2\%$ ). Концентрация азота в многолетнемерзлом торфе выше, чем в талом ( $1 \pm 0,2\%$  и  $0,7 \pm 0,1\%$ , соответственно, разница значима при  $p = 0,001$ ). Отношение C/N

снижается с  $72 \pm 16$  в 0-43 см талого слоя к  $50 \pm 10$  в мерзлой части (43–100 см). В пределах нижней границы СТС выявлено локальное увеличение концентрации N, а также почти 2-кратное уменьшение отношения C/N. Вероятнее всего это связано с тем, что на границе СТС и мерзлой торфорганогенной породы (МТП), как было показано в работе Моргалева с соавторами [4], происходит резкое увеличение микробной активности. Несмотря на то, что имеется равное отношение количества аэробных жизнедеятельных клеток в СТС и МТП, в СТС наблюдается снижение микробной активности, что свидетельствует о его истощенности. Микробная активность в зоне вечной мерзлоты является немаловажным фактором, оказывающим существенное влияние на цикл органического углерода и азота в условиях изменения климата [5].

В работе В. А. Степановой [6] было показано, что талые болота Западной Сибири имеют тенденцию постепенного снижения концентрации химических элементов от основания торфяной залежи к её поверхности. Для проверки наличия подобного тренда для изученного болота нами были рассчитаны средние значения концентраций, стандартные отклонения и коэффициенты вариации для СТС (0-43 см) и МТП (43-100 см) залежи. Оказалось, что средние значения содержания многих элементов в СТС выше, чем в МТП. Однако статистически значимые различия с использованием U-критерия Манна-Уитни ( $p < 0.05$ ) для концентраций элементов в СТС и МТП были выявлены лишь для N, Na, Mg, Ca, Zn, Ba, As, Nb и Sb. При этом Na, Mg, Ca, Zn, As и Sb имеют статистически достоверно большее содержание в СТС, чем МТП, а концентрации N, Ba и Nb наоборот, достоверно выше в МТП. Однако несмотря на наличие достоверных различий лишь для 9 элементов утверждаем, что различия средних имеют физический смысл. Чтобы продемонстрировать это мы сравнили значения верхних квартилей концентраций рассматриваемых элементов для СТС и МТП. Для Na, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, Fe, Zn, Li, B, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu верхние квартили концентраций в сезонно-талом слое в 1,2-6,9 раза выше, чем в многолетнемерзлом торфе, а для C, N, Al, Ba, B, V, Co, Cu, Zr, Nb, Mo в 1,0-0,6 раза ниже, соответственно. То есть экстремумы 2/3 изученных элементов приурочены к верхней части торфяной залежи. С одной стороны, это обогащение связано с биологическим контролем распределения элементов в органогенных горизонтах, как это известно для других регионов [7]. Однако эти экстремумы не связаны с поверхностью торфяной почвы и скорее всего имеют иную природу.

Обратная картина наблюдается для Al, Ba, B, V, Co, Cu, Zr, Nb и Mo. Средние концентрации этих элементов выше в МТП. Так, содержание Al в сезонно-талом слое составляет 1487 ppm, а в многолетнемерзлом слое



2186 ppm, аналогично для В – 4555 и 6090 ppm, для V – 2000 и 2335 ppm. Концентрация Р в мерзлой и талой частях залежи существенно не отличаются (285 и 210 ppm). Наибольшая концентрация К и Al приурочена к бывшему иллювиальному горизонту, что указывает на некоторое накопление в нём алюмосиликатов на этапах педогенеза, предшествовавших торфонакоплению. Наибольшие концентрации К, Р, Fe приурочены к глубинам 15-20 см, а также к верхней части торфяной залежи. Это может быть связано как с биологической аккумуляцией, так и с ботаническим составом торфа, который здесь представлен лишайниковым типом [8, 9, 10].

Талая часть торфяной залежи характеризуется большими коэффициентами вариации значений концентрации элементов, чем мерзлая: для Al 71 % и 46 %, Р 43 % и 21 %, К 75 % и 34 %, Fe 68 % и 39 %, соответственно. При подсчёте этих величин не учитывался придонный образец торфа. Эти показатели характеризуют большую временную изменчивость условий торфонакопления при образовании верхних слоёв торфа, что связано с формированием криогенного нанорельефа, характеризующегося существенной пространственно-временной динамикой.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00281.

### Библиографические ссылки

1. IPCC, 2013: Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
2. Новиков С. М. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири // СПб.: ВВМ. 2009. Т. 209. С. 536.
3. Pokrovsky O. S., Manasypov R. M., Loiko S. V., Shirokova L. S. Organic and organo-mineral colloids in discontinuous permafrost zone // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2016. Vol. 188. P. 1–20.
4. Morgalev Y. N., Lushchaeva I. V., Morgaleva T. G. Bacteria primarily metabolize at the active layer/permafrost border in the peat core from a permafrost region in western Siberia // *Polar Biology*. 2017. Vol. 40. P. 1645–1659.
5. Åkerman H. J., Johansson M. Thawing permafrost and thicker active layers in sub-arctic Sweden // *Permafrost and periglacial processes*. 2008. Vol. 19, iss. 3. P. 279–292.
6. Stepanova V. A., Pokrovsky O. S., Viers J. Elemental composition of peat profiles in western Siberia: Effect of the micro-landscape, latitude position and permafrost coverage // *Applied Geochemistry*. 2015. Vol. 53. P. 53–70.
7. Reimann C., de Caritat P. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors // *Science of the total environment*. 2005. Vol. 337, iss. 1-3. P. 91–107.

8. *Peteet D., Andreev A., Bardeen W., Mistretta F.* Long term Arctic peatland dynamics, vegetation and climate history of the Pur-Taz region, western Siberia// *Boreas*. 1998. Vol. 27, iss. 2. P. 115–126.

9. *De Caritat P., Reimann C., Bogatyrev I.* Regional distribution of Al, B, Ba, Ca, K, La, Mg, Mn, Na, P, Rb, Si, Sr, Th, U and Y in terrestrial moss within a 188,000 km<sup>2</sup> area of the central Barents region: influence of geology, seaspray and human activity// *Applied geochemistry*. 2001. Vol. 16, iss. 2. P. 137–159.

10. *González A. G., Pokrovsky O. S.* Metal adsorption on mosses: toward a universal adsorption model // *Journal of colloid and interface science*. 2014. Vol. 415. P. 169–178.

УДК: 631.484:631.487

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА И ПЛОДОРОДИЯ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЛЕСОСТЕПНЫХ ПОЧВ В РАЙОНЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

**Ф. Н. Лисецкий, А. О. Полетаев, М. Е. Родионова**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,  
Белгород, ул. Победы 85, 308015, РФ, [fnliset@mail.ru](mailto:fnliset@mail.ru)*

Установлено, что в биоклиматических условиях типичной лесостепи при увеличении оценки качества залежных почв, рассчитанной по величинам 18 диагностических показателей, опережающими (в три раза) темпами возрастает содержание в горизонте А органического углерода. Почвы, формировавшиеся при самозаращении лесом, отличаются от залежных почв под луговой степью более высокой (на 13 %) оценкой качества почв за счет опережающего накопления углерода, азота, кальция, цинка и физической глины.

**Ключевые слова:** разновременные залежи; качество почв; биогеохимия почв; органическое вещество почв; типичная лесостепь.

## ASSESSMENT OF CHANGES IN ORGANIC CARBON AND FERTILITY OF POSTAGROGENIC FOREST-STEPPE SOILS IN AN AREA OF LONG-TERM LAND USE

**F. N. Lisetskii, A. O. Poletaev, M. E. Rodionova**

*Belgorod State National Research University, Pobeda st., 85, 308015, Belgorod,  
Russian Federation, [fnliset@mail.ru](mailto:fnliset@mail.ru)*

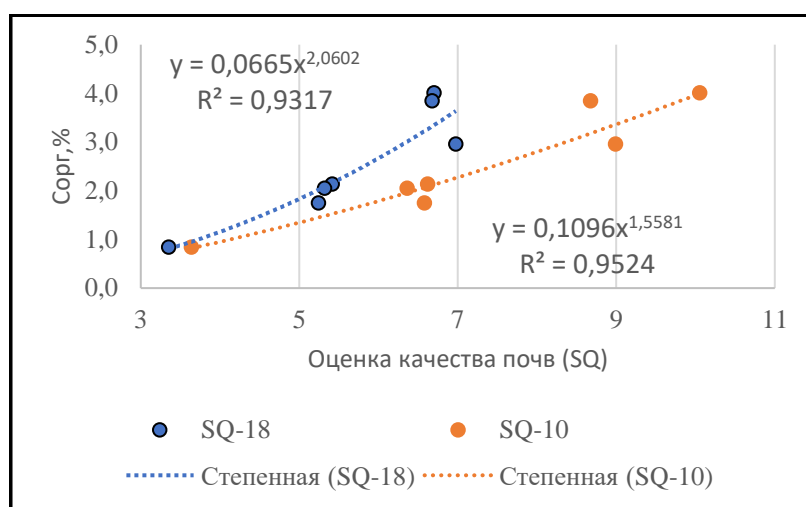
The increase in the assessment of the quality of fallow soils in the bioclimatic conditions of a typical forest-steppe, which was calculated using 18 diagnostic indicators, lags (three times) behind the rate of increase in the content of organic carbon in the A horizon. Soils that were formed during self-overgrowth with forests differ from fallow soils under the meadow steppe higher (by 13 %) assessment of soil quality due to the advanced accumulation of carbon, nitrogen, calcium, zinc and physical clay.

**Keywords:** multi-temporal fallow lands; soil quality; soil biogeochemistry; soil organic matter; typical forest-steppe.

С биогеохимической точки зрения ресурсы потенциального плодородия определяются не только содержанием эссенциальных элементов, но и тех, которые участвуют в осаждении органического вещества (ОВ) и образовании органо-минеральных соединений и их

закреплению, то есть в иммобилизации органо-минеральных соединений [1]. Цель работы — анализ изменений содержания ОВ в контексте агрогенных и постагрогенных биогеохимических трансформаций в почвах разновременных залежей. Почвенные образцы отобраны на залежах в полукруге правого берега р. Ворсклы радиусом до 4,6 км от детинца Хотмыжского городища, где обнаружены отложения трех культур (многоваликовой керамики, роменской и древнерусской) и периода XVII-XVIII вв. [2]. Фоновые почвы — серые лесные и черноземы оподзоленные. Отбор образцов проводили для слоя 0-20 см, но ниже горизонта Ад с мощностью 4-10 см (в среднем 7 см). Поэтому средняя мощность анализируемой части горизонта А составляла 14,6 см (при размахе величин от 9 до 20 см). Разработанная ранее пространственно-временная модель аграрной округи Хотмыжска отражает этапы землепользования, начиная с VIII-XII вв. и по настоящее время [3]. Исходя из исторического контекста, это земли с наиболее значительной агрогенной нагрузкой на Белгородчине. Как показано ранее [5], индикаторами длительного агрогенеза могут выступать наряду с ОВ элементы рассеяния и элементы аккумуляции. Используя полный набор элементов, определяемых рентгеноспектральным флуоресцентным анализом, а также обоснованный перечень необходимых и полезных для растений макро- и микроэлементов [4], при расчетах учтено содержание 14 эссенциальных элементов: К, Mg, Ca, P, S, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cl, Si, Al, Co. Оценку качества почв (SoilQuality) — SQ проводили по нескольким наборам диагностических показателей путем расчета среднегеометрического значения. Кроме содержания 14 эссенциальных элементов при расчете SQ учитывали пять дополнительных показателей: водопрочность агрегатов размером 1-2 и 2-3 мм, содержание мортмассы и углерода мортмассы (%), валового азота и частиц <0,01 мм. Из последующего анализа был исключён один параметр – содержание Si (с коэффициентом вариации <10 %). Это позволило оценить интегральные отличия потенциального плодородия почв, находящихся при различной длительности в залежах под луговой степной растительностью и почв под лесами, как генетически наиболее близких зональным эталонам в данных биоклиматических условиях, а оценка их бонитета может рассматриваться как характеристика финальной стадии автогенной сукцессии. Уравнение регрессии между содержанием Сорг и величинами SQ<sub>18</sub> наиболее адекватно можно представить степенной зависимостью:  $Sорг = 0,0665 \cdot SQ^{2,0602}$  (при R<sup>2</sup>=0,93). Это уравнение, которое также можно выразить в линейном виде, хотя при некотором снижении достоверности аппроксимации (R<sup>2</sup>=0,83), позволяет заключить, что увеличением величины SQ<sub>18</sub> в 2 раза (при диапазоне SQ<sub>18</sub> изменения от 3,4 до 7,0) достигается рост содержания Сорг в 6 раз (от 0,62 до 3,62 %). Если оценивать степень детерминированности гумусности лесостепных почв от отдельных показателей потенциального плодородия,

то это можно представить в виде ранжированного убывающего ряда содержаний:  $N > S > Zn > Ca > Ni > Cl > Cu > K >$  (частиц  $< 0,01$  мм)  $> P$ . Выполненный отбор наиболее значимых параметров и представление уровня плодородия как оценки качества почв  $SQ_{10}$  расширил диапазон этого показателя и повысил тесноту связи с содержанием Сорг (рисунок). Однако надо отметить, что включение большего числа показателей, как в случае с оценкой  $SQ_{18}$ , формирует более широкий контекст ресурсов потенциального плодородия, что отражает возможности диагностировать круг факторов, определяющих наибольшую углероддепонирующую способность почв.



Зависимость содержания органического углерода (Сорг) почв с оценкой их качества по 18 и 10 диагностическим показателям

Сравнение качества почв из горизонта А у залежей, сформированных под лесом (без учета зонального аналога) и под травянистой растительностью показывает, что величины и  $SQ_{18}$ , и  $SQ_{10}$  больше у почв под лесной растительностью. Примечательно, что исследование в Белгородской области восстановленных горизонтов у безлесных залежных почв показало, что в степной зоне, как залежи возрастом до 10 лет, так и более зрелые (около 70 лет), отличались более активным гумусонакоплением, чем залежи в зоне лесостепи [6]. В типичной лесостепи постагрогенные почвы, которые формируются при самозарастании лесом в последние десятилетия, в среднем имеют более высокую (на 13 %) оценку качества почв ( $SQ_{10}$ ) по сравнению с залежами под луговой степью. Это обусловлено, прежде всего, более высоким ( $> 20$  %) содержанием  $Cl$ , Сорг, валового  $N$ ,  $S$ ,  $Mn$ , ФГ,  $Ca$  и  $Zn$  в гор. А серых лесных почв под разновозрастной лесной растительностью. При том, что почва в заповедной дубраве (участок «Лес на Ворскле») уступает остальным изученным объектам по большинству показателей (Сорг,  $N_{вал.}$ ,  $S$ ,  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Ni$ , ФГ). Почвы под травянистой растительностью

отличаются повышенным содержанием мортмассы и Al. Процессы выщелачивания, связанные с потерей из гор. А миграционно подвижных оксидов, диагностирует коэффициент элювиирования [10], вычисляемый по формуле:  $Ke = SiO_2 / (MnO + CaO + K_2O + MgO + Na_2O)$ . Если почва под коренной дубравой ожидаемо имеет наибольшую величину  $Ke = 15,4$ , то у постагрогенных залежей под лесной растительностью в среднем за полувековой период определилась значительно более низкая величина  $Ke = 8,4$ , тогда как у постагрогенных почв, сформированных под травянистой растительностью,  $Ke = 10,1$ .

Оценка водопрочности макроагрегатов залежных почв показала, что под лесом она на 10-20 % ниже, чем у почв под луговой степью, причем у последних водопрочность возрастает при уменьшении размера фракций (от 76 % (2-3 мм) до 81 % (1-2 мм)). При этом содержание Сорг в более мелких макроагрегатах лишь незначительно больше, чем у более крупных макроагрегатов, но у почв под травянистой растительностью это различие несколько больше, чем у почв под лесом. Ранее было показано, что рост микроагрегированности залежных почв, определяемой по соотношению доли частиц и агрегатов диаметром 50-250 мкм к доле элементарных почвенных частиц той же размерности, в 1,8 раза обеспечивается увеличением содержания ОВ в 2,5 раза [7]. Устойчивые микроагрегаты (53-250 мкм) содержат грубое ОВ, а неагрегированные частицы (<53 мкм) обогащены веществами с повышенным содержанием азота [8].

Возникновению самоорганизации в процессе воспроизводства ОВ способствуют когерентные взаимодействия между его подсистемами, какими являются инертный гумус (ИГ), лабильные гумусовые вещества (ЛГВ), негумифицированное ОВ (НВ), а важным условием сохранения и обновления собственно гумусовых веществ является поддержание определенных соотношений ИГ и ЛГВ, гумуса и НВ [9]. В изученных нами объектах при увеличении доли предгумусовых веществ (легко трансформируемого ОВ, получаемого экстракцией горячей водой) в 3,3 раза (с 0,3 до 1 %) содержание закрепленного в почве Сорг повышается в 6 раз.

Учет того обстоятельства, что почвы равнинных степных ландшафтов содержат порядка 1/4 количества углерода, депонированного в российских почвах, определяет актуальность оценок депонирующего потенциала экосистем с разным биоклиматическим потенциалом [11]. Углеродпротекторная емкость почвы (СРС) оценивается по величине стабилизированного и защищенного от разложения ОВ, для чего предложено использовать формулу расчета СРС, учитывающую долю гранулометрических фракциях пыли и глины с размером частиц <0,02 мм [12]. Выполненные расчеты по изученным объектам показали, что постагрогенные почвы, сформированные под травянистой растительностью и под лесом, имеют различия по величинам СРС – 23,3 и 21,8 г С кг<sup>-1</sup> соответственно.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169/>.

### Библиографические ссылки

1. *Черкинский А. Е.* ЭПП метаморфизма органического вещества // Элементарные почвообразовательные процессы. М.: Наука, 1992. С. 44–58.
2. *Божко А. А.* Крепости юго-западного фаса Белгородской черты: археологические исследования и современное состояние // Белгородская черта : Сборник статей и материалов по истории Белгородской оборонительной черты / Белгородская региональная общественная организация "Историческое общество "Ратник". Редколлегия: В.М. Жигалов [и др.]. Выпуск 4. Белгород : ООО "КОНСТАНТА", 2019. С. 20–28.
3. *Лисецкий Ф. Н., Замураева М. Е.* Антропогенная обусловленность развития эрозионных процессов в староосвоенных земледельческих районах // Двадцать четвертое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов : Доклады и сообщения, Барнаул, 05–09 октября 2009 года. Барнаул : Алтайский государственный университет, 2009. С. 131–133.
4. *Битюцкий Н. П.* Микроэлементы высших растений. Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета, 2011. 367 с.
5. *Лисецкий Ф. Н., Буряк Ж. А., Зеленская Е. Я.* Биогеохимические аспекты плодородия почв в древнеземледельческих районах Крыма // Агрохимический вестник. 2019. № 4. С. 14–18.
6. *Мальшев А. В.* Особенности воспроизводства почв на залежах в различных физико-географических условиях Белгородской области // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45, № 1. С. 40–50.
7. *Булугин С. Ю., Лисецкий Ф. Н.* Формирование агрегатного состава почв и оценка его изменения // Почвоведение. 1996. № 6. С. 783–788.
8. Органическое вещество и минеральная матрица почв: современные подходы, определения терминов и методы изучения (обзор) / В. А. Холодов [и др.] // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2023. Т. 117. С. 52–100.
9. *Масютенко Н. П.* Научные основы и управление воспроизводством органического вещества почв // Научные и практические основы сохранения плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения в адаптивно-ландшафтном земледелии. Белгород : Крестьянское дело, 2004. С. 101–106.
10. *Лисецкий Ф. Н., Смекалова Т. Н., Маринина О. А.* Биогеохимические особенности разновременных залежей в степной зоне // Сибирский экологический журнал. 2016. № 3. С. 436–448.
11. Продуктивность растительности и запасы углерода в луговой степи на залежи в Башкирском Предуралье (Южно-Уральский регион) / Э. З. Баишева [и др.] // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18, № 4. С. 64–73.
12. *Hassink J.* The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles // Plant and Soil. 1997. Vol. 191. P. 77–87.

УДК 504.54 (912.412)

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЭСТЕТИЧЕСКОГО ВОСПРИЯТИЯ ЛАНДШАФТА ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

**Э. А. Лозбенева, Н. Н. Калущкова**

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, Россия,  
[elina7-sheremet@mail.ru](mailto:elina7-sheremet@mail.ru), [nat\\_nnk@mail.ru](mailto:nat_nnk@mail.ru)*

Визуальные качества ландшафтов во многом определяют туристско-рекреационный потенциал территории. Внедрение современных ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования (ДДЗ) высокого пространственного разрешения позволяют оценить многие эстетические показатели, которые ранее оценивались только при полевых маршрутах. На основе автоматизированных методов ГИС можно оценить общую эстетическую привлекательность ландшафтов и значительно оптимизировать туристско-рекреационные маршруты.

**Ключевые слова:** эстетическое восприятие ландшафта; ГИС-технологии; дистанционное зондирование; БПЛА; эстетические показатели; туристско-рекреационный маршрут; эстетическая привлекательность.

## STUDIES OF AESTHETIC PERCEPTION OF LANDSCAPE USING REMOTE METHODS

**E. A. Lozbeneva, N. N. Kalutskova**

*Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia,  
[elina7-sheremet@mail.ru](mailto:elina7-sheremet@mail.ru), [nat\\_nnk@mail.ru](mailto:nat_nnk@mail.ru)*

The visual qualities of landscapes largely determine the tourist and recreational potential of the territory. The introduction of modern GIS technologies and remote sensing data (RS) of high spatial resolution makes it possible to evaluate many aesthetic indicators that were previously assessed only during field exploration. Based on automated GIS methods, it is possible to assess the overall aesthetic attractiveness of landscapes and significantly optimize tourist-recreational routes.

**Keywords:** aesthetic perception of landscape; GIS technologies; remote sensing; UAV; aesthetic indicators; tourist-recreational route; aesthetic attractiveness.

**Введение.** Современные исследования в области эстетического восприятия ландшафта во многом связаны с необходимостью планирования инфраструктуры для туристическо-рекреационной деятельности. В ходе исследования нами была проведена эстетическая оценка ландшафтов



непосредственно в поле, а также с помощью ГИС-технологий с использованием ДДЗ высокого пространственного разрешения с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Так как большая часть современных исследований направлена на разработку авторских методик оценки эстетических свойств ландшафтов, перед нами стояла задача разработки собственной методики с внедрением автоматизированных моделей ГИС-оценки.

Исследование проводилось на территории природной достопримечательности Белоградчишские скалы (Северо-Западная Болгария) в летние сезоны 2016 и 2019 гг. В настоящее время территория находится в листе ожидания получения статуса геологического парка (геопарка) ЮНЕСКО [1]. Скальный комплекс входит в состав крупного Белоградчишского антиклинория, в ядре которого вскрываются и выходят на поверхность красноцветные конгломераты и песчаники Петроханской терригенной группы [2]. Устойчивое развитие туризма является одним из приоритетных направлений организации геопарков, на территории которых оптимальная конфигурация сети туристско-рекреационных маршрутов должна охватывать как можно больше уникальных геологических объектов и эстетически привлекательных ландшафтов.

*Материалы и методы исследования.* В настоящее время существует довольно много методических подходов к оценке эстетического восприятия ландшафтов [3, 4, 5, 6, 7]. Особое значение имеют ГИС-технологии, которые могут применяться не только для анализа большого массива данных, но и для верификации с результатами полевых исследований. Проведение аэрофотосъемки с БПЛА сегодня является одним из актуальных методов сбора пространственных данных высокой точности [8, 9, 10]. Внедрение в автоматизированные модели ГИС-оценки дистанционных данных сверхвысокого разрешения позволяет определять эстетическую привлекательность открывающихся пейзажных видов с любой точки, а также оптимизировать туристические маршруты.

В ходе работы нами использовались следующие исходные данные:

1) GPS-треки вдоль туристических маршрутов и отметки обзорных точек, оценка эстетических показателей с обзорных точек;

2) Аэрофотосъемка с БПЛА на территорию комплекса Белоградчишские скалы с высоты 400 м (DJI Phantom 4 Pro) и вдоль туристических маршрутов с высоты 100 м (DJI Mavic Pro), а также фотосъемка пейзажных панорам с обзорных точек;

3) Космические снимки Landsat-8 OLI, а также цифровая модель рельефа SRTM DEM.

Для оценки эстетического восприятия ландшафта за основу взята методика К. И. Эрингиса и А. Р. А. Будрюнаса, адаптированная для

территории исследования. На примере туристического маршрута «Лепеница», в ходе которого открываются 9 обзорных точек, нами оценивались 25 эстетических показателей с каждой из точек. Но только 15 показателей можно оценить с помощью автоматизированных ГИС с использованием ДДЗ (таблица).

#### Оценка эстетических показателей в баллах

Эстетические показатели			Форма оценки
Общее восприятие пейзажа	1	Глубина и разнообразие перспектив	Средняя – 1 б, дальняя – 1 б, сочетание обеих – 2 б
	2	Многоплановость	Количество
	3	Поясность	Количество
	4	Девственность пейзажа	Измененный – 0 б, частично измененный – 1 б, девственный – 2 б
	5	Наличие водных объектов	Не выделяется – 0 б Выделяется – 1 б
Выразительность рельефа	6	Обилие горных вершин	Количество
	7	Обилие горных вершин на линии горизонта	Количество
	8	Обилие выходов скальных обнажений	Количество
Пространственное разнообразие растительности	9	Общая лесистость пейзажа	Низкая – 1 б, средняя – 2 б, высокая – 3 б
	10	Обилие залесенных горных вершин	Количество
	11	Обилие различных древостоев	Количество
	12	Обилие открытых пространств в лесистом пейзаже	Количество
Антропогенная трансформация пейзажа	13	Урбанизированность пейзажа	Выделяется или частично выделяется городская застройка – 1 б, отсутствует – 2 б
	14	Обилие антропогенных объектов	Количество
	15	Обилие антропогенных объектов на линии горизонта	Количество

Основной рабочий процесс в ГИС с применением дистанционных методов исследования территории был разделен на три последовательных этапа:

1) Предварительная обработка исходных данных: создание цифровой модели (DTM) и детального ортофотоплана на основе аэрофотосъемки с БПЛА, создание комбинированной модели на основе SRTMDEM и DTM;

2) Эстетическая оценка ландшафтов: расчет границ визуальных бассейнов с обзорных точек, разработка индивидуальных алгоритмов для оценки эстетических показателей;

3) Оценка общей эстетической привлекательности пейзажных видов с модельных точек в пределах комплекса Белоградчишских скал.

Предварительная обработка изображений аэрофотосъемки и создание цифровой модели местности (DTM) проводились в программном обеспечении AgisoftMetashape. Анализ и визуализация основного массива пространственных данных осуществлялись в программах EsriArcGIS 10.3/10.8, QGIS 3.22.3, SAGAGIS 7.8.2. Создание индивидуальных моделей ГИС-оценки для каждого эстетического показателя проводилось в функциональном модуле ArcMap «ModelBuilder».

*Результаты исследования.* Визуальное восприятие территории оценивалось с учетом высоты форм рельефа, выступающих в качестве наиболее доступного визуального элемента природной среды [12]. Были рассчитаны границы *визуальных бассейнов* или *зон видимости*, которые позволили определить часть открывающейся территории с обзорных точек перед наблюдателем. В пределах каждого визуального бассейна осуществлялась оценка эстетических показателей, для каждого из которых создавался индивидуальный автоматизированный алгоритм оценки, состоящий из последовательных рабочих процессов. В ходе верификации полученных результатов ГИС-оценки с данными полевых наблюдений нам удалось оценить не только эстетическую привлекательность пейзажных видов с обзорных точек по маршруту, но и использовать разработанные модели для оценки аттрактивности обзорных точек в пределах определенного типа урочищ всего комплекса Белоградчишских скал.

Оценка эстетических свойств ландшафтов проводилась на основе построенных зон видимости с модельных точек, которые можно использовать в качестве потенциальных обзорных точек. Распределялись модельные точки в пределах исследуемой территории посредством регулярной сетки с шагом 80 м. Таким образом, с учетом результатов комплексной оценки всех эстетических показателей была оценена общая эстетическая привлекательность пейзажных видов с обзорных точек в границах соответствующих природных урочищ. Так, например, максимальной степенью эстетической привлекательности обладают пейзажные виды, открывающиеся с обзорных точек в пределах урочищ вершинных поверхностей гряд под золотобородниковыми лугами и дубовыми редколесьями. Низкая

аттрактивность пейзажных видов отмечена для обзорных точек, расположенных в теснинах между останцами под дубовыми и буковыми лесами, а также в пределах урочищ овражно-балочных комплексов.

*Выводы.* Проведенное исследование направлено на разработку автоматизированных моделей ГИС-оценки с использованием ДДЗ разного пространственного разрешения для оптимизации конфигурации сети туристско-рекреационных маршрутов. Представленные результаты комплексной эстетической оценки дают нам возможность корректировать существующие маршруты, а также организовывать новые тропы с более высокими эстетическими характеристиками.

### Библиографические ссылки

1. Калуцкова Н. Н., Синьовски Д., Дронин Н. М. Опыт номинирования геологических парков в глобальную сеть ЮНЕСКО // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер. Естественные науки. 2019. № 2. С. 80–93.

2. Tronkov D., Sinnyovsky D. Belogradchik rocks in Bulgaria – geological setting, genesis and geoconservation value // Springer, Geoheritage. 2012. V. 4., No. 3. P. 153–164.

3. Дирин Д. А. Оценка пейзажно-эстетических ресурсов горных ландшафтов в целях оптимизации рекреационного природопользования (на примере Усть-Коксинского района Республики Алтай). Автореф. дис. ... канд. геогр. н. Барнаул, 2006. 19 с.

4. Кочуров Б. И., Бучацкая Н. В. Оценка эстетического потенциала ландшафта // Юг России: экология и развитие. 2007. Вып. 2, № 4. С. 25–34.

5. Вдовюк Л. Н., Мотошина А. А. Методические приемы оценки эстетических свойств ландшафтов Тюменской области // Вестн. Тюм. гос. ун-та. 2013. № 4 (23). С. 58–66.

6. Ротанова И. Н., Васильева О. А. Оценка эстетической привлекательности ландшафтов проектируемого природного парка «Предгорье Алтая» с применением геоинформационных технологий // Наука и туризм: стратегии взаимодействия. Барнаул: Изд. Алт. ун-та, 2017. Вып. 7 (5). С. 29–36.

7. Бибаева А. Ю., Макаров А. А. Применение ГИС для расчета комплексных показателей эстетической оценки ландшафтов // Изв. Ирк. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 24. С. 17–33.

8. Cwiakala P., Kocierz R., Puniach E. Assessment of the possibility of using unmanned aerial vehicles (UAVs) for the documentation of hiking trails in Alpine areas // MDPI Int. J. 2018. Vol. 18 (1). 28 p.

9. Ilkhanizadeh S., Golabi M., Hesami S., Rjoub H. The Potential Use of Drones for Tourism in Crises: A Facility Location Analysis Perspective // J. of Risk and Fin. Manag. 2020. Vol. 13 (10). 13 p.

10. Ko Y. D., Song B. D. Application of UAVs for tourism security and safety // Asia Pacific J. of Mark. and Logistics. 2021. Vol. 33, Iss. 8. P. 1829–1843.

11. Эрингис К. И., Будрюнас А.-Р. А. Сущность и методика детального эколого-эстетического исследования пейзажей // Экология и эстетика ландшафта. Вильнюс: Минтис, 1975. С. 107–160.

12. Бредихин А. В. Эстетическая оценка рельефа при рекреационно-геоморфологических исследованиях // Вестн. Мос. ун-та. Сер. 5. География. 2005. № 3. С. 7–13.

УДК 550.461

## **ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАКУСТАРИВАНИЯ В ЮЖНОЙ ТУНДРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ПОЧВЫ**

**С. В. Лойко, Д. М. Кузьмина, Г. И. Истигечев, И. В. Крицков,  
А. Г. Лим, Н. В. Климова, С. П. Кулижский, О. С. Покровский**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
пр. Ленина 36, 634050, г. Томск, Россия, [s.loyko@yandex.ru](mailto:s.loyko@yandex.ru)*

Потепление климата приводит к появлению в условиях верхних частей склонов плакорных тундр кустарниковых экосистем. Под кустарниками улучшаются водный, воздушный и питательный почвенные режимы. Это вызывает эволюцию исходных почв отделов глеевых и криогенных в сторону более южного отдела криометаморфических почв (по Классификации почв России 2004 г.). Уменьшаются мощность органогенного горизонта и площадь глеевых пятен на срезе.

**Ключевые слова:** Пур-Тазовское междуречье; ольховник; склоны; глееземы; тиксотропия; талики.

## **INFLUENCE OF BUSHINESS PROCESSES IN THE SOUTHERN TUNDRA OF WESTERN SIBERIA ON SOILS**

**S. V. Loiko, D. M. Kuzmina, G. I. Istigechev, I. V. Kritskov, A. G. Lim,  
N. V. Klimova, S. P. Kulizhsky, O. S. Pokrovsky**

*National Research Tomsk State University, Lenin Ave. 36, 634050, Tomsk, Russia,  
[s.loyko@yandex.ru](mailto:s.loyko@yandex.ru)*

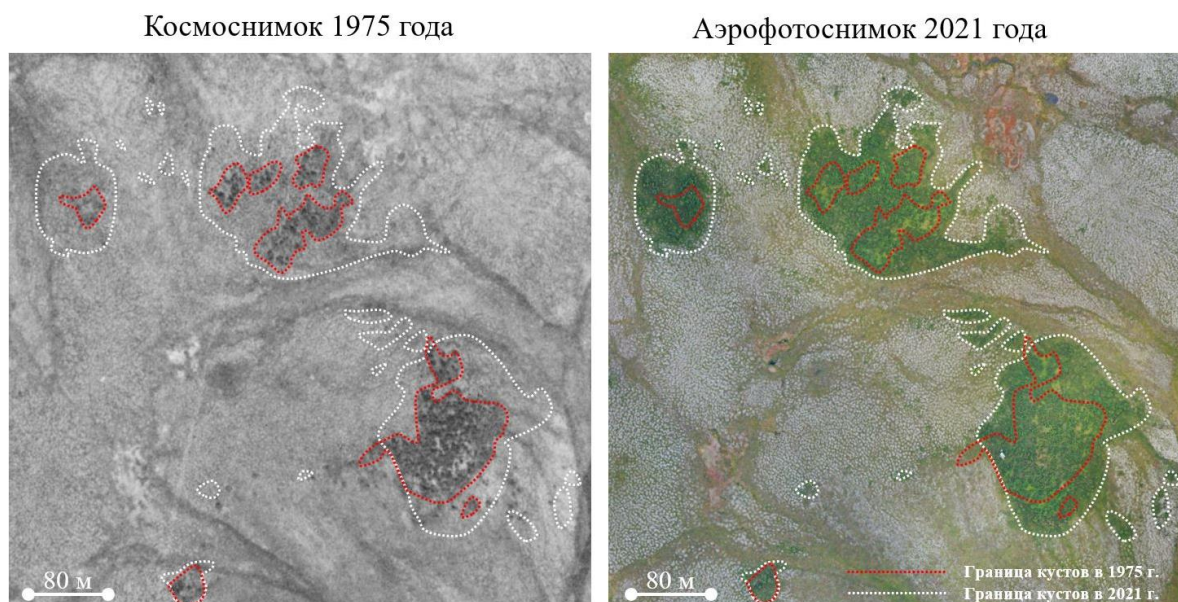
Climate warming leads to the occurrence of shrub ecosystems in upland tundra environments. Under shrubs, water, air and nutrient soil regimes improve. This causes evolution of tundra soils of the gley and cryogenic soil divisions towards the more southern division of cryometamorphic soils (according to the Classification of Soils of Russia 2004). The thickness of the organogenic horizon and the area of gley patches on the section decreases.

**Keywords:** Pur-Taz interfluve; alder forest; slopes; glezemes; thixotropy; taliks.

Потепление климата в условиях тундры [1-2] приводит к росту продолжительности периода вегетации растений, атмосферных осадков, доступности питательных веществ для растений. В результате увеличивается продуктивность растительности [3], что вызывает наблюдаемый дистанционно эффект «позеленения» [4]. Последнее связано не только с увеличением продуктивности тундровых растительных сообществ, но и

заращением участков тундры кустарниками (консорции ольховника, ивы и ерника) [5]. Вопросам закустаривания тундры посвящено значительное количество работ [6]. Наиболее существенные экологические изменения происходят, когда ядром консорции выступает ольховник, обогащающий почвы соединениями азота [7] и приводящий к их существенному теплению [8]. Однако до сих пор слабо изучено влияние этих процессов на почвы, их морфологическое строение, запасы химических элементов и почвенные процессы.

Для изучения особенностей изменения тундровых почв после колонизации их ольховником были проведены исследования в пределах Пур-Тазовского междуречья, неподалёку от пос. Тазовский (ЯНАО, Россия). Изучено 8 хронокатен, заложенных от центральной части модельного плакорного ольховника к фоновой тундре (рисунок). Всего изучено 33 почвенных разреза, что позволило охарактеризовать пять стадий растительной сукцессии: тундра (9 разрезов); экотон (7); кустарники лишайниково-ерниково-травяные (6); кустарники травяные (6); луговины (5). Установлено, что ольховник начал формироваться в середине 1950-х гг. В это время произошло относительное похолодание климата, которое вызвало активизацию криогенных процессов и формирование новых пятен-медальонов, на которых и заселилась ольха. Активный рост ольховника пришёлся на более тёплый период времени.



Динамика модельных ольховников во времени

В тундре, на рассеивающих микросклонах, встречаются глееземы криогенно-ожелезненные мерзлотные. Микроводоразделы экотона заняты таким же глееземами мерзлотными криогенно-ожелезненными, но с

более мощным сезонно-талым слоем. В периферической части ольховника почвы принадлежат уже иному отделу и представлены криометаморфическими грубогумусированными глееватыми. В центральной части ольховника на рассеивающих микросклонах – криометаморфические типичные почвы, уже практически без признаков глееватости.

Почвы собирающих склонов в пределах ключевого участка отличаются большей глееватостью, влажностью и мощностью органогенного горизонта. Так, на собирающем склоне в тундре распространены торфяно-глееземы криотурбированные криогенно-ожелезненные остаточно-гумусированные мерзлотные. На экотоне ольховника в ложбине встречаются не только глееземы, но и торфяно-криоземы поверхностно-глееватые. На собирающем склоне в периферической части ольховника встречен глеезем грубогумусированный криометаморфизованный криотурбированный криогенно-ожелезненный. Ниже по склону, в аналогичной форме микрорельефа, наблюдается глеезем грубогумусированный криогенно-ожелезненный.

В изученном сукцессионном ряду, по мере увеличения возраста растительности, происходит ослабление выраженности признаков оглеения. Глубина расположения глеевых морфонов от минеральной поверхности почвы увеличивается. Количество глеевых пятен на срезе почвы уменьшается. Горизонт G превращается в G<sub>oh</sub> или Vfe,g. В почвенных образцах возрастает содержание красного (\*a) и желтого пигментов (\*b). Вместе с тем криогенно-ожелезненный подгоризонт, залегающий выше глеевого, становится более тусклым, и роль в окраске вышеобозначенных пигментов падает. Изменение морфологии почв в сукцессионном ряду определяется формами микрорельефа. Так, в центральной зоне ольховника наиболее устойчивы признаки оглеения в глееземе грубогумусированном (ложбины), но, в отличие от своего тундрового аналога — торфяно-глеезема, в этой почве торфяной горизонт преобразован в грубогумусированный. На микроводоразделах под ольховником местами признаки оглеения в верхних 40 см почвы практически исчезают.

Изучены разнообразные почвенные параметры, начиная от морфологических параметров заканчивая почвенным плодородием. Результаты обрабатывались с использованием статистических методов. Четыре сукцессионные стадии ольховника и тундру сравнивали по изученным параметрам между собой с помощью дисперсионного анализа ANOVA. Выявлено, что сильнее всего стадии различаются по характеристикам органогенного горизонта почв. Достоверные различия имеются почти по всем изученным параметрам. Парное сравнение стадий по органогенным горизонтам с помощью U-критерия Манна-

Уитни показало, что стадии тундра и экотон достоверных различий не имеют, кустарник лишайниково-ерниковый и луговина, наоборот, отличаются по всем параметрам. Также сильно различаются стадия экотона и кустарника лишайниково-ерникового, достоверных различий не выявлено только для запасов нитратного азота. Хорошо дифференцируются стадии кустарника лишайниково-ерникового и кустарника травяного (различия по 72 % параметров). Тундра и луговина различаются только по разным формам азота в органогенных горизонтах почв. При сравнении минеральных горизонтов получилось, что луговина и два типа кустарников, как и кустарники между собой, различий не имеют. Тундра от луговины и травяного кустарника, и экотон от луговины и двух типов кустарника отличаются только запасом нитратного азота. Тундра и кустарник лишайниковый различаются по нитратному азоту и обменной кислотности, тундра и экотон различаются по обменной кислотности и запасам калия. По запасам питательных веществ в фитомассе и мортмассе все стадии, кроме тундры, одинаковые. Тундра от всех стадий отличается запасами калия и от луговины запасами фосфора. Запас в экосистеме подвижного калия на стадии тундры самый низкий, а запас воды, наоборот, высокий, как и на стадии экотона.

Поселение ольхи в тундре приводит к сильному зимнему потеплению почв за счёт накапливающегося снега. По мере увеличения биомассы ольхи, а также ивы и ерника происходит обогащение биологического круговорота азотом, что совместно с улучшенными гидротермическими условиями содействует внедрению осок, вейников и других травянистых видов. Увеличивается мощность сезонно-талого слоя, постепенно в центре ольховника формируется талик. Активизация мезофауны приводит к деструкции органогенного тундрового горизонта, формируются серогумусовые морфоны. Исчезновение признаков тиксотропности формирует условия для сохранения в сезонных циклах порового пространства в почвах, а исчезновение мерзлоты способствует улучшению дренажа, что наряду с появлением корневых систем трав способствует улучшению аэрации почв. По этой причине признаки оглеения в почве исчезают. Процессы агрегации почвенной массы приводят к эволюции почв в сторону типа криометаморфических почв, что можно диагностировать по появлению локально оструктуренных по оолитовому типу морфонов. Со временем имеющие признаки криометаморфизации глееземы и криоземы превращаются на рассеивающих микросклонах в экстразональные криометаморфические почвы, характерные в качестве ведущего компонента почвенного покрова для суглинистых плакоров лесотундры и северной тайги. Таким образом,



за период времени в 70 лет в почвах происходят выраженные эволюционные изменения, значимо меняется большинство параметров.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2024-0006).

### Библиографические ссылки

1. Permafrost degradation in the western Russian arctic / A. A. Vasiliev [et al.] // *Environmental Research Letters*. 2020. Vol. 15, № 4. Article № 045001.
2. Long-term active layer monitoring at CALM sites in the Russian European North / D. Kaverin [et al.] // *Polar Geography*. 2021. Vol. 44, № 3. P. 203–216.
3. Spatial heterogeneity of the temporal dynamics of Arctic Tundra vegetation / L. M. Reichle [et al.] // *Geophysical Research Letters*. 2018. Vol. 45, № 17. P. 9206–9215.
4. Тишков А. А., Кренке–мл. А. Н. «Позеленение» Арктики в XXI веке как эффект синергизма действия глобального потепления и хозяйственного освоения // *Арктика: экология и экономика*. 2015. № 4. С. 28–38.
5. Patterned-ground facilitates shrub expansion in Low Arctic tundra / G. V. Frost [et al.] // *Environmental Research Letters*. 2013. Vol. 8, № 1. Article № 015035.
6. Chen Y., Hu F. S., Lara M. J. Divergent shrub-cover responses driven by climate, wildfire, and permafrost interactions in Arctic tundra ecosystems // *Global change biology*. 2021. Vol. 27, № 3. P. 652–663.
7. Alder (*Alnus crispa*) effects on soils in ecosystems of the Agashashok River valley, northwest Alaska / C. Rhoades [et al.] // *Ecoscience*. 2001. Vol. 8, № 1. P. 89–95.
8. Periglacial vegetation dynamics in Arctic Russia: decadal analysis of tundra regeneration on landslides with time series satellite imagery / M. Verdonen [et al.] // *Environmental research letters*. 2020. Vol. 15, № 10. Article № 105020.

УДК 550.461

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЬДА  
В ТОРФЯНО-МЕРЗЛОТНОЙ КАТЕНЕ ПОЛИГОНАЛЬНОГО  
БОЛОТА ЮЖНОЙ ТУНДРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**С. В. Лойко, А. Г. Лим, И. В. Крицков, Г. И. Истигечев,  
С. П. Кулижский, О. С. Покровский**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
пр. Ленина 36, 634050, г. Томск, Россия, [s.loyko@yandex.ru](mailto:s.loyko@yandex.ru)*

При термокарсте почв многолетнемерзлых полигональных болот в сток в первую очередь вовлекаются воды оттаивающего порового льда. Внутриландшафтная неоднородность гидрохимических параметров этого льда мало изучена. Поэтому проведено исследование в пределах катены торфяных олиготрофных мерзлотных почв. Выявлена сильная пространственная неоднородность свойств льда, зависящая от приуроченности почвы к микроландшафту.

**Ключевые слова:** Пур-Тазовское междуречье; торфяные плато; топи; сезонно-талый слой; многолетнемерзлый торф; поровая вода.

**HYDROCHEMICAL PROPERTIES OF ICE IN CATENA CRYIC  
HISTOSOLS POLYGONAL BOLOTA OF SOUTHERN TUNDRA  
OF WESTERN SIBERIA**

**S. V. Loiko, A. G. Lim, I. V. Kritskov, G. I. Istigechev,  
S. P. Kulizhsky, O. S. Pokrovsky**

*National Research Tomsk State University, Lenin Ave. 36, 634050, Tomsk,  
Russia, [s.loyko@yandex.ru](mailto:s.loyko@yandex.ru)*

During thermokarst of perennially frozen polygonal bog soils, waters of thawing pore ice are primarily involved in the hydrological cycle. The hydrochemical parameters of this ice, as well as pore waters of the active layer, were studied within a catena composed of peaty oligotrophic permafrost soils. A strong spatial heterogeneity of ice properties was revealed, depending on the soil confinement to the micro-landscape.

**Keywords:** Pur-Taz interfluve; peat plateaus; fens; active layer; perennially frozen peat; pore water.

Мерзлотные почвы разных регионов мира активно изучались в последние десятилетия на предмет оценки запасов и лабильности углерода органических соединений, так как эти почвы являются крупнейшим резервуаром этих соединений [1]. Основной фокус внимания пришёлся на

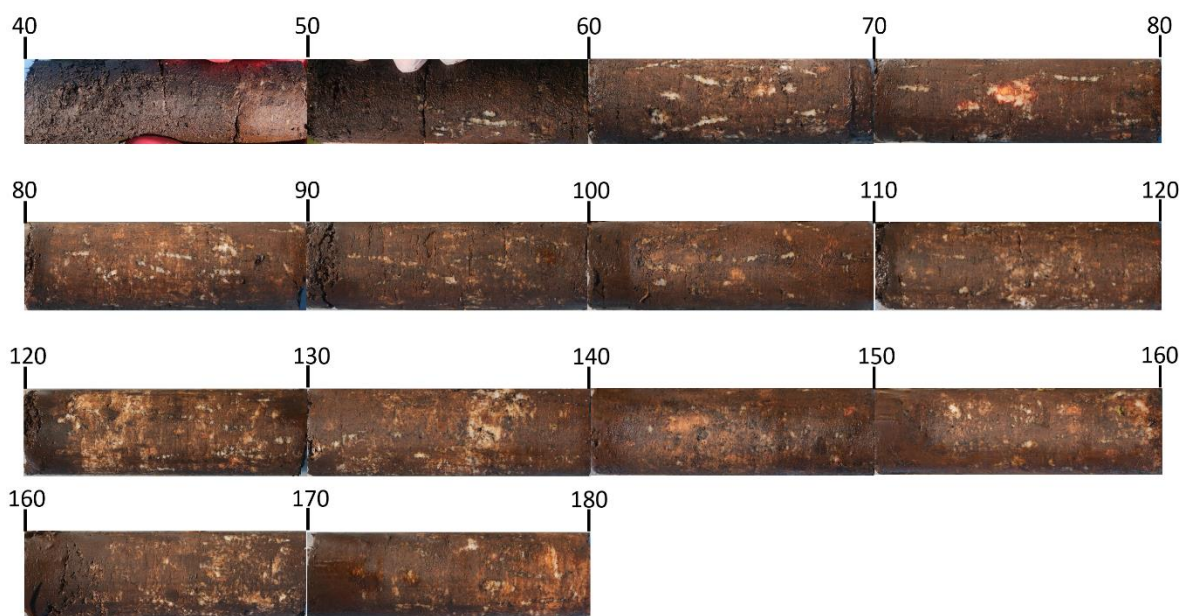
соединения углерода твердой фазы почв. Меньшее внимание уделялось жидкой фазе, а также запасам углерода в почвенном льду. Пусть запас этих форм нахождения соединений углерода в почве невелик, составляя первые проценты от валового содержания углерода, именно этот пул углерода в ходе изменения климата меняется наиболее сильно. В последние годы были проведены исследования льда торфяных и минеральных почв [2-3]. Обнаружено сильное отличие практически по всем изученным гидрохимическим параметрам торфяного льда от аналогичных параметров поровых вод сезонно-талого слоя (СТС). Такие различия связаны не только с сильно большим временем нахождения воды в мерзлых горизонтах по сравнению с СТС, но и с механизмами перераспределения химических элементов между истинно-растворенным и коллоидно-взвешенными пулами, что связано с возможностью передвижения воды в мельчайших капиллярах мерзлых почвенных горизонтов при температурах заметно ниже нуля [4]. Чтобы лучше понять действие механизмов ответственных за формирование гидрохимических параметров порового льда многолетне-мерзлых болот, нами было проведено изучение этих параметров в катене торфяных олиготрофных почв полигонального болота.

Катена заложена на ключевом участке «Тазовский». Координаты центра площадки — 67°21'25.42" с. ш. и 78°42'11.13" в. д. Участок расположен на полигональном массиве между хасыреем и озером. Отбор кернов проводился в 4-х точках: Tz23-4 — нижняя часть транзитной выводной топи (СТС 55 см), почва торфяная олиготрофная мерзлотная; Tz23-3 — транзитная топь (СТС 40 см), почва торфяная олиготрофная мерзлотная; Tz23-2 — вогнутый полигон (просадка) (СТС 60 см.), почва торфяная олиготрофная мерзлотная; Tz23-1 — центр выпуклого полигона с мощностью сезонно-талого слоя (СТС) около 40 см, почва — торфяная олиготрофная остаточно-эуτροφная мерзлотная. В точках 4÷2 мощность торфяной залежи более 2-х метров. В Tz23-1 — 80 см. Керн из СТС вырезали из почвенного разреза, из мерзлой части отбирали с помощью забивного бура. Отобранные керны (рисунок) делили на образцы с шагом 5 см до глубины 100 см и 10 см для диапазона глубин 100-180 см.

В результате были получены образцы для проведения химического анализа, определение плотности сложения, влажности, выделения жидкой фазы с последующими гидрохимическими анализами, проведения минералогического анализа, а также для дальнейшей постановки натуральных экспериментов. Поровые воды из талых горизонтов выделяли и фиксировали непосредственно после отбора в условиях экспедиционной мини-лаборатории. Все мерзлые керны сохранялись в морозильной камере и транспортировались в лабораторию, где уже проводили выделение поровых вод. В лабораторных условиях был изучен

элементный состав поровых вод (истинно-растворенная и коллоидная формы нахождения химических элементов), оптические и физико-химические показатели.

Торфяной лёд наиболее обогащён растворённым органическим углеродом в почвах просадки и транзитной топи (точки 3 и 2), где концентрации достигают величин более 1150 мг/л в диапазоне глубин 70-130 см. Наименьшие значения установлены для льда почвы выводной топи (точка 1), где концентрация не превышает 350 мг/л. В поровых водах СТС во всех изученных точках содержание углерода находится в диапазоне от 50 до 250 мг/л, за исключением одного образца, в котором было несколько выше 300 мг/л. Концентрация общего азота наибольшая во льду почвы просадки (3 точка), достигает величины 120 мг/л сразу под СТС. Наименьшие значения в почве выводной топи. Максимальные концентрации валового фосфора имеет поровый лёд второй точки (Тз23-2) на глубине 100 см (6,5 мг/л), против значений менее 0,5 мг/л в СТС всех четырех изученных почв. Концентрации кальция максимальные во льду мерзлых горизонтах почв полигона и просадки, в то время как в почвах топей концентрации минимальны. В почвах выводной и проточной топей концентрации кальция в поровых водах СТС и торфяном льду статистически не различимы.



Пример фотографии керна из мерзлой части торфяной олиготрофной остаточно-эутрофной почвы и торфяногенной мерзлой почвообразующей породы

Иным образом выглядят картины профильного распределения титана и железа. Так максимальные концентрации титана приурочены к поровым

водам нижней части СТС и торфяному льду верхней части многолетнемерзлых торфяных горизонтов. Наибольшая концентрация железа приурочена к самой нижней части мерзлого торфяного горизонта почвы выводной топи (Tz23-1). Вероятно, это связано с этапом истории формирования почвы выводной топи, когда отсутствовало накопление торфа с участием сфагнумов, а на поверхности почвы накапливались плёнки (гидр-)оксидов железа, перехватывающие редкоземельные элементы. Частично эти пленки включались в состав торфяных и торфяно-минеральных отложений, что привело к формированию пика концентрации железа в диапазоне концентраций от 50 до 90 см. Именно к этим глубинам приурочены и максимумы накопления редкоземельных элементов. Минимальное содержание железа характерно для торфяного льда почвы полигона (Tz23-4). Причем в поровых водах СТС железа содержится больше в 1,5–2 раза. Это связано с наиболее экстремальным кислородным режимом в условиях полигонов. Так установлено, что величины концентрации  $O_2$  в почвенных водах полигонов и просевших полигонов стремятся к первым процентам, относительно его содержания в воздухе. Железо при капиллярном переносе выщелачивается даже из многолетнемерзлого торфа.

Получены данные о профильных распределениях концентраций низкомолекулярных органических кислот. Концентрации этих веществ в многолетнемерзлом торфе непосредственно под СТС кратно превосходят таковые в сезонно-талых горизонтах, а также в нижней части мерзлой торфяной залежи. Согласованно с этими значениями ведёт себя и показатель SUVA<sub>254</sub>. Наибольших значений (2.9) он достигает в поровой воде СТС почвы полигона и просадки, снижаясь до минимальных величин во льду почвы просадки (менее 0.3). Индекс флюоресценции скоррелирован с показателем SUVA. Концентрация углерода растворенных органических соединений достигает наибольших величин там, где параметр SUVA минимален. Содержание стабильного изотопа углерода в растворенном органическом материале несколько увеличивается в многолетнемерзлом горизонте, по сравнению со средней частью активного слоя. Отношение C/N сужается, а концентрация общего азота (TN) возрастает. Указанные данные косвенно свидетельствуют о большей роли микробных метаболитов в РОУ верхних многолетнемерзлых горизонтов, в сравнении с вышележащими сезонно-талыми торфяными горизонтами.

Анализ полученных данных, сравнение с результатами термометрических наблюдений позволяет сделать вывод, что возможной причиной формирования под СТС пиков концентрации химических элементов является механизм «капиллярно-криогенных молекулярных сит» (теория

Н. И. Гамаюнова). Температуры от -2 °С до -5 °С приводят к возгонке к фронту промерзания молекул и коллоидов размерностью менее 20 нм. Эти температуры длительный период времени характерны для торфяной залежи под СТС. Место локализации этих температур совпадает с положением пика концентраций элементов и биологических соединений. Наиболее активен этот процесс в просадках и топях, где имеются условия для более интенсивного масс-энергетического обмена.

Проведенное исследование продемонстрировало сильную латеральную неоднородность свойств торфяного льда. Изученные параметры связаны как с историей формирования торфяной залежи, так и современной проточностью микроландшафта.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00281.

### Библиографические ссылки

1. *Tarnocai C., Canadell J. G., Schuur E. A. G.* Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // *Global Biogeochem. Cycles*. 2009. 23. GB2023
2. *Kuzmina D. M., Lim A. G., Loiko S. V.* Dispersed ice of permafrost peatlands represents an important source of labile carboxylic acids, nutrients and metals // *Geoderma*. 2023. Vol. 429. Article 116256.
3. *Lim A. G., Loiko S. V., Kuzmina D. M.* Dispersed ground ice of permafrost peatlands: Potential unaccounted carbon, nutrient and metal sources // *Chemosphere*. 2021. Vol. 266. № 198953.
4. *Fouché J., Christiansen C. T., Lafrenière M. J.* Canadian permafrost stores large pools of ammonium and optically distinct dissolved organic matter. *Nature Communication*. 2020. Vol. 11. Article 4500.
5. *Lim A. G., Loiko S. V., Kuzmina D. M.* Organic carbon, and major and trace elements reside in labile low-molecular form in the ground ice of permafrost peatlands: a case study of colloids in peat ice of Western Siberia // *Environmental Science: Processes and Impacts*. 2022. Vol. 24 (9). P. 1443–1459.

УДК 004.942

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ПРИ НИЗКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОЙ И  
ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ТЕРРИТОРИИ**

**И. А. Мартын**

*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
ул. Воронежская, 79, 192007, г. Санкт-Петербург, Россия, [irma\\_martyn@mail.ru](mailto:irma_martyn@mail.ru)*

Разрабатывается модель распространения волн с различным периодом в порту Туапсе. В модели учитываются особенности распространения поверхностных волн. Моделирование осуществляется в среде Delphi. С помощью графического модуля производится картографическое представление акватории с параметрами волн, которые являются элементами геоинформационной системы.

**Ключевые слова:** математическое моделирование; геоинформационная система; гидрометеорология.

**GEOINFORMATION SYSTEM FOR HYDROMETEOROLOGICAL  
SUPPORT IN LOW LIGHT CONDITIONS OF THE  
OCEANOLOGICAL AND HYDROLOGICAL SITUATION OF THE  
TERRITORY**

**I. A. Martyn**

*Russian State Hydrometeorological University, 79 Voronezhskaya str., 192007,  
St. Petersburg, Russia, [irma\\_martyn@mail.ru](mailto:irma_martyn@mail.ru)*

A model of wave propagation with different periods in the port of Tuapse is being developed. The model takes into account the peculiarities of surface wave propagation. The simulation is carried out in the Delphi environment. The graphical module is used to make a cartographic representation of the water area with wave parameters, which are elements of the geoinformation system.

**Keywords:** mathematical modeling, geoinformation system, hydrometeorology.

Основная задача представленной работы заключается в получении системы уравнений, описывающих распространение волновых возмущений как результат граничных условий на боковой границе [1, с. 27].

Задано соотношение возмущения уровня:

$$\xi = \xi_0 \cos(kx - \sigma t)$$

Также имеем основную систему уравнений в приближении Буссинеска:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{\partial V}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} \\ \frac{\partial W}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial z} \\ \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} &= 0 \end{aligned}$$

Зададим ограничения в виде граничных условий и проведем преобразование системы, используя метод разделения переменных.

Граничные условия имеют вид:

$$P = \rho_0 + \frac{\partial P}{\partial z} \Delta z \rho_0 = 0,$$

где  $\rho_0 = 0$ .

Поскольку  $\Delta z = \xi$ , а  $\frac{\partial P}{\partial z} = \rho_0 g$ , то получаем граничное условие для поверхности и для дна:

$$\begin{aligned} p|_{z=0} &= -\rho_0 g \xi \\ p|_{z=H} &= \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \end{aligned}$$

В результате для двумерной области получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -g \frac{\partial \xi}{\partial x} - ru \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -g \frac{\partial \xi}{\partial y} - rv \\ \frac{\partial u}{\partial x} &= -\frac{k}{th(kH)} \frac{\partial \xi}{\partial t} \end{aligned}$$



Решение полученной системы проводим конечно-разностным методом интегрирования уравнений на смещенной сетке [2, с. 33].

$$u_{ij}^{n+1} = u_{ij}^n - g * \frac{\Delta t}{\Delta x} (\xi_{i+1j}^n - \xi_{1j}^n) - ru_{ij}^{n+1} \Delta t$$

$$v_{ij1}^{n+1} = v_{ij}^n + g * \frac{\Delta t}{\Delta y} (\xi_{ij+1}^n + \xi_{1j}^n) - rv_{ij}^{n+1} \Delta t$$

$$\xi_{ij}^{n+1} = \xi_{ij}^n - H \frac{th(kH)}{k} * \frac{\Delta t}{\Delta x} * (u_{ij}^n - u_{i-1j}^n) - H \frac{th(kH)}{k} * \frac{\Delta t}{\Delta x} * (u_{ij}^n - u_{ij-1}^n)$$

С помощью моделирования была рассчитана динамика поверхностных волн различного периода в защищенной молами и волноломами акватории порта Туапсе (рис.1–4) [3, с.1274].

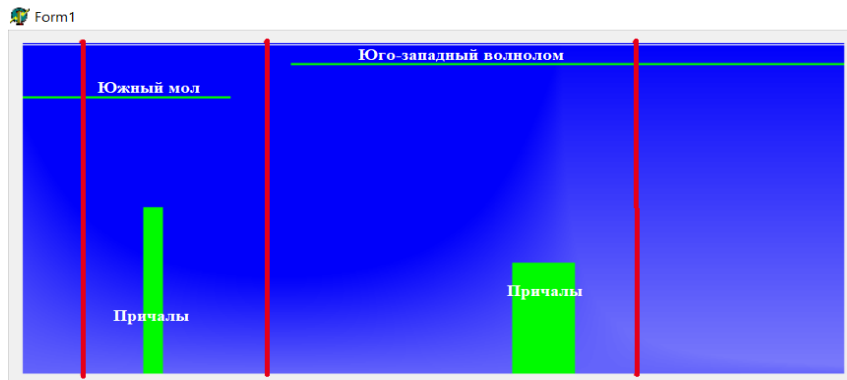


Рис. 1. Акватория порта Туапсе для моделирования (красные полосы – срезы для построения распределения возмущений уровня и скорости течений)

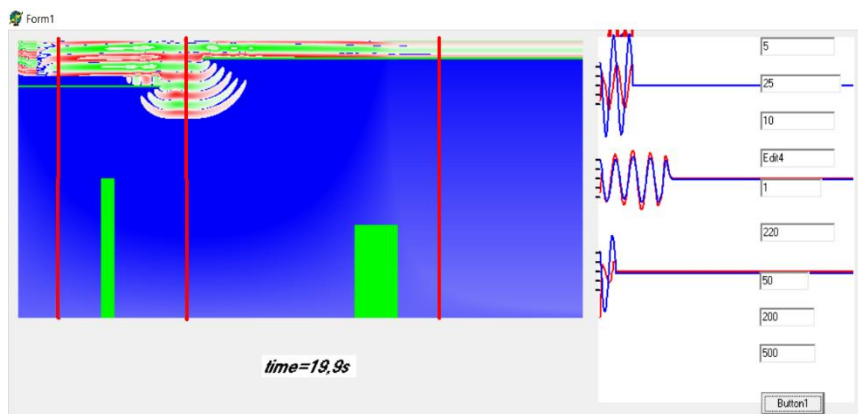


Рис. 2. Распределение возмущений уровня (красная линия) и скорости течений (синяя линия) для волн с периодом 5 сек. на момент расчетного времени t=20 сек.

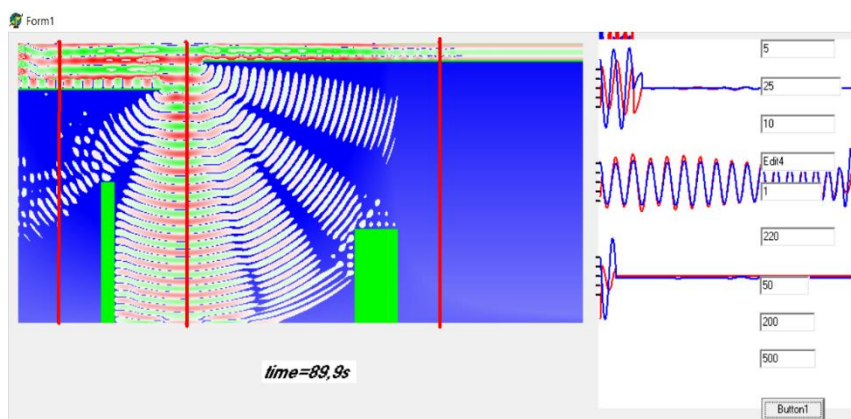


Рис. 3. Распределение возмущений уровня (красная линия) и скорости течений (синяя линия) для волн с периодом 5 сек. на момент расчетного времени  $t=90$  сек.

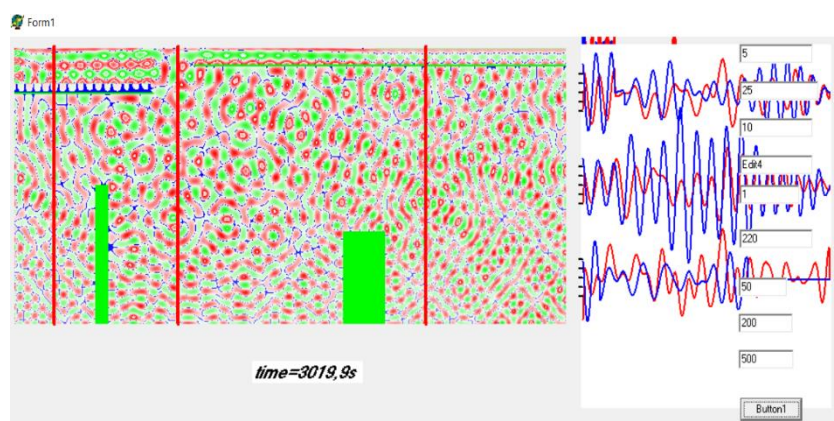


Рис. 4. Распределение возмущений уровня (красная линия) и скорости течений (синяя линия) для волн с периодом 5 сек. на момент расчетного времени  $t = 3020$  сек.

В результате моделирования можно выявить основные особенности распространения волнения в порту Туапсе. Проведя моделирование в порту Туапсе с разными периодами, отметим, что в акватории порта опасные явления в виде превышения высоты волн будут проявляться, вследствие возникновения волнения с периодами выше 100 сек., таким явлением может являться тягун.

Результаты моделирования можно считать успешными. Подтверждением этому можно считать оценки экспериментальных данных в сравнении с результатами моделирования.

Предлагаемый подход может быть адаптирован к различным объектам исследования (малым акваториям), для освещения которых не требуется значительное количество ресурсов, как финансовых, так и человеческих.

## Библиографические ссылки

1. *Истомин Е. П., Петров Я. А., Мартын И. А.* Моделирование поля течений и уровня моря с применением программного комплекса Cardinal // Геоинформатика. 2023. № 2. С. 26–31.
2. *Мартын И. А., Сапронова И. В., Краева Е. В.* Data mining в обработке гидрометеорологических данных // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2022. № S1. С. 31–33.
3. GIS conceptual model as a modern tool in the arctic navigation / A. Sidorenko [et al.] // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia–2021. Switzerland, 2022. С. 1273–1280.

УДК 631.48

**СУПРАГЛЯЦИАЛЬНЫЕ ПОЧВЫ И ПОЧВОПОДОБНЫЕ ТЕЛА:  
РАЗНООБРАЗИЕ И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

**Н. С. Мергелов, С. В. Горячкин, Э. П. Зазовская, А. В. Долгих**

*Институт географии РАН, Старомонетный пер., 29,  
119017, г. Москва, РФ, [mergelov@igras.ru](mailto:mergelov@igras.ru)*

В последние десятилетия ледники рассматривают в качестве отдельного биома. Супрагляциальные (наледниковые) органоминеральные образования обладают наиболее разнообразным составом и самой высокой скоростью биологического круговорота среди всех компонентов ледникового биома. В докладе систематизированы результаты последних исследований органоминеральных образований на ледниках, их генезиса, разнообразия и биосферной роли. Ставится вопрос о возможности вовлечения таких образований в круг объектов почвоведения. Рассматривается супрагляциальная зона как область формирования почвенных и почвоподобных тел, биогеохимические процессы в которых влияют на ледниковый биом и окружающие его ландшафты.

**Ключевые слова:** криокониты; экстремальные условия; предпочвы; перигляциальная зона.

**SUPRAGLACIAL SOILS AND SOIL-LIKE BODIES:  
DIVERSITY AND ORGANOMINERAL INTERACTIONS**

**N. S. Mergelov, S. V. Goryachkin, E. P. Zazovskaya, A. V. Dolgikh**

*Institute of Geography RAS, Staromonetny lane., 29, 119017,  
Moscow, Russia, [mergelov@igras.ru](mailto:mergelov@igras.ru)*

In recent decades, glaciers have been reviewed as a separate biome. Supraglacial organomineral formations have the most diverse composition and the highest rate of biological turnover among all components of the glacial biome. Here, we discuss the results of recent studies of organomineral formations on glaciers, their genesis, diversity and role in biosphere. The question is raised about the possibility of their involvement in the objects of soil science studies. The supraglacial zone is considered as an area of formation of soil and soil-like bodies, the biogeochemical processes in which affect the glacial biome and the surrounding landscapes.

**Key words:** cryoconites; extreme environments; pre-soils; periglacial zone.

В последние десятилетия ледники стали рассматривать как отдельный биом, ранее «забытый» в составе обитаемой криосферы [1].

Супрагляциальные органоминеральные образования обладают наиболее разнообразным составом и самой высокой скоростью биологического круговорота среди всех компонентов ледникового биома. В период абляции на леднике нет недостатка в жидкой воде, органических и минеральных примесях, взаимодействие которых приводит к появлению органоминеральных тел с новыми свойствами, меняющими структуру сообщества организмов, химический состав вещества и спектральные характеристики поверхности ледника так, как не сделал бы ни один из компонентов по отдельности. Анализ разнообразия, строения и процессов формирования супрагляциальных органоминеральных образований показал, что некоторые из них имеют признаки почв и почвоподобных тел [2, 3, 4, 5, 6 и др.]. Важнейшими из таких признаков являются накопление ОВ, его стабилизация на минеральных поверхностях и в агрегатах, трансформация ОВ с остаточным накоплением темноцветных твердофазных продуктов *insitu*. Среди супрагляциальных образований предлагается выделять [3] эфемерные предпочвы и почвоподобные тела во льду и снеге, метастабильные почвоподобные тела на криоконите и почвы с микропрофилями под моховыми сообществами на льду, а также относительно стабильные почвы с макропрофилями на мелкоземисто-обломочных отложениях с подстиланием ледников и мертвого льда. Легкодоступное ОВ, полученное в супрагляциальном «реакторе», в том числе в его ячейках — почвах и почвоподобных телах, оказывает существенное влияние на перигляциальную зону, приводя к резервуарному и прайминг-эффектам и воздействуя на все звенья трофической цепи, а также на формирование инициального почвенного покрова после отступления ледников.

Важный компонент органоминеральной фации на леднике — это криоконит, который подразделяется на инситный и переотложенный. Инситный криоконит формируется в «стаканах» протаивания, обеспечивающих стабильные условия для образования крупных сложноорганизованных гранул с множественными концентрическими слоями и микропрофилями в направлении центр-периферия, а также стратификацией между зоной первичной продукции органического вещества и зоной его преобразования гетеротрофными микробными сообществами.

Исследовано взаимодействие минеральных и органических компонентов в гранулах криоконита с ледников Алтая, Кавказа и Шпицбергена при помощи рентгеновской микротомографии, световой и сканирующей электронной микроскопии, а также рамановской спектроскопии. Агрегаты криоконита были разделены на мезогранулы (1-6 мм) и микрогранулы (0,1-1 мм). Мезогранулы часто состояли из более мелких субгранул, микрогранулы являлись первичными образованиями. Гранулы обеих групп имели сходную структуру и общую пористость в

пределах 15-16 %. Доля связанных пор была высокой и стабильной (88-89 %). Размеры пор находились в пределах 10-220 мкм (чаще 30-110 мкм) для мезогранул и 10-60 мкм (чаще 14-38 мкм) для микрогранул, при этом более крупные поры в обоих случаях были приурочены к центру гранул. Гранулы часто имели минеральный «зародыш», представленный зерном первичного минерала или обломком породы, а также уплотненный слой по периферии. Филлосиликаты (сметтит, каолинит, хлорит, слюда) являлись важным компонентом, обеспечивающим физическую стабильность гранул наряду с бактериальными внеклеточными полимерами и нитчатými цианобактериями. Наибольшая концентрация пылеватых и глинистых частиц (до 31,6 % смектитов) приходилась на периферическую часть гранул. В стенке гранул частицы минералов были наиболее плотно упакованы и ориентированы субпараллельно наружной поверхности. Кластеры глинистых минералов были всегда скреплены аморфным углеродсодержащим цементом. По данным рамановской спектроскопии метильные функциональные группы ( $-CH_3$ ) в составе органического вещества были также приурочены к стенкам гранул, что свидетельствует о гидрофобных свойствах поверхности, необходимых для устойчивости криоконитовой микроэкосистемы в талой воде. Постоянная внешняя оболочка была важнейшим и самым сложноорганизованным компонентом гранулы, обеспечивающим стабильные условия для микробной трансформации органического вещества внутри гранул. Данные о строении и некоторых аспектах химического состава материала криоконита позволяют заключить, что его основная структурная единица, гранула, является самостоятельной сложноорганизованной многопорядковой микроэкосистемой, одновременно обособленной в водной супрагляциальной обстановке, но также и проницаемой для потоков вещества, благодаря развитой системе пор. Физические и химические механизмы стабилизации органоминеральных агрегатов криоконита сходны с принципами агрегации в сложных коллоидных системах, например почвах: (1) окклюзия/инкапсуляция, (2) образование гранул/оидов, (3) адсорбция на активных минеральных поверхностях, например, глинистых минералах, (4) гидрофильно-гидрофобные взаимодействия.

Помимо стратифицированных гранул криоконита, сходных с почвенными агрегатами, на поверхности ледников возможно образование микропрофилей первичных почв. Нами изучены профили, образовавшиеся под шаровидными колониями мха, так называемыми «ледниковыми мышками» [7] на ледниках о. Западный Шпицберген. Профили первичных почв состояли из нескольких микрогоризонтов, включая аналоги таких классических почвенных горизонтов как подстильно-торфяной, грубогумусовый и гумусово-слаборазвитый. Выявлено повсеместное участие гранулированного органоминерального материала криоконита, в том числе его инкапсуляция ризоидами мха.

Морфология, стратиграфия и органо-аккумулятивный тип распределения органического вещества указывают на формирование или сохранение почвоподобных микропрофилей под моховыми сообществами на поверхности ледника. Такие профили не могли сформироваться в течении одного сезона, длительность почвенных процессов дифференциации должна была достигать нескольких лет. Мы рассматриваем две гипотезы образования почвенных микропрофилей: (1) перигляциальное происхождение — подушка мха с прикрепленным дифференцированным на горизонты субстратом была занесена из окружающих ледник ландшафтов и (2) супрагляциальное происхождение — микропрофиль сформировался непосредственно на леднике при закреплении мха на минеральном субстрате, например на обломочном материале абляционной морены; споры мха были занесены ветром или птицами. Участие гранул криоконита во всех горизонтах профиля и тесная интеграция гранул с ризоидами мха и минеральной массой дополнительно указывают на длительное совместное образование именно в супрагляциальной обстановке.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 20-17-00212.

### Библиографические ссылки

1. Anesio A. M., Laybourn-Parry J. Glaciers and ice sheets as a biome // Trends in ecology & evolution. 2012. Vol. 27, iss. 4. P. 219–225.
2. Криокониты как факторы развития почв в условиях быстрого отступления ледника Альдегонда, Западный Шпицберген / Э. П. Зазовская [и др.] // Почвоведение. 2022. № 3. С. 281–295.
3. Супрагляциальные почвы и почвоподобные тела: разнообразие, генезис, функционирование (обзор) / Н. С. Мергелов [и др.] // Почвоведение. 2023. № 12. С. 1522–1561.
4. Таширев А. Б., Таширева А. А., Березкина А. Е. Роль криоценозов в формировании почв на ледниках Западной Антарктики // Доповіді Національної академії наук України. 2012. № 4. С. 155–161.
5. Abakumov E., Nizamutdinov T., Polyakov V. Analysis of the polydispersity of soil-like bodies in glacier environments by the laser light scattering (diffraction) method // Biol. Comm. 2021. Vol. 66, iss. 3. P. 198–209.
6. Sediments from cryoconite holes and dirt cones on the surface of Svalbard glaciers: main chemical and physicochemical properties / T. Nizamutdinov [et al.] // Acta Geochimica. 2023. Vol. 42, iss. 2. P. 346–359.
7. Hotaling S., Bartholomaeus T. C., Gilbert S. L. Rolling stones gather moss: movement and longevity of moss balls on an Alaskan glacier // Polar Biology. 2020. Vol. 43, iss. 6. P. 735–744.

УДК 911.52;504.054;504.06

**ВЗАИМОСВЯЗЬ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ КАК ИНДИКАТОРА  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ  
УРБОЛАНДШАФТОВ И ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
НА ПРИМЕРЕ г. ЖАБИНКИ**

**И. В. Метлицкий, А. Л. Киндеев, А. А. Карпиченко**

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
220030 г. Минск, Беларусь, [Klelllheryk@yandex.by](mailto:Klelllheryk@yandex.by), [AKindeev@tut.by](mailto:AKindeev@tut.by), [karpi@bsu.by](mailto:karpi@bsu.by)*

В работе отражены материалы исследования взаимосвязи кислотности почв и теплового загрязнения в малых городах Республики Беларусь на примере г. Жабинки. Приводится оценка пространственного распределения температуры в июле, выделены острова тепла, построены картограммы кислотности. Регрессионный анализ показал значимую прямую связь между температурой и кислотностью ( $R = 0,36$ , корреляционное отношение = 0,60).

**Ключевые слова:** урболандшафт; техногенное загрязнение; кислотность почв; остров тепла.

**RELATIONSHIP OF SOIL ACIDITY AS AN INDICATOR OF HEAVY  
METALS POLLUTION OF URBOLANDSCAPES AND THERMAL  
POLLUTION ON THE EXAMPLE OF ZHABINKA**

**I. V. Metlitsky, A. L. Kindeev, A. A. Karpichenko**

*Belarusian State University, Independence Ave., 4,  
220030 Minsk, Belarus, [Klelllheryk@yandex.by](mailto:Klelllheryk@yandex.by), [AKindeev@tut.by](mailto:AKindeev@tut.by), [karpi@bsu.by](mailto:karpi@bsu.by)*

The work reflects materials from a study of the relationship between soil acidity and thermal pollution in small towns of the Republic of Belarus using the example of the city of Zhabinka. An assessment of the spatial distribution of temperature in July is provided, heat islands are identified, and acidity cartograms are constructed. Regression analysis showed a significant direct relationship between temperature and acidity ( $R = 0.36$ , correlation ratio = 0.60).

**Keywords:** urban landscape; technogenic pollution; soil acidity; heat island.

Совершенствование городской среды в рамках концепции устойчивого развития невозможно без контролируемого преобразования природных ландшафтов для удовлетворения растущих потребностей общества [1]. В настоящее время имеется информация о состоянии почв в крупных городах, при этом в ряде быстрорастущих населённых пунктов, получивших статус города в последнее десятилетие, мониторинг не ведется.



В городах Беларуси с ограниченным количеством информации о состоянии окружающей среды используется более простой подход к классификации УЛ, содержащий 4 классификационные ступени (класс – тип – группа видов – вид). Способ опробован на таких городах Беларуси, как Пинск, Орша, Жодино, Брест, Гомель [2]. С учетом региональных особенностей, данная классификация может применяться и к малым городам.

Применению показателя кислотности почв как косвенного индикатора накопления и подвижности тяжелых металлов (ТМ) в почве посвящен ряд работ [3], в которых указывается на наличие сдвига реакции почвенной среды в сторону подщелачивания. Промышленные зоны являются наиболее загрязненными ТМ, а также создают тепловые аномалии или острова тепла в городах [4], что предполагает наличие корреляционных связей между кислотностью почвы и тепловым загрязнением.

Таким образом, целью настоящего исследования является выявление корреляционной зависимости между кислотностью почвы и тепловым загрязнением в малых городах Беларуси (на примере г. Жабинка).

В результате анализа выделенных УЛ установлено, что производственные предприятия и их санитарные зоны локализованы в северной и юго-западной частях города вдоль железной дороги, которая делит город на 2 части: южную — жилую и северную — промышленную (рис. 1).

Для исследования тепловых рисков были выбраны снимки самого холодного и самого теплого месяца (19 января и 14 июля 2021 г. соответственно). Снимки в обоих случаях сделаны в 09:19 GMT. Средняя температура воздуха в январе составляет  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в июле – около  $20,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  [5].

Внимания заслуживает выявленный в пределах УЛ 3 городской остров тепла, сформировавшийся даже несмотря на малый размер города. Максимальные температуры в центре города на  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ниже максимальных температур промышленных комплексов, однако средняя температура поверхности УЛ 3 наиболее высокая среди всех УЛ Жабинки и составляет  $26,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что на  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выше средней температуры поверхности города.

Вторым индикатором загрязнения урболандшафтов выступает кислотность почвы, пространственное распределение которой внутри УЛ представлено на рис. 2.

Анализируя пространственное распределение значений  $\text{pH}_{\text{КС}}$ , можно заметить, что УЛ 6, 11, 13 и точки № 6 и 22, где выявлены соответственно наибольшие средние и максимальные значения, приурочены к оси, на которой расположены крупнейшие промышленные предприятия города и железнодорожные пути.

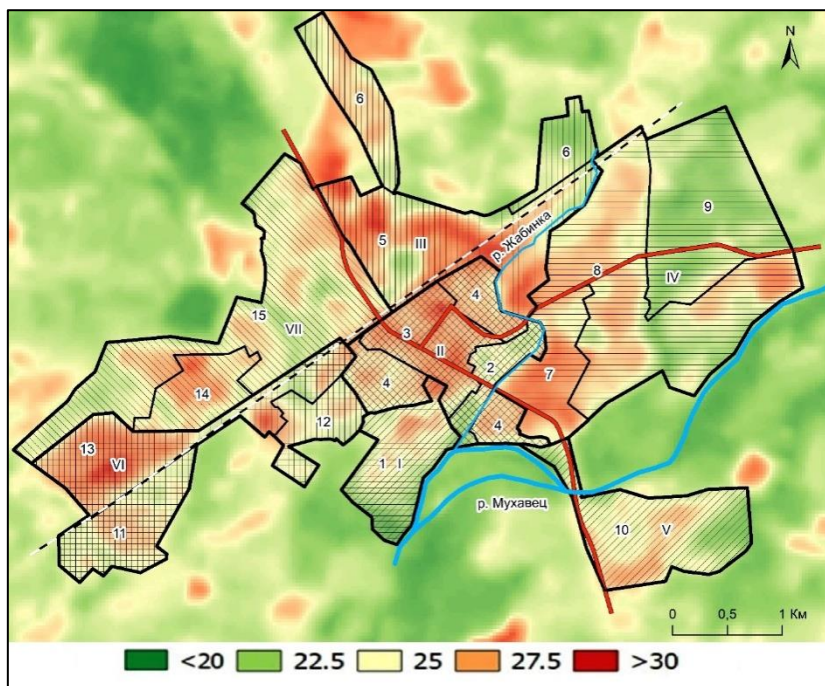


Рис. 1. Температура поверхности урбандошфтов Жабинки в июле, °С:

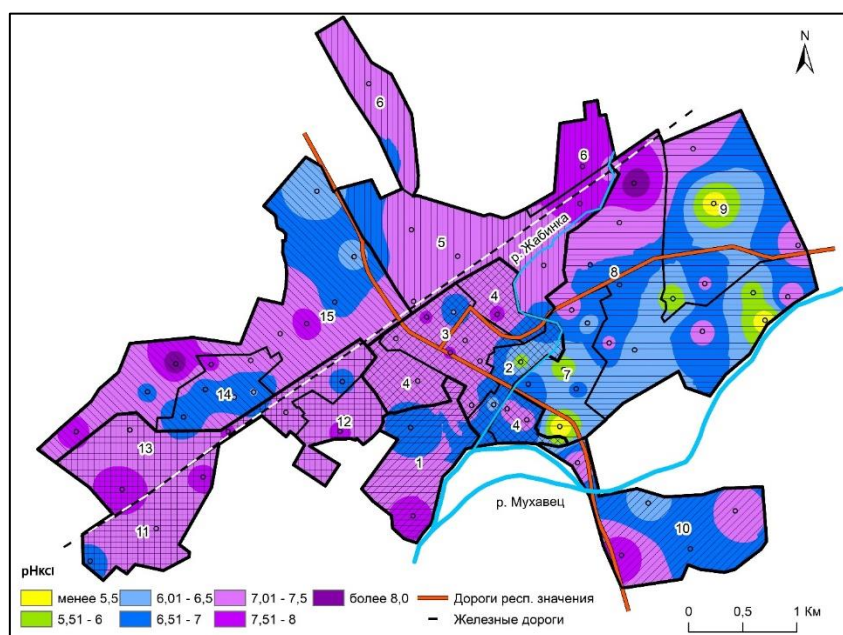


Рис. 2. Картограмма кислотности почв урбандошфтов г. Жабинки (цифрами обозначены виды УЛ)

Для выявления потенциальной статистической взаимосвязи значений  $pH_{КС}$  почв и температуры поверхности был построен график регрессионной зависимости по функциональным зонам г. Жабинки (рис. 3).

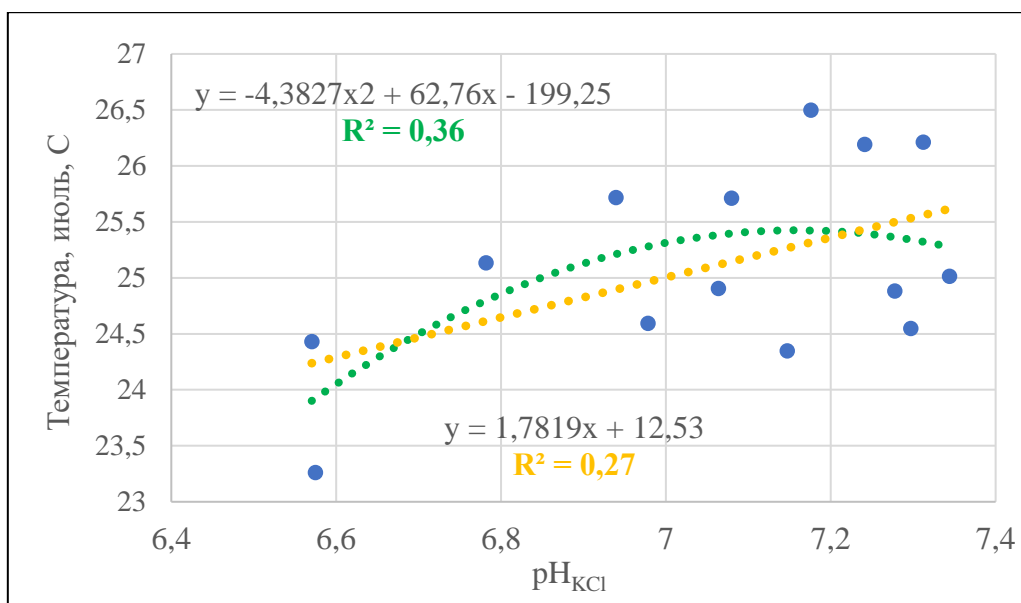


Рис. 3. График регрессионной зависимости между кислотностью почвы и температурой урболандшафтов г. Жабинки

Проведенный анализ показал лучший результат при использовании полиномиальной функции 2 порядка. При коэффициенте детерминации  $R^2$ , равном 0,36, корреляционное отношение составляет 0,59, что может трактоваться как значимая прямая связь между ними. В свою очередь стоит отметить, что для объективной констатации наличия связей между кислотностью почвы и температурой поверхности необходимы исследования в других малых и крупных городах для формирования репрезентативной выборки.

### Библиографические ссылки

1. Оценка влияния уровня загрязнения окружающей среды на экономический рост / О. В. Кудрявцева [и др.] // Научные исследования экономического факультета. 2017. Т. 9, вып. 3. С. 68–80.
2. Марцинкевич Г. И. Трофимчук Д. А. История формирования г. Бреста и проблемы изучения городских ландшафтов // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. 2016. № 2. С. 76–82.
3. Калманова В. Б., Коган Р. М. Кислотность почв как показатель экологического состояния городской территории (на примере г. Биробиджана) // Региональные проблемы. 2008. № 10. С. 83–86.
4. Метлицкий И. В., Киндеев А. Л. ГИС-анализ экологического состояния урболандшафтов г. Жабинки // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 15 нояб. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. Н. Червань (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2023. С. 194–202.
5. Архив погоды в Жабинке (Брестская область) [Электронный ресурс] GlobalWeather. URL: [https://global-weather.ru/archive/zhabinka\\_brestskaya\\_oblast](https://global-weather.ru/archive/zhabinka_brestskaya_oblast) (дата обращения: 19.01.2021)

УДК 504.05

**ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ  
КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ  
НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ И ПОЧВЫ  
СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Н. В. Михальчук, П. В. Качанович**

*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,  
ул. Советских Пограничников, 41, 220030 г. Брест, Беларусь, [tyres810@gmail.com](mailto:tyres810@gmail.com)*

Оценено состояние подземных вод и почв в импактных зонах 6-ти полигонов ТКО Брестской области, претендующих на статус региональных объектов захоронения отходов. Показано, что максимальной техногенной трансформацией отличаются подземные воды в зоне влияния полигона ТКО г. Бреста, почвы — в зонах влияния полигонов гг. Кобрин и Пинск. Для почв импактных зон обследованных полигонов характерна никель-цинково-хромовая геохимическая специализация.

**Ключевые слова:** полигоны твердых коммунальных отходов; подземные воды; почвы; макрокомпоненты; органические соединения; тяжелые металлы; индекс загрязнения.

**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF BREST REGION  
LANDFILLS ON GROUNDWATER AND SOILS OF CONNECTING  
TERRITORIES**

**M. M. Mikhalchuk, P. V. Kachanovich**

*The Polesie Agrarian Ecological Institute of the NAS of Belarus,  
st. Soviet Pogranichnikov, 41, 220030 Brest, Republic of Belarus, [tyres810@gmail.com](mailto:tyres810@gmail.com)*

The article contains information about groundwater and soils in the impact zones of 6 landfills in the Brest region. It is shown that the maximum technogenic transformation of groundwater was identified in the zone of influence of Brest landfill and the maximum technogenic transformation of soils – in the zone of influence of Kobrin and Pinsk landfills. Nickel-zinc-chromium geochemical specialization is characterized for all observed landfills.

**Key words:** municipal solid waste landfills; groundwater; soils; macrocomponents; organic compounds; heavy metals; pollution index.

Захоронение твердых коммунальных отходов (ТКО) на полигонах является наиболее распространенным, а в современных условиях Беларуси с учетом экономических и экологических реалий — наиболее оптимальным способом обращения с ТКО [1]. Согласно [2],

стратегической линией совершенствования системы обращения с ТКО в Республике Беларусь станет обустройство к 2035 г. 30-и крупных региональных полигонов для захоронения ТКО при одновременном закрытии всех мини-полигонов; в Брестской области будет создано 6 региональных объектов. В этой связи объектами исследования явились полигоны ТКО гг. Барановичи, Береза, Брест, Кобрин, Лунинец, Пинск.

Для оценки воздействия указанных полигонов ТКО на подземные воды (ПВ) и почвы использован геоэкологический показатель – индекс загрязнения (IZ) — отношение концентрации загрязняющих веществ в исследуемой пробе к их фоновым значениям. Степень загрязнения комплексом загрязняющих веществ оценивалась с использованием суммарного индекса загрязнения (SIZ) в виде суммы отношений концентрации загрязняющих веществ к их фоновым значениям.

Расчет суммарного индекса загрязнения ПВ (SIZ<sub>гв</sub>) осуществлялся по макрокомпонентам (SIZ<sub>мк</sub>), микроэлементам (SIZ<sub>мэ</sub>) и органическим веществам (SIZ<sub>орг</sub>); при этом  $SIZ_{гв} = SIZ_{мк} + SIZ_{орг} + SIZ_{мэ}$ . Среди макрокомпонентов учитывались концентрации сульфат-, хлорид-, аммоний-, фосфат-ионов, а также железа и ХПК; среди органических соединений — АПАВ и НП; среди микроэлементов — концентрации Pb, Zn, Mn, Ni. Значения SIZ<sub>гв</sub> отражены в таблице 1.

По макрокомпонентному составу максимальное негативное влияние на подземные воды установлено для полигона ТКО г. Бреста, где суммарный индекс загрязнения составил 889,5. Среди макрокомпонентов наибольшие превышения фона отмечены для аммоний-ионов. Минимальные значения SIZ<sub>мк</sub> характерны для полигонов г. Березы (53,3) и г. Барановичи (56,0).

Анализ содержания в ПВ органических соединений (АПАВ и НП) также свидетельствует о напряженной ситуации в зоне воздействия полигона ТКО г. Бреста — превышение фона составляет 37,8 раз. Наиболее благоприятная ситуация с незначительной величиной SIZ<sub>орг</sub> (1,2) установлена для полигона ТКО г. Березы.

Таким образом, максимальное загрязнение ПВ макрокомпонентами и органическими соединениями характерно для полигона ТКО г. Бреста, наименьшее — для импактной зоны полигона г. Березы.

Напротив, по микроэлементному составу (4 показателя) наиболее сильным отрицательным воздействием на ПВ характеризуется полигон ТКО г. Березы (SIZ<sub>мэ</sub> = 146,1), наименее негативным — полигон ТКО г. Кобрин (SIZ<sub>мэ</sub> = 3,2). Однако относительно благоприятная ситуация в локации полигона ТКО г. Кобрин может быть связана с отсутствием наблюдательных скважин на границе полигона, что вынуждает использовать для сравнительных оценок данные по удаленным на 80-100 м от его периферии скважинам.

Таблица 1

## Суммарные индексы загрязнения подземных вод в зонах воздействия полигонов ТКО Брестской области

Показатель, мг/дм <sup>3</sup>		С.О.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ХПК	АПав	НП	Pb	Zn	Mn	Ni	Fe	SIZ <sub>МК</sub>	SIZ <sub>опс</sub>	SIZ <sub>МЭ</sub>	SIZ <sub>ГВ</sub>	сред- нее
Луинец	С <sup>1</sup>	8543,8	224,3	107,9	93,3	0,013	92,9	0,187	0,197	0,004	0,105	0,684	0,016	37,5					
	С/фон <sup>2</sup>	23,2	48,8	1,7	7,7	2,7	2,0	3,7	1,3	0,361	0,445	2,0	16,0	1,2	85,2	5,0	18,8	<b>111,0</b>	8,5
Барано-	С	841,6	24,3	348,7	45,7	0,008	125,5	0,109	0,153	0,005	0,058	0,571	0,023	25,4					
	С/фон	15,9	4,700	19,4	8,79	0,266	23,5	4,4	3,39	4,75	4,46	10,6	5,63	7,0	56,0	7,8	25,4	<b>112,7</b>	8,7
Пинск	С	1963,3	192,7	420,7	23,0	0,018	97,3	0,146	0,112	0,004	0,020	0,610	0,018	5,2					
	С/фон	7,8	11,6	13,3	57,6	0,520	2,2	4,2	1,5	2,0	0,782	22,6	2,5	17,7	110,7	5,7	27,9	<b>144,4</b>	11,1
Кобрин	С	458,5	58,2	110,9	44,1	0,739	171,1	0,096	3,5	0,006	0,164	0,403	0,003	11,4					
	С/фон	1,7	1,7	2,9	12,6	105,6	3,1	2,7	21,4	0,857	0,228	1,1	1,0	0,510	125,1	24,1	3,2	<b>155,6</b>	12,0
Береза	С	86,0	8,6	6,9	0,230	0,015	60,5	0,025	0,084	0,042	0,154	2,1	0,127	155,2					
	С/фон	2,2	4,3	1,04	2,30	2,1	12,1	0,862	0,375	13,9	30,7	69,8	31,7	41,4	53,3	1,2	146,1	<b>212,8</b>	16,4
Брест	С	1904,3	369,3	448,2	140,2	0,027	450,4	0,560	0,478	0,004	0,133	0,544	0,050	10,4					
	С/фон	25,4	108,6	249,0	500,6	5,4	40,6	22,4	15,4	2,0	2,2	0,818	2,8	0,514	889,5	37,8	7,8	<b>975,7</b>	75,1

<sup>1</sup>средняя концентрация загрязнителя в водах, мг/дм<sup>3</sup>;

<sup>2</sup>превышение местного гидрохимического фона, мг/дм<sup>3</sup>

Воздействие полигона ТКО на почвы зависит от срока его эксплуатации, от ландшафтно-геологической приуроченности, соблюдения технологических условий эксплуатации полигона [1, 3].

В сравнении с кларками для почв мира по А. П. Виноградову [4], а также региональными кларками для дерново-подзолистых почв Беларуси [5], почвы-аналоги юго-запада Беларуси обеднены большинством микроэлементов, в особенности — активно мигрирующими в условиях кислой среды. Для вычисления индекса загрязнения почв в локации полигонов ТКО гг. Бреста, Березы, Пинска, Лунинца, Кобрин использовались субрегиональные фоновые значения, для полигона ТКО г. Барановичи определялся местный геохимический фон. Осуществлялся также расчет суммарного индекса загрязнения почв (СИЗп) (табл. 2).

Таблица 2

**Суммарные индексы загрязнения почв в зонах воздействия полигонов ТКО Брестской области**

Полигон, ПП / показатель	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Cr	СИЗп	Среднее
Пинск	C <sup>1</sup>	12,34	0,17	10,25	53,72	3,84	12,36	
	C/фон <sup>2</sup>	2,21	3,40	8,07	7,27	6,4	6,57	33,92
Барановичи	C	9,37	0,06	4,91	19,40	5,04	12,22	
	C/фон	1,01	2,0	2,15	2,61	1,13	1,03	9,93
Брест	C	5,97	0,04	1,14	8,75	1,45	3,96	
	C/фон	1,07	0,80	0,90	1,18	2,42	2,11	8,48
Кобрин	C	14,76	0,19	14,84	53,07	3,76	9,83	
	C/фон	2,64	3,80	11,69	7,18	6,27	5,23	36,81
Береза	C	5,27	0,02	0,82	4,92	2,77	6,23	
	C/фон	0,94	0,40	0,65	0,67	4,62	3,31	10,59
Лунинец	C	7,55	0,04	1,91	18,60	2,62	5,78	
	C/фон	1,35	0,80	1,50	2,52	4,37	3,07	13,61
СФ-1 <sup>3</sup>	–	5,59	0,05	1,27	7,39	0,60	1,88	
СФ-2 <sup>4</sup>	–	9,29	0,03	2,28	7,43	4,47	11,85	

<sup>1</sup>средняя концентрация загрязнителя в почве, мг/кг;

<sup>2</sup>превышение по отношению к субрегиональному фону, раз;

<sup>3</sup>субрегиональный фон для полигонов ТКО гг. Брест, Береза, Пинск, Лунинец, Кобрин;

<sup>4</sup>субрегиональный фон для полигонов ТКО г. Барановичи

Максимальное загрязнение почв выявлено в зоне воздействия полигона ТКО г. Кобрин (СИЗп = 36,81) и Пинска (33,92), гораздо меньшее — для полигонов ТКО гг. Брест (8,48) и Барановичи (СИЗп = 9,93).

Ряд приоритетности загрязнения почв в зонах воздействия полигонов ТКО микроэлементами имеет следующий вид: Брест 8,48 < Барановичи 9,93 < Береза 10,59 < Лунинец 13,61 < Пинск 33,92 < Кобрин 36,81.

Суммирование индексов показывает, что почвы в ближнем 50-метровом поясе от границ исследованных полигонов ТКО имеют никель-цинково-хромовую геохимическую специфику: Ni 25,21 >Zn 21,43 >Cr 21.

При этом ранжирование полигонов ТКО по содержанию в почвах никеля выглядит следующим образом: Барановичи 1,18 <Брест 2,42 <Лунинец 4,37 <Береза 4,62 <Кобрин 6,27 <Пинск 6,40.

По накоплению в почвах хрома исследованные полигоны ТКО представлены следующей последовательностью: Барановичи 1,03 <Брест 2,11 <Лунинец 3,07 <Береза 3,31 <Кобрин 5,23 <Пинск 6,57.

Ранжированное распределение полигонов ТКО по содержанию в почвах цинка имеет следующий вид: Береза 0,67 <Брест 1,18 <Лунинец 2,52 <Барановичи 2,61 <Кобрин 7,18 <Пинск 7,27.

Таким образом, в импактных зонах исследованных полигонов ТКО установлена различная степень дестабилизации ПВ и почв. Минимальное негативное влияние на ПВ по содержанию макрокомпонентов и органических соединений оказывает полигон ТКО г. Березы, максимальное — полигон ТКО г. Бреста. Напротив, по степени трансформации микроэлементного состава ПВ весьма контрастная гидрохимическая аномалия наблюдается в локации полигона ТКО г. Березы. Максимальное загрязнение почв ТМ характерно для зон влияния полигонов ТКО гг. Кобрин и Пинск, минимальное — для полигонов ТКО гг. Брест и Барановичи. Почвы импактных зон обследованных полигонов отличаются никель-цинково-хромовой геохимической специализацией.

### Библиографические ссылки

1. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д. М. Ерошина [и др.]. Минск : БелНИЦ «Экология», 2010. С. 152.
2. Концепция создания объектов по сортировке и использованию твердых коммунальных отходов и полигонов для их захоронения (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 23.10.2019 г., № 715).
3. Чернова И. В. Оценка геоэкологических рисков захоронения твердых коммунальных отходов (на примере Минской области) // Природопользование. 2016. Вып. 29. С. 104–112.
4. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 235.
5. Петухова Н. Н., Кузнецов В. А. Геохимическое состояние почвенного покрова Беларуси // Природные ресурсы. 1999. № 4. С. 40–49.



УДК 528.946+551.243.8

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ  
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ  
НАБЛЮДЕНИЙ В АНТАРКТИКЕ, ВКЛЮЧАЯ РАЙОН  
РАЗМЕЩЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

**О. С. Раецкая**

*ГУ «Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси», ул. А. Купровича, 1/3,  
220084, г. Минск, Беларусь, raetskaya@cgm.by*

Разработан геоинформационный проект в качестве цифровой основы для представления района размещения Белорусской антарктической станции с координатной привязкой сейсмического пункта (BAS), включая цифровые карты геолого-геофизического содержания, спутниковые данные. Произведена обработка данных сейсмологических наблюдений, анализ и интеграция результатов в ГИС-проект. На основе результатов сейсмологического мониторинга подготовлены цифровые карты.

**Ключевые слова:** геоинформационные системы; картографический проект; сейсмологический мониторинг; землетрясение; Антарктический регион; QGIS.

**APPLICATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR  
PRESENTING THE RESULTS OF SEISMOLOGICAL  
OBSERVATIONS IN ANTARCTICA INCLUDING THE AREA OF  
THE BELARUSIAN ANTARCTIC STATION**

**O. S. Raetskaya**

*Center for Geophysical Monitoring of the  
National Academy of Sciences of Belarus, st. Kuprevich, 1/3,  
220084, Minsk, Belarus, raetskaya@cgm.by*

The geoinformation project has been developed as a digital basis for the presentation of the location of the Belarusian Antarctic Station with coordinated seismic point (BAS), including digital maps of geological and geophysical contents and satellite data. Seismological data were processed and the results were analyses and integrated into the GIS project. Digital maps have been prepared based on seismological monitoring results.

**Keywords:** geographic information systems; mapping project; seismological monitoring; earthquake; Antarctic region; QGIS.

В 2022 г. «Центром геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси» (далее – Центр) начаты научно-

исследовательские работы по созданию сейсмической станции в районе базирования Белорусской антарктической станции, с целью проведения сейсмологических наблюдений (мониторинга) для изучения региональных сейсмических процессов, глубинного строения геологической среды, выявления особенностей проявления местной сейсмичности, динамики гляциологической активности.

Научные исследования проводятся в рамках Государственной программы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021–2025 годы», подпрограммы «Развитие деятельности белорусской антарктической станции» [1].

Программно-аппаратный комплекс (ПАК) сейсмической станции впервые установлен 3 января 2023 г. на территории Белорусской антарктической станции в естественной расщелине открытого выхода коренных горных пород на высоте 79 м над уровнем моря.

Установленная сейсмическая станция (код BAS) работает в автономном непрерывном режиме, осуществляется постоянный контроль оператором, который осуществляет передачу цифровых записей в Центр сбора и обработки информации, откуда данные поступают в резервное копирование, формируя архив.

Первичная обработка данных предполагает: воспроизведение цифровых записей; оценку их качества; преобразование (коррекцию) записи; выделение на записях сейсмических событий. Методика камеральной обработки сейсмических событий, зарегистрированных сейсмической станцией, включает в себя этап обнаружения сигнала и этап определения его основных параметров (времени вступления различных фаз, амплитуд и соответствующих им периодов; координат источника зарегистрированного события). В результате окончательной обработки записей отделом обработки и мониторинга Центра составляются сейсмологический бюллетень станции и каталоги землетрясений [2].

Один из этапов данного мероприятия, в рамках указанной выше Госпрограммы, включает применение геоинформационных технологий в качестве цифровой основы для представления района размещения Белорусской антарктической станции с координатной привязкой сейсмического пункта, включая цифровые карты геологического содержания.

На сегодняшний день географические информационные системы (далее – ГИС) – это современные и достаточно удобные средства обмена картографической информацией, позволяющие интегрировать информацию из различных источников, обрабатывать, оцифровывать, получать качественные и количественные характеристики объектов, их

взаимосвязи, исследовать изменения с течением времени и представлять информацию в наглядном виде.

Разработка геоинформационной системы (ГИС) «Антарктида» обусловлена необходимостью создания единой системы ведения, хранения, обработки, анализа, систематизации и визуализации полученных данных с белорусской сейсмической станции «BAS», с последующим пополнением данных по мере поступления новой информации, при необходимости — внесением соответствующих корректировок.

В Центре геофизического мониторинга НАН Беларуси уже на протяжении нескольких лет для создания электронных карт применяется открытое программное обеспечение в области геоинформационных систем – QGIS, которое периодически обновляется по мере выпуска новых версий программы.

В настоящее время, QGIS – наиболее динамично развивающаяся и обладающая достаточной функциональностью географическая информационная система с открытым исходным кодом, доступная для большинства современных платформ, поддерживающая более 60 форматов растровых и более 20 форматов векторных данных, взаимодействует с базами геоданных, различными картографическими Web-серверами и т. п. Скачать последнюю версию программы QGIS можно на официальном сайте [3].

В рамках подготовительного этапа, на стадии сбора материалов, при изучении научных статей, опубликованных в открытой печати, выяснилось, что в 2021 г. завершены основные работы по созданию международного проекта ГИС «Quantarctica». Данный проект — результат инициативы Норвежского полярного института и единственный в своем роде региональный пакет данных по Антарктиде и Южному океану, который находится в свободном доступе на сайте института.

Проект «Quantarctica» представляет собой мультидисциплинарную геоинформационную систему, которая включает в себя 265 слоев данных из центров обработки по всему миру – базовых карт, спутниковых снимков, моделей рельефа и обобщенных данных по 9 научным дисциплинам, таким как: «Атмосфера», «Биология», «Экологический менеджмент», «Геология», «Геофизика», «Гляциология и ледяные керны», «Океанография», «Морские льды», «Общественные науки» [4].

Исходя из вышеизложенного, было принято решение о разработке проекта ГИС «Антарктида» для представления района размещения Белорусской антарктической станции и сейсмического пункта (BAS) с результатами сейсмологического мониторинга на основе проекта ГИС «Quantarctica».

При работе использована последняя стабильная версия программы QGIS 3.22.4-Białowieża. В программе QGIS создан новый проект под названием ГИС «Антарктида». При построении карт Антарктического региона использовалась Полярная стереографическая проекция (EPSG:3031). Картографической основой проекта послужили наборы базовых карт Антарктической цифровой базы данных SCAR, версия 7.0 (ADDSimplebasemap), импортируемые из проекта «Quantarctica».

Общая структура проекта представлена на схеме ниже (рис. 1).

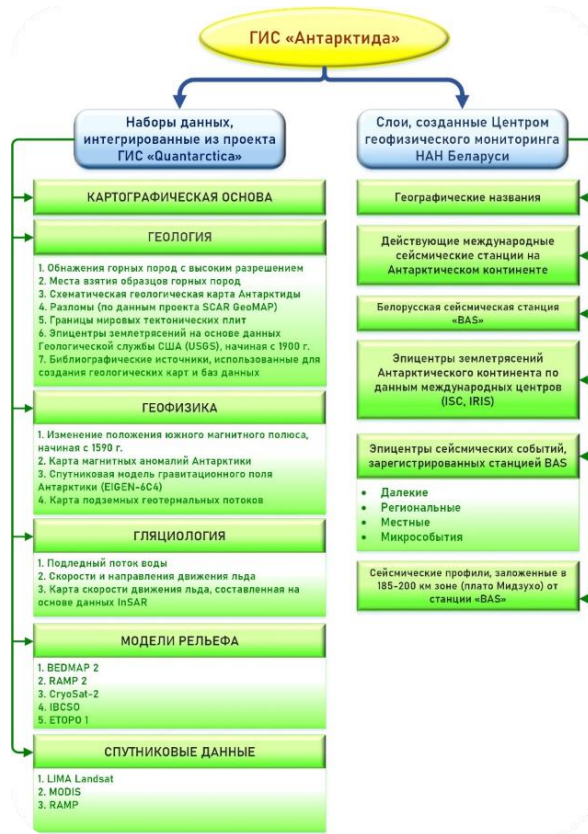


Рис. 1. Общая структура проекта ГИС «Антарктида»

По результатам обработки цифровых записей сейсмической станции «BAS» составлены сейсмологический бюллетень и каталоги с выделением далеких, региональных, местных землетрясений и микрособытий.

Сейсмологический бюллетень цифровой станции «BAS» содержит сведения о 1201 событии за период наблюдений с 3 января по 7 апреля 2023 года. Наибольшее число сейсмических событий (455) зафиксировано в январе, а наименьшее (313) в марте, данные за апрель не анализируются, так как наблюдения проводились только по 7 апреля.

Из всех зарегистрированных событий, которые представлены в сейсмологическом бюллетене за период с 3 января по 7 апреля 2023 г.,

выделено 260 далеких, 1 региональное и 14 местных землетрясений, 29 микрособытий. Ощутимых землетрясений за период наблюдений не зарегистрировано.

Данные каталогов землетрясений, зарегистрированных сейсмической станцией «BAS», внесены в проект ГИС «Антарктида», где создан набор данных «Сейсмические события», который включает три векторных слоя: «Эпицентры микрособытий», «Эпицентры местных землетрясений», «Эпицентры региональных землетрясений». В качестве наглядного примера приведена визуализация эпицентров местных землетрясений в программе QGIS (рис. 2).

В атрибутивную таблицу каждого слоя внесена основная информация о сейсмических событиях — дата, время, координаты эпицентра, глубина гипоцентра, магнитуда, название района.

Для набора данных «Сейсмические события» применяется отрисовка объектов на основе правил: размер условного знака соответствует значению магнитуды сейсмического события, цветовая градация применяется в соответствии со значением глубины гипоцентра землетрясения.

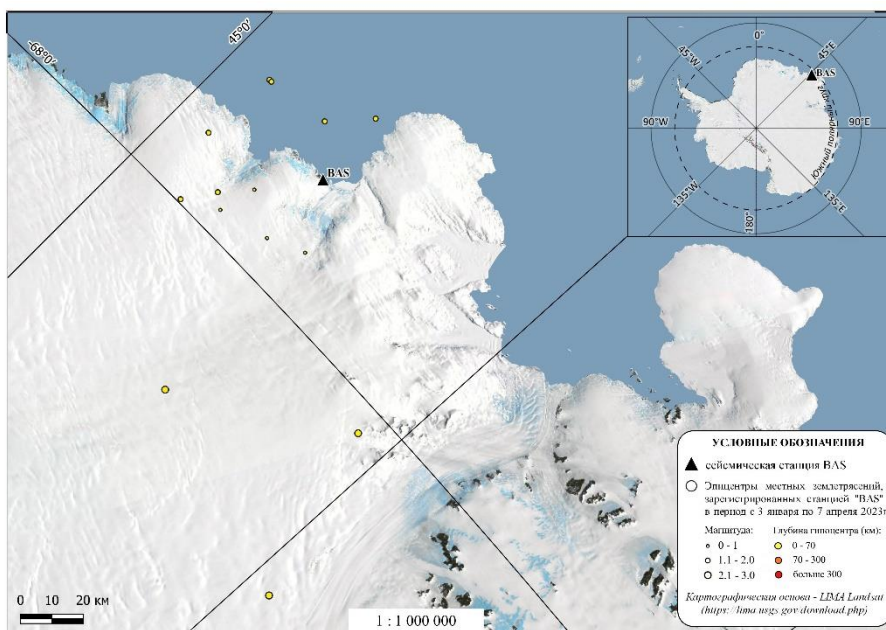


Рис. 2. Карта эпицентров местных событий (увеличенная), зарегистрированных сейсмической станцией BAS (масштаб 1: 1 000 000)

Для внесения сведений о далеких землетрясениях в программе QGIS создан отдельный проект. На карту мира нанесены границы тектонических плит, создан слой «Эпицентры далеких землетрясений».

В проекте ГИС «Антарктида» созданы также следующие слои:

- Векторный слой «Географические названия» — слой обзорных географических названий Антарктического региона. На карту нанесены территориальные единицы — «земли», отмечены наиболее выдающиеся объекты гидрографии: моря, озера; шельфовые ледники, горы, прилегающие острова.

- Векторный слой «Международные сейсмические станции». Данный слой сформирован путем изучения и выборки информации о развитии сейсмических наблюдений на Антарктическом континенте с сайтов международных центров сейсмологических данных (ISC, IRIS, NEIC, EMSK).

В результате проведенной выборки данных сформирована сводная таблица, которая включает описание 71 станции: код, статус, название, местоположение (название региона), координаты, высоту над уровнем моря, принадлежность к стране (при наличии данных). По состоянию на декабрь 2023 года, 30 сейсмических станций, включая белорусскую сейсмическую станцию «BAS», являются действующими [5].

- Слой «Эпицентры землетрясений» (по данным международных центров) составлен на основе выборки сейсмических событий по заданным критериям, используя бюллетени, представленные на сайте Международного сейсмологического центра (ISC, Великобритания) и Международного центра сейсмологических данных (IRIS, США) (рис. 3).

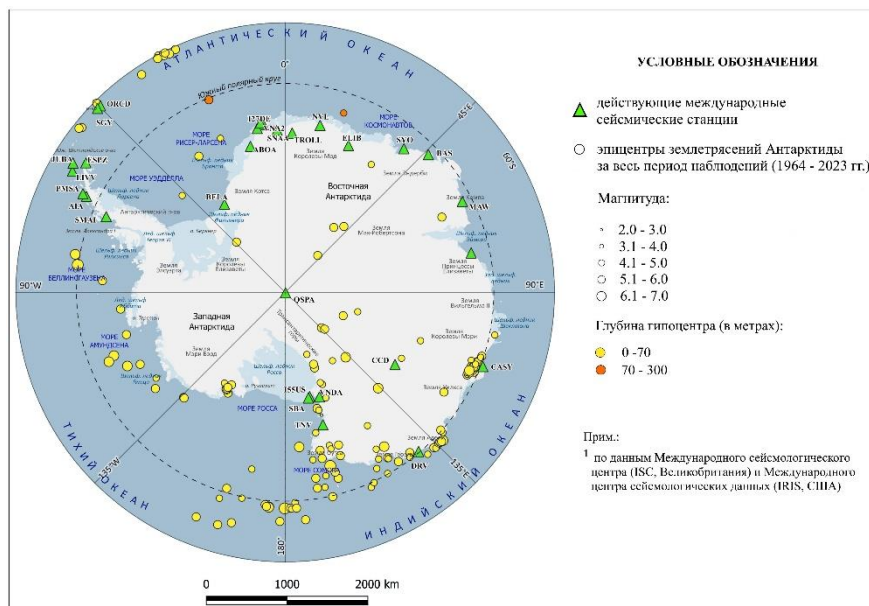


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Антарктического континента и прибрежной территории за период сейсмических наблюдений с 1964 г. по 2023 г.

- Слой «Сейсмические профили» создан на основе материалов публикации, японских авторов К. Масаки и М. Исикава. Сейсмический профиль SP1-SP7 проходил в 185 км от сеймостанции «BAS» и попадает



в 200-километровую зону для локального годографа, а также в 1000-километровую зону для регионального годографа.

В результате работы сформирована основа проекта ГИС «Антарктида» с базовым набором карт, выполнена координатная привязка Белорусской сейсмической станции, обработаны, структурированы и визуализированы данные результатов сейсмологического мониторинга, сформированы соответствующие таблицы атрибутов, подготовлены печатные варианты карт.

Благодаря наложению слоев, можно выполнять предварительный анализ данных мониторинга относительно тектонических, геолого-геофизических условий, выполнять информационно-поисковые запросы и выборки данных относительно заданных критериев.

В перспективе планируется продолжить работы по актуализации данных, включенных в ГИС «Антарктида», путем обновления соответствующих слоев, интегрированных из ГИС «Quantarctica» и добавления сейсмологической информации по мере поступления новых данных с сейсмической станции BAS. При накоплении достаточных материалов по результатам проведенных исследований Белорусской Антарктической Экспедицией планируется вносить в проект результаты уточненных геолого-геофизических исследований непосредственно на Вечернегорской площади.

### **Библиографические ссылки**

1. Аронов А. Г., Сасина Н. В., Аронов Г. А. Научно-технические аспекты организации сейсмологических наблюдений в составе Белорусской антарктической станции // Природная среда Антарктики: междисциплинарные подходы к изучению: сб. материалов IV Международной научно-практической конференции, посв. 15-летию ГУ «Республиканский центр полярных исследований», (Домжерицы, 21-23 сент. 2022 г.). Минск: БГТУ, 2022. С. 35–38.

2. Инструкция проведения стационарной обработки цифровых сейсмических записей с помощью программы WSG. Обнинск, 1999. 19 с.

3. Свидзинская Д. В., Бруй А. С. Основы QGIS. Киев, 2014. 83 с.

4. A free GIS for Antarctica (Quantarctica) [Electronic resource]. URL: <https://www.npolar.no/quantarctica/> (date of access: 08.11.2023).

5. International Seismological Centre [Electronic resource]. URL: <http://www.isc.ac.uk/isc-ehb/search/bulletin/> (date of access: 21.11.2023).

УДК 631.21

**ИЗУЧЕНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ  
РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И  
ПОВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ  
СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**Т. В. Раудина<sup>1)</sup>, Г. И. Истигечев<sup>1)</sup>, С. В. Смирнов<sup>1, 2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
пр. Ленина 36, 634050, г. Томск, Россия, [tanya\\_raud@mail.ru](mailto:tanya_raud@mail.ru)*

<sup>2)</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
пр. Академический 10/3, 634055, г. Томск, Россия*

Экспериментально изучен процесс фотодеструкции растворенного органического вещества (РОВ), а также поведение металлов во время его фотолиза в водах от торфяных почв плоскобугристого болота через небольшие водотоки к пойме малой реки в условиях юга криолитозоны Западной Сибири. Установлено, что в ходе эксперимента по фотодеструкции к 28 дню в водах наблюдается заметное снижение концентрации растворенного углерода (РОУ) и, соответственно, увеличение фоторазлагаемого РОУ (ФРОУ) до 14%. Процент ФРОУ имеет прямую линейную зависимость от времени инкубации, и его наибольший процент по сравнению с ручьем отмечается в почвенно-болотной воде бугра и мочажины. Выявлено три закономерности в поведении металлов во время фотолиза РОВ. Результаты подчеркивают необходимость учета процента ФРОУ для количественной оценки циклов углерода в мерзлых торфяниках

**Ключевые слова:** Западная Сибирь; северная тайга; растворенное органическое вещество; фотодegradация.

**STUDY OF PHOTOCHEMICAL TRANSFORMATION  
OF DISSOLVED ORGANIC MATTER AND BEHAVIOR OF METALS  
IN NATURAL WATERS OF THE NORTHERN TAIGA  
OF WESTERN SIBERIA**

**T. V. Raudina<sup>1)</sup>, G. I. Istigechev<sup>1)</sup>, S. V. Smirnov<sup>1, 2)</sup>**

<sup>1)</sup>*National Research Tomsk State University, Lenin Ave. 36, 634050, Tomsk, Russia,  
[tanya\\_raud@mail.ru](mailto:tanya_raud@mail.ru)* <sup>2)</sup>*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS,  
Academicheskyy ave., 10/3, 634055, Tomsk, Russia*

The process of photodegradation of dissolved organic matter (DOM) as well as the behavior of metals during its photolysis in waters from peat soils of a flat-mound bog through small watercourses to the floodplain of a small river in the northern taiga of Western Siberia has been studied experimentally. It was found that during the photodegradation experiment, by day 28, there is a marked decrease in dissolved carbon concentration (DOC) in the waters



and, accordingly, an increase in photodegradable DOC (PDOC) up to 14 %. Percent PDOC has a direct linear relationship with incubation time and its highest percentage compared to the stream is observed in the soil-bog waters of the mound and hollow. Three patterns of metal behavior during photolysis of DOM were identified. The results emphasize the need to consider percent PDOC to quantify carbon cycling in frozen peatlands.

**Key words:** Western Siberia; northern taiga; dissolved organic matter; photodegradation.

Воды бореальных и циркумполярных регионов отличаются высоким содержанием растворенного органического вещества (РОВ), количество и состав которого изменяется в пространстве и во времени не только из-за его близости к исходному материалу, но и воздействия окружающей среды. Трансформация РОВ во время его миграции является важным процессом, который обеспечивает существование биологических циклов элементов в природе и стабильности водных экосистем. Поэтому динамика РОВ имеет решающее значение для локального и глобального циклов углерода. Солнечное излучение оказывает различное влияние на состав и свойства РОВ, его переработку бактериями. Отмечается как значительное влияние фотоллиза на трансформацию РОВ, изменение биологической доступности элементов [1-5] и интенсивности эмиссии  $\text{CO}_2$  из поверхностных вод в атмосферу [6], так и довольно небольшое (10 %) воздействие солнечного света на общую концентрацию РОУ в ручьях, реках и озерах [7-10]. Совместная фотохимическая и биологическая переработка свежего РОВ при незначительном предварительном воздействии света может преобразовать до 90 % растворенного органического углерода в  $\text{CO}_2$ , в то время как переоблучение или предыдущая биodeградация РОВ может снизить его последующую доступность для бактерий и подавить преобразование в  $\text{CO}_2$  [11-12]. Предсказание судьбы арктических запасов углерода в условиях потепления может зависеть от его фотобиологической реакции и от того, будет ли РОВ, попавшее из почв в поверхностные воды, преимущественно преобразовано в  $\text{CO}_2$  и выброшено в атмосферу или перенесено вниз по течению в океан. Поскольку транспорт большинства микро- и макроэлементов в этих водах осуществляется в форме органических и органо-минеральных коллоидов, то необходимо также учитывать поведение металлов. Несмотря на то, что в зарубежной литературе имеется значительное количество экспериментальных оценок влияния процессов деструкции на свойства и содержание РОВ в почвенных и поверхностных водах, таких исследований в пределах Западной Сибири практически не ведется [13]. В связи с этим основной целью работы явилось экспериментальное изучение процессов фотодеструкции РОВ

речных и почвенных вод, а также поведения металлов во время его фотолиза в условиях юга криолитозоны Западной Сибири.

Для достижения поставленной цели на ключевом участке в северной тайге (63,78° с. ш.; 75,62 в. д., окрестности пос. Ханымей, ЯНАО) были отобраны почвенные и речные воды от торфяных почв плоскобугристого болота через небольшие водотоки к пойме малой реки. Для определения содержания фоторазлагаемого углерода (% ФРОУ) образцы воды фильтровались (0,22  $\mu\text{m}$ , Millipore) и подвергались воздействию солнечного света в герметично закрытых стерильных кварцевых пробирках под открытым солнцем в течение 28 дней. После повторной фильтрации образцов на 0, 2, 7, 14, 21 и 28 дни эксперимента определялись рН, содержание растворенного органического углерода (РОУ, VarioTOC Cube), элементный состав (ICP-MS, Agilent 7500) и оптические плотности (Variscan, Cary 50 Scan. UV-Visible) для оценки качественного состава РОВ путем расчета спектрофотометрических характеристик (E254:E436, E250:365, S275-295, S350-400, SR; SUVA<sub>254</sub>).

В ходе эксперимента по фотодеструкции к 28 дню в водах наблюдается заметное снижение концентрации РОУ во фракции < 0,22 мкм ( $p < 0,05$ ,  $R^2 = 0,59-0,62$ ) и, соответственно, увеличение ФРОУ до 14 %. % ФРОУ имеет прямую линейную зависимость от времени инкубации, и его наибольший процент по сравнению с ручьем отмечается в почвенно-болотной воде бугра и мочажины (7,8 и 13,6 % к 28 дню соответственно). Снижение SUVA<sub>254</sub>, S350-400 и увеличение SR, S275-295 и их корреляция говорят о потере высокомолекулярных органических соединений, что связано с их разрушением до низкомолекулярных, которые удаляются уже при повторной фильтрации. А увеличение доли низкомолекулярных соединений, в свою очередь, может повысить их биодоступность. Рассматривая поведение металлов в ходе фотолиза, можно выделить три закономерности, а именно: ряд металлов 1) уменьшается, и они часто коррелируют с РОУ и между собой (Al, Fe, Co, Cu, Mn, Mo, Ti, V, Cr, Rh, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pb), что связано с присутствием в большом количестве органо-минеральных коллоидов в данных водах и, соответственно, с их разложением; 2) не меняет свои концентрации (Ba, B, As, Sb, Cs) и 3) возрастает в ходе эксперимента (Si, Li, Ba, иногда Sr).

Таким образом, фотолиз влияет на количественный и качественный состав РОВ в изучаемых водах. Учитывая быструю фоторазлагаемость РОВ в начале гидрологического пути, предполагается, что более высокомолекулярный, ароматический наземный РОВ замещается ниже по гидрохимическому пути фотообесцвеченными молекулами меньшего размера, что, в свою очередь, увеличивает способность микроорганизмов

минерализовать РОВ. Результаты подчеркивают необходимость учета неоднородности концентраций растворенного органического углерода и трансформации РОВ для количественной оценки циклов углерода в мерзлых торфяниках.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00281.

### Библиографические ссылки

1. Porcal P., Dillon P. J., Molot L. A. Photochemical production and decomposition of particulate organic carbon in a fresh water stream // *Aquat. Sci.* 2013. Vol. 75. P. 469–482.

2. Porcal P., Dillon P. J., Molot L. A. Interaction of extrinsic chemical factors affecting photodegradation of dissolved organic matter in aquatic ecosystems // *Photochem. Photobiol. Sci.* 2014. Vol. 13. P. 799–812.

3. Porcal P., Dillon P. J., Molot L. A. Temperature dependence of photodegradation of dissolved organic matter to dissolved inorganic carbon and particulate organic carbon // *PLoS One.* 2015. Vol. 10, iss. 6. e0128884.

4. Sunlight controls water column processing of carbon in arctic fresh waters / R. M. Cory [et al.] // *Science.* 2014. Vol. 345. P. 925–928.

5. Photochemical alteration of organic carbon draining permafrost soils shifts microbial metabolic pathways and stimulates respiration / C. P. Ward [et al.] // *Nat. Commun.* 2017. Vol. 8. № 772.

6. Cory R. M., Kling G. W. Interactions between sunlight and microorganisms influence dissolved organic matter degradation along the aquatic continuum // *Limnol. Oceanogr. Lett.* 2018. Vol. 3. P. 102–116.

7. Photochemical mineralisation in a boreal brown water lake: considerable temporal variability and minor contribution to carbon dioxide production / M. Groeneweld [et al.] // *Biogeosciences.* 2006. Vol. 13. P. 3931–3943.

8. Sunlight induced carbon dioxide emissions from inland waters / B. Koehler [et al.] // *Glob. Biogeochem. Cycles.* 2014. Vol. 28. P. 696–711.

9. Low biodegradability of dissolved organic matter and trace metal from subarctic waters by culturable heterotrophic bacteria / O. Oleinikova [et al.] // *Sci. Tot. Environ.* 2018. Vol. 618. P. 174–187.

10. Humic surface waters of frozen peat bogs (permafrost zone) are highly resistant to bio- and photodegradation / L. S. Shirokova [et al.] // *Biogeosciences.* 2019. Vol. 16. P. 2511–2526.

11. Moran M. A., Sheldon W. M., Zepp R. G. Carbon loss and optical property changes during long-term photochemical and biological degradation of estuarine dissolved organic matter // *Limnol Oceanogr.* 2000. Vol. 45. P. 1254–1264.

12. Vähätalo A. V., Wetzel R. G. Photochemical and microbial decomposition of chromophoric dissolved organic matter during long (months-years) exposures // *MarChem.* 2004. Vol. 89. P. 313–326.

13. Dissolved organic matter biodegradation along a hydrological continuum in a discontinuous permafrost area: Case study of northern Siberia and Sweden / D. Payandi-Rolland [et al.] // *Sci. Total Environ.* 2020. Vol. 749. 141463.

УДК 631.41

## ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНОЙ И АНТРОПОГЕННОЙ МИГРАЦИИ ЦИНКА НА ТЕРРИТОРИИ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

**О. А. Ревина**

*Смоленский государственный университет, ул. Пржевальского, 4  
21400, г. Смоленск, Россия, [revinaoksanaal@gmail.com](mailto:revinaoksanaal@gmail.com)*

Рассматривается миграция цинка в природных и антропогенных ландшафтах Смоленской области. Выявлены изменения содержания цинка в различных природных ландшафтах. Установлены особенности биогенной миграции цинка в пределах региона. Показано, что в городских ландшафтах наибольшему техногенному воздействию подвержены древесные растения селитебно-транспортной зоны.

**Ключевые слова:** миграция цинка; природные и антропогенные ландшафты; почвы и почвообразующие породы; биогенная миграция.

## FEATURES OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC MIGRATION OF ZINC IN THE TERRITORY OF THE SMOLENSK REGION

**O. A. Revina**

*Smolensk State University, Przhevalsky St., 4  
21400, Smolensk, Russia, [revinaoksanaal@gmail.com](mailto:revinaoksanaal@gmail.com)*

The migration of zinc in natural and anthropogenic landscapes of the Smolensk region is considered. Changes in zinc content in various natural landscapes were revealed. The features of biogenic migration of zinc within the region have been established. It has been shown that in urban landscapes, woody plants in the settlement-transport zone are subject to the greatest technogenic impact.

**Key words:** zinc migration; natural and anthropogenic landscapes; soils and parent rocks; biogenic migration.

Выявление особенностей миграции рассеянных элементов в ландшафтах конкретных регионов имеет большое научное и практическое значение. Часть рассеянных элементов относится к микроэлементам, так как они оказывают существенное влияние на живые организмы. Цинк относится к таким микроэлементам. На его содержание и подвижность влияют как природные, так и антропогенные факторы. Особый интерес представляют геохимически подвижные формы элементов, которые при

изменении некоторых химических свойств компонентов ландшафта становятся подвижными и начинают активно вовлекаться в миграцию.

Основным источником цинка в природных ландшафтах является почвообразующая порода. В качестве таких почвообразующих пород, встречающихся в Смоленской области, исследовались лессовидные суглинки, морены валдайского и московского оледенений и водно-ледниковые пески [1]. Содержание геохимически подвижных форм цинка в исследованных почвообразующих породах составило от 5,2 до 11,0 мг/кг. Больше всего элемента обнаружено в лессовидных суглинках, а меньше всего – в водно-ледниковых песках. Установлены и различия в содержании цинка в морене супесчаной и суглинистой. Можно предположить, что содержание цинка во многом определяется гранулометрическим составом горных пород.

В природных ландшафтах были выявлены особенности перераспределения цинка в профиле дерново-подзолистой почвы. В верхних гумусовых горизонтах наблюдается аккумуляция геохимически подвижных форм элемента. Содержание цинка в них варьируется от 9,5 до 18,5 мг/кг. Слаборазложившиеся растительные остатки лесной подстилки отличаются максимальными значениями содержания элемента, обменные формы которого составляют от 43,5 до 68,8 мг/кг.

В нижних слоях почвы отмечается перераспределение подвижных форм цинка в элювиально-иллювиальных горизонтах. Таким образом, промывной водный режим обеспечивает минимальное значение содержания исследуемого элемента в подзолистом горизонте. Сходные закономерности миграции цинка выявлены в дерново-подзолистых и подзолистых почвах других регионов России [3, 4].

На примере цинка в природных ландшафтах Смоленской области определяются особенности ландшафтно-геохимического сопряжения. Поверхностный и подземный сток обеспечивают интенсивный вынос из элювиальных и особенно транс-элювиальных ландшафтов подвижных форм металла. Рост содержания цинка определяется в гумусовых горизонтах почв аккумулятивных и супераквальных ландшафтов. Коэффициент геохимического сопряжения (Кг) цинка в природных ландшафтах Смоленской области составляет от 1,8 – 2,2.

Анализ содержания цинка в древесной растительности исследуемой территории позволил установить особенности биогенной миграции исследуемого элемента. Так как Смоленская область относится к зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов, то для исследования были выбраны наиболее типичные для природных ландшафтов хвойные, мелколиственные и широколиственные породы деревьев: ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), береза

бородавчатая (*Betula pendula* Roth), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill), клен платановидный (*Acer platanoides* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.). Содержание цинка определялось в золе листьев и ветвях растений.

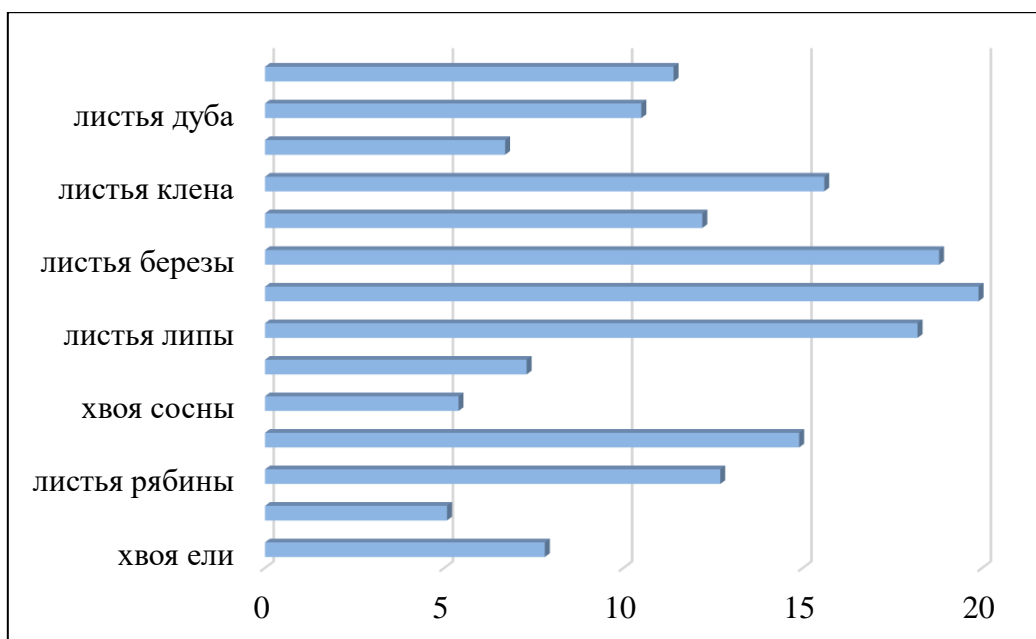
Анализ полученных результатов показал, что в исследуемых органах древесных растений содержание исследуемого металла колеблется от 2,5 до 11 мг/кг сухого вещества. Установлено, что в листьях и хвое металла содержится больше, чем в ветвях. Убывающий ряд содержания цинка в листьях древесных пород имеет следующий вид: рябина > клен > дуб > липа > береза > ель > сосна. В целом отмечается интенсивное биологическое поглощение цинка древесной растительностью, которое часто обусловлено почвенно-геохимическими условиями [2].

В процессе исследования поведения цинка в естественных и природных ландшафтах Смоленской области была выявлена миграция металла в городской среде. В городе Смоленске отбор проб почвы для ее анализа проводился в различных функциональных зонах.

Результаты исследования выявили повышенное содержание цинка в почвах города Смоленска. В верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтах концентрация этого металла составила от 12,5 до 47,8 мг/кг. Наибольшее содержание цинка характерно для селитебно-транспортной функциональной зоны. Меньшему загрязнению металла подвержена парково-рекреационная зона. В почвах промышленных зон города отмечена неоднородность распределения цинка, что может быть связано с особенностями технологических процессов промышленных предприятий [5].

Антропогенной трансформации также подвержены древесные растения г. Смоленска. Исследование растительного материала показало, что изменение содержания цинка в ветвях и листьях растений составляет от 5,5 до 24,2 мг/кг сухого вещества. При этом отличительной особенностью биогенной миграции в городской среде является более высокое накопление металла в ветвях древесных растений. В ветвях содержание цинка либо равно, либо превышает содержание в листьях соответствующих древесных пород.

В городских ландшафтах наибольшему техногенному воздействию подвержены древесные растения селитебно-транспортной зоны (рисунок). Цинк в листьях растений этой зоны превышает значения содержания элемента в соответствующем растительном материале остальных функциональных зон. Это может быть связано со способностью растений поглощать металлы из воздушных источников через листву [2].



Содержание цинка в сухом веществе растений селитебно-транспортной зоны г. Смоленска

Анализ полученных данных свидетельствует о глубоких изменениях, обусловленных влиянием антропогенного воздействия. Содержание геохимически подвижных форм цинка в городских почвах и древесных растений превосходит соответствующие значения в природных ландшафтах. Наиболее загрязнены металлом почвы и растения селитебно-транспортной зоны, а также отдельные участки промышленной зоны города Смоленска.

### Библиографические ссылки

1. Бигарова А. С., Фесюнова О. Д. Особенности почвообразующих пород Смоленской области // Современные проблемы географии и геоэкологии: Сборник научных статей. Выпуск II. Смоленск: Универсум, 2019. С. 5-10.
2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. Мир, 1989. 439 с.
3. Карпова Е. А., Голятина С. В., Ермаков А. А. Подвижность Zn и Cu в загрязненных дерново-подзолистых почвах агроценозов в зависимости от природных и антропогенных факторов // Сборник материалов II Международной научной конференции «Современные Проблемы Загрязнения почв». Т. 1. М.: МГУ, 2007. С. 369-371.
4. Мотузова Г. В., Барсова Н. Ю. Поглощение и миграция цинка в почвах таежной зоны по результатам лабораторных и полевых опытов // Почвоведение. 2012. № 8. С. 855-862.
5. Ревина О. А., Ревин А. Г. Эколого-геохимические особенности почв городских ландшафтов Смоленской области // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2022. № 4. С. 6-20.

УДК 550.4:551.3(476.7)

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРУДОВ г. НЕСВИЖА

**Ю. А. Романкевич**

*Институт природопользования НАН Беларуси, 220076, ул. Ф. Скорины, 10,  
г. Минск, Беларусь, [yuliya\\_romankevich@mail.ru](mailto:yuliya_romankevich@mail.ru)*

Рассмотрены особенности распределения тяжелых металлов в донных отложениях и взаимосвязи элементов в системе «донные отложения – почва» в условиях города. Установлены приоритетные в обогащении элементы (Cr, Cd и Zn). Выявлены две ассоциации тяжелых металлов, характерные для донных отложений города (Cu–Zn–Ni и Cd–Pb). Отмечено образование сильных корреляционных связей в формировании ассоциаций как в донных отложениях, так и в почвах (Cu–Zn). Определена связь ассоциации Cu–Zn–Ni и зольности. Рассчитаны факторные нагрузки. Установлены факторы, ответственные за формирование техногенной обстановки.

**Ключевые слова:** донные отложения; тяжелые металлы; геохимические коэффициенты; непараметрические методы исследований.

## FEATURES OF HEAVY METAL DISTRIBUTION IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE PONDS OF NESVIZH

**J. A. Ramankevich**

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, 220076,  
Skoriny st., 10, Minsk, Belarus, [yuliya\\_romankevich@mail.ru](mailto:yuliya_romankevich@mail.ru)*

The features of the distribution of heavy metals in bottom sediments and the relationship of elements in the «sediment-soil system» in urban conditions are considered. Priority elements for enrichment have been established (Cr, Cd and Zn). Two associations of heavy metals characteristic of the city's bottom sediments (Cu–Zn–Ni and Cd–Pb) were identified. The formation of strong correlations was noted in the formation of associations both in bottom sediments and in soils (Cu–Zn). The relationship between the Cu–Zn–Ni association and ash content was determined. Factor loadings were calculated. The factors responsible for the formation of the technogenic situation have been identified.

**Keywords:** urban soils; heavy metals; geochemical data; nonparametric research methods.

**Введение.** В последние десятилетия многие авторы обращались к проблеме индикаторной роли донных отложений в оценке загрязнения водных экосистем [1-3]. Современные донные осадки рассматриваются как депонирующая среда для микроэлементов, накопление которых



связано с изменением механических, физико-химических и биологических условий седиментации, а также поступлением техногенных веществ. Формирование микроэлементного состава осадков водоемов определяется ландшафтной структурой и освоенностью водосбора, литолого-петрографическими и геохимическими особенностями его пород [4], уровнем продукционно-деструкционных процессов в водоеме, его морфометрическими параметрами. Согласно [1], загрязняющие компоненты поступают в водные системы в растворенной форме и в виде взвешенных частиц с локальными сбросами, а также в составе стока с водосборных территорий.

Представляется, что анализ накопления тяжелых металлов (ТМ) в донных осадках водоемов обусловлен техногенной обстановкой на водосборе и согласуется с результатами изучения почвенного покрова, результаты исследования позволят повысить уровень понимания процессов миграции и аккумуляции веществ в условиях урбанизированных пространств. Выявление особенностей накопления и пространственного распределения тяжелых металлов в донных отложениях прудов г. Несвижа явилось целью данного исследования, объектом стали донные отложения, представленные илами.

*Изученность района исследований.* Исследование донных отложений водоемов г. Несвижа (более полно изложены в [5]) является составной частью комплексных эколого-геохимических исследований малого города [6, 7]. Так, изучение распределения ТМ в почвенном покрове г. Несвижа, выполненное ранее [6], определило приоритетные в накоплении элементы (Pb, Cd, Cr и Zn). На основании факторного анализа выявлены две ассоциации: Ni–Cr–Cd и Cu–Zn–Pb. Идентифицированы техногенные источники, ответственные за образование ассоциаций [6]. Согласно [7], приоритетными источниками загрязнения вод русловых прудов на территории г. Несвижа являются воды р. Уши, подземный и поверхностный сток. Доказано, что качество вод в водоемах и водотоках обусловлено техногенной нагрузкой на их водосборы, основным фактором формирования которой является сельскохозяйственный.

Район исследования приурочен к низменным ландшафтам речных долин, основной водной артерией которого является р. Уша — левый приток р. Неман. В г. Несвиже и его окрестностях на р. Уше созданы речные (русловые) пруды: Дикий, Замковый, Бернардинцев, Девичий и Альбянский, созданные в XVI в. путем перегораживания русла р. Уши. Бассейн верхнего течения р. Уши находится в зоне сочленения Столбцовской моренной равнины и Копыльской конечно-моренной возвышенности, в составе покровных отложений преобладают моренные и конечно-моренные супеси и суглинки сожского оледенения (*g, gtII*s), перекрываемые на отдельных участках флювиогляциальными песками и

супесями ( $fHsz^s$ ). Значительная часть водосборной территории приходится на городскую территорию (113, 5 га; 84 %).

В соответствии с основными литолого-геохимическими особенностями современных аллювиальных отложений Центральной провинции, район исследований представлен преимущественно моренными и лёссовыми отложениями, находящимися в разнообразных сочетаниях с осадками флювиогляциального, болотного и другого генезиса. Значительно распространение также имеют торфяные накопления. Согласно геохимическому индексу, аллювиальные отложения района характеризуются среднекларковыми концентрациями Cr (0,95) и Cu (0,94), среди накапливающихся элементов — Ni (1,35) [8].

*Методика исследований.* В ходе исследований отобраны пробы донных отложений в русловых прудах города, представленных илами, в количестве 37 шт. Точки отбора закладывались по поперечным профилям, а также в верхних и приплотинных частях водоемов. Отбор проб производили с лодки ручной драгой. Объединенную пробу донных отложений формировали из трех индивидуальных проб, отобранных на расстоянии 5–10 м друг от друга. Глубина отбора составляла 0–20 см.

Анализ валового содержания химических элементов (Cd, Zn, Pb, Cu, Ni и Cr) в пробах донных отложений выполняли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Определение подвижных форм металлов проводили из вытяжки ацетатно-аммонийного буфера (pH 4,8). В пробах также определяли pH и зольность в процентах к воздушно-сухому веществу.

Обработка данных включала вычисление статистических параметров; разделение многомерных данных на выборки по геохимическим параметрам; выделение ассоциаций химических элементов на основании многомерных статистических методов; выдвижение и проверку гипотез о связи конкретного техногенного фактора с выделяемой ассоциацией; интерпретацию полученных результатов. Факторный анализ выполняли на основе корреляционной матрицы, методом главных компонент с последующим варимакс-вращением [9]. Статистические анализы, проверку гипотез, построение картосхем осуществляли с использованием языка программирования R в среде Rstudio.

В качестве регионального геохимического фона ( $C_{\text{рег.}}$ ) принимали результаты опробования донных отложений Березинского заповедника (БЗ) [2]. Для оценки эколого-геохимического состояния донных отложений использовали коэффициент аномальности ( $K_a$ ), а также суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ), которые рассчитывали относительно фоновых значений ( $C_{\text{рег.}}$ ) [2]. Для вычленения техногенной составляющей в происхождении загрязнения использовали геоаккумуляционный индекс ( $I_{\text{geo}}$ ) согласно [3].

*Результаты и обсуждение.* Статистические параметры выборки и рассчитанные коэффициенты, выраженные через геохимические ряды, позволили выявить порядок накопления и определить приоритетные загрязняющие вещества.

Так, для наглядного представления полученных результатов были сформированы геохимические ряды, характеризующие содержание ТМ в порядке убывания величин (мг/кг): в донных отложениях г. Несвижа –  $Zn_{49}Cr_{34}Pb_{15}Cu_{11}Ni_{11}Cd_{1,0}$ ; в донных отложениях фоновых территорий –  $Zn_{31}Pb_{20}Cu_{15}Cr_{12}Ni_{12}Cd_{0,5}$ ; в почвенном покрове г. Несвижа –  $Zn_{53}Pb_{30}Cr_{27}Cu_{10}Ni_9Cd_{0,9}$ . Данные последовательности демонстрируют близкие концентрации, не различающиеся между собой более чем в 2 раза (Cd, Pb, Cr). Интенсивность обогащения донных отложений г. Несвижа относительно его почв слабо выражена:  $Cr_{1,3}Ni_{1,2}Cd_{1,1}Cu_{1,1}Zn_{0,9}Pb_{0,5}$  [5].

На основании коэффициента аномальности  $K_a$  выявлены приоритетные по степени обогащения элементы – Cr, Cd и Zn с уровнем превышения фона  $C_{пер.}$  в 2-4 раза. Сравнение фактических значений приоритетных в обогащении элементов с гигиеническими нормативами для почв позволяет рассматривать их в качестве загрязнителей. Так, зафиксировано загрязнение Cd и Zn – в 100 и 38 % случаев, при максимальных превышениях ПДК/ОДК в 1,5 и 3,2 раза соответственно. Установлены уровни загрязнения согласно геоаккумулятивному индексу  $I_{geo}$ : для Cr и Cd – «умеренно загрязненные», для Zn – «между незагрязненными и умеренно загрязненными», для остальных – преимущественно «незагрязненные» [5].

Таким образом, обогащение Ni и Cu, а также Pb находится на уровне фоновых вариаций, а уровень накопления Cr, Cd и Zn – несколько выше, очевидно имеет техногенную природу и может быть соотнесен, согласно  $I_{geo}$ , с уровнем загрязнения от «между незагрязненными и умеренно загрязненными» до «умеренно загрязненные».

Коэффициент суммарного загрязнения  $Z_c$  изменялся от 2,6 до 6,3 ( $Z_c < 10$ ), что указывает на отсутствие значимой дифференциации и слабый уровень техногенного загрязнения [5]. Корреляционный анализ содержания элементов выполняли для донных отложений и почв на территории города с целью оценки характера связей между исследуемыми компонентами. Так, обобщенная корреляционная матрица, характеризующая донные отложения, показывает, что значимые корреляционные связи образует Cu (с Zn) – 0,8, а также Ni (с Zn, Cu и Cr) – 0,5-0,6, что характерно и для почв [5, 6].

Факторный анализ выполнен для проверки гипотезы о двух наиболее значимых факторах в числе основных, а также выявления их вклада в формирование ассоциаций химических элементов в донных отложениях водоемов г. Несвижа. В результате выделены две главные компоненты

(главных фактора): фактор 1 (44,1 %) от общей дисперсии) указывает на ассоциацию Cu-Zn-Ni, а фактор 2 (28,6 %) – на Cd-Pb [5].

Ответственность за образование ассоциации Cu-Zn-Ni по фактору 1 возложена на выбросы от основных источников воздействия, которые в результате эмиссии поступают в почву, далее, в результате вымывания, попадают в пруды и накапливаются в донных отложениях. В пользу данного вывода свидетельствует доля от суммарных объемов выбросов, поступающих от непромышленных установок для сжигания в жилом фонде, и от дорожного транспорта и передвижных источников, на которую приходится 87 % (1,34 т) и 90 % (2,51 т) элементов данной ассоциации соответственно. Кроме того, ранее доказана связь между выбросами от этих источников и образованием ассоциаций в почвах города [5, 6].

Установлена заметная прямая корреляционная связь между фактором 1 и содержанием органического вещества в донных отложениях ( $r = 0,56$ ,  $p < 0,012$ ). Геохимический смысл результата применения коэффициента ранговой корреляции интерпретирован следующим образом: концентрация элементов ассоциации Cu-Zn-Ni определяется содержанием органического вещества. При повышении зольности в диапазоне от 75 до 96 % наблюдается положительная связь между фактором 1 и зольностью. Диапазон зольности, характеризующий донные отложения г. Несвижа, изменяется от 69,3 до 95,8 % при среднем значении 83,4 %. Следовательно, положительная связь между фактором 1 и зольностью характерна для прудов Дикого (88 %), Замкового (81,2 %), Девичьего (82,3 %) и Альбянского (86,5 %) и не проявляется для Бернардинцев (71,6 %) [5].

Геохимическая природа образования ассоциации Cd-Pb по фактору 2, как и по фактору 1, очевидно, имеет техногенный характер. На долю элементов ассоциации приходится 5–8 % (0,12–0,15 т) в объеме выбросов от основных источников загрязнения. Однако уровень обогащения и загрязнения данными ТМ почв, участие в образовании ассоциаций, характеризующих почвенный покров (Ni-Cr-Cd и Cu-Zn-Pb), а также выявленная ранее связь с выбросами позволяют акцентировать внимание на выбросах, как на наиболее вероятном источнике, ответственном за поступление Cd и Pb в окружающую среду города, включая донные отложения. Кроме того, помимо вымывания из почв, в пруды Cd может поступать со стоком с сельскохозяйственных угодий с водами р. Уши и мелиоративных каналов, дренирующих осушенный массив «Каролино» выше города, а также накапливаться в донных отложениях в результате разложения различных организмов и водной растительности [5, 6].

Изучались подвижные формы ТМ. Установлено, что Cd и Pb характеризуются наибольшей подвижностью среди изучаемых элементов

донных отложений водоемов исследуемого города — 62,4-97,6 и 39,0-93,2 % от валовых форм соответственно. Согласно [10], высокие доли подвижных форм Cd и Pb с одной стороны, свидетельствуют об интенсивном накоплении данных элементов и росте загрязнения, а с другой — могут указывать на аккумуляцию Cd и Pb в донных отложениях, связанную с процессами соосаждения металлов с гидроксидами железа и марганца в глинистой фракции.

По результатам проведения факторного анализа изучали пространственное распределение нагрузки отдельно по двум факторам в разрезе точек опробования. Так, наименьшее значение факторов в обоих случаях, характеризующих наименьшей нагрузкой, были характерны для прудов Дикого и Замкового. Это закономерно, принимая в расчет, с одной стороны, техногенную природу обеих ассоциаций, а с другой – отсутствие выраженной техногенной нагрузки на водосборы данных прудов, занятые преимущественно парками. Типичная же нагрузка урбанизированного пространства малого города представлена на водосборе пруда Девичьего, что нашло отражение в наибольших положительных и вместе с тем наиболее выраженных нагрузках на оба фактора [5].

Таким образом, если на основании применения геохимических коэффициентов был выявлен спектр элементов, характеризующихся некоторым обогащением в условиях малого города с низкой техногенной нагрузкой, то применение непараметрических методов позволило определить устойчивые ассоциации, образованные технофильными элементами в донных отложениях водоемов и проследить их связь с источником — воздействием определенных аэротехногенных факторов; выявить и оценить связи между компонентами выделенных ассоциаций, а также определить предопределяющие в накоплении факторы – связь фактора 1 с зольностью, а также предположить связь фактора 2 с содержанием глинистой фракции [5].

Сделаны выводы об особенностях распределения Zn в депонирующих средах г. Несвижа. Установлено достоверное распределение Zn в донных отложениях и почвах города. Отмечено образование сильных корреляционных связей Zn в формировании ассоциаций в донных отложениях и почвах, что согласуется с представлениями о распределении Zn в почвах городов [11], а также в речных донных осадках согласно выделенным Саеком Ю. Е. техногеохимическим ореолам, где именно Zn является характерным технофильным ТМ, отличительно характеризующим среду малого города.

## Библиографические ссылки

1. *Савченко В. В.* Литофациальная дифференциация химических элементов в отложениях речных долин в природных и техногенных условиях // *Водные ресурсы.* 1996. Т. 23, № 6. С. 690–698.
2. *Натаров В. М., Лукашёв О. В., Савченко В. В.* Комплексный геохимический фоновый мониторинг в Березинском биосферном заповеднике. Минск : Белорус. Дом печати, 2013. 213 с.
3. Методические подходы к оценке загрязнения донных отложений реки тяжелыми металлами (на примере р. Свислочи) / *Е. П. Овчарова [и др.]* // *Природопользование.* – Минск, 2016. Вып. 30. С. 50–59.
4. *Кузнецов В. А.* Геохимия аллювиального литогенеза. Минск : Наука и техника, 1973. 276 с.
5. *Романкевич Ю. А.* Распределение тяжелых металлов в донных отложениях прудов г. Несвижа // *Природопользование.* 2023. № 2. С. 97–110.
6. *Романкевич Ю. А.* Распределение тяжелых металлов в почвах на территории малого города (на примере г. Несвижа) // *Природопользование.* 2022. № 1. С. 56–70.
7. *Романкевич Ю. А.* Комплексная эколого-геохимическая оценка состояния водных объектов малого города Беларуси (на примере г. Несвижа) // *Природопользование.* Минск, 2015. Вып. 27. С. 85–94.
8. Геохимические провинции покровных отложений БССР / под ред. *К. И. Лукашёва.* Минск : Наука и техника, 1969. 470 с.
9. *Лукашёв О. В., Жуковская Н. В.* Ретроспективная оценка загрязнения почв и растительности г. Кобрина металлами // *Природные ресурсы.* 2009. № 1 С. 15–21.
10. *Головатый С. Е.* Тяжелые металлы в агроэкосистемах. Минск : Институт почвоведения и агрохимии, 2002. С. 239.
11. *Хомич В. С., Кухарчик Т. И., Какарека С. В.* Цинк в почвах городов Белоруссии // *Почвоведение.* 2004. № 4. С. 430–439.

УДК 616.006:[004.67+004.93]

## О СПЕЦИФИКЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ

**С. Л. Романов, А. Н. Червань**

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск, Беларусь, [Romanov\\_S\\_L@mail.ru](mailto:Romanov_S_L@mail.ru)*

Впервые детально исследована пространственная неоднородность наблюдаемой онкологической заболеваемости (ОЗ) на территории Гомельской и Могилевской областей. Выявлены компактные зоны как аномально низкой, так и высокой (различающейся в 4 и более раза) ОЗ. Анализ полученных результатов позволил сделать заключение о закономерной пространственной упорядоченности выявленных аномалий и об эндемической природе рака, как спровоцированного «человеческого заболевания».

**Ключевые слова:** онкологические заболевания; риск; пространственная неоднородность; ГИС-технология; картографическая оценка; эндемичность.

## SPATIAL FEATURES OF THE RISK OF ONCOLOGICAL DISEASES IN THE TERRITORY OF THE GOMEL AND MOGILEV REGIONS OF BELARUS

**S.L. Romanov, A.N. Chervan**

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus,  
[Romanov\\_S\\_L@mail.ru](mailto:Romanov_S_L@mail.ru)*

The spatial heterogeneity of the observed cancer incidence in the Gomel and Mogilev regions was studied in detail. Compact zones of both abnormally low and high cancer incidence were identified. Analysis of obtained results allowed us to draw conclusion about the natural spatial ordering of the identified anomalies and about the endemic nature of cancer as a provoked “human disease”.

**Keywords:** oncological diseases; risk; spatial heterogeneity; GIS-technology; cartographic assessment; endemicity.

По данным ВОЗ в 2020 г. в мире выявлено 19,3 млн больных и зафиксировано 10 млн летальных исходов от онкологических заболеваний (ОЗ), которые являются второй после заболеваний сердечно-сосудистой системы причиной смертности в мире. [2]. Беларусь в этом отношении не является исключением и несмотря на то, что страна характеризуется

средним уровнем ОЗ (примерно 570 человек на 100 000 населения) и впечатляющими успехами в области их профилактики и лечения, в настоящее время смертность по этой причине составляет 50 человек в сутки, а число заболевших увеличивается на 1300 человек в год.

Таким образом, проблема минимизации уровня ОЗ является чрезвычайно актуальной, и, хотя, борьба с раком имеет длительную историю и постоянно находится в центре внимания медицинских специалистов, окончательно решить ее до сих пор не удастся. Основным препятствием является отсутствие представления о причинах, вызывающих эти заболевания и, соответственно, отсутствие точной информации об этиопатогенетических факторах, достоверно ответственных за возникновение и частоту встречаемости ОЗ. В этом отношении важной предпосылкой является, с одной стороны, «человеческая природа» заболевания, а с другой — пространственная неоднородность частоты ее встречаемости, отмечаемая для практически всех существующих форм ОЗ.

Факт наличия устойчивой пространственной неоднородности риска возникновения ОЗ известен давно (Hutt, 1975; Besancenot, 1975 et al.). Так данные GCO (Global Cancer Observatory) [1] показывают, что в 2019 г. уровень общей заболеваемости в Австралии был в 5,3 раза выше, чем в Индии или Саудовской Аравии, а на территории бывшего СССР заболеваемость в Латвии в 3,5 раза превосходила аналогичный показатель для Таджикистана. Сходная неоднородность имеет место и на территории Российской Федерации, для которой частота выявления ОЗ в Дагестане и Ямало-Ненецком АО в 4-5 раз ниже, чем, например, в Архангельской или Ивановской области. Не составляет исключения и территория США, где применительно к отдельным административным округам общая частота встречаемости ОЗ различается в 6 и более раз. (рис. 1)

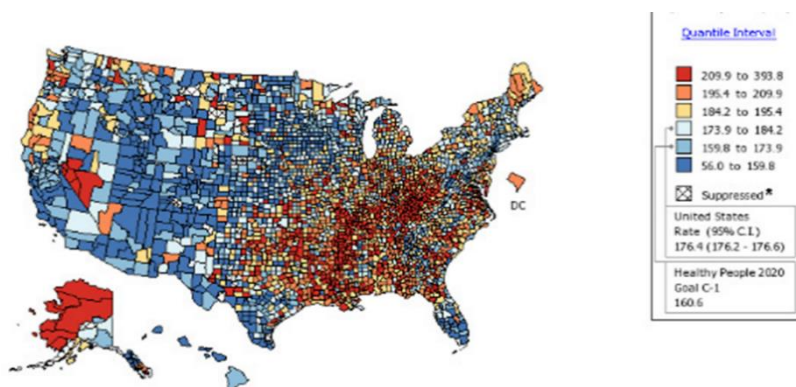


Рис 1. Общая онкологическая заболеваемость на территории США, нормированная на 100 000 населения (по состоянию на 2020 г.) [1]



Аналогичная пространственная неоднородность существует и применительно к ОЗ разных локализаций. Например, на территории Российской Федерации рак щитовидной железы (РЩЖ) в Краснодарском крае или на Алтае встречается в 3 раза реже, чем в Калмыкии или в Башкортостане [2], а в США округа различаются по величине этого показателя в 7-8 раз [1].

Очевидно, что наличие настолько большого контраста должно иметь объяснение в виде причины или комплекса причин, способных вызывать как многократный рост, так и снижение уровня ОЗ. Решение данной проблемы представляется чрезвычайно важным, поскольку выявление факторов, достоверно определяющих уровень риска возникновения ОЗ, несомненно, позволит в разы повысить и эффективность их профилактики.

Существуют две гипотезы, в соответствии с которыми такого рода неоднородность может существовать в принципе.

1. Наличие разнородных групп оседло проживающего населения, обладающего разной генетически закрепленной восприимчивостью к воздействию канцерогенных факторов (причина внутренняя — *эндогенная*).

2. Наличие специфических природно-территориальных особенностей, способных провоцировать возникновение ОЗ у всех категорий проживающего населения (причина внешняя — *экзогенная*).

Анализ показывает, что приоритетной является вторая гипотеза, тогда как гипотеза о разном уровне восприимчивости всего компактно проживающего населения убедительно опровергается не только сведениями медицинской статистики, которая пока не располагает достоверными данными о наличии положительной связи между расово-этнической принадлежностью и частотой встречаемости ОЗ. Утверждение доказывается и опровергающимися примерами, которые, с одной стороны, демонстрируют наличие пространственной неоднородности ОЗ на территориях с этнически однородным составом населения, а с другой — наличие аналогичного контраста в регионах с предельно смешанным населением [3].

В силу приведенных аргументов, а также, следуя закону формальной логики, о том, что альтернативное утверждение истинно, если обратное неверно, а третьего не дано, следует признать справедливой именно экзогенную гипотезу о том, что ОЗ являются следствием воздействия одной или нескольких внешних причин на выборку оседло проживающего населения.

Особенностью современного состояния изученности решаемой проблемы является тот факт, что картированию всегда подвергались исключительно те регионы, для которых имелась репрезентативная статистическая база, из-за чего объектом изучения обычно выступал элемент административно-хозяйственного деления: город, район, область или целая страна.

Первым шагом проверки предлагаемой гипотезы должно было стать решение задачи детального картирования пространственной неоднородности ОЗ разных локализаций, для чего предварительно требовалось решить более общую задачу картографического представления пространственных выделов, достоверно различающихся по уровню наблюдаемой заболеваемости любой природы и применительно к любой категории заболевших.

В данном случае картирование выполнялась на базе материалов белорусского канцер-регистра, в котором на протяжении 41 года (1978-2019) были зафиксированы данные по 17 видам ОЗ, полученные с учетом пола, возраста и мест проживания всех заболевших на территории Могилевской и Гомельской областей Беларуси.

Данная работа потребовала координатной привязки каждого из указанных в регистре НП, уточнения параметров переименования и ведомственного переподчинения, создания полного списка НП, существующих и существовавших на протяжении всего исследуемого периода. При этом корректное построение такой карты потребовало соблюдения ряда непреложных условий, начиная от оценки уровня статистической достаточности используемой выборки и заканчивая внесением корректных поправок для точной характеристики возрастных и демографических особенностей каждого рассматриваемого НП. Для обеспечения статистической достоверности расчетных величин ОЗ в анализе участвовали только НП, с числом проживавших не менее 250, что должно было обеспечивать мощность критерия на уровне 99 % доверительной вероятности [4].

Одновременно уровень заболеваемости в каждом отобранном НП был нормирован по числу заболевших на 100 000 человек, а непосредственная процедура формирования изолинейных поверхностей осуществлялась средствами ArcGIS 10.7 методом обратно взвешенных расстояний в пределах локализованного поля. Сначала для обеих областей были построены карты общей онкологической заболеваемости сельского населения, а затем и карты общей заболеваемости отдельно для заболеваемости мужчин и женщин [5]. Полученный результат приведен на рис. 2.

Анализ этих, впервые полученных, результатов позволяет сделать ряд чрезвычайно важных и далеко идущих выводов:

1. Уровень онкологической заболеваемости на территории обеих областей предельно неоднороден и способен изменяться в четыре и более раза, образуя специфическую структуру аномальных зон значительной площади.

2. Как положительные, так и отрицательные аномалии представляют собой пространственные выделы моноцентрической структуры, включающие именно группы компактно расположенных НП.

3. Пространственная конфигурация наблюдаемых зон аномальной заболеваемости не имеет выраженной связи с конфигурацией границ административных образований, что косвенно свидетельствует о качественной репрезентативности анализируемой статистической выборки.

4. Несмотря на наличие значительного числа не только физиологических, но также поведенческих и социально-психологических различий, как конфигурация, так и пространственная приуроченность зон максимального и минимального риска оказалась практически идентичной для обеих групп населения.

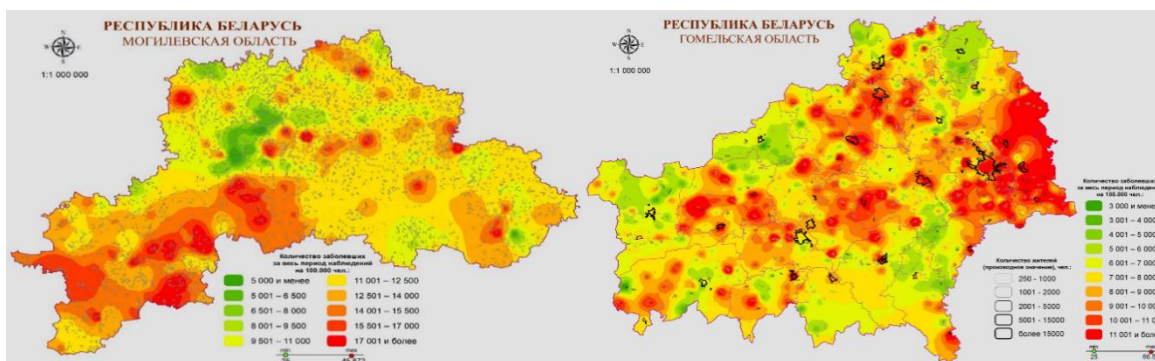


Рис. 2. Пространственная структура общей онкологической заболеваемости сельского населения Могилевской и Гомельской областей

Полученный результат не только убедительно подтверждает первоначально выдвинутую гипотезу о наличии комплекса внешних причин, способствующих значительному снижению или увеличению уровня общей заболеваемости, но и позволяет сделать более общее заключение об эндемической (экологически спровоцированной) природе во всяком случае большей части существующих онкологических заболеваний [6].

Для проверки этой гипотезы были построены карты заболеваемости, относящиеся к ОЗ определенных локализаций в организме человека. Полученный результат представлен на рис. 3.

Анализ пространственной структуры полученных изображений позволил сделать однозначные заключения о том, что:

1. В пределах исследуемой территории уровень риска возникновения ОЗ разных локализаций предельно неоднороден.

2. Пространственная структура выявленных положительных и отрицательных аномалий практически идентична для ОЗ разных локализаций.

3. Пространственная структура зон риска для ОЗ обеих рассматриваемых локализаций не является оригинальной, но в целом

повторяет конфигурацию зон риска, выявленных для выборки общей заболеваемости как женщин, так и мужчин.

4. Имеет место очень незначительное количество исключений, что не отменяет правила, но представляет собой предмет особого интереса.

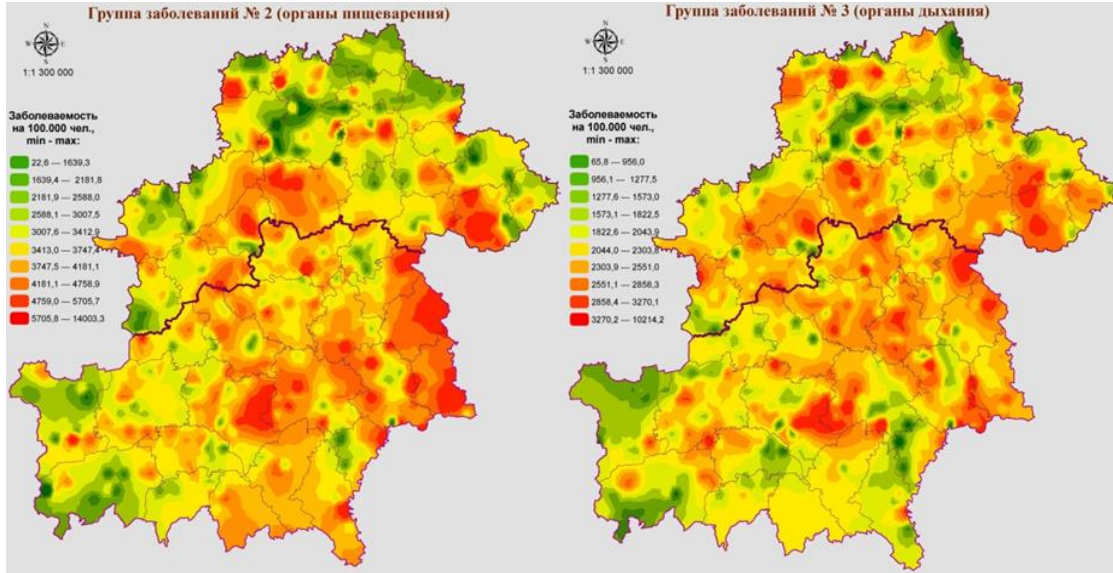


Рис. 3. Пространственная структура онкологической заболеваемости органов пищеварения и органов дыхания для сельского (мужского и женского) населения Гомельской и Могилевской областей

В ходе углубленной работы по изучению пространственной структуры наблюдаемой картины онкозаболеваемости были проанализированы ОЗ других локализаций (губы, глотки, молочной железы, мужских половых органов и др.). В результате обнаружилось, что общая взаимная конфигурация местоположений, зафиксированных для зон минимального и максимального риска, в целом аналогична для всех полученных карт, причем как для мужского, так и для женского населения.

Вопрос о наличии связи между наблюдаемым уровнем заболеваемости и наличием на данной территории радиационного загрязнения, несомненно, представлял первоочередной интерес. Для этого была построена карта, характеризующая уровень общей заболеваемости мужского и женского сельского населения, зафиксированный по состоянию на январь 1986 г. [7].

Анализ полученных изображений показал, что радиационное загрязнение не может является непосредственной (единственной) причиной пространственной неоднородности риска возникновения ОЗ, поскольку заболеваемость была значительно дифференцирована и до аварии на ЧАЭС, а общая конфигурация современных зон риска в целом не соответствует конфигурации зон последующего радиационного загрязнения.

Все полученные результаты не содержат очевидных логических и смысловых противоречий, что дает основание утверждать, что сделанные на их основе выводы должным образом обоснованы и справедливы, а анализируемая нулевая гипотеза подтверждена на достаточно высоком уровне достоверности.

Совокупность вышеприведенных результатов позволяет сделать ряд принципиально важных заключений относительно не только специфики пространственного распределения, но и генезиса ОЗ, имеющих место на территории Беларуси:

- риск возникновения, во всяком случае подавляющего большинства фиксируемых форм ОЗ, резко неоднороден в пространстве, в результате чего на территории Беларуси имеют место аномальные зоны, длительное проживание в пределах которых способно в разы как увеличивать, так и снижать уровень опасности возникновения ОЗ;

- наблюдаемая конфигурация зон риска представляет собой прямое следствие пространственной приуроченности к территориям, обладающим определенным набором экологических параметров, способных в значительной мере провоцировать возникновение заболеваний разной локализации;

- рассмотренный объект, равно как канцер-регистр, так и анализируемая популяция населения, несомненно, репрезентативны по отношению не только ко всей территории Беларуси, но и как минимум к территории всей восточной Европы, включая Европейскую Россию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований и Российского фонда фундаментальных исследований (Проект X20P-386).

### Библиографические ссылки

1. Global Cancer Observatory [Electronic resource]. URL: <https://gco.iarc.fr/en> (date of access: 12.02.2024).
2. Variations in common diseases, hospital admissions, and deaths in middle-aged adults in 21 countries from five continents (PURE): a prospective cohort study / G. R Dagenais [et al.] // *The Lancet*. 2019. Vol.395, Iss. 10226. P. 785-794.
3. Risk of thyroid cancer after exposure to <sup>131</sup>I in childhood / E. Cardis [et al.] // *Journal of the National Cancer Institute* / Oxford Academic. 2005. Vol. 97. № 10. P. 724-732.
4. *Korobova E., Romanov S., Silenok A.* Endemic diseases of geochemical origin and methodological approaches toward their prevention and elimination// *Environmental Geochemistry and Health*. 2020. Vol. 42.P. 2595-2608.
5. *Korobova E.* Комплексная оценка эколого-геохимического состояния техногенно трансформированных территорий // *Геохимия*. 2017. № 10.С. 863-874.
6. Методические принципы построения карты йододефицита на территории Беларуси / С.Л. Романов [и др.] // *Вестник фонда фундаментальных исследований*. 2017. № 3. С. 118-135.
7. Радиоактивное загрязнение природных сред в результате аварии на Чернобыльской атомной станции / Ю. А. Израэль. М. : Изд-во «Комтехпринт». 2006. 28 с.

УДК 528.9

## ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕТРОСПЕКТИВНОГО ГЕОКОДИРОВАНИЯ ЭТНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**М. Г. Тренева, А. И. Ракова**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Университетская наб., 7-9, 199034, г. Санкт-Петербург, Россия,  
[st068641@student.spbu.ru](mailto:st068641@student.spbu.ru), [rakova.arina@gmail.com](mailto:rakova.arina@gmail.com)*

Ключевым этапом разработки геоинформационной системы (ГИС) «Этнография Ленинградской области» являлось создание базы данных различных исторических эпох. В ходе разработки базы данных ГИС проводилась работа по геокодированию списков населенных пунктов по данным Всесоюзной переписи 1926 г. с помощью геоинформационных сервисов. В данной статье описана специфика ретроспективного геокодирования автохтонных населенных пунктов с помощью сервисов: NominatimAPI, GoogleMapsAPI автоматизированным способом.

**Ключевые слова:** ретроспективное геокодирование; геоинформационные системы; этнографическое картографирование.

## PECULIARITIES OF AUTOMATIC RETROSPECTIVE GEOCODING OF ETHNOGRAPHIC DATA

**M. G. Treneva, A. I. Rakova**

*Saint Petersburg State University, Universitetskaya Emb., 7-9, 199034, Saint Petersburg,  
Russia, [st068641@student.spbu.ru](mailto:st068641@student.spbu.ru), [rakova.arina@gmail.com](mailto:rakova.arina@gmail.com)*

A key stage in the development of the geographic information system (GIS) "Ethnography of the Leningrad region" was the creation of a database of different historical eras. During the development of the GIS database, work was carried out on geocoding lists of settlements according to the All-Union Census of 1926 using GIS-services. This article describes the specifics of retrospective geocoding of autochthonous settlements using the services: Nominatim API, Google Maps API an automated way.

**Keywords:** retrospective geocoding; geoinformation systems; ethnographic mapping.

При проведении этнографических исследований возникает задача локализации населенных пунктов. Работая с архивными документами, исследователи сталкиваются с проблемами определения пространственных координат объектов. Создавая картографические базы данных



на основе текстовой информации для координатной привязки, целесообразно выбирать методы геокодирования [1].

Создание таких баз данных проводится, например, в процессе изучения поселенческой, дорожной, гидрографической сети разных исторических периодов [2, 3]. ГИС-технологии не применяются историками в полной мере, но их популярность в этой сфере растет. Одной из решаемых задач является изучение особенностей формирования и трансформации дисперсно расселенных групп этнических диаспор [4].

В ходе разработки геоинформационной системы «Этнография Ленинградской области» возникла задача определения координат населенных пунктов. Геокодирование — процесс, преобразующий описание местоположения (например, координаты, адрес или название места) в местоположение на поверхности Земли [5]. Так как объектом данного исследования является этнографическое картографирование по данным 1926 г., то мы имеем дело с геокодированием населенных пунктов ушедших эпох, т. е. ретроспективным. Ретроспективное геокодирование — это геокодирование с учетом изменений свойств географических объектов с течением времени.

С одной стороны, проблемы геокодирования этнографических данных связаны с административно-территориальными преобразованиями: упразднением и переименованием административно-территориальных единиц и населенных пунктов. С другой стороны, специфической проблемой является определение местоположения автохтонных поселений с «необычными» типами, например: будка, больница, ж/д станция, завод, казарма и другие.

Возможным вариантом методики геокодирования является комбинация автоматизированного и ручного метода [8]. При обработке большого количества данных лучше использовать сначала автоматизированные методы, а затем дополнительно искать не определившиеся координаты на топографических картах [9, 10].

В данном исследовании фокус направлен на исследование возможностей автоматизированного геокодирования как способа ускорить процесс поиска координат населенных пунктов. Геокодирование велось по названию поселения, его типу, губернии, сельсовету, волости, губернии.

Существует несколько сервисов, позволяющих проводить геокодирование. Исследуемые программные решения — это продукты, находящиеся в открытом доступе для всех пользователей. Так, *задачей* стал выбор оптимальной методики геокодирования этнографических данных с учетом их особенностей и ретроспективы.

При выборе наиболее подходящего инструмента автоматического геокодирования было решено учитывать следующие характеристики: доступность программного обеспечения или сервиса, обеспечение

максимальной точности определения координат для исключения ручного труда, удобство интерфейса.

Для этого были рассмотрены следующие варианты ГИС-сервисов:

1) MMQGIS — является дополнительным модулем в программном обеспечении QGIS. Нами был использован сервер NominatimAPI, так как он является общедоступным и не требует ключа.

С использованием данного метода при геокодировании населенных пунктов евреев (данные переписи населения 1926 г.) были получены следующие результаты. Среди исходных данных были обычные данные (то есть города, деревни и т. д.), и специфические поселения (больницы, контора, хутора, ж/д будка, совхоз, слобода и усадьба). В ходе геокодирования с использованием сервера OSM/Nominatim не были определены координаты 37 % населенных пунктов.

Однако при проверке данных было выявлено 9 пар ошибочно выявленных координат. И, таким образом, всего неверно было геокодировано 33 поселения, что составляет больше 50 % от общего числа (рис. 1). Рассматривая «проблемные» типы поселений, удалось верно определить координаты только слободы и усадьбы.



Рис.1. Геокодированные населенные пункты евреев в Ленинградской области по данным Всесоюзной переписи населения 1926 г. с помощью Nominatim

2) Geocodeforawesometable — является расширением в сервисе Googletable. Является бесплатным вариантом подключения к GoogleMapsAPI.

В ходе геокодирования поселений евреев таким способом не было определено автоматически только 3 %. При проверке геокодированных пар координат мы выявили еще 17 % неверно определенных пар координат, в общей сумме — 20 % от общего количества (рис. 2). Среди «проблемных» типов поселений таким методом были определены координаты больниц, ж/д будки, завода, конторы, усадьбы, слободы.





Рис.2. Геокодированные населенные пункты евреев в Ленинградской области по данным Всесоюзной переписи населения 1926 г. с помощью Google API

### Сравнение сервисов «MMQGIS» и «Geocode for awesome table»

	MMQGIS	Geocode for awesome table
Лимит на количество запросов в минуту (бесплатная версия)	6000	3000
Точность определения координат “обычных” типов населенных пунктов	49 %	80 %
Точность определения координат “специфичных” типов населенных пунктов	10 %	50 %
Удобство интерфейса и интерактивность	☆☆☆	☆☆☆☆☆

При сравнении двух приведенных выше сервисов по параметрам, указанным в таблице, становится ясно, что, по крайней мере на территории Ленинградской области, сервис от Google лучше подходит для задач автоматизированного геокодирования.

Таким образом, в данном исследовании апробированы методы геокодирования с помощью Nominatim и GoogleAPI на примере данных переписи населения 1926 г., а также наглядно представлены результаты. Данные сервисы являются открытыми, они оценивались с точки зрения удобства, точности геокодирования и лимита на количество запросов в день. На территории Ленинградской области по всем показателям лучше использовать сервис Geocodeforawesometable от компании Google. На

данный момент оба инструмента не позволяют определить координаты всех населенных пунктов, особенно со специфическими типами. Оцифровка топографических карт и наполнение баз данных на их основе, в т. ч. с помощью ручного геокодирования, в будущем позволит улучшить точность сервисов автоматизированного геокодирования.

### Библиографические ссылки

1. Корсукова Е. Г. Геокодирование исторического текста // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского
2. Геоинформационные технологии в изучении поселенческой сети Алтая в 1920-е гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000789063/SOURCE1?viewPdfInternal=1> (дата обращения: 12.02.2024)
3. Historical collaborative geocoding [Electronic resource] / Rémi Cura [et al.]. URL: Historical collaborative geocoding (arxiv.org) (date of access: 12.02.2024)
4. Коровушкин Д. Г. История и источники изучения количественных и качественных изменений расселения и численности сельских переселенческих диаспор Западной Сибири в конце XIX–XX веке (на примере латышей и эстонцев) // Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2009. Том 8, выпуск 5: Археология и этнография [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-i-istochniki-izucheniya-kolichestvennyh-i-kachestvennyh-izmeneniy-rasseleniya-i-chislennosti-selskih-pereselencheskih?ysclid=lsjeec69st707257270> (дата обращения: 12.02.2024)
5. Что такое геокодирование? Справка ArcGISforDesktop [Электронный ресурс]. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/guide-books/geocoding/what-is-geocoding.htm> (дата обращения: 12.02.2024)
6. Ракова А. И. Управление данными и картографирование с использованием геоинформационных систем при проведении этнографических исследований: выпускная квалификационная работа / Архив открытого доступа Санкт-Петербургского государственного университета, 2021 [Электронный ресурс]. URL: <http://hdl.handle.net/11701/30492> (дата обращения 19.05.2023)
7. ЭтоМесто – старые карты России и мира онлайн [Электронный ресурс]. URL: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения: 11.02.2024)
8. Old Maps Online. Discovering the Cartography of the Path [Electronic resource]. URL: <https://www.oldmapsonline.org/> (date of access: 11.02.2024)
9. Архив старых карт, карт ген. штаба и старинных карт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.clibklad.ru/> (дата обращения: 11.02.2024)
10. Старые карты России и Зарубежья [Электронный ресурс]. URL: <http://retromap.ru/> (дата обращения: 11.02.2024)

УДК 528.8

## ОЦЕНКА БИОМАССЫ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛИГОНА «КАРБОН-ПОВОЛЖЬЕ» ПО ДАННЫМ ВЛС

**Б. М. Усманов, А. М. Гафуров, М. В. Кожевникова, Д. В. Тишин**

*Институт экологии и природопользования, Казанский федеральный университет,  
ул. Товарищеская. 5, 42097, Казань, Россия, [busmanof@kpfu.ru](mailto:busmanof@kpfu.ru)*

Для территории лесного участка полигона «Карбон-Поволжье» по результатам лидарной съемки получена цифровая модель рельефа, находящегося под лесным покровом, карта высоты деревьев, морфометрические характеристики крон. С использованием данных натурных наблюдений выведено уравнение, связывающее биомассу кроны с объемом и высотой дерева, что позволило получить пространственную модель биомассы крон.

**Ключевые слова:** карбоновый полигон; биомасса растительности; дистанционное зондирование; БПЛА; воздушное лазерное сканирование; моделирование.

## ASSESSMENT OF FOREST VEGETATION BIOMASS AT CARBON VOLGA TEST AREA BASED ON THE ALS RESULTS

**B. M. Usmanov, A. M. Gafurov, M. V. Kozhevnikova, D. V. Tishin**

*Institute of Ecology and Environmental Management, Kazan Federal University,  
Tovarisheskaya str., 5, 42097, Kazan, Russia, [busmanof@kpfu.ru](mailto:busmanof@kpfu.ru)*

For the forest site of the Carbon Volga test area a digital model of the relief under the forest cover, a tree height map, and morphometric characteristics of the crowns were obtained using lidar survey. Using data from field observations, an equation was derived that relates crown biomass to the volume and height of the tree, which made it possible to obtain a spatial model of crown biomass.

**Key words:** carbon polygon; vegetation biomass; remote sensing; UAV; airborne laser scanning; modeling.

Биомасса растительности играет решающую роль в понимании вклада экосистемы в глобальный углеродный цикл. Для оценки биомассы и секвестрации углерода используются различные типы спутниковых данных: вегетационные индексы MODIS [1], мультиспектральная съемка Sentinel-2 [2] и Landsat [3], радарные данные Sentinel-1 и ALOS2 (чаще всего в комбинации с Sentinel-2 и Landsat) [4], лидарная съемка [5].

Для оперативной оценки биомассы используются полевые методы измерения, основанные, преимущественно, на двух подходах — наземные измерения [7] и съемка с пилотируемых и беспилотных летательных систем (БПЛА) [6]. В число первых входят оценка объема древесной биомассы по эмпирическим формулам с учетом диаметра ствола, породного состава и высоты деревьев, а также современные геодезические методы.

Для оценки биомассы древесных сообществ с использованием (БПЛА) используется аэрофотосъемка, позволяющая получать цифровые модели местности и ортофотопланы [8], мультиспектральная съемка, позволяющая производить расчет различных вегетационных индексов и метрик [9] и лидарная съемка, которая позволяет оценить объем и, как следствие, биомассу древесины [10].

В апреле 2023 г. на территории лесного участка «Карбон-Поволжье» проведена низковысотная съемка квадрокоптером Геоскан 401 Геодезия, оснащенный лидаром АГМ МС-1 (рис. 1).

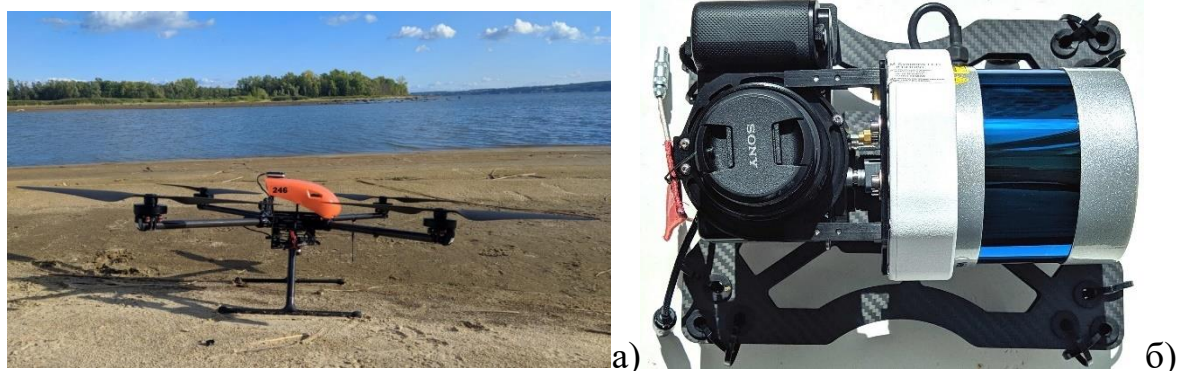


Рис. 1. БПЛА Геоскан 401 Геодезия (а), лидар АГМ МС-1 (б)

По результатам воздушного лазерного сканирования было получено облако точек (72 600 000 млн точек), которое обрабатывалось в ПО Lidar 360. В результате получена цифровая модель рельефа, находящегося под лесным покровом (рис. 2а). Путем вычитания ЦМР из ЦММ, представляющей, по сути, модель поверхности лесного полога, была получена карта высоты деревьев (рис. 2б).

Так как для обучения модели для предсказания биомассы по данным БПЛА необходима обучающая выборка, имеющая координатную привязку, первый этап работы был связан с получением этой обучающей выборки. Для этого в ПО Lidar 360 были проведены сегментация облака точек на отдельные деревья и кроны (рис. 3) и расчет морфометрических показателей — высота дерева, диаметр кроны, площадь кроны и ее объем. Параллельно с этим были



проведены натурные наблюдения и ручной замер высоты деревьев, диаметра ствола на уровне груди и определение биомассы кроны и ствола.

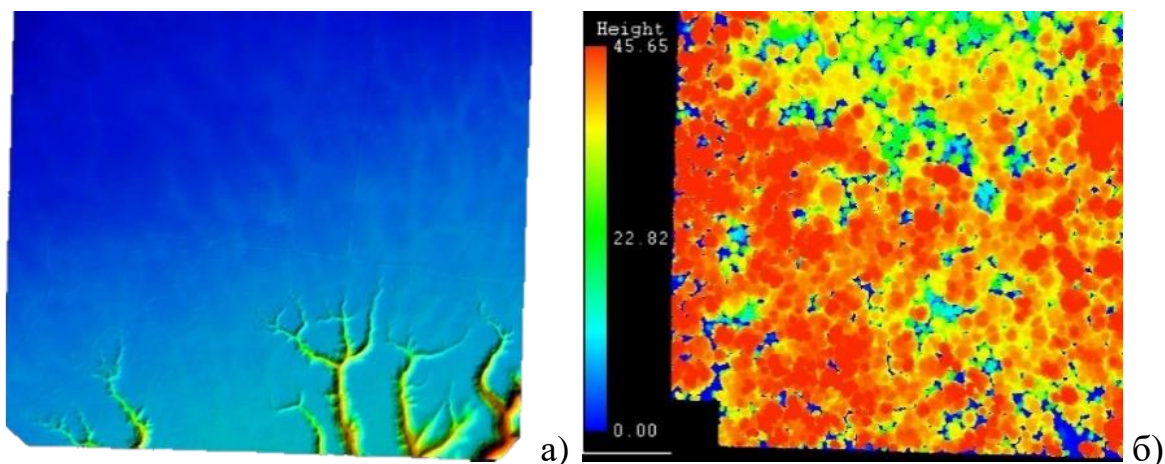


Рис. 2. ЦМР (а), карта высоты древесной растительности (б)

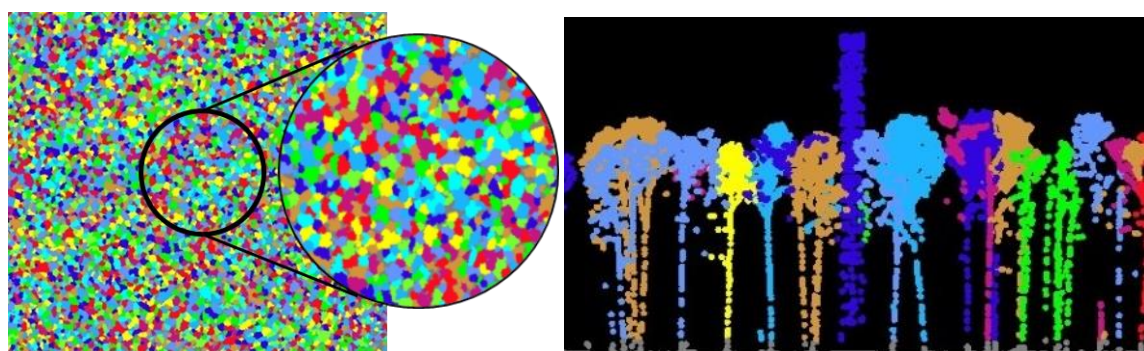


Рис. 3. Фрагмент сегментированного облака точек

Оценка биомассы лесной растительности была основана на анализе двух основных наборов данных: 1) зависимость биомассы кроны от высоты дерева; 2) зависимость объема кроны от ее морфометрии. Для анализа данных использовались различные статистические и машинные методы обучения, включая линейную и нелинейную регрессии.

Диаграмма рассеяния (рис. 4) показывает распределение данных о биомассе кроны деревьев в зависимости от их высоты. Как видно, существует некоторая положительная линейная зависимость между высотой дерева и биомассой его кроны ( $R^2 = 0,838$ ).

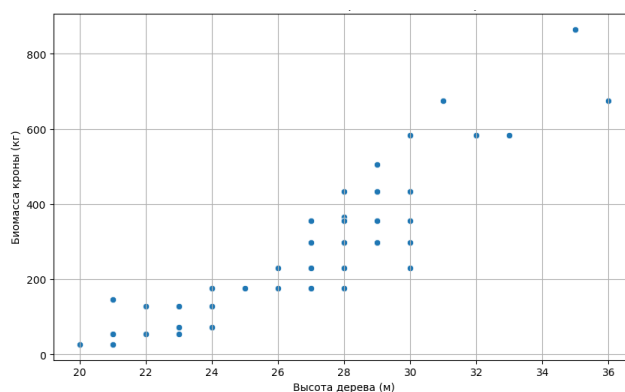


Рис. 4. Зависимость биомассы кроны от высоты деревьев

Предварительный анализ характера распределения взаимосвязи между высотой дерева и объемом его кроны позволяет предположить, что существует экспоненциальная зависимость между высотой дерева и объемом его кроны. Коэффициент детерминации  $R^2$  равен 0,489, что означает, что модель объясняет около 48,9 % вариабельности объема кроны на основе высоты дерева.

Учитывая наличие двух моделей (линейной для биомассы кроны от высоты дерева и экспоненциальной для объема кроны от высоты дерева), мы вывели зависимость биомассы кроны от объема кроны.

В результате выведено итоговое уравнение, позволяющее оценить биомассу кроны, используя объем кроны как ключевой параметр:

$$\text{Biomass} = -1017.49 + 48.17 * \frac{\ln\left(\frac{\text{CrownVolume}}{0.03}\right)}{0.29}$$

Полученное уравнение было применено к набору данных, полученному в ходе воздушной лазерной съемки, что позволило получить модель пространственной динамики биомассы крон (рис. 5).

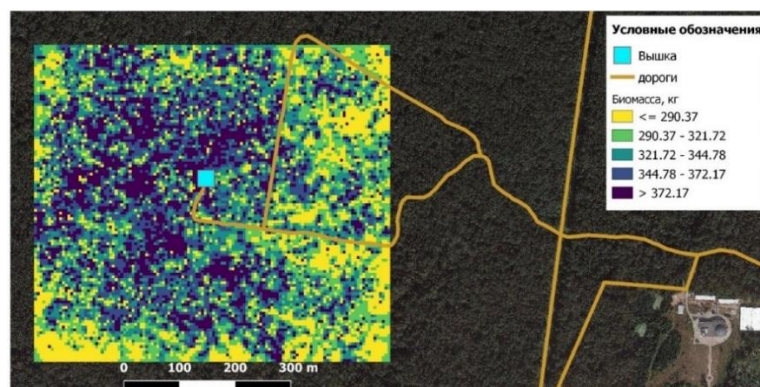


Рис. 5. Пространственная модель биомассы крон деревьев

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004

### Библиографические ссылки

1. *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 Sensing*. 2020. Vol. 12, iss.18. 3000.
2. *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, iss. 2. P. 127–135.
3. *Mei A., Salvatori R., Bassani C.* Biomass evaluation by the use of Landsat satellite imagery and forestry data // *Rendiconti online della Società Geologica Italiana*. 2017. Vol. 42. P. 66–69.
4. Forest aboveground biomass estimation using a combination of Sentinel-1 and Sentinel-2 data / A. Hoscilo [et al.] // *IGARSS 2018 – IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. P. 9026–9029.
5. *Torre-Tojal L., Bastarrika A., Boyano A.* Above-ground biomass estimation from LiDAR data using random forest algorithms // *Journal of Computational Science*. 2022. Vol. 58. 101517.
6. *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 Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 107. 012083.
7. *Gafurov A., Yermolayev O., Usmanov B.* Creation of high-precision digital elevation models using the GNSS UAV // *InterCarto InterGIS*. 2021. Vol. 27, iss. 2. P. 327–339.
8. *Karpina M., Jarzabek-Rychard M., Tymków P.* UAV-based automatic tree growth measurement for biomass estimation // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2016. XLI-B8. P. 685–688.
9. *Qiao L., Zhao R., Tang W.* Estimating maize LAI by exploring deep features of vegetation index map from UAV multispectral images // *Field Crops Research*. 2022. Vol. 289. 108739.
10. *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 Sensing*. 2020. Vol. 12, iss. 11. 1754.

УДК 528; 627.8

## ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДНА МЕЛКОВОДИЙ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

**П. В. Хомяков, М. А. Иванов**

*Институт экологии и природопользования, Казанский федеральный университет,  
ул. Товарнищеская. 5, 420097, Казань, Россия, [p.hamster21@gmail.com](mailto:p.hamster21@gmail.com)*

Представлены результаты исследования рельефа дна Куйбышевского водохранилища современными методами на примере трех участков. Изменение рельефа дна отслеживалось с помощью интерферометрического гидролокатора бокового обзора и эхолота-картплоттера. Построены батиметрические карты и поперечные профили участков исследований. Дано описание рельефа дна на исследованных участках. В результате разработана методика исследования дна водоема с целью уточнения его морфометрии, обсуждается возможность применения полученных данных.

**Ключевые слова:** водохранилище; гидрология; гидролокатор бокового обзора; батиметрическая съемка; рельеф дна.

## CONSTRUCTION OF DIGITAL MODELS OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR SHALLOWS BASED ON BATHYMETRIC SURVEY

**P. V. Khomyakov, M. A. Ivanov**

*Institute of Environmental Sciences, Kazan Federal University,  
Tovarisheskaya str., 5, 420097, Kazan, Russia, [p.hamster21@gmail.com](mailto:p.hamster21@gmail.com)*

The generalized results of the Kuybyshev Reservoir bed relief survey using modern methods are presented on the example of three sites. The change in the bottom topography was monitored using the interferometric Side-Scan Sonar and the echo sounder-chartplotter. Bathymetric maps and transverse profiles for study sites were built. A description of the bottom relief in the studied areas is given. As a result, reservoir bottom survey technique was developed to update its morphometry, possibility of obtained data application is discussed.

**Key words:** reservoir; hydrology; side-scan sonar; bathymetric survey; bottom relief.

Динамичный характер дна водохранилищ под влиянием заиливания, русловых течений, антропогенной деятельности и экзогенных склоновых процессов обуславливает необходимость регулярных и многократных исследований [1]. Такие работы имеют решающее значение для эффективного мониторинга и оценки изменений, позволяя глубже понять как экологические,



так и антропогенные воздействия. Сложность изучения рельефа дна водохранилищ усугубляется сложной и мелководной природой береговых линий, а также внутригодовой и межгодовой динамикой уровня воды. Традиционные методы исследования часто не позволяют получить подробную геопространственную информацию, необходимую для точной оценки.

В настоящее время современные гидрографические технологии планирования, реализации, постобработки и повторного представления результатов батиметрической съемки широко используются исследователями на крупных водоемах (океаны, моря, крупнейшие озера, водохранилища) [2]. Передовые методы исследования позволяют проводить точные измерения рельефа дна и его структуры с точностью до дециметра. Современные приборы для исследования дна — многолучевой эхолот для получения цифровой модели местности (ЦММ); гидролокатор бокового обзора (ГБО) для получения общего изображения дна, профилограф для распознавания структуры дна и т. д. являются эквивалентами съемки поверхности суши с использованием LiDaR, БПЛА [3] и георадара [4]. Решение задачи построения рельефа дна на больших площадях с высокой эффективностью и точностью можно выполнить с помощью гидроакустического интерферометра (Интерферометрического гидролокатора бокового обзора, ИГБОУ) [5, 6]. На локальных же участках с преобладанием относительно небольших глубин эффективны картплоттеры — эхолоты, обеспечивающие помимо значений глубины координаты точек съемки [7].

В настоящем докладе представлены результаты гидрометрических исследований на трех участках Куйбышевского водохранилища, образовавшегося в 1955-1957 гг. в результате заполнения русла реки Волги гидротехническими сооружениями Куйбышевского гидроузла [8]. На каждом участке была проведена комплексная съемка уреза воды с использованием высокоточных GNSS-приемников GeoExplorer 6000 GeoXH и E-Survey для определения абсолютного уровня воды с точностью до 1 см. Батиметрическая съемка проводилась с борта ПВХ лодки Флагман, оснащенной интерферометрическим сонаром бокового обзора (ISSS) и эхолот-картплоттером Garmin GPS Map 178C.

Проведенные работы преследовали различные задачи, что определяло различие в характеристиках участков, условиях съемки, порядке и содержании исследований, а также используемом оборудовании.

1. Участок «Саконы». Район исследований расположен на нижнем левом берегу Куйбышевского водохранилища вблизи с. Саконы в месте добычи песчано-гравийной смеси (ПГС) (рис. 1). Батиметрические исследования проводились с целью выявления ям, оставшихся после

гидромеханизированных работ по добыче песка и гравия. На основании полученных данных выявлено 3 значительных понижения рельефа дна.

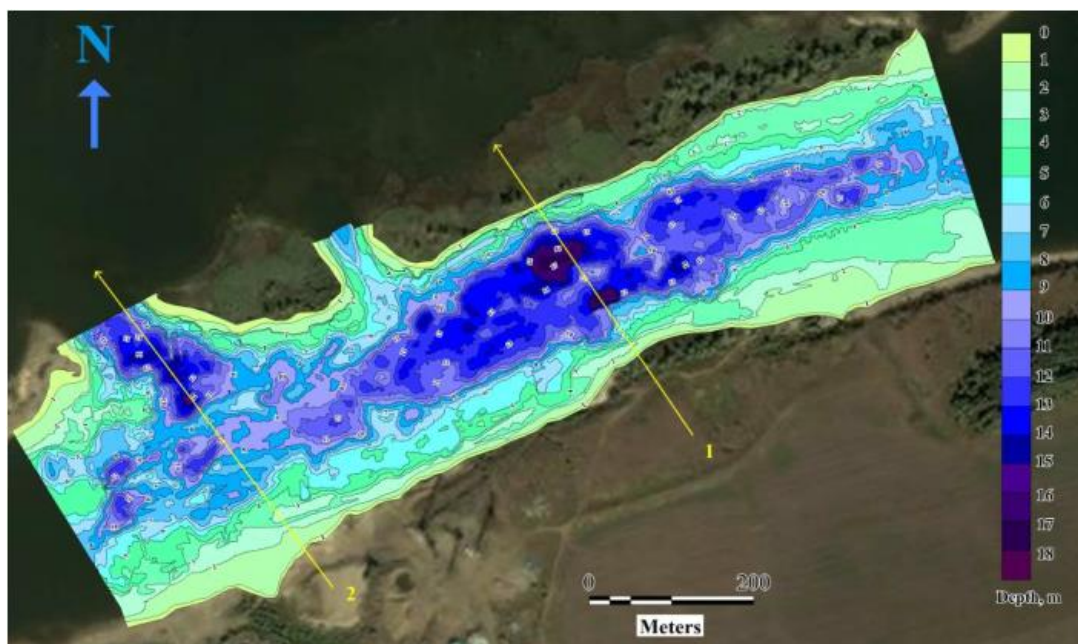


Рис. 1. Батиметрическая схема участка "Саконы"

2. Участок «Свияжск». Район исследования расположен в месте слияния рек Свияги и Волги. Съёмка проводилась вдоль берега острова-града Свияжск (рис. 2). Свияжск представляет собой оставшийся остров овальной формы, вытянутый с юго-запада на северо-восток на 1,2 км, шириной 0,6 км, с абсолютными высотами до 75 м. После создания Куйбышевского водохранилища многие жилые дома были затоплены, Свияжск стал островом, соединенным с материком лишь узкой насыпной дамбой. Здесь находится знаменитый культурно-исторический комплекс – памятник архитектуры 16-17 вв., основан Иваном Грозным в 1552 г. как опорный пункт при взятии Казани. В настоящее время Свияжск является крупным туристическим центром.

3. Участок «Саралы». Расположен на территории Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника, является наблюдательным участком за экосистемами Куйбышевского водохранилища полигона «Карбон-Поволжье» (рис. 3). Работы по измерению глубин проводились для получения морфометрических характеристик и учета неоднородностей рельефа дна на водном участке полигона «Карбон-Поволжье», а также для технического обоснования установки площадки наблюдений.

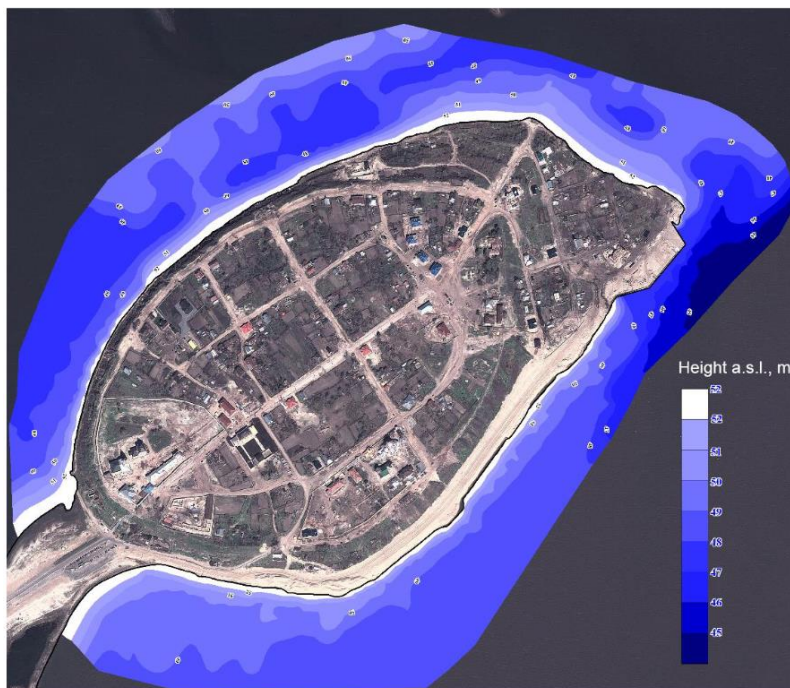


Рис. 2. Батиметрическая схема участка «Свяжск»

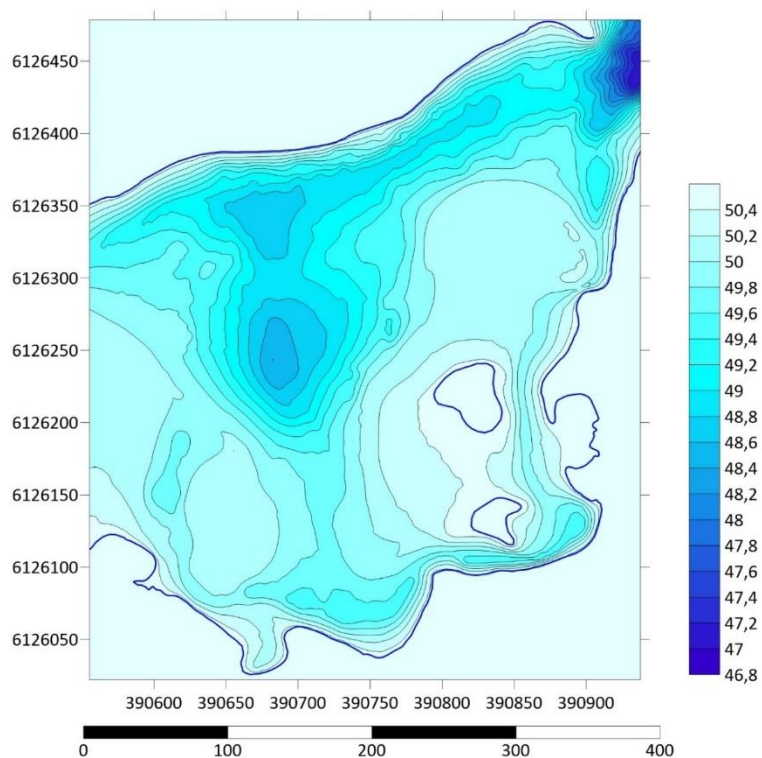


Рис. 3. Батиметрическая схема участка «Саралы»

Полученные данные подчеркивают важность постоянного мониторинга и применения современных методов гидрографической

съемки для понимания динамических изменений дна водохранилища, что необходимо для геоэкологических оценок, инженерных изысканий и сохранения культурного наследия.

В ходе исследования была успешно разработана методика обследования дна водохранилища с целью обновления его морфометрии. Данная методика является универсальной и может применяться для решения различных задач, включая геоэкологическую оценку, оценку динамики мелководий, геоинформационное обеспечение водных участков карбоновых полигонов, изучение динамики рельефа дна под воздействием природных и антропогенных факторов, проведение инженерно-гидрологических изысканий, мониторинг состояния трубопроводов, обнаружение подводных артефактов, в том числе объектов историко-культурного наследия. Исследование подчеркивает необходимость регулярного проведения детальных исследований дна водохранилищ.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004

### Библиографические ссылки

1. Reservoir monitoring using a multiphase echo sounder: A case study / L. Souza [et al.] // IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics). 2015. P. 1–4.
2. Хомяков П. В., Усманов Б. М. Оценка состояния дна Куйбышевского водохранилища в местах добычи ПГС [Электронный ресурс] // Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.) / науч. ред. А. Б. Китаев, В. Г. Калинин, О. В. Ларченко, М. А. Бакланов; Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2021. С. 190–195.
3. Gafurov A., Yermolayev O., Usmanov B. Creation of high-precision digital elevation models using the GNSS UAV // InterCarto InterGIS. 2021. Vol. 27, iss. 2. P. 327–339.
4. Subaqueous geomorphology: options, tasks, needs / S. Rudowski [et al.] // Bulletin of Geography Physical Geography Series. 2019. Vol. 16. P. 89–97.
5. Detecting shifts of submarine sediment boundaries using side-scan mosaics and GIS analyses / D. S. Galvez [et al.] // Marine Geology. 2020. Vol. 430. 106343.
6. Zheng L., Tian K. Detection of small objects in sidescan sonar images based on POHMT and Tsallis entropy. Signal Processing. 2018. Vol.142, iss. 3. P. 168–177.
7. Khomyakov P. V, Usmanov B. M. Assessment of the Kuybyshev Reservoir bed state: A case study // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 834, iss. 1. Art. № 012023.
8. Nicu I. C. Shoreline dynamics and evaluation of cultural heritage sites on the shores of large reservoirs: Kuibyshev reservoir, Russian Federation. Water. 2019. Vol. 11, iss. 3. Art. № 591.

УДК 631.4 +504.062 : 528.8 + 330.15

## **МЕТОДИКА И ПРИНЦИПЫ ТИПОЛОГИИ ГЕОСИСТЕМ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ**

**А. Н. Червань, Ю. С. Давидович**

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск, Беларусь, [chervanalex@mail.ru](mailto:chervanalex@mail.ru), [seg98001@gmail.com](mailto:seg98001@gmail.com)*

Изложены принципы и методика типологии геосистем Белорусского Полесья на основе геоинформационного пространственного анализа структуры почвенного покрова. Приведена методика идентификации геосистем через состав и строение почвенных комбинаций с использованием белорусской номенклатуры и подходов к классификации почв. Дано обоснование выделения и выбора номенклатуры почвенных комбинаций, рассмотрена иерархическая группировка геосистем полесского региона с учетом морфометрических, геоморфологических, гипсометрических, литологических и иных характеристик. Указаны приемы использования шкалы контрастности и модифицированной оценки расчлененности с применением автоматизированного картометрического анализа, что позволило составить интегрированное холистическое представление о геосистемах Полесья.

**Ключевые слова:** геосистемы; Белорусское Полесье; структура почвенного покрова; дистанционное зондирование Земли.

## **METHODS AND PRINCIPLES OF TYPOLOGY OF GEOSYSTEMS OF BELARUSIAN POLESIE**

**A. N. Chervan, Y. S. Davidovich**

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,  
220030, Minsk, Belarus, [chervanalex@mail.ru](mailto:chervanalex@mail.ru), [seg98001@gmail.com](mailto:seg98001@gmail.com)*

The principles and methodology of the typology of geosystems of the Belarusian Polesie are outlined based on geoinformation spatial analysis of the soil cover structure. A methodology for identifying geosystems through the composition and structure of soil combinations using Belarusian nomenclature and approaches to soil classification is presented. The justification for the identification and selection of the nomenclature of soil combinations is given, the hierarchical grouping of geosystems of the Polesie region is considered taking into account morphometric, geomorphological, hypsometric, lithological and other characteristics. Techniques for using the contrast scale and a modified assessment of dissection using of automated cartometric analysis are indicated which made it possible to create an integrated holistic view of Polesie geosystems.

**Keywords:** geosystems; Belarusian Polesie; soil cover structure; Earth remote sensing.



Рациональное природопользование все еще остается одной из важнейших проблем не только территории Белорусского Полесья, но и Республики Беларусь в целом. Оперативное принятие управленческих решений в природопользовании требует наличия надежной и постоянно действующей системы регулирования землепользованием на основе ежегодных отчетов о состоянии земельных ресурсов. Решение данной проблемы на сегодняшний день активно реализуется с применением современных геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли.

Геосистемы являются основными носителями качественной и количественной информации о состоянии природных ресурсов в границах каждой почвенной комбинации, что позволяет говорить о них как об инвариантах почвенно-земельных ресурсов с качественными различиями устойчивости к процессам деградации земель [1, 2]. Неоднородность почвенного покрова выступает обратно пропорциональным критерием возможности снижения проявления деградационных процессов, например, зарастания древесно-кустарниковой растительностью или постмелиоративной деградации почвенно-земельных ресурсов.

Целью данного исследования является впервые выполняемая типология геосистем крупного региона — Белорусского Полесья — в границах закономерно организованных почвенных комбинаций на основе автоматизированного геоинформационного анализа цифровых почвенных карт.

Исходными данными для инвентаризационных и оценочных работ геосистемного анализа регионального и районного уровня в Белорусском Полесье являются материалы локальных ЗИС, в частности тематические слои о почвенном покрове, а также разномасштабные планово-картографические сведения о физико-географических условиях региона.

В числе прочих в структуре базы данных в программной среде ГИС с использованием специализированного программного обеспечения (ArcGIS 10.8, ENVI 5.6, SNAP) для типологии геосистем учитывались следующие данные:

- информация почвенных карт (масштабов 1:50000 и 1:10000) районов и сельскохозяйственных организаций;
- материалы схем землеустройства районов, схем внутрихозяйственного и межхозяйственного землеустройства сельскохозяйственных организаций (масштабов 1:50000 и 1:10000);
- материалы кадастровой оценки земель сельскохозяйственных организаций;
- данные дистанционного зондирования Земли.

Данные мультиспектральной съемки в данной работе использованы для определения актуального состояния геосистем в аспекте направлений природопользования в соответствии с основным документом территориального планирования — Государственной схемой комплексной территориальной организации Республики Беларусь [3]. Для формирования мозаики индексных мультиспектральных изображений на территорию Белорусского Полесья был сформирован предварительный набор данных снимков с космических летательных аппаратов Landsat 8/9 OLI TIRS и Sentinel 2A на территорию тестовых полигонов в соответствии с оптимальными сроками аэрокосмических съемок растительного и почвенного покрова.

Признаки качественного состояния геосистем неразрывно связаны с критериями их пространственной идентификации. По общей динамике природных, в том числе почвообразующих, процессов, в СПП выделяется группа внепойменных (водораздельные пространства) и пойменных мезокомбинаций. Орографически водораздельные пространства делятся на водоразделы, характеризующиеся поверхностным водным стоком, и депрессии, аккумулирующие сток. Геоморфологические, гипсометрические и литологические условия дифференцируют геосистемы на более детальном уровне.

В соответствии с вышеизложенным разработан номенклатурный список всех геосистем, встречающихся на территории Белорусского Полесья, а также унифицированная система условных обозначений каждой из них. Общее количество геосистем по почвенным комбинациям с учетом всех вариантов почвообразующих пород составляет 101, что описывает 68 % всех возможных вариантов в границах Беларуси. Каждая из них закодирована в домене базы данных ГИС и получила символическое представление, что позволяет автоматизировать процесс инвентаризации СПП региона и составление производных картографических материалов. В ГИС среде предусмотрен системный учет типа почвенной комбинации, долевого участия почв разного генезиса, гранулометрического состава, степени увлажнения и характера подстилки почвообразующих пород.

Сочетания групп элементарных почвенных ареалов, включающих особенности почвенных разновидностей и растительных ассоциаций, образуют хорошо различимые на мультиспектральных космических снимках и повторяющиеся в пространстве «узоры», отражающие комплекс физико-географических показателей, независимо от вида фактического использования земель.

В границах геосистем Белорусского Полесья в базе данных выполнен их геостатистический картометрический анализ. Получены основные картометрические показатели СПП — коэффициенты контрастности,

расчлененности и неоднородности геосистем. Результаты расчета и группировки итогового коэффициента неоднородности приведены на рис. 1 и 2.

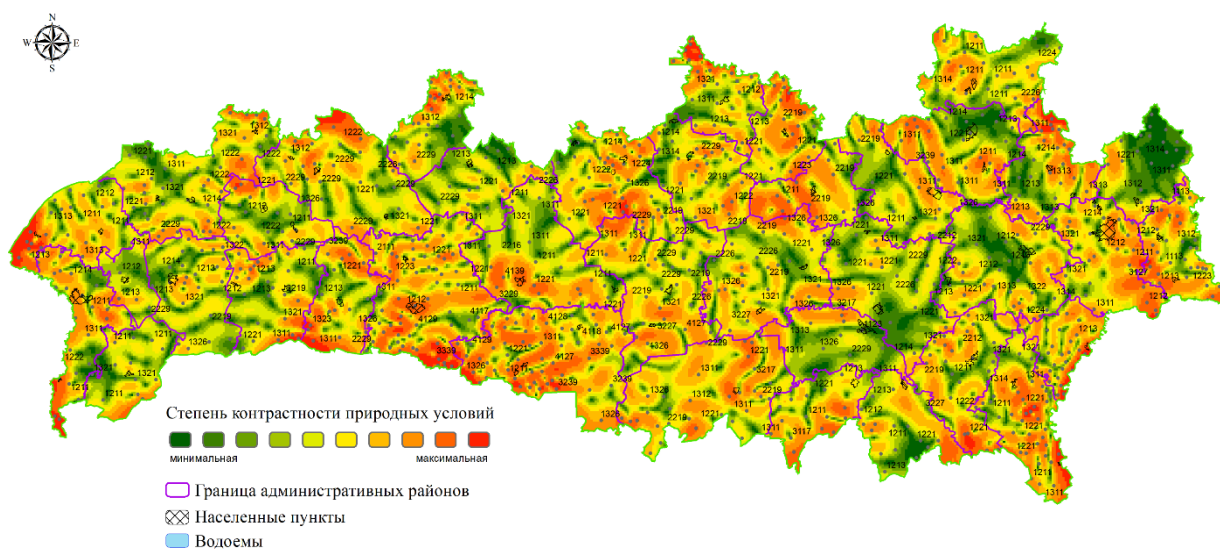


Рис 1. Контрастность структуры почвенного покрова Белорусского Полесья

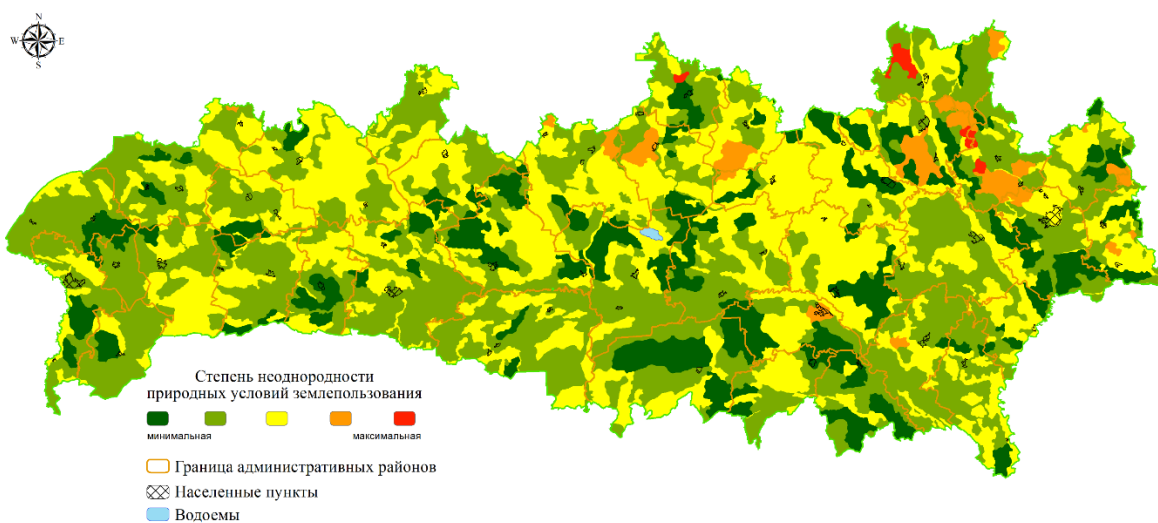


Рис 2. Неоднородность структуры почвенного покрова Белорусского Полесья

Таким образом, картометрический анализ карт-слоев в границах геосистем позволяет объединить морфологический (пространственный) и генетический (функциональный) анализы природных условий в границах закономерно организованных геосистем.

В ходе идентификации пространственной структуры геосистем использованы параметры неоднородности почвенных комбинаций,



учитывая полученные ранее закономерности взаимосвязи биоразнообразия и педоразнообразия [4] в связи с тем, что в перспективе направления природопользования могут предусматривать природоохранное и рекреационное использование [5]. Геосистемы выступают едиными территориальными (пространственными) системами, в которых взаимосвязано размещение сельскохозяйственных и лесных земель, поселений, транспортной сети и сохранившихся в естественном состоянии природных объектов.

Для целей территориального планирования региона Белорусского Полесья в работе также приводятся результаты пространственного анализа дешифрируемости геосистем по данным дистанционного зондирования (рис. 3).

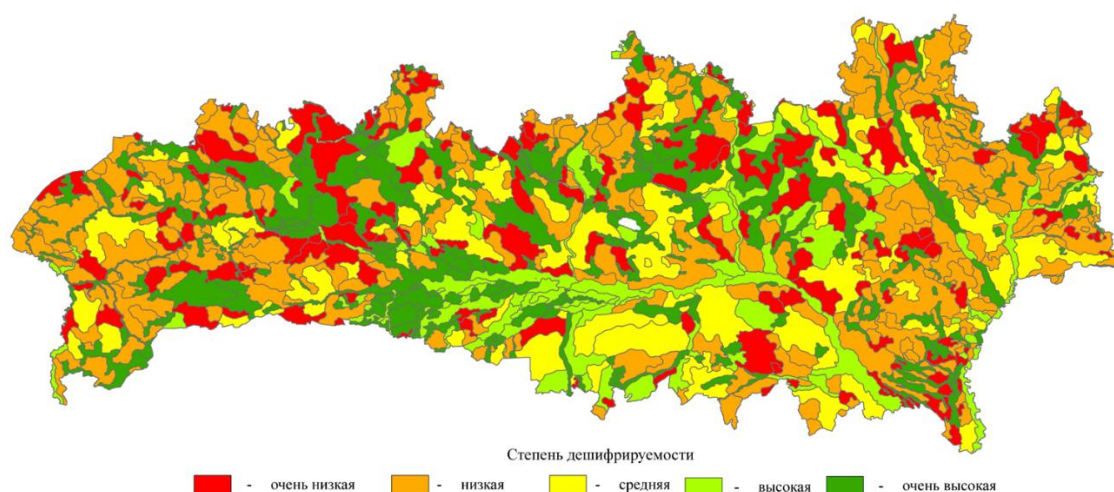


Рис 3. Степень дешифрируемости геосистем Белорусского Полесья по данным дистанционного зондирования

Степень дешифрируемости данных дистанционного зондирования Земли рассчитана на основании формул каждой почвенной комбинации, системно учитывающих, в первую очередь, степень увлажнения и неоднородность СПП.

Представленные на рис. 3 данные указывают на целесообразность первоочередного использования дистанционных методов оценки состояния геосистем в таких районах, как Ганцевичский, Ляховичский, Октябрьский и Столинский в связи с аграрным типом по функциональному зонированию в ГСКТО и более 40 % хорошо дешифрируемых условий в соответствии с типологией геосистем. Особое место в таком аспекте имеют Брестский, Солигорский и особенно Пинский районы, так как территориальное планирование направлений

землепользования на геосистемной основе необходимо для их многоцелевого функционирования и может быть обеспечено дистанционными методами оценки состояния геосистем — доля площади группы максимального дешифрирования превышает 30 %.

Геосистемный подход позволяет сформировать методологическую и пространственно-временную основу для объединения данных земельно-информационной системы, дистанционного зондирования и мониторинга земель для целей территориального планирования, предусматривающего эффективное использование природных ресурсов и охрану окружающей среды как в регионе Белорусского Полесья, так и для территории всей республики.

### Библиографические ссылки

1. *Сочава В. В.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978.
2. *Коновалова Т. И.* Изменчивость геосистем // География и природные ресурсы. 2004. № 2. С. 5–11.
3. *Власюк Н. Н.* Государственная схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь. Основные направления и приоритеты развития // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительствоархитектура. 2012. № 1. С. 3–5.
4. *Chervan A. N., Kindeev A. L., Sazonov A. A.* Soil Cover Patterns and Pedo- and Biodiversity of the Berezinsky Biospheric Reserve // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. № 10. P.1348–1359.
5. *Sorokina N. P., Kozlov D. N.* Experience in digital mapping of soil cover patterns // Eurasian Soil Science. V.42. No 2. P.182–193.

УДК 502/504

## **РОЛЬ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ В ВОССТАНОВЛЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ**

**А. С. Чердакова, С. В. Гальченко, С. А. Егорова**

*Рязанский государственный университет им. С. А. Есенина,  
ул. Свободы, 46, 390000, г. Рязань, Российская Федерация, [cerdakova@yandex.ru](mailto:cerdakova@yandex.ru)*

В статье анализируются перспективы применения различных гуминовых препаратов с целью восстановления серых лесных почв, загрязненных тяжелыми металлами и радионуклидами. Установлено, что внесение гуминовых препаратов в загрязненные почвы приводит к улучшению их экологического состояния по ряду химических и биологических показателей (концентрация подвижных форм тяжелых металлов; рН солевой вытяжки, содержание общего азота, подвижных соединений фосфора и калия; целлюлозолитическая, протеолитическая и уреазная активность).

**Ключевые слова:** гуминовые препараты; загрязнение почв; серые лесные почвы; тяжелые металлы; радионуклиды; техногенно-измененные почвы.

## **THE ROLE OF HUMIC PREPARATIONS IN RESTORING THE ECOLOGICAL STATE OF CONTAMINATED SOILS**

**A. S. Cherdakova, S. V. Galchenko, S. A. Egorova**

*Ryazan State University named for S. Yesenin,  
Svobody st., 46, 390000, Ryazan, Russian Federation, [cerdakova@yandex.ru](mailto:cerdakova@yandex.ru)*

The article analyzes the prospects for using various humic preparations for the purpose of restoring gray forest soils contaminated with heavy metals and radionuclides. It has been established that the introduction of humic preparations into contaminated soils leads to an improvement in their ecological state in terms of a number of chemical and biological indicators (concentration of mobile forms of heavy metals; pH of the salt extract, content of total nitrogen, mobile compounds of phosphorus and potassium; cellulolytic, proteolytic and urease activity).

**Keywords:** humic preparations; soil pollution; gray forest soils; radionuclides; heavy metals; technogenically modified soils.

Интенсификация процессов деградации компонентов окружающей среды под воздействием возрастающего техногенного прессинга обуславливает необходимость научного поиска высокоэффективных, экологически безопасных и экономически выгодных способов их восстановления. В аспекте развития принципов «зеленой химии» весьма

перспективным является использование для данных целей природных соединений, в том числе гуминовых веществ и препаратов на их основе.

Основными свойствами, характеризующими особенности поведения гуминовых веществ в окружающей среде, являются их полидисперсность, химическая гетерогенность, амфифильность, нестехиометричность состава и др. [1, с. 1110]. Указанные свойства определяют уникально широкий спектр физико-химических взаимодействий, в которые могут вступать гуминовые вещества. Среди них важнейшими являются: ионообменное, донорно-акцепторное, сорбционное и гидрофильно-гидрофобное взаимодействия с различными соединениями органической и неорганической природы. Данные факты свидетельствуют о большом потенциале применения гуминовых веществ в различных целях, в том числе для восстановления загрязненных природных сред, очистки сточных вод, нейтрализации и обезвреживания токсичных отходов и др. [2, с. 12; 3, с. 23].

Современные технологии производства промышленных гуминовых препаратов предоставляют возможность получения продукта с заданными свойствами, что открывает перспективы для расширения сфер их практического использования, в том числе и для решения прикладных экологических задач. При этом остается открытым целый ряд вопросов, не только касающихся непосредственно свойств и характеристик гуминовых веществ, как класса органических соединений, но и связанных с применением препаратов на их основе. Так, недостаточно данных об особенностях состава и свойств гуминовых препаратов в зависимости от технологии их получения; закономерностях взаимодействия гуминовых веществ в составе препаратов с неорганическими и органическими почвенными и водными загрязнителями; эффективности использования препаратов для восстановления природных сред, подверженных различным уровням загрязнения и др. [2, с. 52; 3, с. 73]

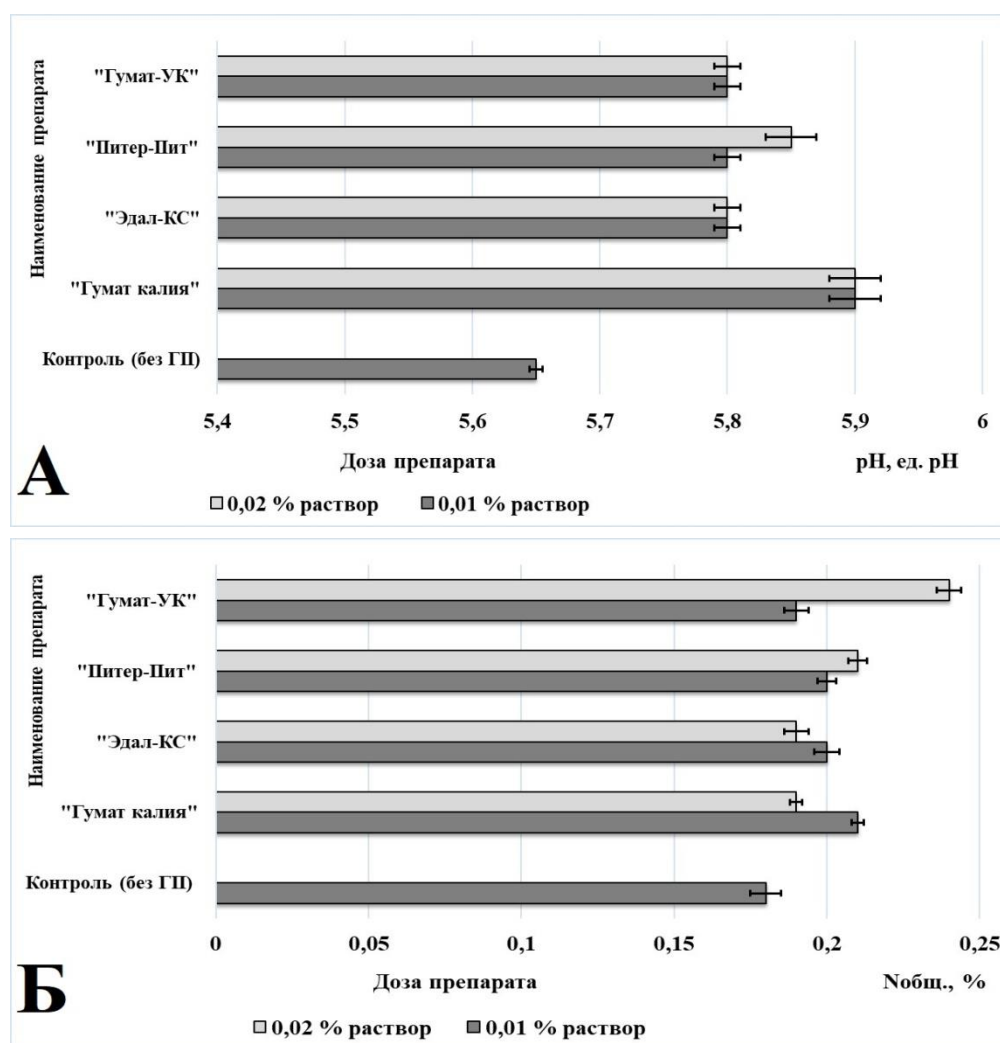
Целью исследования являлась оценка перспектив применения гуминовых препаратов, полученных с использованием различных технологий, для восстановления техногенно-измененных серых лесных почв, загрязненных тяжелыми металлами и радионуклидами.

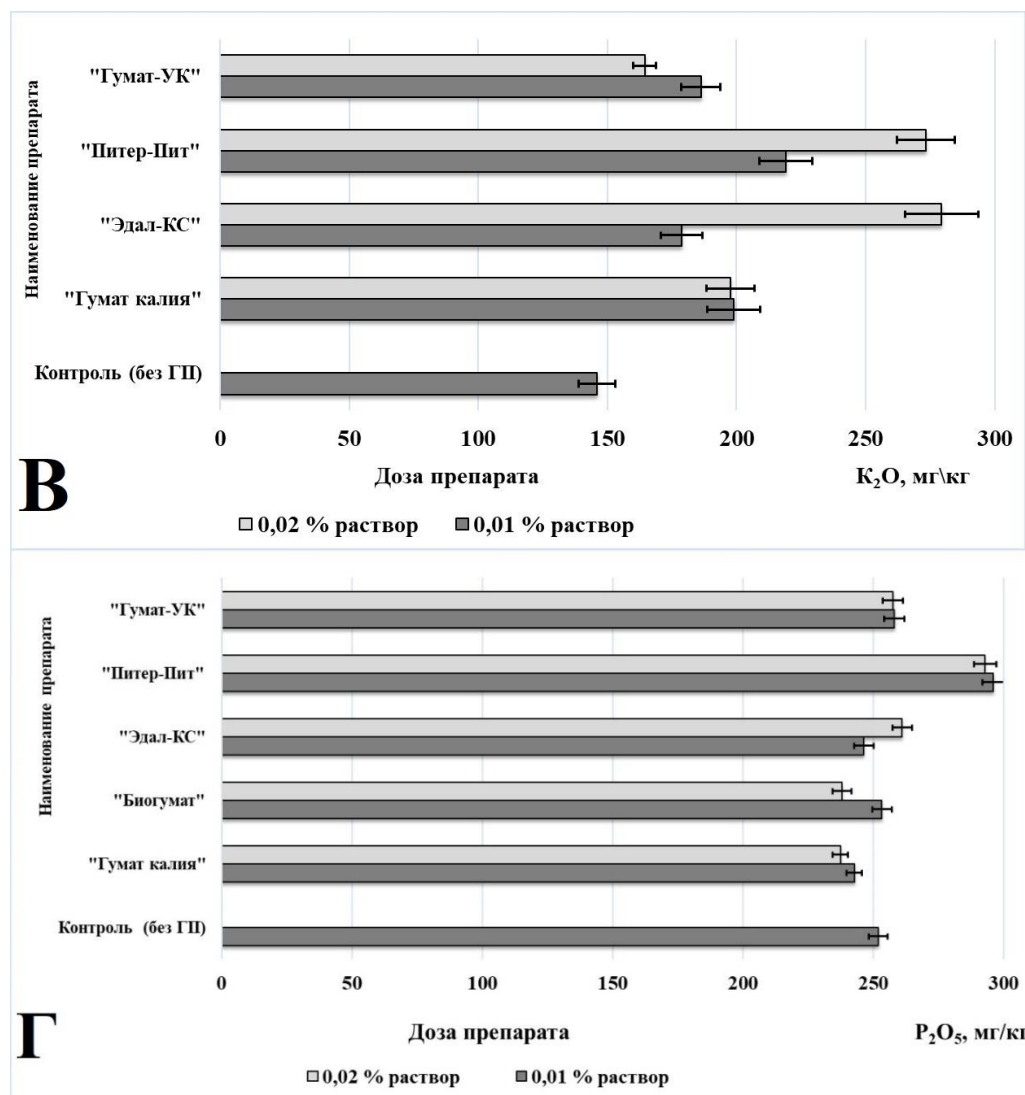
Объектом исследования выступали гуминовые препараты, полученные из торфа с использованием различных технологий, а именно: «Гумат калия» (щелочная экстракция), «ЭДАЛ-КС» (щелочная экстракция), «Гумат-УК» (ультразвуковая кавитация), «Питер-Пит» (сочетание ультразвуковой кавитации и щелочной экстракции). Критериями оценки влияния анализируемых гуминовых препаратов на экологическое состояние техногенно-измененных серых лесных почв служил ряд показателей: содержание загрязнителей в почве (концентрация подвижных форм тяжелых металлов); химические показатели экологического состояния почвы ( $pH$  солевой вытяжки,

содержание общего азота, подвижных соединений фосфора и калия); показатели биологической активности почвы (целлюлозолитическая, протеолитическая, уреазная).

Для решения поставленных экспериментальных задач было заложено два вегетационных опыта. В вегетационном опыте № 1 была смоделирована третья категория загрязнения серой лесной почвы тяжелыми металлами (кадмий, свинец, цинк, медь) по суммарному показателю загрязнения – «опасная» ( $Z_c = 32-128$ ). В вегетационном опыте № 2 использовалась серая лесная почва, загрязненная, в результате аварии на Чернобыльской АЭС, изотопом цезия-137 (Рязанская область, Спасский район). При закладке вегетационных опытов анализируемые гуминовые препараты вносились в почву в виде 0,01 % и 0,02 % водных растворов. Контролем служили почвенные образцы без обработки гуминовыми препаратами.

Установлено, что внесение исследуемых гуминовых препаратов в техногенно-измененные серые лесные почвы оказало выраженное положительное влияние на ряд их химических показателей (рисунок).





А – изменение агрохимических свойств загрязненной изотопом цезия-137 серой лесной почвы под влиянием различных гуминовых препаратов: значение pH солевой вытяжки почвы в эксперименте; Б – изменение содержания общего азота в эксперименте; В – изменение содержания подвижных форм калия в эксперименте; Г – изменение содержания подвижных форм фосфора в эксперименте

Так, под воздействием препаратов отмечалось увеличение содержания в почвенных образцах важнейших биофильных макроэлементов — азота, фосфора и калия, а также наблюдалось снижение кислотности почвенного раствора. Стоит заметить, что наиболее существенные изменения анализируемых химических показателей загрязненных почв регистрировались при использовании гуминовых препаратов, полученных по технологии ультразвуковой кавитации — «Гумат-УК» и «Питер-Пит».



Установлено, что на содержание подвижных форм тяжелых металлов в техногенно-измененной почве гуминовые препараты, произведенные по различным технологиям, влияют неодинаково. Так, если препараты, полученные с применением технологии ультразвуковой кавитации, преимущественно снижают содержание подвижных форм тяжелых металлов от 15 до 50 %, то щелочно-экстрагируемые препараты, такие как «Гумат калия» и «ЭДАЛ-КС», напротив, увеличивают подвижность исследуемых загрязнителей.

Установлено, что все исследуемые гуминовые препараты способствуют повышению биологической активности микробного ценоза техногенно-измененных серых лесных почв, проявляют выраженные детоксицирующие свойства по отношению к таким почвенным загрязнителям, как тяжелые металлы и радионуклиды. Так, внесение всех анализируемых гуминовых препаратов способствует увеличению активности целлюлозолитического комплекса загрязненных почв. При этом максимальное положительное воздействие оказывают препараты, полученные по кавитационной технологии — «Питер-Пит» и «Гумат-УК». Под влиянием данных препаратов активность почвенных целлюлаз возрастает более чем на 20 %. Аналогичный эффект наблюдается и в отношении протеолитической и уреазной активности почв. Препараты «Питер-Пит» и «Гумат-УК» более чем на 20 % повышают активность протеаз и уреаз загрязненных почв.

Таким образом, внесение гуминовых препаратов в серые лесные почвы, загрязненные тяжелыми металлами и радионуклидами, приводит к улучшению их общего экологического состояния по ряду показателей. Выраженность наблюдаемого эффекта во многом зависит от характеристик препаратов, которые в свою очередь, по большей части, определяются технологией их получения. Уникальные свойства гуминовых веществ открывают широкие возможности для их применения в области оздоровления окружающей среды [4, с. 115; 5, с. 512]. При этом создание эффективных и действенных природоохранных и природовосстановительных инновационных технологий на основе гуминовых препаратов требует решения еще целого ряда открытых фундаментальных и прикладных научных вопросов.

### Библиографические ссылки

1. *Perminova I. V.* From green chemistry and nature-like technologies towards ecoadaptive chemistry and technology // Pure and Applied Chemistry. 2021. № 91 (5). P.1110.
2. *Makan A.* Humic Substances. Vena; IntechOpen, 2021. 184 p.
3. *Kim H. Tan* Humic Matter in Soil and the Environment: Principles and Controversies, Second Edition. Boca Raton: CRC Press, 2014. 495 p.

4. Editorial Humic substances and living systems: impact on environmental and human health / I. V. Perminova [et al.] // Environmental Research. 2022. № 194. P. 110–126.

5. Nanomaterials for Environmental Protection / B. I. Kharisov, H. V. Rasika Dias, O. V. Kharissova. New York City: Wiley, 2014. 592 p.



УДК 528.9

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО  
КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО  
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НЕОСВОЕННЫХ  
ТЕРРИТОРИЙ СТРАН БРИКС**

**А. С. Яковлев, М. А. Шкрябина, Е. А. Магид**

*Санкт-Петербургский государственный университет, 10-я линия В. О., 33-35,  
199178, г. Санкт-Петербург, Россия, [st118824@student.spbu.ru](mailto:st118824@student.spbu.ru),  
[st118830@student.spbu.ru](mailto:st118830@student.spbu.ru), [st086777@student.spbu.ru](mailto:st086777@student.spbu.ru)*

Исследована проблема выделения неосвоенных природных территорий для стран БРИКС. Целью исследования является собрать и показать информацию о природных ресурсах, инфраструктуре, населении и других аспектах определенной территории. Неосвоенная территория относится к участкам земли, которые мало использовались в хозяйственной деятельности человека. Для популяризации данных ведется работа над созданием веб-ресурса.

**Ключевые слова:** неосвоенные природные территории; геоинформационные системы; антропогенное воздействие; геоинформационный анализ; страны БРИКС.

**APPLICATION OF GEOINFORMATION MAPPING METHODS  
FOR AN INTEGRATED REPRESENTATION  
OF UNDEVELOPED TERRITORIES OF THE BRICS COUNTRIES**

**A. S. Yakovlev, M. A. Shkryabina, E. A. Magid**

*Saint-Petersburg State University, 10th line V.I., 33-35, 199178, Saint Petersburg, Russia,  
[st118824@student.spbu.ru](mailto:st118824@student.spbu.ru), [st118830@student.spbu.ru](mailto:st118830@student.spbu.ru), [st086777@student.spbu.ru](mailto:st086777@student.spbu.ru)*

The problem of allocating undeveloped natural areas for the BRICS countries has been studied. The purpose of the study is to collect and display information about the natural resources, infrastructure, population and other aspects of a certain area. Undeveloped territory refers to areas of land that have had little use in human economic activities. To popularize the data, work is underway to create a web-resource.

**Keywords:** undeveloped natural areas; geographic information systems; anthropogenic impact; geographic information analysis; BRICS countries.

Геоинформационное картографирование является важным инструментом для исследования и представления неосвоенных территорий стран БРИКС. Его применение позволяет комплексно проанализировать и

визуализировать данные о природных ресурсах, инфраструктуре, демографии и других аспектах этих территорий.

Одним из важных элементов исследования являются «неосвоенные территории» — участки суши, мало затронутые хозяйственной деятельностью человека. В российских научных работах в основном исследуется степень антропогенной нарушенности не всех неосвоенных территорий, а только лесных зон [1, 2, 5].

В европейских публикациях чаще используется термин «дикая природа» (wilderness) как территория, управляемая естественными процессами. На этих землях практически нет следов антропогенного воздействия и распространены только естественные обитатели и виды. Территория «дикой природы» должна быть достаточно велика для эффективного экологического функционирования природных процессов [3]. Таким образом, концепция дикой природы оказывается шире и позволяет оценить степень неосвоенности территории вне зависимости от природной зоны.

Для определения степени антропогенного воздействия на территорию стран БРИКС, а также для выделения наименее освоенных участков был проведен комплексный анализ различных параметров этих территорий.

Аспекты для картографирования:

1) Оценка природных ресурсов: Геоинформационные системы (ГИС) могут использоваться для сбора и анализа данных о различных природных ресурсах неосвоенных территорий, таких как земельные угодья, лесные массивы, водные ресурсы, минеральные ресурсы и т. д.

Это позволяет определить потенциал этих ресурсов, их распределение и взаимосвязи, а также выявить возможности для их развития и освоения.

2) Анализ инфраструктуры: ГИС может быть использована для оценки состояния существующей инфраструктуры на неосвоенных территориях, включая автодороги, железные дороги, аэропорты, порты и другие транспортные узлы. Это поможет определить, какие новые инвестиции необходимы для обеспечения эффективного развития территорий.

3) Демографический анализ: ГИС может помочь в анализе демографических данных, таких как плотность населения, возрастная структура, уровень образования и занятости, миграционные тенденции и т. д., что позволяет разработать стратегии для привлечения и удержания населения на неосвоенных территориях.

Одним из начальных этапов данного исследования был анализ демографических характеристик, в особенности изучение плотности населения. В качестве исходных данных использовались статистические данные о численности и структурном составе населения, проживающего на территории городских поселений. Это обусловлено тем, что количество городского населения служит одним из ключевых индикаторов социально-экономического состояния региона и отражает его потенциал для дальнейшего роста и развития. В процессе анализа учитывались такие параметры, как численность населения, структура занятости, образовательный уровень и прочие значимые показатели. Особое внимание уделялось городам с населением более 100 000 человек, поскольку они обычно выступают в роли региональных центров.

Такие крупные города обычно обладают развитой инфраструктурой, промышленными предприятиями и другими объектами, что обуславливает их значительное воздействие на природную среду и окружающую территорию. Статистические данные были собраны в 2023 г. из официальных источников, а именно из отчетов статистических служб соответствующих стран. Это позволило получить актуальную и достоверную информацию для проведения анализа и оценки антропогенного воздействия на территории стран БРИКС, а также разработки мер по снижению этого воздействия и улучшению экологической ситуации в этих странах.

Для дальнейшего анализа степени влияния человека на определенные территории потребовались дополнительные данные, включающие информацию о состоянии транспортной инфраструктуры, в частности, дорожной и железнодорожной сетей, о водных объектах, фермерских угодьях, а также данные об особо охраняемых природных территориях (ООПТ). Источниками этих данных послужили открытые ресурсы, такие как OpenStreetMap (OSM), данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и другие электронные ресурсы.

Для визуализации всех полученных данных использовалась программа QGIS. В качестве основы для отображения данных использовался «Атлас малонарушенных лесных территорий России», на основе которого были определены критерии отображения антропогенных территорий. В процессе выполнения выборки были дополнительно включены сведения о населении в сельских поселениях, начиная с численности 3 тысячи человек и более [4].

На основе геоинформационного анализа данных для каждого типа объектов были создана серия карт (рис. 1). Исследование данных о городских поселениях и их населении, объектов антропогенной инфра-

структуры позволило определить ключевые факторы, влияющие на степень антропогенной нагрузки на окружающую среду, а также выявить наиболее перспективные регионы для дальнейшего развития.

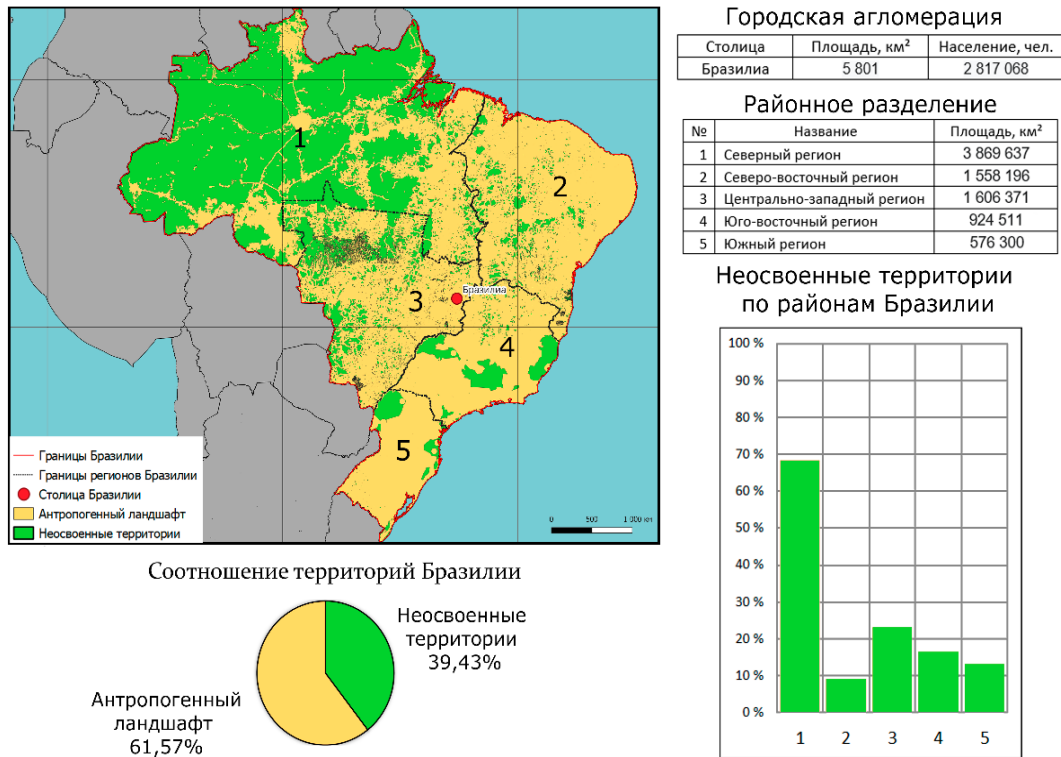


Рис. 1. Федеративная Республика Бразилия

Для публикации данных ведется разработка веб-ресурса, на котором планируется размещение статистических данных о странах БРИКС и интерактивной карты, включающей слои географической основы и отображающей неосвоенные территории (рис. 2). Ресурс создается на базе конструктора сайтов Vitrix24.com, разработанного российской компанией «Битрикс». Для создания интерактивной веб-карты используется NextGIS.

Основное достоинство создаваемого ресурса – сочетание различных форм визуализации информации. Интерактивная веб-карта позволит эффективно представить результаты статистики по странам, общую социально-экономическую и природную информацию. Для более подробной справочной информации можно обратиться к разделам ресурса и ознакомиться с данными в виде таблиц, графиков и статичных карт. Таким образом, ресурс будет удобен пользователям, которые привыкли работать с различными типами информации.



Рис. 2 Структура ресурса

Выделение зон дикой природы позволяет оценить степень неосвоенности территории и выявить наиболее перспективные регионы для дальнейшего освоения.

### Библиографические ссылки

1. Последние рубежи дикой природы: отслеживание утраты нетронутых лесных ландшафтов с 2000 по 2013 год / П. Потапов [и др.] // Достижения науки. 2017.
2. Intact Forest Landscapes [Electronic resource]. URL: <https://intactforests.org/index.html> (date of access: 19.01.2024).
3. Guidelines on Wilderness in Natura 2000 Management of terrestrial wilderness and wild areas within the Natura 2000 Network / European Union. 2013.
4. Атлас малонарушенных лесных территорий России [Электронный ресурс]. URL: <http://old.forest.ru/rus/publications/intact/index-russia.htm> (date of access: 17.01.2024).
5. *Bocharnikov V., Kosman E.* Wilderness as Nature Conservation Indicator for Regional Policy Making in Russia // International Journal of Wilderness. 2021. Vol. 27, iss. 2. P. 88–103.

УДК 528.8+631.4

## **A METHOD OF DETECTING SOIL DEGRADATION IN THE CENTRAL SOIL-ECOLOGICAL PROVINCE OF BELARUS BASED ON OPEN REMOTE SENSING IMAGES**

**B. Zhao, A. N. Chervan**

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus, [geozhao@outlook.com](mailto:geozhao@outlook.com)*

This study proposes a methodology for detecting soil degradation in the central soil-ecological province of Belarus using publicly available remote sensing images. Our focus includes soil salinization, organic matter content, land use systems, water erosion, and wind erosion. By employing remote sensing techniques and data processing algorithms, we introduce a practical soil degradation detection method. This research provides a scientific basis for ecological protection and management in the region, offering valuable insights for decision makers and researchers.

**Keywords:** soil degradation; soil organic matter; soil erosion; land use systems; remote sensing; Belarus.

## **МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНЫ БЕЛАРУСИ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

**Б. Джао, А. Н. Червань**

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, [geozhao@outlook.com](mailto:geozhao@outlook.com)*

В данном исследовании предлагается методология выявления деградации почв в Центральной почвенно-экологической провинции Беларуси с использованием общедоступных данных дистанционного зондирования. В фокусе нашего внимания — засоление почв, содержание органического вещества, системы землепользования, водная и ветровая эрозия. Используя методы дистанционного зондирования и алгоритмы обработки данных, мы представляем практический метод обнаружения процессов деградации почв. Результаты исследования обеспечивают научную основу для экологической защиты и управления в регионе, предлагая базовую информацию для лиц, принимающих решения, и исследователей.

**Ключевые слова:** деградация почв; органическое вещество почвы; эрозия почв; системы землепользования; дистанционное зондирование; Беларусь.

*Introduction.* Soil degradation is a significant environmental issue with far-reaching impacts. Monitoring and detecting soil degradation are crucial for effective land management and conservation [1]. In recent years, the availability of open-access high-resolution satellite imagery has provided a valuable tool for soil monitoring studies.

Despite the advancements in remote sensing technology, soil degradation detection still faces several challenges and limitations. These include the complexity of soil degradation processes, the need for accurate and efficient detection methods, and the integration of data from multiple sources for comprehensive analysis. By discussing the current challenges and limitations, we set the stage for proposing a novel approach for detecting soil degradation in the Central Province of Belarus.

The primary objective of this study is to develop a theoretical method for soil degradation detection, specifically tailored to the ecological conditions of the Central Ecological Zone in Belarus. The proposed method integrates various aspects of soil degradation, such as soil salinization, soil organic matter, land use systems, water erosion, and wind erosion, and utilizes open-access remote sensing imagery. The innovative nature of this research lies in the development of a practical and efficient soil degradation detection approach, tailored to the specific ecological characteristics of the study area.

*Land use system.* When studying soil degradation, it is crucial to focus on the land-use system, which serves as the foundation for assessing soil quality and the extent of degradation. Land-use systems encompass the management and utilization of land resources by human activities, including agriculture, forestry, and urban construction. These practices directly impact the physical, chemical, and biological properties of soil, leading to degradation.

Land utilization practices have notable effects on the physical properties of soil. For instance, agricultural activities such as frequent plowing, irrigation, and animal husbandry can lead to soil structure destruction, compaction, and erosion. This, in turn, reduces soil permeability and aeration. Unplanned urban construction and indiscriminate deforestation can also cause soil compaction and fragmentation, limiting root growth and water infiltration. Understanding the influence of land-use systems on soil's physical properties can help identify signs and the extent of soil degradation.

In the Central Ecological Region of Belarus, our focus lies in studying the transformation of various soil types, including agricultural land, forests, meadows, swamps, peatlands, and water bodies [2]. We assign different values to different land-use types, distinguishing between land transformation and weighing transformed areas to assess soil degradation based on land use.

Currently, remote sensing techniques for extracting land-use systems have reached a high level of maturity. Common research methods include neural

network-based image element extraction, object-oriented decision tree-based extraction, and SVM-based land use system extraction. However, recent advancements in AI technology have shown significant potential in terms of accuracy and success rate for land use extraction using deep learning methods [3-4]. By utilizing tools such as Codna, PaddleSeg, GDAL, and leveraging globally released open building footprints from Microsoft, along with field data for training and validation, we can employ deep learning algorithms to statistically analyze the land-use system in our study area. The dataset and validation set produced through deep learning are characterized by high reproducibility and accuracy.

*Soil salinization.* Soil salinization is a common and detrimental form of soil degradation that significantly impacts soil quality and agricultural productivity. When studying soil degradation, it is crucial to develop a comprehensive understanding of the effects of soil salinization.

Soil salinization negatively affects the physical properties of the soil. The accumulation of salts causes soil particles to aggregate, resulting in compact and dense soil structures that reduce permeability and aeration. Salt accumulation also attracts water through osmosis, causing soil moisture to move downwards and resulting in soil drought and water stress. Furthermore, soil salinization weakens the mechanical stability of the soil, making it more susceptible to erosion and wind erosion. These combined effects create unfavorable physical conditions for plant growth.

Chemically, soil salinization has significant impacts on soil properties. In high-salt environments, the absorption of nutrients by plant roots is hindered, leading to inhibited plant growth and development. Salts in soil form insoluble precipitates with soil nutrients, limiting soil fertility and nutrient fixation. Additionally, salt accumulation in soil alters its acidity and alkalinity, resulting in changes in soil pH that affect microbial activity and nutrient availability. The Soligorsk region, known for potash production, experiences evident soil salinization conditions within the study area [5].

Remote sensing techniques, utilizing red, blue, and near-infrared wavelengths, are widely used for monitoring soil salinization. Geostatistical-based remote sensing inversion enables the monitoring of soil salinization in the study area. Internationally, monitoring of soil salinization has been achieved using PMS sensors and an object-oriented approach based on the maximum likelihood method. In recent years, breakthroughs in accuracy have been made using AGA and SVR-based methods for inversion [6]. The study demonstrates the effectiveness of remote sensing inversion for soil salinization in the Minsk-Soligorsk region, providing insights into the trends and distribution of soil salinization in Belarus's central province based on its spatial characteristics.



*Soil organic matter (SOM)* constitutes the organic fraction of soil, encompassing plant and animal remnants, microbial biomass, and more. It serves as a crucial indicator in studying soil degradation, necessitating a comprehensive understanding of its significance and impact. SOM plays a vital role in soil texture, nutrient cycling, and ecosystem functioning. Recognizing its importance and its relationship with soil degradation facilitates better evaluation of soil quality and degradation. This knowledge guides land management practices and agricultural approaches toward protecting and enhancing soil quality, fostering sustainable land use and agricultural development. Additionally, soil organic matter contributes to soil coloration, where higher organic carbon content results in a darker soil color. This darkening arises from the presence of saturated organic matter, changes in black humic acid content and composition, soil moisture variations [7].

Recent studies utilizing remote sensing data have achieved qualitative and quantitative assessments of soil organic matter. Reflectance at wavelengths of 0.546  $\mu\text{m}$ , 0.664  $\mu\text{m}$ , 0.673  $\mu\text{m}$ , and 0.855  $\mu\text{m}$  has shown good correlation with soil organic matter content. Hence, employing satellite imagery such as Landsat 8 and Sentinel 2 based on these correlation characteristics enables accurate inversions within the study area. However, soil organic matter content manifests high spatial variability. When the content falls below 2%, its dominant influence on soil reflectance characteristics diminishes, revealing other soil spectral traits. External parameter orthogonalization (EPO) can eliminate the effect of iron oxides, providing a novel approach for estimating organic matter content in iron-oxide-rich soils.

*Soil erosion*, a prevalent type of soil degradation, has escalated to become a worldwide environmental issue. Adverse weather conditions such as intense rainfall and strong winds, coupled with unsustainable human activities like extensive farming, diminish soil fertility and result in alterations to soil characteristics. The erosive force behind soil erosion can be classified as either water erosion or wind erosion, depending on its origin.

Numerous studies have explored the use of remote sensing methods to investigate hydraulic erosion. Simulation modeling is the primary research approach employed to understand the erosion process. Since its inception in 1965, the Universal Soil and Water Loss Equation (USLE) has been widely adopted in over 100 countries and regions. However, the empirical nature of the USLE method poses limitations as it fails to incorporate soil deposition simulation. Over time, advancements in research have led to the development of physical models such as the Water Erosion Prediction Model and the European Water Erosion Model, aiming to enhance the models' applicability for complex erosion processes. These models heavily rely on inputs of erosion-related factors, most of which can be extracted from remote sensing techniques.

In recent decades, scholars, including Alewell et al., have introduced various factors resulting in the emergence of modified generalized erosion equations such as RUSLE, RULSE2, RUSLE3D, and CSLE [8-9].

For the geographic characteristics of the study area, using the RUSLE model, the soil and water conservation factor and the vegetation cover factor can be obtained by using the land use data obtained from the previous inversion, and the slope length factor and soil erodibility factor can be obtained by overlaying the spatial analysis based on the DEM data and the soil texture data, and the erodibility factor can be obtained by overlaying the spatial analysis based on the soil texture data, and the erodibility factor of the precipitation can be obtained by combining the meteorological data with the soil type. The precipitation erosivity factor can be compared by soil type and meteorological data. Using this model, it is possible to obtain an inversion of the soil erosion situation in the central ecological zone of Belarus in the study area.

*Conclusion.* In view of the geographic characteristics of the Central Ecological Region of Belarus, we have designed the following methodology for remote sensing monitoring of the region based on the common types of soil degradation using open-satellite remote sensing data:

1. For the Land use system, we utilize deep learning techniques based on python libraries such as Codna, PaddleSeg, GDAL, etc. to extract and characterize the changes in agricultural land, forests, grasslands, settlements, swamps, peatlands, and waterbodies in different time-series.

2. In the case of soil salinization, we use the experience of the Soligorsk region, based on geostatistics, to select a suitable validation and learning dataset, and to extract the features of the region through the combination of its feature band modeling.

3. For the extraction of soil organic matter, based on a map of soil types in the study area and geostatistics similar to that of soil salinization, the inversion of soil organic matter was realized by using the EPO method to eliminate the interference of individual soil types with the overall information.

4. And for soil erosion, use the RUSLE model. Land use data, vegetation cover, DEM data, soil types, meteorological and hydrological data were used to realize the soil erosion and water loss equations for the study area. Thus, the remote sensing inversion of the region is realized.

## References

1. Soil degradation: a global problem endangering sustainable development / C. Jie [et al.] // J Geog Sci. 2002. Vol. 12, № 2. P. 243–252.
2. Galai E. Ecological state of the land resources of the Republic of Belarus // Bulletin of the L. N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series. 2019. Vol. 128, № 3. P. 136–140.

3. *Alem A., Kumar S.* Deep Learning Methods for Land Cover and Land Use Classification in Remote Sensing: A Review // 2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO). Noida, India: IEEE, 2020. P. 903–908.
4. A semi-automated approach for the generation of a new land use and land cover product for Germany based on Landsat time-series and Lucas in-situ data / B. Mack [et al.] // *Remote Sens Lett.* 2017. Vol. 8, № 3. P. 244–253.
5. Challenges and Opportunities in Remote Sensing for Soil Salinization Mapping and Monitoring: A Review / G. Sahbeni [et al.] // *Remote Sensing.* 2023. Vol. 15, № 10. P. 2540.
6. AGA-SVR-based selection of feature subsets and optimization of parameter in regional soil salinization monitoring / H. Xu [et al.] // *Int J Remote Sens.* 2020. Vol. 41, № 12. P. 4470–4495.
7. Remote Sensing Techniques for Soil Organic Carbon Estimation: A Review / T. Angelopoulou [et al.] // *Remote Sensing.* 2019. Vol. 11, № 6. P. 676.
8. Soil Erosion Assessment Using the RUSLE Model and Geospatial Techniques (Remote Sensing and GIS) in South-Central Niger (Maradi Region) / M. A. Sidi Almouctar [et al.] // *Water.* 2021. Vol. 13, № 24. P. 3511.
9. Remote sensing of land use/cover changes and its effect on wind erosion potential in southern Iran / M. Rezaei [et al.] // *Peerj.* 2016. Vol. 4. P. e1948.