



МЕЖВУЗОВСКИЙ НАУЧНО-КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ
ПО ПРОБЛЕМЕ ЭРОЗИОННЫХ, РУСЛОВЫХ И УСТЬЕВЫХ ПРОЦЕССОВ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
И ЮЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН

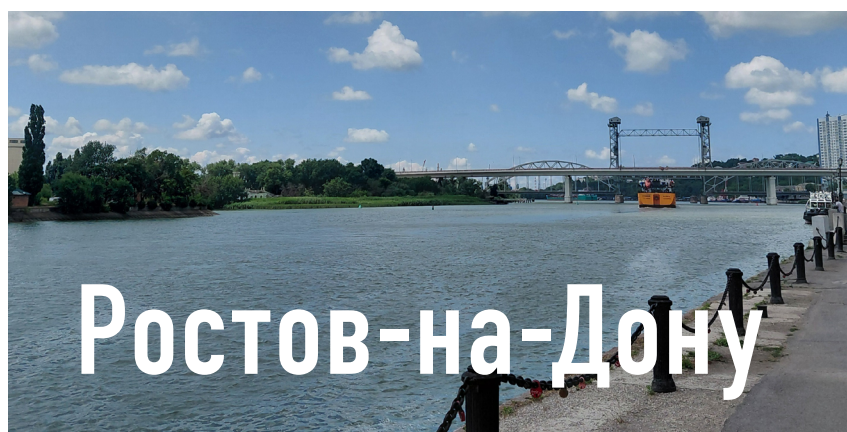
СБОРНИК ТЕЗИСОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Водосбор-река-устье: исследования эрозии
почв, русловых и устьевых процессов»

и XL СОВЕЩАНИЕ

Межвузовского научно-координационного Совета
по проблеме эрозионных,
русловых и устьевых процессов при МГУ



15–18
сентября
2025 г.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ И ЮЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН

ДЕНЬ 1 – ВОДОСБОРНАЯ ЭРОЗИЯ И ДИНАМИКА ПОЧВ (РАБОТА КОНФЕРЕНЦИИ НА БАЗЕ ЮФУ)

ДЕНЬ 2 – РУСЛОВЫЕ И УСТЬЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ (РАБОТА КОНФЕРЕНЦИИ НА БАЗЕ ЮНЦ РАН)

SEDIMENT.RU

MNKS@GEOGR.MSU.

Международная конференция «Водосбор-река-устье: исследования эрозии почв, русловых и устьевых процессов» и XI совещание Межвузовского научно-координационного Совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ: сборник тезисов (г. Ростов-на-Дону, 15–18 сентября 2025 г.) / Под ред. Чалова С.Р., Панченко Е.Д., Голосова В.Н., Манджиевой С.С., Минкиной Т.М., Сушковой С.Н., Чалова Р.С.; Южный федеральный ун-т и Южный научный центр РАН. Ростов-на-Дону, 2025. 215 с.

Сборник тезисов содержит результаты исследований ученых, объединяемых Межвузовским научно-координационным Советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ имени М.В. Ломоносова (МНКС), представленные в виде докладов на Международной конференции «Водосбор-река-устье: исследования эрозии почв, русловых и устьевых процессов» (XI совещание МНКС).

Для специалистов в области русловых и устьевых процессов, эрозии почв, гидрологии рек, флювиальной геоморфологии, гидротехники, почвоведения, водных путей и мелиорации, геоэкологии.

Научные редакторы:

Чалов С.Р., Панченко Е.Д., Голосов В.Н., Манджиева С.С.,
Минкина Т.М., Сушкова С.Н., Чалов Р.С.

Редактор-корректор:

Синаюк Р.М.

Дизайн и верстка:

Езерова Л.В.

Фото на обложке: Панченко Е.Д.

ISBN

© Южный федеральный университет, 2025
© Южный научный центр РАН, 2025
© МНКС при МГУ имени М.В. Ломоносова, 2025
© НИЛ эрозии почв и русловых процессов
им. Н.И. Маккавеева МГУ, 2025

ТЕЗИСЫ ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ

А.Т. Барабанов*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград*

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ, КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НА ВОДОСБОРЕ

Наша работа основывается на ландшафтных принципах В.В. Докучаева в области борьбы с засухой и А.С. Козменко в области борьбы с эрозией почв. Они считали важнейшим условием повышения продуктивности земель восстановление гидрологического режима территории путем управления эрозионно-гидрологическим процессом комплексно на водосборах. Основным инновационным направлением в прекращении деградации ландшафтов является разработка и осуществление системы земледелия на ландшафтной основе. Наша работа посвящена получению новых знаний об эрозионно-гидрологическом процессе. Исследования проводились в лесостепной, степной и полупустынной зонах. В результате исследований были сформулированы и обоснованы концептуальные направления создания систем управления эрозионно-гидрологическим процессом. Они базируются на новых теоретических и практических фундаментальных знаниях: теории рельефообразования, формирования стока талых вод и математических моделях его прогнозирования; законе лимитирующих факторов стока; концепции адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель; системе автоматизированного проектирования стокорегулирующих лесополос. На основе открытого ранее закона лимитирующих факторов стока установлено, что при уровнях факторов ниже лимитирующего (глубина промерзания меньше 50 см, запасы влаги в слое почвы 0–50 см меньше 70 мм и в снеге меньше объема свободных пор в слое 0–30 см) он не формируется. При уровнях факторов выше лимитирующих сток всегда формируется, и величина его зависит от общей порозности в слое почвы 0–30 см и запасов влаги в нем. Новым фактом для понимания генезиса гидрологического процесса на сельскохозяйственных землях является положение о том, что впитывание (термоинфильтрация) талой воды происходит в самом верхнем слое, глубина которого ограничивается ледяным экраном и колеблется по годам и природным зонам от 3 до 30 см. Влажность почвы является основным фактором формирования склонового стока, то есть чем больше влажность почвы в этом слое, тем меньше в ней свободных пор, обеспечивающих впитывание воды. Запасы воды в снеге, сформированные к началу весеннего снеготаяния, не влияют на впитывание, но от них зависит величина стока, то есть стекает та их часть, которая не впиталась в почву. Определяющим концептуальным направлением является комплексный адаптивно-ландшафтный подход к земледелию на основе противоэрозионного обустройства сельскохозяйственных земель на всем водосборе с применением системы мероприятий: организационно-хозяйственных, агролесомелиоративных, агротехнических, лугомелиоративных и гидротехнических. Технология создания системы управления эрозионно-гидрологическим процессом предусматривает следующие этапы: геоморфологический анализ и полевое обследование; расчет стока, смыва почв и расстояний между лесополосами; организация землепользования (определение характера использования земель, выбор севооборотов, размещение полей, защитных лесных насаждений и др.); лесомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство территории и размещение стокорегулирующих лесополос; выбор параметров лесополос (конструкция, подбор пород, количество рядов, ширина междурядий и др.).

В.В. Беликов^{1,2}, Н.М. Борисова^{1,2}, Е.С. Васильева^{1,2}, А.В. Глотко^{1,2,3}

¹Институт водных проблем РАН

²ООО НПП «Аквариус Аналитик», Москва

³Московский государственный строительный университет

ЧИСЛЕННАЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НИЖНЕГО ДОНА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Начало разработке двумерной гидродинамической модели Нижнего Дона (а точнее, системы моделей, включающей, кроме гидродинамического модуля, гидротермический блок, блок русловых деформаций, модуль развития прорана в грунтовой плотине и др.) было положено в 2006 г. Исследование по теме «Создание электронной модели затопления поймы Нижнего Дона при расходах различной обеспеченности на основе технологий геоинформационных систем (ГИС)» выполнялось по заказу Комитета по охране окружающей среды и природных ресурсов Администрации Ростовской области с целью разработки системы оперативного контроля паводковой ситуации на территории Нижнего Дона для своевременного предотвращения и минимизации последствий чрезвычайных ситуаций. Были созданы математические основы компьютерной модели зон затопления, собрана подробная гидрологическая и другая информация по бассейну Нижнего Дона от Цимлянского гидроузла до Таганрогского залива, разработан информационно-аналитический комплекс «Нижний Дон», включающий в себя информационно-графическую и информационно-аналитическую подсистемы. Результаты доложены на конференции «Акватек» в 2008 г.

Следующий важный этап выполнялся в 2008-2009 гг. по заказу Министерства территориального развития, архитектуры и градостроительства Ростовской области. Были существенно уточнены топографические данные на участке левобережной поймы Дона между городами Ростов-на-Дону и Батайск, в модель добавлено Цимлянское водохранилище, произведен расчет параметров волны прорыва ЦГУ, выполнено моделирование зон и глубин затопления с учетом перспективной застройки поймы Н. Дона. Результаты были согласованы со всеми заинтересованными ведомствами: МЧС, Росгидрометом, Морречфлотом.

Далее в период 2010-2016 гг. на дорабатываемой по мере необходимости на локальных участках модели был выполнен ряд работ по объектам: Кумженские пруды (2010 г.); Кочетовский гидроузел, волна прорыва (2010 г.); Ворошиловский мост, реконструкция (2011 г.); Багаевский гидроузел, предпроектный этап (2012 г.); Футбольный стадион к ЧМ 2018 (2014 г.).

В 2017-2018 гг. фирма ООО НПП «Аквариус Аналитик» была привлечена к выполнению большой комплексной работы по гидравлико-гидрологическому обоснованию проекта Багаевского низконапорного гидроузла. Наряду с существенным уточнением «глобальной» гидродинамической модели Н. Дона на основе актуализированных исходных данных, детальной калибровки по ряду водомерных постов и применением более точного расчетного алгоритма были построены дополнительно еще 3 детализированных модели: проектируемого Багаевского водохранилища; крупномасштабная модель гидротехнических сооружений гидроузла (водосбросная плотина, судоходный шлюз, водосбросные пролеты в левом рукаве и т.д.); гидротермическая модель Багаевского водохранилища с учетом системы внешнего охлаждения Новочеркасской ГРЭС. Выполненные вариантные расчеты позволили оптимизировать гидравлические параметры гидроузла, построить хорошо обоснованную кривую связи расходов и уровней в нижнем бьефе ГУ и кривые подпора в верхнем бьефе, исследовать температурные режимы в водохранилище. Кроме того, были промоделированы сгонно-нагонные явления с учетом плотины гидроузла и показано ее незначительное влияние на подъем нагонных уровней, что и было доложено на конференции «Опасные гидрологические явления» в Ростове-на-Дону в 2019 г.

В последующем в период 2020-2022 гг. на модели и ее фрагментах выполнялись дополнительные исследования по Багаевскому гидроузлу, в том числе определялись параметры Багаевского водохранилища при сниженных подпорах НПУ 1.0 мБС и 1.5 мБС, а также оптимизировалась конструкция и параметры рыбоходно-нерестового канала (РНК), предназначенного для пропуска рыбы на нерест через плотину.

В 2023–2025 гг. акцент исследований сместился в сторону гидрологического обоснования высотно-планировочных решений по застройке новых участков левобережной поймы в районе гребного канала (территория «Клин») и стрелки при ответвлении рукава Мертвый Донец от Дона (так называемый Кумжград). При этом в гидродинамическую модель был добавлен Восточный обход трассы М-4 «Дон», пересекающий пойму Дона выше г. Аксай. Расчеты в очередной раз показали, что застройка поймы заметно повышает максимальные уровни воды при пропуске расходов малой обеспеченности.

Результаты выполненных работ изложены в 15 научно-исследовательских отчетах и 7 научных статьях. В докладе будут подробно освещены наиболее интересные аспекты проведенных исследований и сделан вывод о сильном изменении гидрологического режима Нижнего Дона под влиянием хозяйственной деятельности.

**С.В. Бердников, А.В. Клещенко, И.В. Шевердяев, С.В. Веневский, В.В. Кулыгин,
В.В. Сорокина, Н.В. Лихтанская, С.А. Мисиров**

Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону

ВЛИЯНИЕ СОКРАЩЕНИЯ СТОКА, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И МОРСКИХ ФАКТОРОВ НА БАЛАНС НАНОСОВ В ДЕЛЬТЕ ДОНА*

Дельта р. Дон – самая восточная и одна из крупнейших дельт Средиземноморско-Черноморского бассейна. В ходе исследований гидрологических и геоморфологических преобразований дельты Дона под воздействием антропогенных и природных факторов мы оценили влияние речного стока, выноса речных наносов, волн и морских нагонов на изменения морского края дельты.

Данное сообщение является продолжением этих исследований.

Методы включают полевые и экспериментальные исследования, обработку данных ДЗЗ, математическое моделирование.

Основные моменты (тезисы) доклада следующие.

1. Наблюдаемые изменения морфологии дельты Дона, а именно уменьшение ширины каналов в средней ее части, можно объяснить влиянием морских факторов – распространением морских вод далеко в дельту при сейшевых колебаниях уровня с суточным ритмом и нагонных явлениях – в условиях сокращения речного стока и снижения поступления взвешенных наносов в устьевую область из-за постройки гидротехнических сооружений.
2. Закономерности проникновения соленых вод в дельту Дона и их влияние на процессы седиментации взвешенных наносов в устьевой области.
3. Баланс взвешенных наносов в авандельте, в районах, прилегающих к морскому краю дельты как со стороны моря, так и со стороны суши, в пойменных районах дельты на разном расстоянии от морского края, в руслах дельты в целом и в отдельных рукавах в период 1940–2020 гг.
4. Оценки накопления в дельте Дона органического углерода и потенциально токсичных элементов (соединения тяжелых металлов) в современный период маловодья.

В итоге мы попробуем показать, в какой мере для средиземноморских дельт, достаточно удаленных от Мирового океана, характерны процессы, наблюдаемые сегодня в приливных и волновых дельтах в условиях сокращения поступления взвешенных наносов из-за плотин выше по течению.

* Публикация подготовлена в рамках тематик НИР ГЗ ЮНЦ РАН на 2025 г. № гос. рег. 125012100503-4, 125011200143-4, 125040404857-4.

Е.В. Полуэктов

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт
имени А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», г. Новочеркасск

КЛИМАТ И ЭРОЗИЯ НА ЮГЕ РФ

Согласно данным агроклиматических справочников температурный режим на юге РФ, в частности в Ростовской области, заметно изменился. За последние 16 лет температура воздуха повысилась на 1,5–1,9. Это отразилось на целом ряде факторов, влияющих на сток талых вод: уменьшились глубина промерзания, запасы воды в снеге, увеличилось количество просочившейся в почву влаги. Все это отразилось на слое стока талых вод (табл. 1). Анализ данных по стоку талых вод за период с 1970 по 2025 г. на рыхлой (зябь) и уплотненной пашне показал, что за последние 16 лет сток талых вод уменьшился к предшествующим годам в 3,2 раза на зяби и в 4,4 раза на посевах озимых. Количество лет со стоком на зяби с 2010 по 2025 г. имело место в течение трех, а на посевах озимых и многолетних трав – пяти лет. В предыдущий период сток талых вод на уплотненной пашне наблюдался один раз в полтора года, а на зяби один раз в три года.

Таблица 1. Характеристика стокообразующих факторов, величины стока талых вод и смыва почвы, 1970–2025 гг.

Показатель	Период		
	1970–1990	1991–2009	2010–2025
Средняя температура воздуха зимних месяцев, °С в т.ч.: декабрь январь февраль	–3,1 –1,0 –4,6 –3,6	–2,0 –1,9 –2,5 –2,0	–1,7 –0,7 –2,9 –1,5
Сумма осадков на зимние месяцы, мм в т.ч.: декабрь январь февраль	128 57 40 31	153 53 48 52	134 42 64 29
Запасы воды в снеге, мм – рыхлая пашня – уплотненная пашня	51,7 55,6	39,7 47,0	30,5 35,9
Глубина промерзания почвы перед таянием снега, м – рыхлая пашня –уплотненная пашня	0,46 0,49	0,34 0,37	0,17 0,19
Сток, мм – рыхлая пашня, в среднем: а) за все годы наблюдений; б) в годы со стоком	9,8 29,3	6,1 24,5	2,5 15,8
– уплотненная пашня, в среднем: а) за годы наблюдений; б) в годы со стоком	24,1 51,0	11,9 47,5	4,1 24,9
Смыв почвы, в среднем, т/га – рыхлая пашня: а) за годы наблюдений; б) в годы со стоком – уплотненная пашня: а) за годы наблюдений; б) за годы со стоком	7,5 27,1 10,2 33,7	7,01 23,4 6,8 26,8	4,7 18,0 2,6 7,5

Аналогичные данные получены по смыву почвы. Максимальные его потери характерны для зяби до 2010 г. Они в среднем составляли 7,3 т/га, а с 2010 по 2025 г. – 2,6 т/га. На уплотненной пашне соответственно 8,4 и 2,6 т/га.

Таким образом, мониторинг данных по основным метеорологическим показателям указывает, что за последние 16 лет произошли заметные изменения по температурному режиму, глубине промерзания почвы, запасам воды в снеге. В результате сток талых вод резко уменьшился, соответственно с этим снизились потери почвы от эрозионных процессов. Все это необходимо учитывать при планировании системы почво-защитных мероприятий).

С.Р. Чалов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ВОЗМОЖНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОКА НАНОСОВ РУСЛОВЫХ И УСТЬЕВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Устья рек – «пограничная» зона между речным бассейном и приемным водоемом, где сталкиваются между собой противоположно направленные потоки вещества и энергии. На гидрологические процессы и, в частности, сток наносов здесь воздействуют речные и морские факторы, что определяет нелинейность рассредоточения расходов наносов по рукавам, сложность баланса наносов. Для объективной характеристики этих изменений в устьевых областях требуются большие массивы натурных данных, в то время как большинство дельт характеризуются наличием лишь эпизодических сведений о стоке наносов, основанных на экспедиционных исследованиях. Большинство существующих оценок даже для самых изученных в гидрологическом отношении устьев иллюстрировали лишь отдельные ситуации изменения стока наносов. Исключительно слабо изучены устьевые участки рек Арктики. Комплексные исследования трансформации стока взвешенных веществ и органического углерода проведены только для крупнейшей арктической дельты р. Лены. При этом выводы о трансформации стока взвешенных наносов в дельтах часто основаны на разовых измерениях, не репрезентативных для столь сложной и динамичной многофакторной системы, либо базируются на упрощенных одномерных моделях, физическая сущность которых неприменима к дельтам. Так, недавно опубликованные результаты моделирования мутности воды в крупнейших дельтах Арктики [Hines, Piliouras, 2024] утверждают, что от 10% до 70% взвешенных наносов аккумулируется в дельтах арктических рек в течение периода открытой воды. Указанные выводы получены без какой-либо адекватной верификации и опираются лишь на численные эксперименты.

В последние годы в МГУ разрабатывались дистанционные алгоритмы изучения характеристик стока наносов и процессов его формирования, которые позволили создать принципиально новую по детальности характеристику стока наносов в устьевых областях. В докладе обсуждаются подходы к определению мутности воды в руслах рек и объемов наносов, поступающих в них в результате разрушения берегов. Рассматриваются вопросы реализации алгоритмов на платформе Google Earth Engine, что оптимизирует вычислительные процессы. Проведенные исследования позволили сформулировать рекомендации по использованию методов дистанционного определения мутности воды для дельтовых областей, выявить ограничения снимков разного разрешения для различных задач дешифрирования в зависимости от размера рукавов дельт. Их выполнение позволяет использовать методологию дистанционного определения мутности спутниковых снимков с погрешностью от 12 до 22%. В аналогичных пределах оцениваются точности определения поступления наносов в русла рек за счет разрушения берегов на основе классификации снимков методом наибольшего подобия и цифровой модели рельефа ArcticDEM. На основе полученных в ходе классификации двух снимков участков размыва для устьевых областей составляются сетки размером 5 км на 5 км, которые наглядно иллюстрируют закономерности распределения характеристик плановых переформирований и являются основой для оценки баланса наносов. «Эталонирование снимков» позволяет анализировать и сравнивать данные в пределах одной сцены мозаики снимков с охватом обширных территорий устьев, а также за разные временные промежутки.

На основе методики дешифрирования концентраций взвешенных наносов по данным дистанционного зондирования Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 и Sentinel созданы архивы картографических отображений полей распределения мутности крупнейших дельт РФ (Оби, Лены, Колымы, Волги) за период с 1999 г. по настоящее время. На этой основе впервые системно доказаны противоположно направленные механизмы изменения мутности воды в пределах различных дельт: преобладание аккумуляции взвешенных наносов в южных дельтах и эрозионный режим транспорта взвешенных наносов в арктических дельтах. Эти выводы подтверждаются выполненным анализом интенсивности разрушений берегов на основе дешифрирования спутниковых снимков Landsat с пространственным разрешением 30 метров для дельт рек Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена, Индигирка и Колыма за период 2000–2021 гг. Интенсивность размыва рассчитывалась в относительных единицах как отношение площади размыва к площади речного русла внутри ячеек регулярной сетки (% разрушенного берега от площади территории). Восточные арктические дельты (дельты рек Лена, Индигирка, Колыма) подвержены более интенсивным эрозионным процессам. Некоторое ослабление интенсивности наблюдается в дельтах рек, впадающих в Карское море через заливы внушительных размеров. Наиболее явным фактором, влияющим на интенсивность переформирований, является

обнажение многолетнемерзлых пород, определяющих продольное увеличение мутности воды в дельтах Колымы и Лены.

Спутниковые алгоритмы показали высокую эффективность при определении концентраций взвешенных наносов, растворенного и взвешенного органического углерода, количественного дешифрирования плановых переформирований. Внедрение методов автоматической обработки спутниковых данных позволяет увеличить пространственно-временной охват данных по устьевым участкам крупнейших рек. Значительные перспективы реализации проекта связаны с новыми возможностями получения экспериментальных данных о морфологии и динамике рельефа с использованием съемки с беспилотных летательных аппаратов, наземным и воздушным лазерным сканированием.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Д.В. Анощенко, Е.А. Бураева, Р.А. Кравцов

Южный федеральный университет

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАММА-ФОНА В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ДОН*

Дельта Дона – дельта одной из самых длинных рек в Европе. Здесь расположено большое количество населенных пунктов, которые занимаются рекреационной или сельскохозяйственной деятельностью. Существует ряд факторов, которые могут оказывать значительное влияние на радиационный фон: наличие АЭС выше по реке, применение в сельском хозяйстве удобрений, которые могут содержать радионуклиды, или нахождение рядом города-миллионера, в котором находится предприятие из отрасли сельскохозяйственного машиностроения «Ростсельмаш». Также здесь находится большое количество краснокнижных животных и растений, обитающих на ООПТ: Александровский лес и государственный природный заказник «Левобережный». Поэтому важно проводить исследования касательно отслеживания гамма-фона и контроль за его нахождением в допустимых пределах, чтобы сохранить их и здоровье людей, проживающих на территории дельты Дона.

В данной работе исследование распределения радиационного фона в дельте Дона проводилось методом «разрезов», расположенных на разной удаленности от Ростова-на-Дону. К разрезу I относятся такие населенные пункты, как села Синявское и Кагальник, хутора Лагутник, Рогожкино, Узьяк и Береговой, поселок Топольки. К разрезу II – хутора Недвиговка, Дутино и город Азов. К разрезу III – хутора Хапры, Обуховка, Казачий Ерик, Новоалександровка, станица Елизаветинская и село Кулешовка. К разрезу IV – село Чалтырь, хутора Калинин, Колузаево и поселок Овощной. Расстояние от Ростова-на-Дону до разрезов рассчитывалось от географического центра Ростова (Псковский переулоч, 6) по прямой, перпендикулярной к линии разреза. Разрезы удалены соответственно на 28, 21, 17 и 10 км от города.

Данная работа – начало масштабного исследования, которое будет продолжать и дополнять описанные в этой работе методы и данные. Образцы гамма-фона были взяты методом пешеходной гамма-съемки при

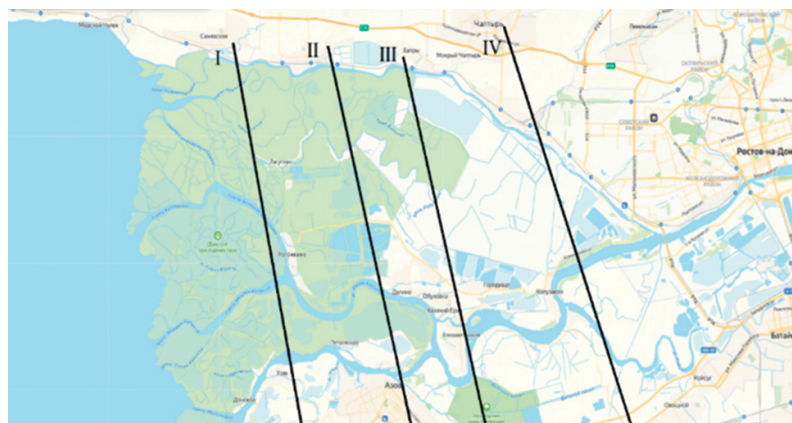


Рис. 1. Расположение разрезов на географической карте

Таблица 1. Статистический анализ собранных данных

Параметр	Разрез III	Разрез IV
	Значение	
Минимум, мкЗв/ч	0,01	0,01
Максимум, мкЗв/ч	0,35	0,31
Среднее арифметическое, мкЗв/ч	0,12	0,10
Среднее геометрическое, мкЗв/ч	0,11	0,09
Мода, мкЗв/ч	0,10	0,07
Медиана, мкЗв/ч	0,12	0,09
Стандартное отклонение	0,04	0,05
Коэффициент вариации, %	33	50
Экссесс	1,39	1,44
Асимметричность	0,62	0,98
Количество измерений, шт.	2953	1530

использовании двух приборов: дозиметра-радиометра ДРБП-03 и геологоразведочного сцинтилляционного прибора СРП-88н. На данный момент наиболее измеренными являются разрезы III и IV, в которых было получено 2953 и 1530 измерений соответственно. Результаты обработки полученных данных приведены в таблице.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что данные распределены нормально и равномерно для каждого из разрезов, на что указывают близкие значения таких параметров, как среднее арифметическое, среднее геометрическое, мода и медиана, которые колеблются в диапазоне 0,10–0,12 мкЗв/ч и 0,07–0,10 мкЗв/ч. Значений, превышающих 0,30 мкЗв/ч, всего 6 штук, что составляет 0,13% от общего количества и может считаться статистическим выбросом. Помимо этого, если сравнить данные, то можно сказать о незначительной разнице гамма-фона на таких относительно малых расстояниях от Ростова-на-Дону и даже об отсутствии влияния заметного негативного влияния. Полученные значения совпадают с измерениями гамма-фона, которые ежедневно публикует «Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области» и соответствуют допустимым уровням воздействия ионизирующего излучения, согласно Нормам радиационной безопасности (НРБ-99).

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности 2023 г.). Проект № FENW-2023-0010/(Г30110/23-11-ИФ).

Г.Т. Балакай¹, Е.В. Полуэктов², А.К. Кортунова³

¹ Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск

² Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт

³ Филиал Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск

РОЛЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОСБОРАХ В СНИЖЕНИИ МАССЫ СМЫТОЙ ПОЧВЫ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ

Эрозия почвы является одним из самых распространенных и разрушительных факторов, влияющих на деградацию почвы, поэтому борьба с этим природным явлением является актуальным и востребованным производством. Наибольший эффект снижения эрозии дают адаптивно-ландшафтные системы земледелия, учитывающие особенности рельефа агроландшафта, экологические требования растений к условиям произрастания и технологии их возделывания, почвозащитные мероприятия для снижения эрозии и смыва почвы с сельскохозяйственных угодий. Одним из способов снижения массы смытой почвы являются простейшие гидротехнические сооружения – запруды, построенные в верховьях балок и оврагов на наиболее эрозионно опасных участках агроландшафта, и валы-канавы в защитных лесных насаждениях. Исследования влияния этих сооружений на эрозию почвы на черноземах Ростовской области проводились профессорами Полуэктовым Е.В. и Балакаем Г.Т. с 1982 по 2023 г. по периодам наблюдений 1982–1995, 1996–2004 и 2005–2023 гг.

Цель исследований – установить способность гидротехнических сооружений на агроландшафтах аккумулировать наносы мелкозема, смытые с полей поверхностными водными потоками при эрозии почвы.

Сток наносов учитывался по результатам измерения слоя наносов в запруде и канаве-валу в нижнем по уклону ряду защитного лесного насаждения и перед валом путем измерения в динамике (1982, 1995, 2004 и 2023 гг.) высоты наносов и степени заполнения канавы, объема и массы наносов (с учетом гумифицированного опада листьев и веток с деревьев) при уклонах поверхности почвы 2–3 и 5–6. Исследования позволили установить, что в среднем за 1982–2023 гг. простейшие гидротехнические сооружения в виде запруд, построенные в верховьях оврагов или балок на эрозионно опасных участках агроландшафта являются эффективным способом аккумуляции наносов мелкозема в размере 15,59 т на 1 га водосбора, это составляет 61% от стока наносов на стационарной стоковой площадке, составившего – 25,63 т/га, т. е. масса смытой почвы за пределы поля снизилась на 39%. Исследования на противоэрозионном гидротехническом сооружении канава-вал, построенном в нижнем по уклону ряду деревьев мелиоративных защитных лесных насаждений, показали их способность снизить эрозию почвы и аккумулировать наносы в канаве-валу и перед валом в объеме 0,84 т/пог. м длины канавы-вала при уклоне 2–3 и до 1,74 т/пог. м при уклоне поверхности почвы 5–6.

Выводы. Таким образом исследования показали, что простейшие гидротехнические сооружения могут аккумулировать наносы поверхностного стока в виде мелкозема и уменьшать смыв почвы с сельскохозяйственных полей, поэтому должны использоваться в системах почвозащитных мероприятий на агроландшафтах.

А.И. Барбашев, Т.С. Дудникова, А.А. Немцева, Е.Г. Шуваев, С.Н. Сушкова
Южный федеральный университет

ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА И МИКРООРГАНИЗМОВ НА РОСТОВЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯЧМЕНЯ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО НА ХЕМОЗЕМЕ*

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются одними из самых опасных загрязнителей окружающей среды. Среди ПАУ выделяют 16 наиболее опасных загрязнителей, в том числе бенз(а) пирен (БаП), который проявляет мутагенное и тератогенные свойства по отношению к живым организмам. Проблемой является не только контроль поступления органических поллютантов в окружающую среду, но и восстановление загрязненных территорий, для которых необходимо подобрать оптимальные подходы и методы ремедиации.

Целью работы являлось оценить влияние биочара и микроорганизмов на ростовые характеристики ячменя, произрастающего на хемоземе.

Для изучения эффективности совместного применения биочара и штаммов-деструкторов ПАУ на разложение полиаренов в почве заложен модельный вегетационный опыт. Почва для опыта представляет собой хемозем, отобранный с территории бывшего оз. Атаманского, Ростовской области, служившего долгие годы в качестве резервуара для промстоков предприятия химической промышленности. Схема опыта включала: 1. Контроль; 2. Хемозем; 3. Хемозем + 5% биочара; 4. Хемозем + бактерии; 5. Хемозем + 5% биочара + бактерии. Почва контрольного варианта представлена лугово-черноземной почвой, находящейся на удалении 1,5 км от оз. Атаманского. Бактерии штаммы-деструкторы ПАУ представлены консорциумом микроорганизмов *Rhodococcus erythropolis* и *Pseudomonas putida* в дозе 10*10 КОЕ/кг. Статистический анализ полученных результатов, а также их визуализация выполнены с использованием программы Statistica 7.

С использованием однофакторного статистического анализа ANOVA установлены значительные различия между морфобиометрическими параметрами ячменя, произрастающего в почвах различных вариантов опыта (табл. 1). Установлено, что длина корней и стеблей у ячменя контрольного варианта составляет 14,9 см и 30,4 см соответственно (рис. 1). С использованием апостериорного критерия Тьюки, при р-уровне < 0,05 показано, что у растений, произрастающих на хемоземе, длина корней и надземной части значительно ниже по сравнению с контрольным вариантом, в среднем разница составляет 5,4 и 5,8 см соответственно.

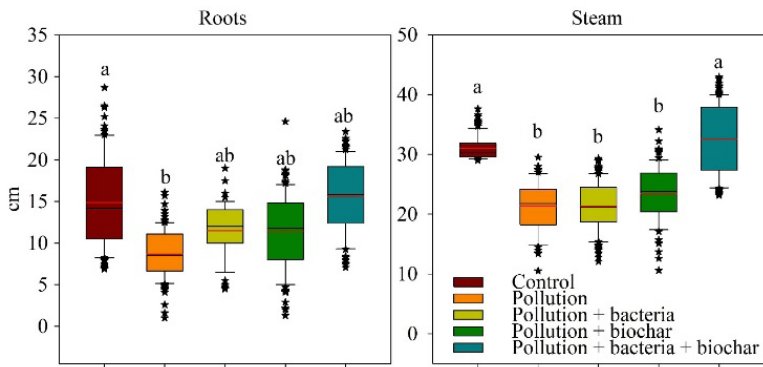


Рис. 1. Морфобиометрические показатели ячменя на различных вариантах опыта

Примечание: Разные буквы указывают на значительные различия (p < 0,05).

Таблица 1. Влияние специфических характеристик растений и уровня загрязняющих веществ на морфобиометрические параметры насыщения, как показано с помощью однофакторного статистического анализа ANOVA

Часть растений	F	p
Корни	38,0	>0,00001
Стебли	190,6	>0,001

Таким образом, применяемые методы ремедиации снижают токсичность хемозема. Наилучший результат достигнут при внесении в хемозем биочара совместно с бактериями. При этом наблюдаемые средние значения морфобиометрических параметров близки, и статистически значимых различий между растениями хемозема и контроля не наблюдается.

* Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»), а также при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2023-587.

С.А. Барсукова

Южный федеральный университет

ДЕГИДРОГЕНАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ УГЛЕОТВАЛОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ИХ РЕМЕДИАЦИИ

Антропогенное загрязнение почв является наиболее актуальной экологической проблемой. При добыче угля в шахтах происходит образование углеотвалов, что приводит к накоплению тяжелых металлов в почвах. В последнее время для ремедиации загрязненных почв все чаще используют биочар, так как он способствует их детоксикации. Ферментативная активность почв является чувствительным показателем их состояния. Она наиболее объективно отражает состояние почвы, так как микроорганизмы реагируют на негативные изменения окружающей среды. Активность ферментов дегидрогеназ считается одним из важных показателей, так как она изменяется раньше, чем остальные. Именно поэтому ее часто используют при оценке состояния почвы.

Целью данной работы является изучение дегидрогеназной активности почв углеотвалов при их ремедиации с использованием биочара.

Объектом исследования являлись почвы поймы р. Северский Донец, отобранные на территории высохшего оз. Атаманское. В качестве контроля использовали незагрязненную черноземную почву. В загрязненную почву вносили биочар: древесный (Бдр); из соломы пшеницы (Бс); инокулированный нитрификаторами (БН); инокулированный нитрификаторами + ПАУ-деструкторами (ББ); инокулированный ПАУ-деструкторами (БП). После внесения данных компонентов почва помещалась в вегетационные сосуды, увлажнялась до 60% полной влагоемкости и инкубировалась. Далее в вегетационных сосудах выращивали овсяницу тростниковую (*Festuca arundinacea*), срок вегетационного периода составлял 65 дней. После чего производили уборку и отбор проб почв для проведения анализа. Для определения активности дегидрогеназ измерялось количество образовавшегося трифенилформазана при восстановлении трифенилтетразолия хлористого.

По результатам исследования (табл. 1) наблюдается резкое снижение ферментативной активности в загрязненной почве по сравнению с контролем – в 14,6 раза снизилась актуальная активность, и в 7,3 раза – потенциальная активность. В образцах без растений активность фермента увеличивается в 8 варианте, при внесении в загрязненную почву 2,5% биочара, инокулированного ПАУ-деструкторами. Актуальная активность снижается в 1,2 раза, но при этом потенциальная активность увеличивается в 1,2 раза.

Таблица 1. Изменение активности дегидрогеназы при внесении сорбентов

Дегидрогеназа мкг ТФФ/г абс.сух.почвы/ч		
№ образца	Актуальная активность	Потенциальная активность
Образцы без растений		
1.1. Контроль	18,14±0,60	34,92±1,71
2.2. Фон	1,24±0,05	4,78±0,37
4.2. Фон + 2,5% Бдр.	0,87±0,14	3,54±0,25
6.2. Фон + 2,5% ББдр.	0,81±0,14	3,29±0,85
7.2. Фон + 2,5% БНдр.	0,56±0,18	3,91±0,59
8.2. Фон + 2,5% БПдр.	1,05±0,11	5,43±0,90
Образцы с растениями		
2.1. Фон + растения	1,06±0,11	1,93±0,11
3.1. Фон + 1% Бдр	1,46±0,11	4,48±0,16
4.1. Фон + 2,5% Бдр	1,71±0,27	6,26±0,43
5.1. Фон + 1% ББдр	1,34±0,11	4,94±0,52
6.1. Фон + 2,5% ББдр	1,62±0,14	8,25±0,33
7.1. Фон + 2,5% БНдр	1,21±0,09	3,95±0,38
8.1. Фон + 2,5% БПдр	1,30±0,19	4,65±0,41
9. Фон + 2,5% Бсолома	1,62±0,29	2,80±0,19
10. Фон + 2,5% ББс	1,95±0,16	2,82±0,14
11. Фон + 2,5% БНс	1,78±0,27	3,56±0,18
12. Фон + 2,5% БПс	1,86±0,23	2,94±0,27

В вариантах с возделыванием культуры и внесением сорбентов наблюдается увеличение дегидрогеназной активности во всех вариантах, в сравнении с фоном. Наибольшая эффективность наблюдается в образцах № 4 – при внесении 2,5% древесного биочара и № 6 – при внесении в почву 2,5% биочара, инокулированного нитрификаторами + ПАУ-деструкторами. В первом случае актуальная активность увеличивается в 1,6 раза, а потенциальная – в 3,2 раза. Во втором случае актуальная активность увеличивается в 1,5 раза, а потенциальная – в 4,3 раза. Последний вариант обработки, при внесении в почву 2,5% биочара, инокулированного нитрификаторами + ПАУ-деструкторами, приводит к наибольшему увеличению активности фермента.

Таким образом, сочетанное применение биочара и бактерий – нитрификаторов и ПАУ-деструкторов способствует снижению токсичности почв для растений и может быть использовано в ремедиации.

С.Г. Барышников, Г.Я. Барышников

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул
Алтайский государственный университет, г. Барнаул*

ОСОБЕННОСТИ РУСЛОВЫХ И ПОЙМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ВЕРХНЕЙ ОБИ КАК ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ПОЙМЫ

Изучение русловых и пойменных процессов Верхней Оби имеет важное практическое значение, в том числе в связи с планами жилой застройки островов, расположенных в границах городского округа Барнаула. Анализ пойменных и русловых процессов позволяет избежать формирования напряженных экологических ситуаций и техногенных катастроф. К настоящему времени создана надежная база данных о природе Верхней Оби. Исследования проводились в связи с проектированием Новосибирского водохранилища, Катунской ГЭС, мостовых переходов и других хозяйственных объектов.

Н.И. Маккавеев и Р.С. Чалов в процессе многолетних исследований установили, что формирование стока взвешенных наносов на Оби происходит за счет поступления их из притоков, а также вследствие размыва коренных берегов, сложенных лессовидными суглинками. При увеличении стока воды от слияния Бии и Катуни до Камня-на-Оби на 40% возрастает и сток взвешенных наносов. Этими исследователями было установлено, что это сопровождается врезанием русла со скоростью 0,8 мм/год, что объясняется ростом водности реки Обь и неотектоническими процессами положительного знака. Внутригодовое распределение стока взвешенных наносов Верхней Оби характеризуется значительно большей неравномерностью, чем водного стока. За период половодья (апрель – июнь) проходит 70–85% годового стока наносов, который на г/п Барнаула равен в среднем 8200 тыс. т. Величина изменения стока взвешенных наносов может достигать 20–30% от средних значений стока взвешенных наносов. При этом при расходах воды менее 2500 м³/с преобладает сток руслообразующих наносов во влекомом состоянии. С дальнейшим увеличением водности начинает преобладать взвешенная форма транспорта наносов.

Русловые деформации в районе исследования в основном обусловлены изменением руслоформирующих расходов воды. В районе г. Барнаула средний расход составляет 2800 м³/с. В многоводные годы наблюдается снижение стока наносов, что обусловлено аккумуляцией взвешенных наносов на пойме. На участке Оби от Барнаула до Камня-на-Оби наблюдается увеличение стока взвешенных наносов в годы со средней водностью до 12–16 млн т/год. В маловодные годы сток взвешенных наносов увеличивается на 3–4 млн т/год. Исследования показали, что в русле Верхней Оби размыв преобладает над аккумуляцией. Исключение составляет лишь участок, на котором прослеживается влияние Новосибирского водохранилища на русловые процессы.

Влияние Новосибирского водохранилища прослеживается до 200 км вверх по течению. Это проявляется в подъеме уровня воды на 1,5–3,0 м, уменьшении скорости движения воды в русле в 2,5–3 раза, что отражается на снижении транспортирующей способности потока. На основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) установлено, что зона подпора в течение года перемещается вверх или вниз по течению. В межень она смещается вниз по течению. Изменение положения зоны подпора водохранилища влияет на характер русловых деформаций. Происходит формирование пойменной многорукавности, увеличение числа и площади протоков, возрождение старых протоков. Н.Н. Виноградова определяет положение зоны регрессивной аккумуляции на расстоянии 360 км от плотины Новосибирского водохранилища. Это вызывает прекращение врезания русла Оби ниже г. Барнаула.

Значительное влияние на русловые процессы Верхней Оби оказывают добыча гравия и углубление русла, инженерные сооружения, такие как железнодорожный мост, в районе которого большая часть расхода проходит через один пролет. Это сопровождается усилением врезания русла. Укрепление берегов в черте города привело к увеличению устойчивости русла.

К.В. Марусин с соавторами проанализировали динамику русла за 2010–2017 гг. на отрезке русла между протоками Ерестной и Дрокинской и обнаружили гряды протяженностью 3,3 км. За этот период сформировалась глубокая промоина (до 15 м) в районе опоры высоковольтной ЛЭП. С 2010 по 2012 г. – образовался новый побочень как результат работы земснаряда и складирования песка в 2009 г. Этот побочень переместился вниз по течению на 70 м. Появились острова в верхней части участка, также произошло смещение переката и левобережного побочня как части этой гряды вниз по течению. Вдоль правого берега произошло углубление русла.

В результате взаимодействия комплекса природных и антропогенных факторов на отрезке Верхней Оби сформировалось несколько разновидностей русел. На участке устье Чарыша – Барнаул, из-за поступления большого количества наносов, происходит одностороннее разветвление русла Оби. За пределами влияния

коренного берега Приобского плато наблюдается меандрирующее русло. На отрезке между г. Барнаулом и г. Камнем-на-Оби преобладающим типом руслового процесса является свободное меандрирование. Участок поймы от слияния Бии и Катунь до устья Чарыша характеризуется тем, что пойма здесь представлена несколькими высотными уровнями, что может быть обусловлено новейшими тектоническими движениями положительного знака. В районе г. Барнаула и пос. Затон процесс меандрирования русла создает сложный рельеф пойменной террасы, которую образуют сегменты и острова разного возраста с закономерным сочетанием старичных озер, прирусловых валов, ложбин и гряд.

В зонах меандрирования русла Оби наблюдаются участки с тремя излучинами, в районе с. Шелаболихи количество излучин составляет от трех до пяти. В районе Барнаула насчитывается четыре излучины. Тем не менее преобладающий тип руслового процесса – русловая многорукавность с элементами свободного меандрирования в отдельных рукавах. Острова имеют аккумулятивное происхождение с хорошо развитыми песчаными формами. В районе Барнаула левобережная пойма представлена комплексом островов и бывших побочней, сформировавшихся вдоль восточного и северного уступов Приобского плато.

Новый генеральный план развития г. Барнаула предполагает строительство жилого микрорайона на островах, расположенных в русле р. Оби. Не принимается во внимание значительная изменчивость русловых процессов. Применение метода геоинформационного моделирования русловых процессов позволило установить, что в районе г. Барнаула берега смещаются до 29 м в год, происходит резкое спрямление русла со средней скоростью смещения вогнутых пойменных берегов 10–15 м в год.

В районе г. Барнаула наблюдаются самые высокие подъемы уровней воды в р. Оби. Превышение уровней половодья над меженью составляет 6.5 м и более. Пойма аккумулирует полые и паводковые воды в период наивысшего подъема уровней и постепенно отдает воду обратно в реку во время их спада, что определяет воздействие вод на фундаменты зданий, в случае их строительства в пойме.

Рассмотренные выше особенности русловых и пойменных процессов Верхней Оби позволяют сделать вывод о нецелесообразности капитального строительства на территории поймы. Устойчивыми видами природопользования могут быть: сезонная рекреация, организация экологических троп и развитие водного туризма.

О.С. Безуглова, Л.Ю. Гончарова

Южный федеральный университет

СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ЗАХАРОВ – ОРГАНИЗАТОР НАУКИ И ОСНОВАТЕЛЬ КАФЕДРЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ В РОСТОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ*

В начале 30-х гг. прошлого столетия в советской стране бурно развивались научные исследования в разных направлениях, в том числе активно велись работы по изучению почв. В связи с этим назрела необходимость подготовки почвоведов и на Юге Европейской части страны. Организацию кафедры почвоведения в Ростовском университете по приглашению руководства вуза возглавил известный во всем мире ученый, педагог, профессор Сергей Александрович Захаров – ученик и последователь основателя науки почвоведения В.В. Докучаева. К тому времени С.А. Захаров уже имел опыт организации кафедры почвоведения в Константиновском межевом институте, руководил созданием Политехнического института в Тбилиси и Кубанского политехнического института в г. Краснодаре, в настоящее время это Кубанский аграрный университет. Огромный опыт преподавания почвоведения предопределил написание С.А. Захаровым учебника «Курс почвоведения», изданного в 1927 и переизданного в 1931 г.

Опытный организатор науки С.А. Захаров подобрал в педагогический коллектив кафедры ученых с большим творческим потенциалом, что определило авторитет кафедры, ее важную роль в развитии отечественного почвоведения, формировании на Северном Кавказе сильной школы почвоведов-докучаевцев.

В сентябре 1935 г. состоялось официальное открытие кафедры почвоведения в Ростовском университете. Она была организована в составе геолого-географического факультета, преобразованного в геолого-почвенный, а в 1949 г. кафедра почвоведения была переведена на биологический факультет, который в настоящее время объединили с научно-исследовательскими институтами биологического направления Ростовского государственного университета в Академию биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского.

Сергей Александрович кроме огромной работы по формированию кафедры почти непрерывно выполнял обязанности декана геолого-почвенного факультета и проректора университета по учебной работе. В первые же годы своего существования кафедра была хорошо оборудована. Были организованы кабинет генезиса, географии и картографии почв, лаборатория для научно-исследовательской работы сотрудников кафедры, кабинет-лаборатория заведующего кафедрой, почвенный музей, аудитория, специализированная для чтения лекций по почвоведению. Кафедра имела земельные участки на территории Азово-Донской биологической станции и Ботанического сада РГУ. Здесь проводились наблюдения за динамикой почвенных процессов и учебная практика студентов. С 1936 г. на базе кафедры было открыто почвенное отделение.

С.А. Захаров, по отзывам современников, был прекрасным лектором. Он читал такие спецкурсы, как «Почвы мира», «Почвы Кавказа», «Избранные главы по физике и химии почв». На старших курсах он ввел такие прикладные дисциплины, как «Основы обработки и удобрения почв», «Мелиорация почв», «Методика исследования почв под специальные культуры», «Грунтоведение». Для чтения ряда из них приглашались преподаватели из других вузов. Так, в разные годы на кафедре читали лекции такие известные ученые, как С.А. Владыченский, А.К. Серебряков, К.С. Кириченко и др. С.А. Захаров придавал исключительное значение роли в учебном процессе учебных и производственных практик. Именно в Ростовском государственном университете, впервые в стране, стала проводиться зональная (маршрутная) учебная практика. Инициатором ее проведения был Сергей Александрович, им же была составлена первая программа этой практики.

Все эти годы С.А. Захаров был не только организатором науки и учебного дела, но и сам активно занимался исследованиями, знаменательным явлением стало присвоение Сергею Александровичу Захарову в 1935 г. ученой степени доктора почвенных наук, а через несколько дней и ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по совокупности опубликованных работ.

И в развитии мирового почвоведения С.А. Захаров оставил заметный след. Он активный участник Международных конгрессов почвоведов: первого, проходившего в Вашингтоне (1927 г.), и второго – в Москве (1930 г.). Известный американский почвовед И.С. Иоффе отмечал, что характерной чертой первого конгресса было «нашествие» генетической школы почвоведения: «Русские господствовали на конгрессе и намечали новые пути для почвоведов всего мира». О втором конгрессе этот же автор сказал, что это «...был триумфальный, еще более захватывающий успех почвоведения. Все мировые почвы ... прошли пред глазами зрителей, показанные мастерами своего дела – русскими почвоведом». И одним из главных действующих лиц на этих конгрессах был С.А. Захаров. На первом конгрессе он сделал сообщение о работах по морфологии почв, на втором – сразу три доклада на разные темы. В частности, ученый выдвинул идею и план международной организации обследования почв для составления карты мира. За выдающуюся научную и организаторскую деятельность С.А. Захаров был награжден Золотой медалью имени П.П. Семенова-Тянь-Шанского, Золотой медалью имени В.В. Докучаева (посмертно), орденом «Знак почета» (1944), медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и Почетной грамотой Президиума Верховного Совета Киргизской ССР.

* Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

В.В. Беликов, Е.С. Васильева, Н.Р. Малюгин

Институт водных проблем РАН

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИЙ РЕЧНОГО РУСЛА В МНОГОФРАКЦИОННЫХ СЛОИСТЫХ ГРУНТАХ И ЕЕ ТЕСТИРОВАНИЕ

Русла рек зачастую сложены грунтами различной крупности и характеризуются слоистым залеганием грунтов типа слоеного пирога. Для расчета деформаций дна в таких грунтах предлагается новая трехмерная (по грунту) физико-математическая модель транспорта наносов с учетом слоистого залегания грунта.

Если в предыдущих версиях трехслойной модели деформаций дна неподвижный грунт (нижний слой) считался неоднородным (с заданным фракционным составом), но равномерно перемешанным на всю глубину вплоть до неразмываемой подстилающей поверхности, то в новой модели неподвижный грунт делится на некоторое число слоев по глубине (для каждой ячейки расчетной сетки может быть задано свое разбиение на слои), в каждом из которых задается свой фракционный состав (рис. 1). Таким образом, модель по наносам становится полностью трехмерной и позволяет рассчитывать деформации дна речных русел при сложном слоистом по глубине и неоднородном в плане залегании грунтов.

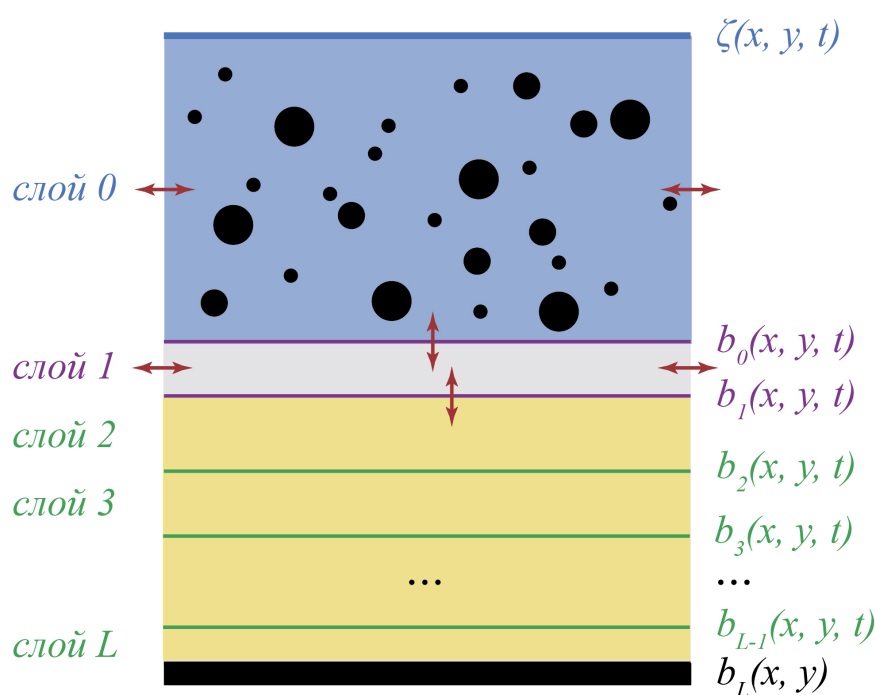


Рис. 1. Схематичное представление слоистого залегания многофракционного грунта

Модель была проверена на базовых тестах (сохранение массы, переход деформаций между слоями с разным фракционным составом) и на более сложных физически содержательных задачах. Экспериментальных данных и данных натурных наблюдений для сопоставления с расчетами в случае сложного слоистого распределения грунтов по глубине в донных отложениях, к сожалению, крайне мало, т.е. предложенная модель, по существу, обгоняет свое время. Особенно актуально может быть применение разработанной модели при расчетах общих размывов русла у мостовых переходов (поскольку при проектировании мостов всегда производится бурение скважин в створе моста для определения характеристик глубинного залегания грунтов), а также в нижних бьефах ГЭС, где могут происходить интенсивные глубинные деформации дна русла.

В.В. Беликов¹, Е.С. Васильева¹, П.П. Головлев², И.Н. Крыленко², А.С. Завадский²

¹Институт водных проблем РАН

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ВОЛЖСКОЙ ГЭС В РЕЗУЛЬТАТЕ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Для прогнозной оценки изменения уровней в нижнем бьефе Волжской ГЭС было выполнено сценарное моделирование русловых деформаций р. Волги в существующих условиях (без учета планируемых русло-выправительных мероприятий на Саралевском водном узле) на основе многофракционной версии модели STREAM 2D CUDA на продолжительный многолетний период. Это позволило оценить возможную посадку уровней воды в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе.

Рассматривался участок р. Волги от створа Волжской ГЭС до н.п. Черный Яр протяженностью по руслу 216 км, а также р. Ахтуба и Волго-Ахтубинская пойма на этом участке. Для построения двумерной в плане численной гидроморфологической модели использовалась детальная гидрографическая съемка русла, а также гибридная треугольно-четырёхугольная адаптивная расчетная сетка. В расчетах задавались реальные многолетние гидрографы попусков с Волжской ГЭС, для ускорения счета применялся метод введения коэффициента форсажа. На выходной границе в створе г/п Черный Яр с применением специальной методики была построена кривая связи расходов и уровней воды $Q(H)$. Численная модель была откалибрована и верифицирована на данных натурных измерений и наблюдений на гидропостах.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что в ближайшие 60 лет тренды посадки уровней в нижнем бьефе Волжской ГЭС на участке до Саралевского водного узла сохранятся (заметного снижения наклонов линий трендов не выявлено). Следует подчеркнуть, что этот результат получен на основе численного моделирования деформаций дна на продолжительный период времени, а не в результате экстраполяции существующих трендов. При этом в математической модели транспорта наносов использовались стандартные значения коэффициентов, что в очередной раз подтверждает ее применимость и универсальность для решения практических задач.

Графики линейных трендов для максимальных и среднегодовых уровней воды за посчитанный период имеют наклон в сторону понижения уровней воды, тогда как минимальные уровни имеют практически горизонтальные линии трендов (также, как и фактические тренды за предыдущий период). Вместе с тем при постоянном меженном расходе воды четко прослеживается общая тенденция к снижению уровней воды со временем, но с постепенным замедлением скорости снижения.

Особый интерес для обеспечения бесперебойного судоходства представляет прогноз посадки уровней в районе входа в Волго-Донской канал (ВДСК). Надо отметить, что здесь посадка уровней прогнозируется максимальной по длине расчетного участка. За 60 лет она составит 1,2 м, или в среднем 2 см/год для постоянного меженного расхода 5 100 м³/с. Это заставляет задуматься о мероприятиях по обеспечению в перспективе судоходных глубин на нижнем пороге 1-го шлюза ВДСК. При проведении активных дноуглубительных работ и особенно разработке русловых карьеров добычи ПГС на участке Саралевского водного узла можно в долгосрочной перспективе ожидать дополнительной посадки уровней на ВДСК. Результаты по посадке уровней после проведения русловыправительных мероприятий на Саралевском узле будут представлены в отдельном докладе.

В процессе дальнейшего мониторинга уровенной обстановки следует организовать уровенный пост на участке входа в ВДСК и обеспечить сохранение и передачу заинтересованным организациям ежесуточной фактической информации об уровнях воды.

А.Б. Биарсланов, Д.С. Азиева, А.З. Шихалиев

Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, г. Махачкала

ДИНАМИКА ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ В МНОГОЛЕТНЕМ АСПЕКТЕ

Современные условия формирования почвенного покрова протекают в условиях глобальных климатических изменений и высокой антропогенной нагрузки. Выявление изменений состояния почвенного покрова складывается из показателей индикаторов, которые характерны для каждого отдельно взятого региона. Северо-Западный Прикаспий представлен широким спектром природно-климатических зон, расположенных по разным высотным градиентам. Имеющиеся данные исследований в этой части разрознены и неоднородны. Современная тенденция климатических изменений и их цикличность ведут к трансформации и неуклонной деградации почвенного и растительного покрова.

Анализ данных по содержанию органического вещества почв в многолетнем аспекте выявил значительное снижение его содержания за последние более чем 70 лет. Также наблюдается снижение содержания гидрокарбонатов, что свидетельствует о потере почвенного углерода и способствует развитию процессов дефляции.

Полевые исследования имеют высокую точность, но при этом достаточно трудозатратны для охвата больших территорий. Применение дистанционных методов с использованием данных аэро- и космической съемки значительно упрощает обследование антропогенно-нарушенных территорий и расширяет возможности исследования как в пространстве, так и во времени. Точность таких исследований подкрепляется материалами наземных обследований.

Одним из наиболее актуальных инструментов по оценке состояния почвенного и растительного покрова является система «Beta-Science», предоставляемая центром коллективного пользования ИКИ РАН «ИКИ-Мониторинг». Данный сервис содержит широкий временной ряд не только космических снимков, который включает в себя данные коэффициентов спектральной яркости и различных вегетационных индексов, а также имеет в своем арсенале многолетние климатические данные.

В качестве объекта исследования выбраны территории административных районов Ногайского, Кумторкалинского, Буйнакского, Гунибского и Кулинского. Данные районы исследования отличает высота над уровнем моря, рельеф, климатические условия, материнская порода.

В качестве индикатора состояния почвенного и растительного покрова проведен анализ динамики вегетационного индекса и установлена корреляция с факторами, влияющими на его значения.

В результате проведенных исследований по каждому району установлено, что максимальные значения вегетационного периода в горных ($> 0,7$) и предгорных ($> 0,4$) территориях достигаются в июне-июле. В равнинной части таких пиков два ($0,3-0,4$) в весенний и осенний сезоны, что объясняется жарким и засушливым климатом. В годичном и многолетнем аспекте наблюдается цикличность вегетационного индекса и даже незначительное снижение.

Использование данных дистанционного зондирования вкупе с материалами наземных исследований позволит диагностировать на ранних стадиях деградационные процессы и предотвращать их дальнейшее развитие.

Ю.И. Бик, М.А. Бучельников, В.Н. Кофеева

Сибирский государственный университет водного, г. Новосибирск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РЕЛЬЕФА ДНА ДЛЯ УЧАСТКОВ ОБИ

Корректное определение гидрологических и гидроэкологических характеристик участков рек важно при проведении различного рода исследований. Одной из таких характеристик выступает рельеф дна на перекатных участках. Зачастую, для больших равнинных рек дно представляется как абсолютно плоская поверхность, площадь которой равна площади водной поверхности, что в целом справедливо при небольших, относительно ширины реки, глубинах. Однако представляется очевидным, что перепады глубин и береговые склоны увеличивают поверхность соприкосновения воды и грунта относительно водной глади.

Необходимость уточнения вышеназванной характеристики была вызвана расчетами с использованием эмпирического метода прогнозирования повышения мутности при производстве дноуглубительных работ. Данная методика разработана кафедрой Водных путей, гидравлики и гидроэкологии Новосибирской государственной академии водного транспорта под руководством д.т.н. профессора В.М. Ботвинкова. Этот метод в свое время лег в основу нормативного документа «Временные указания по оценке повышения мутности при землечерпательных работах, проводимых для обеспечения транзитного судоходства на реках, и учету ее влияния на качество воды и экологию гидробионтов». Он хорошо зарекомендовал себя на практике, получил развитие в последующих модификациях, направленных на упрощение расчетов, в частности, как один из его элементов используется номографический метод определения относительного изменения концентрации взвесей.

Ущерб, наносимый гидробионтам, зависит от площади дна, на которое оседают частицы из шлейфа (пятна) мутности, возникающего при сбросе грунта с шаланды в реке ниже по течению.

Исходим из предположения, что площадь (проекция) пятна мутности, получаемая при проведении расчетов, будет не равна площади дна, на которое оседают частицы. Определять разницу между собственно площадью дна и его проекцией в каждом отдельном случае необязательно, вполне можно однажды вычислить коэффициент рельефа ($K_{\text{рельефа}}$) дна для тех или иных участков реки эмпирическим путем и использовать его в дальнейшем. $K_{\text{рельефа}}$ будет равен отношению площади дна ($F_{\text{дна}}$) к площади проекции ($F_{\text{проекции}}$) дна на плоскость.

Исходными данными послужили русловые съемки перекатных участков, выполненные ФБУ «Администрация Обского бассейна внутренних водных путей». Для Верхней Оби нами были взяты 25 участков, для Средней 15 и для Нижней 10; как правило, расчет производился на перекатных участках, где намечались путевые работы.

Площадь дна с учетом рельефа определялась с помощью программы Trimble Geomatics Office. По контуру прямоугольного участка наносились точки с указанием глубин с таким расчетом, чтобы в полной мере отобразить рельеф дна, по ним программа строит поверхность и вычисляет ее площадь.

Полученные значения представлены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициент рельефа дна для различных участков Оби

Участок реки	Средняя часть русла, судовой ход	Прибрежная часть русла
Верхняя Обь	1,013	1,015
Средняя Обь	1,012	1,014
Нижняя Обь	1,007	1,010

Стоит учесть, что на участках, расположенных ближе к берегу, $K_{\text{рельефа}}$ несколько больше, чем на середине реки.

Полученные значения невелики, однако при масштабных расчетах они дают необходимое уточнение. Эти коэффициенты могут применяться и в случае, когда было необходимо определить площадь дна при выполнении дноуглубительной прорези.

О.А. Бирюкова, Я.И. Ильченко, В.А. Ерин

Южный федеральный университет

ФОСФАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ*

Фосфор является одним из наиболее важных элементов питания для растений. Большинство почв мирового земледелия недостаточно обеспечены фосфором, что не позволяет в полной мере использовать потенциал урожайности сельскохозяйственных культур. Эффективное использование фосфора является ключевым фактором для повышения продуктивности растений, улучшения качества почвы и устойчивого функционирования агроценозов.

Исследования по изучению влияния различных агротехнологий (традиционная, минимальная, нулевая по-till) на фосфатное состояние чернозема обыкновенного проведены в производственных посевах озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области.

Валовой фосфор определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализа, подвижный – по Мачигину, фракционный состав минеральных фосфатов – по Гинзбург-Лебедевой.

Установлено, что чернозем обыкновенный карбонатный характеризуется достаточно высокими потенциальными возможностями в отношении обеспечения растений фосфором. Наибольшее накопление валового фосфора отмечено в верхнем (пахотном) горизонте почвы (0,16–0,20%), что происходит, с одной стороны, в связи с концентрацией здесь растительных остатков, с другой – с внесением удобрений. Максимальное содержание валового фосфора выявлено в почве с использованием нулевой и минимальной технологии, а минимальное – при традиционной, основанной на отвальной вспашке. Полученные результаты свидетельствуют о снижении потенциальных запасов фосфора при интенсификации основной обработки почвы.

Содержание валового фосфора по профилю почвы распределяется равномерно, с постепенным снижением вниз, что характерно для исследуемого региона. При использовании вспашки отмечено минимальное варьирование этого показателя по всему профилю почвы ($V = 5,0\%$). Минимальная обработка также способствует более стабильному распределению валового фосфора (V не более 6,0%). При применении технологии по-till варьирование элемента находится в пределах 16,0–24,0%. Однако с продвижением вниз по профилю (горизонт АВ и далее) варьирование фосфора и на участках с по-till становится незначительным.

На долю минеральных фосфатов в верхнем горизонте чернозема обыкновенного карбонатного приходится 46,0 и 51,0% – при минимальной и нулевой обработке соответственно, при отвальной вспашке – 35,0% от валового фосфора.

Основная доля минеральных фосфатов в черноземе обыкновенном карбонатном представлена фосфатами кальция Са-РІІІ, что определяется генетическими особенностями почвы. По содержанию фракции минеральных фосфатов можно представить в виде следующих убывающего ряда: Са-РІІІ > Са-РІІ > Са-РІ > Fe-Р > Al-Р.

Закономерности распределения по профилю фракций минеральных фосфатов следующие: содержание кислых фосфатов кальция, магния (Са-РІ) с глубиной уменьшается, а фосфатов кальция типа Са-РІІІ – повышается, количество фосфатов фракций Са-РІІ, Al-Р и Fe-Р остается практически без изменения. Растворимость фосфатов кальция с глубиной уменьшается. Многолетнее применение технологии по-till привело к увеличению фракции Са-РІІ в верхней части профиля.

Распределение подвижного фосфора по профилю чернозема обыкновенного, как на целинном участке, так и в производственных посевах озимой пшеницы при различных агротехнологиях имеет сходный характер. Наблюдается накопление этого элемента в верхних биологически активных горизонтах почвы. На глубине 50–60 см происходит снижение его содержания за счет увеличения карбонатов кальция, понижающих подвижность фосфора и доступность элемента растениям. Содержание подвижного фосфора в почве целинного участка ниже, чем в агроценозах озимой пшеницы. Наибольшее содержание подвижного фосфора выявлено при использовании отвальной вспашки. Однако степень обеспеченности на всех производственных посевах была одинакова и характеризуется как средняя.

Неравномерное распределение растительных остатков по поверхности почвы при использовании по-till приводит к большему варьированию подвижного фосфора ($V = 20,0–22,0\%$ в горизонте А), чем при вспашке и минимальной технологии (13,0 и 6,0% соответственно).

Отмечено, что степень подвижности фосфора, выраженная в процентном отношении подвижного фосфора от валового, выше (1,8% в горизонте Ап) при традиционной технологии, чем при минимальной (1,1%) и по-till (0,9%).

Исследования показали, что использование почвозащитных ресурсосберегающих технологий позволяет стабилизировать фосфатное состояние почв агроценозов озимой пшеницы в зоне неустойчивого увлажнения.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») в Молодежной лаборатории регенеративного земледелия № СП-12-24-03.

В.Э. Болдырева, А.К. Шерстнев, И.В. Морозов

Южный федеральный университет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧЕРНОЗЕМОВ СЕВЕРНОГО ПРИАЗОВЬЯ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ СМЫТОСТИ ПО МАТЕРИАЛАМ ПОЧВЕННЫХ ДАТА-ЦЕНТРОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ*

Для изучения взаимосвязи между степенью смытости почвы и ее гранулометрическим составом (ГМС) нами был проведен анализ материалов региональных почвенных дата-центров (РПДЦ) Ростовской области для черноземов обыкновенных Северного Приазовья.

Перед началом работы была проведена очистка и корректировка данных ГМС. Результаты инвентаризации представлены в таблице. Количество разрезов почв, представленных в базе РПДЦ в различных градациях, обратно пропорционально степени смытости, вследствие того что зона Северного Приазовья занимает юго-западную часть области, формируясь на Приазовской наклонной равнине, количество представителей разрезов сильносмытых черноземов обыкновенных представлено в базе данных РПДЦ наименьшим числом – 7 шт. индивидуальных почвенных разрезов, тогда как слабосмытых – 45 шт., что связано с геоморфологией региона: Приазовская равнина менее подвержена интенсивной эрозии по сравнению с другими районами. Легкие глины доминируют во всех категориях смытости.

Таблица 1. Результаты инвентаризации черноземов обыкновенных Северо-Приазовского района по гранулометрическому составу в зависимости от степени смытости

Тип	Количество индивидуальных почвенных разрезов, гор. А				
	Всего, шт.	Средний суглинок, шт.	Тяжелый суглинок, шт.	Легкая глина, шт.	Средняя глина, шт.
Чернозем обыкновенный	199	4	35	152	8
Разделение по степени смытости					
Не определено	120	-	16	99	5
сильносмытые	7	2	1	3	1
среднесмытые	26	1	7	17	1
слабосмытые, среднесмытые	1	-	-	1	-
слабосмытые	45	1	11	33	-

Далее нами был рассчитан средний ГМС черноземов обыкновенных Северо-Приазовского района для каждого текстурного класса, в зависимости от степени смытости. Сравнительный анализ показал, что по данным РПДЦ для черноземов обыкновенных Северного Приазовья, между степенью смытости и ГМС взаимосвязь отсутствует, как в рамках класса тяжелых суглинков, так и легких глин.

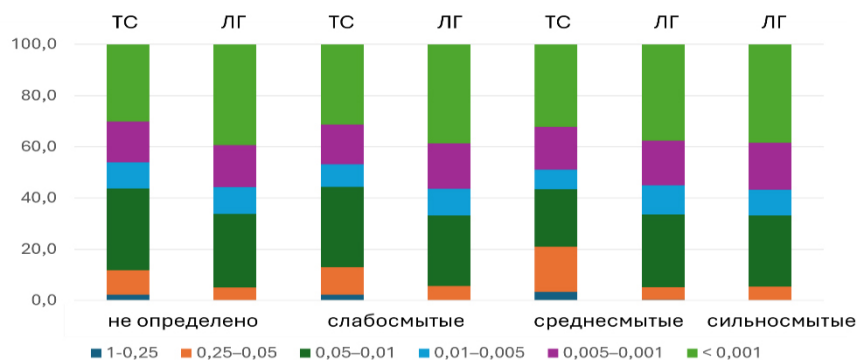


Рис. 1. Средний гранулометрический состав черноземов обыкновенных Северо-Приазовского района, в зависимости от степени смытости, с разделением на текстурные классы, гор. А

* Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

Мы считаем, что основными причинами отсутствия связи между степенью смытости (эродированности) черноземов обыкновенных Северного Приазовья являются следующие факторы:

Особенности гранулометрического состава: принадлежность большинства имеющихся индивидуальных почвенных разрезов к классам тяжелых суглинков (35 шт.) и легких глин (152 шт.), что составляет 94% от общего количества представленных профилей.

Отсутствие профильной дифференциации исследуемых почв по гранулометрическому составу.

Особенности выделения рода смытых почв при массовом почвенном обследовании: разделение почв по степени смытости осуществлялось специалистами института «ЮжНИИгипрозем» по глубине залегания белоглазки как маркирующего признака. При этом в отчетах по результатам почвенных обследований, составляющих основу данных РПДЦ, отсутствует детальное описание наличия или отсутствия признаков эрозии (водороины, промоины, конусы выноса мелкозема, оголенность корневой системы и др.).

При оценке степени эродированности почв практически не учитывается критический угол естественного откоса (предел накопления мелкозема), особенно в случае вовлечения в процесс почвообразования лессовых и лессовидных пород. Крутизна склона является естественным лимитирующим фактором формирования мощности исследуемых почв.

Д.В. Большаков, А.С. Завадский

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ РУСЛОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ ВОЛГИ*

В 2023–2025 гг. был реализован комплекс натурных гидрологических и русловых исследований на 500-км участке нижнего течения р. Волги от Волжской ГЭС (г. Волгоград) до вершины дельты (г. Нариманов). Собраны материалы о рельефе русла, уклонах водной поверхности при различных уровнях, составе руслообразующих наносов. Большой акцент делался на оценке пространственно-временного распределения расходов воды в пределах основных русловых разветвлений.

Выделено 42 морфологически однородных участка русла, для каждого из которых определены многолетние закономерности развития русловых форм, темпы размыва берегов за разные временные интервалы, начиная с середины прошлого столетия.

Выполнено геоморфологическое описание эрозионных уступов, как в пределах поймы, так и вдоль правобережных террас разного возраста. По результатам съемок с БПЛА и высокоточных топосъемочных работ получены цифровые модели рельефа эрозионных берегов, позволившие дать оценку современных скоростей их отступления (размыва), количественно определить объемы поступления в водный поток материала.

Детально рассмотрены гидрологические и морфологические условия формирования Саралевского узла – наиболее затруднительного для судоходства участка на Нижней Волге. В пределах судоходной левобережной протоки (воложки Каршевитой) ежегодно и на постоянной основе выполняется основной объем дноуглубления. Несмотря на это, доля стока воды здесь не превышает 26–28% от суммарного. Анализ собранных данных позволяет обосновать целесообразность переноса трассы судового хода в более полноводную и удобную для судоходства правую протоку (рукав Старая Волга – проран Дубовка).

Результаты проведенных исследований заложили основу гидрологического мониторинга на участках разветвленного русла Нижней Волги. В настоящее время собрана информация о временной изменчивости распределения общего расхода воды на 115 гидрометрических створах, расположенных от плотины Волжской ГЭС до вершины дельты. Для каждого из них на протяжении 2023–2025 гг. измерения проведены от 3 до 6 раз в разные фазы водного режима. Дальнейшая реализация данного вида гидрологического мониторинга позволяет своевременно выявлять изменения установленных закономерностей рассредоточения стока воды на разветвленных участках, заблаговременно выявляя намечающиеся тренды развития русла и реагируя на возможные негативные последствия.

* Выполнено по планам НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Макавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (Д.В. Большаков) при финансовой поддержке РНФ – проект 23-17-99965 (А.С. Завадский).

А.Л. Варенов

Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ МАЛЫХ РЕК В ГРАНИЦАХ ОДНОГО ЦИКЛА ВОДНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. КУДЬМЫ)

С 2010 г. в бассейне р. Кудьмы (север Приволжской возвышенности) организовано 15 стационаров по наблюдению за размывами берегов. Исследуемые участки русел расположены преимущественно на излучинах с разными природно-антропогенными условиями формирования. Одним из ведущих факторов размыва берегов является сток воды и его многолетняя изменчивость.

С целью изучения влияния годового стока на динамику берегов построена разностно-интегральная кривая для значений средних годовых расходов воды $Q_{ср}$ по данным гидрологического поста р. Кудьма – г. Кстово за период 1982–2024 гг. В указанный период отмечается незначительный тренд уменьшения значений $Q_{ср}$, на РИК можно выделить несколько полных циклов водности: 1990–2000, 2001–2010, 2011–2022 гг. Стационарные наблюдения охватывают последний цикл водности.

Рассматриваемый цикл водности характеризуется наличием многоводных и маловодных лет в первой половине (2011–2016 гг.), средних и малых по водности лет во второй половине (2017–2022 гг.). Значения $Q_{ср}$ изменяются в диапазоне от 4,99 до 9,89 м³/с с сохранением общего тренда на уменьшение. Средние по всем стационарам годовые значения показателей размыва составляют: площадь размыва $F_{разм}$ – от 2,97 до 14,24 м²/год, средняя скорость размыва $C_{ср}$ – от 0,1 до 0,3 м/год, максимальная скорость размыва C_{max} – от 0,3 до 1,1 м/год.

Анализ результатов наблюдений показал, что в границах цикла водности на фоне колебаний значений показателей размыва отмечается отрицательный тренд их изменения (рис. 1). Схожая динамика отмечена для рек Удмуртии (Рысин и др., 2025) за аналогичный период.

Выявлены положительные зависимости между показателями размыва и средними годовыми $Q_{ср}$, максимальными годовыми расходами воды Q_{max} . Связи $F_{разм} (C_{ср}, C_{max}) = f(Q_{ср})$ описываются степенными уравнениями с коэффициентами корреляции $r = 0,72–0,76$; связи $F_{разм} (C_{ср}, C_{max}) = f(Q_{max})$ более тесные, имеют прямолинейный вид с $r = 0,82–0,94$. Это может свидетельствовать о прохождении основных переформирований берегов в период весеннего половодья, на что также указывают другие данные наблюдений.

Динамика размывов берегов на конкретных стационарах имеет свои особенности, указанные тенденции и зависимости выявляются не во всех случаях.

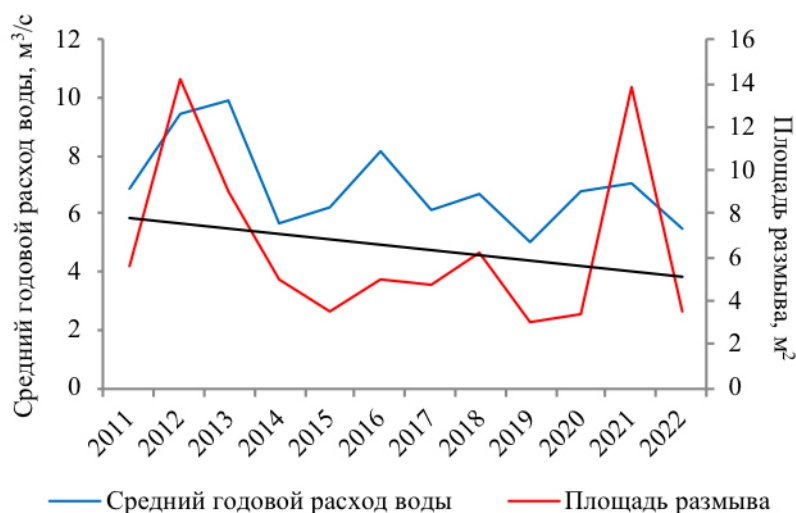


Рис. 1. Динамика площадей размыва берегов малых рек бассейна Кудьмы за 2011–2022 гг. по данным стационарных наблюдений

Г.К. Васильева¹, В.Н. Башкин¹, Т.М. Минкина²

¹ФИЦ ПНЦБИ РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино

²Южный федеральный университет

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФИТОРЕКУЛЬТИВАЦИИ УГЛЕОТВАЛОВ ДОНБАССА*

В связи с большим объемом угледобычи в РФ и других странах существует серьезная проблема образования терриконов из углеотвалов, которые представляют значительную угрозу для окружающей среды прилегающих территорий из-за присутствия в них тяжелых металлов (ТМ) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Одним из таких районов является Донецкий угольный бассейн, занимающий площадь >60 тыс. км². Наиболее распространенным и экономичным методом, рекомендованным для восстановления деградированной почвы углеотвалов, является фиторекультивация, которая снижает вынос токсичных веществ с пылевыми выбросами и водным стоком. Однако росту растений в этих грунтах препятствуют их фитотоксичность и неблагоприятные водно-физические и физико-химические свойства. Из всех известных методов ремедиации загрязненных почв особого внимания заслуживает применение сорбентов, которые снижают отрицательное влияние ТМ за счет снижения их подвижности. Кроме того, такие сорбенты, как биочар в комбинации с некоторыми минералами, способствуют деградации ПАУ.

Целью данных исследований является разработка биогеохимической технологии рекультивации углеотвалов Донбасса, основанной на проведении фиторекультивации на фоне различных сорбентов и других добавок. В экспериментах использовали образцы почвогрунта, отобранного из верхнего 20-сантиметрового слоя террикона шахты Аютинская № 5 Донецкого угольного бассейна (УО), а также зонального чернозема обыкновенного, отобранного на территории Ботанического сада в Ростове-на-Дону (ЧЗ). Образцы почв просеивали через сетку размером ячеек 2 см. Эксперименты проводили в микрополевых условиях в сосудах без дна площадью 0,1 м², врытых в землю. В качестве добавок вносили биочар из древесины (БЧ) и другие сорбенты, в том числе минеральные (диатомит гранулированный – Дг и вермикулит вспученный – В) и органические (торф кислый – Тк и торф нейтрализованный – Тн). Кроме того, в качестве добавок использовали чернозем обыкновенный (ЧЗ), а также карьерный песок (П) с добавками Дг или биогумуса – Бг. Почву засевали засухоустойчивой газонной смесью на основе райграса однолетнего и овсяницы трех типов. Схема закладки эксперимента соответствует вариантам, показанным на рисунке. Повторность в опыте – двукратная.

Грунт УО легкоглинистый солонцеватый (показатель засоленности 1896 мг/кг), содержание С_{орг} 3,6%, pH 7,3. Образец ЧЗ относится к суглинистым почвам с С_{орг} 4,2% и pH 7,8. Валовое содержание ТМ в почвогрунте УО убывает в ряду Mn > Ni > Zn > Cr > Pb > Cu > As > Cd.

При этом доля подвижных форм ТМ от их валового содержания в нем варьирует в пределах 19–23%, а в почве ЧЗ не превышает 3–9%. Кроме того, содержание валовых форм основных ТМ (кроме Cr) превышает их уровень в ЧЗ в 1,5–7 раз, а подвижных форм – в 3,6–12,5 раза. Причем в почвогрунте валовое содержание основных ТМ превышает их допустимый уровень в 1,8–5,8 раза, а подвижных форм – в 2,8–18,4 раза. В грунте УО обнаружено также повышенное содержание ПАУ (суммарно 917 мкг/кг), в том числе бенз(а)пирена (24 мкг/кг), что превышает ПДК в 1,2 раза.

Результаты экспериментов показали, что вес трав в контрольной почве УО (К) в 1,5 раза ниже, чем в ЧЗ, что связано с повышенной фитотоксичностью и неблагоприятными водно-физическими и агрохимическими свойствами грунтов. Все добавки оказывали положительное действие на суммарный сухой вес трав, измеренный в ходе трех укосов в течение вегетационного сезона 2024 г., что коррелировало с уменьшением фитотоксичности, измеренной стандартным методом – по снижению длины корней проростков пшеницы (рис. 1). Однако наилучшие результаты (повышение фитомассы в 2–2,5 раза) были получены при внесении торфа и чернозема в дозах 25%, а также карьерного песка (в дозах 25% и, особенно, 50%) с добавками 1% биогумуса. Внесение биочара и вермикулита (в дозе 5%), а также 10% диатомита улучшало рост трав в 1,5–1,7 раза.

Установлено, что наряду с уменьшением фитотоксичности грунта под действием сорбентов, механизм положительного влияния разных добавок объясняется также повышением влагоемкости и пористости почвогрунта, а также улучшением его водно-физических свойств и/или повышением уровня основных питательных элементов: азота, фосфора и калия.

*Работа поддержана грантом Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2023-587.

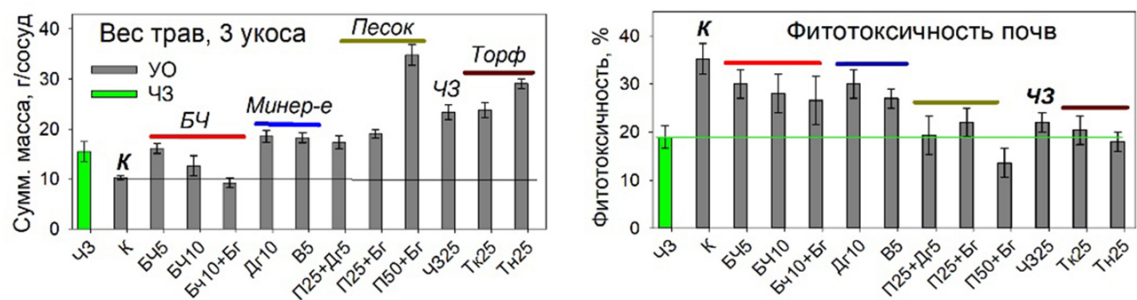


Рис. 1. Суммарная сухая биомасса надземной части растений в течение трех укосов сезона 2024 г., а также изменение фитотоксичности почв, измеренной в начале сезона стандартным методом ИСО 11269-1 по длине корней проростков пшеницы (*Triticum vulgaris*) в образцах УО с добавками, в сравнении с ЧЗ. Цифры справа от шифра соответствуют дозе добавок в %

Г.К. Васильева¹, С.А. Дроздов¹, В.Н. Башкин¹, Л.И. Ахметов², Л. Херрера³,
Т.М. Минкина⁴

¹ФИЦ ПНЦБИ РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино

²ФИЦ ПНЦБИ РАН, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов РАН, г. Пушкино

³ООО «СМАРТ ОЙЛ ТЕХНОЛОГИИ», г. Нижневартовск, ⁴Южный федеральный университет

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ОТ МАЗУТА ПЕСКОГРУНТА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ 2024 г.

Утром 15 декабря 2024 г. в Керченском проливе произошло крушение двух танкеров – «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239», которые перевозили топочный мазут марки М-100. Причиной аварийной ситуации стало разрушение корпусов танкеров (предназначенных для перевозки грузов в реках и водохранилищах) после их незаконного выхода в открытое море в пятибалльный шторм. В результате из 9,2 тыс. т перевозимого мазута около 7,7 тыс. т оказалось в акватории Азовского и Черного морей, а общая площадь разлива в морской акватории уже в первые месяцы достигла 400 км². При этом значительные объемы мазута оказались выброшенными на берег, где пропитали прибрежный песок и гальку глубиной до нескольких метров. К середине января 2025 г. мазутом было загрязнено около 54 км береговой линии Краснодарского края и 15 км побережья Крыма. Мазут содержит мощные канцерогены (полициклические ароматические углеводороды) и может оказывать токсическое действие на разные органы птиц, морских животных и рыб, а через них и на человека. В результате в стране был объявлен режим ЧС, что потребовало принятия срочных мер.

Одной из важнейших задач на данном этапе является поиск наиболее эффективных технологий, обеспечивающих очистку загрязненного пескогрунта, или способов его непосредственной утилизации. Данный доклад посвящен анализу различных существующих технологий очистки грунтов от нефти и нефтепродуктов и обсуждению предварительных результатов по разработке собственной безотходной технологии очистки.

Топочный мазут марки М-100 примерно наполовину состоит из высококипящих углеводородов с молекулярной массой 400–1000, а около 50% объема составляют нефтяные смолы, асфальтены и другие органические соединения. При температуре ниже 25 °С он обычно приобретает твердую консистенцию, что позволило в течение первых зимне-весенних месяцев провести частичную очистку песка непосредственно на пляжах Анапы и Крыма путем его просеивания. В результате было собрано более 165 тыс. т загрязненного пескогрунта, смешанного с кусками мазута. Основная часть грунта была вывезена на полигон, расположенный в промзоне под Анапой, и небольшая часть – на полигон в Ростовской области.

В настоящее время существует большое разнообразие методов рекультивации почв и грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. **Небиологические методы *ex situ*** включают: 1) экстракцию загрязнителя легколетучими растворителями; 2) промывку грунта водой с поверхностно активными веществами (ПАВ) или растворителями и 3) термическую десорбцию нефтепродуктов горячим паром или их сжигание вместе с загрязненным грунтом. В условиях *in situ* обеспечивают локализацию поллютантов с помощью создания непроницаемых или полупроницаемых барьеров. К **биологическим методам** относятся методы биоремедиации, которые также можно осуществлять в условиях *ex situ* (компостирование в буртах или в биореакторах) или *in situ* (ландфарминг). В случае повышенного уровня загрязнения скорость биodeградации углеводородов нефти можно повысить за счет применения **сорбционно-биологического метода**.

Однако сложный состав мазута резко снижает возможности его микробной деградации в объектах окружающей среды. По-видимому, в данном случае для ликвидации вывезенного на полигоны грунта наиболее перспективно применение комплексных технологий *ex situ*, сочетающих в себе различные подходы, как биологические, так и небиологические. К таким технологиям можно отнести разработанную нами **безотходную технологию отмывки загрязненного пескогрунта** с помощью водной эмульсии дизельного топлива с последующей откачкой легкой фракции (раствор мазута в дизельном топливе) с помощью насосов. При необходимости можно провести доочистку песка путем промывки горячей водой или раствором ПАВ, а также методом биоремедиации. Дополнительная очистка образовавшейся водной фракции осуществляется в условиях биореактора с помощью биопрепарата «Микробак» на основе штаммов УОМ (патент ИФХиБПП РАН) и/или путем пропускания через фильтр из биочара на основе пшеничной соломы (производство ЮФУ). В результате применения данной технологии получают 3 компонента: 1) мазутно-дизельная фракция, которую направляют на нефтеперегонное предприятие для разделения на исходные компоненты; 2) очищенный песок, предназначенный для получения цементно-бетонных блоков или грунта для выра-

щивания сельскохозяйственных растений, и 3) очищенная вода, которую можно использовать в сельском хозяйстве для орошения технических культур.

Аналогичная технология, которая легла в основу описанного метода, ранее была использована на практике компанией ER-PETROEQUADOR при участии Луиса Херрера для ликвидации нефтеразливов и нефтешламовых амбаров в джунглях Амазонского бассейна на территории Эквадора в Южной Америке. Это позволило обезвредить более 50 тыс. м³ нефтешламов, в которых общее содержание нефти превышало 30 г/кг, а уровень очистки достигал >90%. Очищенный грунт использовали для засыпки очищенных амбаров и выращивания древесных и травянистых растений.

**В.А. Волосухин^{1,2}, М.А. Бандурин¹, И.А. Приходько¹,
М.М. Мордвинцев²**

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар

²Институт безопасности гидротехнических сооружений, г. Новочеркасск

О ЗАИЛЕНИИ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Водохранилища играют ключевую роль в управлении водными ресурсами, обеспечивая водоснабжение, орошение сельскохозяйственных угодий, производство электроэнергии и защиту от наводнений.

Водохранилища, создаваемые для различных нужд, подвержены заилению, что является сложным и многофакторным процессом. В данной статье рассматриваются проблемы заилиения малых водохранилищ Северного Кавказа, а также последствия этого явления для экологии и хозяйственного использования земель.

В научной литературе XXI в. термин «Северный Кавказ» используется реже из-за сложностей в определении его границ. Северная граница проходит по Кумо-Манычской впадине, включая районы Калмыкии и отсекая часть Ростовской области. В XX в. термин был популярен в связи с существованием Северо-Кавказского края (1924–1937 гг.), чьи границы неоднократно менялись.

В XXI в. предлагается использовать термины «Предкавказье» и «Северный склон Большого Кавказа», суммарная площадь которых близка к территории Северо-Кавказского края в границах 1925 и 1930 гг. Данные термины применялись в работах П.М. Лурье и других исследователей.

Реки Северного Кавказа относятся к бассейнам Азовского, Черного и Каспийского морей. Население региона за 100 лет увеличилось в 2,4 раза и составляет 18,2 млн человек (на 1924–1937 гг.).

Заилиение водохранилищ представляет собой серьезную экологическую и экономическую проблему, особенно в таком регионе, как Северный Кавказ. Водохранилища, предназначенные для мелиорации, орошения и других нужд, теряют свою функциональность из-за накопления иловых отложений. В 2023 г. было проанализировано состояние 339 водохранилищ, находящихся на балансе Департамента мелиорации Минсельхоза России.

Для анализа использовались информационные и справочные материалы, а также методы анализа, синтеза, формализации, аналогии, индукции и обобщения. Данные о водохранилищах были собраны за 2023 г., что позволило получить актуальную информацию о состоянии водоемов.

Заиливание водохранилищ может привести к экологическим катастрофам, включая ухудшение качества воды и потерю биоразнообразия. Переформирование берегов также является значительной проблемой, приводящей к изъятию территорий из хозяйственного использования. Отложения в водохранилищах образуются в результате изменений русла рек, эрозии и абразии берегов.

Основными источниками иловых отложений являются донные наносы, наносы с водосборной территории и грунт, поступающий в результате абразии берегов. Интенсивность абразивных процессов зависит от гидрографических, гидрологических, геологических, климатических и антропогенных факторов.

Краснодарское водохранилище на р. Кубань, расположенное в 242 км от ее устья на территории Краснодарского края и Республики Адыгея, введено в эксплуатацию в 1975 г. Основные проектные параметры водохранилища: НПУ 33,65 м, полезная емкость 2198 млн м³, паводочная емкость 652 млн м³. Гидротехнический комплекс водохранилища состоит из плотины, протяженностью 11,4 км и максимальной высотой 22 м, водосбросных, водозаборных и водопропускных сооружений, защитных дамб обвалования прилегающих территорий общей протяженностью свыше 70 км.

С 1993 г. эксплуатация Краснодарского водохранилища осуществляется в непроектом режиме – со сниженным уровнем НПУ до отметки 32,75 м, что на 0,9 м ниже проектного НПУ (33,65).

За 50-летний период эксплуатации Краснодарского водохранилища полезная емкость снизилась более чем на 350 млн м³, а также произошло ухудшение его санитарного состояния.

Для мониторинга эрозионных процессов на берегах водохранилищ в настоящее время можно использовать беспилотные авиационные средства и датчики дистанционного зондирования земли. Эти технологии позволяют более точно оценивать состояние берегов и предсказывать возможные изменения.

Сотрудниками Института безопасности ГТС разработан стандарт организации по заилению водохранилищ водохозяйственного комплекса Северного Кавказа с объемом $W_{НПУ} \leq 10$ млн м³, основанный на методическом подходе профессора, д-ра техн. наук Лапшенкова В.С. Апробирование данного нормативного документа для водохранилищ водохозяйственного комплекса в бассейнах Кубани, Кумы, Терека, Нижнего Дона в последние 25 лет показывает хорошую сходимости результатов расчета с данными натурных исследований с использованием современного зарубежного и отечественного оборудования.

В 2025 г. отмечается 100-летие выдающегося гидравлика и гидротехника Вячеслава Степановича Лапшенкова. Участник Великой Отечественной войны, после окончания института в 1952 г., Лапшенков В.С. занимался исследованиями гидроузлов Средней Азии, а затем русловых процессов на реках Терек, Кубань и Дон. В 1975 г. защитил докторскую диссертацию. С 1976 г. и до конца жизни возглавлял кафедру гидротехнических сооружений НГМА, где создал научную школу русловой гидротехники. Автор около 100 научных работ, включая монографии, учебник и отчеты по исследованиям, в том числе по Краснодарскому водохранилищу и рекам Северного Кавказа. Его научное наследие продолжает жить в трудах учеников.

Я.В. Волосухин

ИКЦ «Безопасность гидротехнических сооружений», г. Новочеркасск

ПРОБЛЕМЫ ЗАИЛЕНИЯ ЭШКАКОНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА МАЛОЙ ГОРНОЙ РЕКЕ

Проект Эшкаконского гидроузла разработан в 1977 г. институтом «Гидропроект» имени С.Я. Жука. В 1978 г. проект успешно прошел государственную экспертизу. Заполнение водохранилища водой горной р. Эшкакон началось в 1989 г. Среднегодовой объем годового стока р. Эшкакон в створе гидроузла 55,2 млн м³, отметка НПУ – 1212,00 м БС (Балтийская система координат), ФПУ – 1213,48 м БС, УМО – 1172,00 м БС. Эшкаконский гидроузел обеспечивает водой питьевого качества г. Кисловодск Ставропольского края и прилегающие населенные пункты Карачаево-Черкесской Республики. Длина р. Эшкакон составляет 47,5 км, площадь ее водосбора 311,9 км², она является правым притоком р. Подкумок.

Однако с момента его строительства в 1989 г., водохранилище сталкивается с проблемой заилиения, что негативно сказывается на его функциональности.

Водохранилище предназначено для обеспечения водоснабжения г. Кисловодска и близлежащих населенных пунктов, однако заилиение представляет собой серьезную угрозу для его эффективной работы.

Эшкаконский гидроузел представляет собой регулирующее водохранилище и гидротехнические сооружения водохранилища, совмещенные с комплексом очистных сооружений. Он столкнулся с серьезной проблемой – интенсивным заилиением. Эта проблема не только снижает полезный объем водохранилища, но и оказывает негативное влияние на его функциональность, экологическое состояние и эффективность использования водных ресурсов в регионе.

Основные параметры водохранилища: площадь водосбора – 240 км², средний многолетний объем годового стока – 53,3 млн м³, объем водохранилища: общий – 8,27 млн м³, регулирующий – 8,075 млн м³, класс сооружений по капитальности – II.

Анализ данных съемки, проведенной ОАО «Севкавгипроводхоз» после паводка 2002 г., выявил тревожную тенденцию. За период с 1997 по 2002 г., всего за пять лет, в водохранилище отложилось 1 млн м³ наносов. Это значительная величина, составляющая примерно 10% от первоначального объема водохранилища (9,27 млн м³ по съемке 1997 г.). Такая скорость заилиения указывает на серьезные проблемы с эрозией почв в бассейне реки и недостаточную эффективность мер по борьбе с процессом заилиения. Продолжение подобной тенденции грозит полным или частичным выбытием водохранилища из эксплуатации в относительно короткие сроки.

Результаты прогноза заилиения Эшкаконского водохранилища показывают, что существенных различий расчетных значений по трем используемым методам не наблюдается (расхождение составляет от 2,1 до 9,3%). Сопоставление результатов прогноза с измеренными объемами показывает наибольшее расхождение с данными 2005 г. (от 34,8 до 52,1%). Поскольку результаты измерений 2005 г. вызывают сомнения (из-за методически неверного проведения измерений), то их можно считать «случайными»; расхождение результатов измерений 2002 г. и 2015 г. с расчетными значениями составило от 10,9 до 26,44%, что можно считать приемлемым, учитывая осреднение годового стока наносов за расчетный период. По сценарию «Низкой вероятности» за 50 лет эксплуатации водохранилища (2039 г.) объем заилиения составит 4,15 млн м³; за 75 лет – 5,77 млн м³. По сценарию «Реалистичный» за 50 лет эксплуатации водохранилища (2039 г.) объем заилиения составит 3,18 млн м³; за 75 лет – 4,58 млн м³. Объемы заилиения глубоководной части водохранилища (от «1» до «7» створов) по сценарию «Низкой вероятности» составят: к 2047 г. – 2,01 млн м³ (из 5,1 млн м³ первоначального объема); к 2072 г. – 2,45 млн м³ (из 5,1 млн м³ первоначального объема); по сценарию «Реалистичный»: к 2047 г. – 1,53 млн м³ (из 5,1 млн м³ первоначального объема); к 2072 г. – 2,13 млн м³ (из 5,1 млн м³ первоначального объема).

Однако игнорирование проблемы заилиения может привести к полной утрате функциональности Эшкаконского гидроузла, что будет иметь серьезные экономические и экологические последствия для региона. Поэтому разработка и реализация комплексной программы по борьбе с заилиением являются крайне важными задачами.

Необходимы современные решения, инновационные подходы и использование компьютерного моделирования для разработки эффективных стратегий управления водными ресурсами. Крайне важно учитывать все факторы, влияющие на заиливание, чтобы минимизировать его разрушительные последствия и обеспечить устойчивое водоснабжение региона на долгие годы.

А.Ю. Воробьев*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина***ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ НА РЕЧНЫХ БЕРЕГАХ***

Современная методология анализа физико-географических процессов отличается все более широкой интеграцией машинного обучения (МО), представляющего одну из разновидностей искусственного интеллекта. Стандартные операции МО – классификация, прогноз и представление рекомендаций, особенно часто применяются в работе с пространственно распределенными данными, когда необходимо упорядочить и упростить их признаки и отношения без потери ключевой информации. Мировая практика динамической геоморфологии и эрозиоведения предлагает множество примеров исследований, содержащих автоматизированные классификации водосборов, обученные модели склоновой эрозии, прогнозы развития эрозионных форм рельефа. При этом динамика русловых процессов, в том числе переработка речных берегов, в настоящее время чаще всего описывается традиционным математическим аппаратом. Между тем прогресс в оптимизации решений таких проблем, как оценка эрозионного риска на подмываемых берегах водотоков, моделирование развития речных излучин и, соответственно, расчет баланса пойменных наносов, может существенно продвинуться благодаря внедрению МО.

Среди ряда факторов боковой эрозии рек одним из наиболее трудно прогнозируемых является механический состав берегов, который обычно признается как в значительной мере случайная компонента моделей русловых деформаций. Часто он представлен всего лишь одной переменной D_{50} (медианный диаметр частиц грунта), диагностируемой на русловых склонах и донных формах. Вместе с тем методология расчетов реологических и механических свойств объектов исследований почвоведения и грунтоведения учитывает, по меньшей мере, распределение частиц по мелкообломочным размерным классам (песок, алеврит, глина). Помимо этого, вариации всех гранулометрических параметров неразрывно связаны с фациальной принадлежностью всякого фрагмента речного берега, подвергающегося боковой эрозии, его локализацией в архитектуре отложений днища речной долины.

Динамика разрушения берегов р. Оки в 2020-е гг., с одной стороны, контролируется ежегодным увеличением мощности весенних половодий, но в то же время, существенно обусловлена механическими свойствами осадков на фронтах размыва речных излучин. Подмываемые берега четырех меандров в окрестностях г. Рязани стали геоморфологическими полустационарами, из русловых откосов которых была отобрана 231 проба почв и грунтов. Отличительной особенностью двух из четырех учетных площадок стало их заложение на границе генераций рельефа, различных по морфогенетическому типу (наложенная и гривистая пойма). В ходе наших полевых исследований береговой морфолитодинамики, проводившихся в 2020–2024 гг., возникла необходимость формализации гранулометрического состава берегов, сложенных голоценовым аллювием и плейстоценовыми гляциальными осадками.

Типизация проб грунтов и почв проведена по алгоритму k -NN (k -ближайших соседей) – одному из простых методов МО без учителя. Три переменные, соответствующие размерным классам мелкообломочных осадочных пород, стали предикторами для проверки качества классификации по пяти схемам-треугольникам гранулометрического состава отложений. Наилучшие результаты показала типизация по треугольнику Шепарда, было обособлено 5 ведущих классов грунтов. Также удалось выделить 4 гомогенные группы отложений с помощью кластерного анализа (метод Варда и k -средних). Соотнося 4 либо 5 классов грунтов с аллювиальными и ледниковыми фациями берегов р. Оки, мы смогли упростить их строение до 4 гранулотипов. Две разновидности гранулотипов приурочены к традиционно выделяемым древним и молодым генерациям рельефа гривистой поймы р. Оки, а остальные – к участкам наложенной поймы и экспонированным в русле линзам голоценового старичного аллювия.

* Исследование проведено за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-77-00050, <https://rscf.ru/project/22-77-00050/>

А.М. Гареев

Уфимский университет науки и технологий

ЭРОЗИОННЫЕ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ (НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА Р. УРАЛ В ПРЕДЕЛАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ)

Управление водопользованием в бассейнах рек предусматривает необходимость решения большой совокупности задач, среди которых приоритетное значение имеют не только обеспечение условий изъятия, использования водных ресурсов из водотоков, сброса сточных вод с учетом специфики их влияния на водные объекты и их экосистемы, но и проведение берегоукрепительных, дноуглубительных и иных работ на самих водотоках. Анализ материалов, отраженных в основных документах водного законодательства, а также подзаконных актах, свидетельствует о том, что система управления водохозяйственной деятельностью и водоохранными мероприятиями в бассейнах рек в Российской Федерации требует необходимости дальнейшего усовершенствования. Это имеет отношение прежде всего к видам хозяйственной деятельности на водосборах, оказывающим на водные объекты опосредованное влияние. Так, в частности, к ним относятся животноводство (чрезмерный выпас скота на водосборе) и растениеводство, способствующие активизации развития эрозионных процессов. С ними связаны и русловые процессы, активно развивающиеся на малых реках, испытывающих процессы трансформации стока в виде увеличения разрушающей способности водных потоков. Следует отметить то, что закономерности, формирующиеся в системе эрозионные-русловые процессы, освещены в ряде опубликованных работ. В качестве показательных следует привести публикации автора, в которых раскрыты причинно-следственные связи, отражающие трансформацию склонового и речного стока в зависимости от влияния деградации природных комплексов на водосборах. В них показано то, что одним из основных факторов, обуславливающих активизацию развития эрозионных процессов на водосборе, является увеличение поверхностного (склонового, речного) составляющего стока, что оказывает разрушающее воздействие на почвы, грунты, а также русла рек, вызывая процессы их горизонтальной и вертикальной деформации. Продукты смыва обуславливают заиление русел малых и средних рек в низовьях, вызывая ряд неблагоприятных процессов. В частности, это является поводом для включения дноуглубительных работ в перечень мероприятий, направленных на устранение наблюдаемых негативных процессов. Аналогичные тенденции наблюдаются и по русловым деформациям. Как правило, на решение указанных проблем необходимо привлечение больших объемов материальных и финансовых затрат, что требует необходимости применения эколого-экономических критериев в управлении водохозяйственной деятельностью.

Указанные положения нами были всесторонне учтены в ходе выполнения НИР, посвященной изучению процессов деградации малых рек в условиях чрезмерного влияния хозяйственной деятельности в бассейне р. Урал в пределах Российской Федерации в 2020, 2023 гг. В ходе проведения исследований проводились полномасштабные полевые изыскания на речных водосборах, а также проводились наблюдения и по самим малым рекам. При выборе мест расположения точек учитывались характер и масштабы влияния хозяйственной деятельности человека на водотоки и их водосборы. С учетом этого были выделены следующие категории малых рек:

- 1) реки, характеризующиеся достаточно высоким уровнем сохранности природных комплексов на их водосборах при слабом или умеренном влиянии преимущественно экстенсивного выпаса скота, хорошо сохранившимся гидрологическим режимом, гидрохимическими характеристиками и экологическими условиями;
- 2) реки, преимущественно испытывающие влияние объектов сельскохозяйственного производства (пастбищ, пашен и др.);
- 3) реки, в различной степени измененные и трансформированные в результате влияния объектов горнодобывающей отрасли совместно и с другими видами влияния антропогенных нагрузок (чрезмерного выпаса скота).

К рекам первой категории относятся водотоки, бассейны которых расположены в горно-лесной и горно-лесостепной зонах. Здесь природные комплексы характеризуются хорошей сохранностью естественных условий с преобладанием естественной растительности. Реки относительно чистые, глубина вреза русел рек небольшая, берега пологие, соответственно, экологические условия благоприятные. Активное развитие эрозионных и русловых процессов не наблюдается.

Бассейны рек второй категории расположены в районах, характеризующихся чрезмерным выпасом скота на водосборе, соответственно, поступлением большого количества растворенных и нерастворенных

веществ в водные объекты. Здесь простираются значительные площади эродированных пастбищ, водоохранные зоны и береговые полосы малых рек испытывают чрезмерное влияние КРС и лошадей. Вода в реках преимущественно мутная, обнаруживаются участки русел рек с явными признаками горизонтальных и вертикальных деформаций.

Реки третьей категории протекают в районах массивного влияния объектов горнодобывающей отрасли с наложением факторов, обусловленных также чрезмерным влиянием выпаса скота на водосборах и в водоохранных зонах рек. В них обнаруживаются явные показатели чрезмерного загрязнения при различных соотношениях веществ консервативного и неконсервативного воздействия на гидробионты при высоких показателях мутности речных вод. Водотоки, включая их русла, паводково-пойменные комплексы, гидрологический режим и экологические условия в них подвержены большим изменениям. Некоторые реки деградированы, что требует безотлагательного проведения мероприятий по их восстановлению и ландшафтно-гидрологическому благоустройству их водосборов.

Следует подчеркнуть, что в условиях действия существующих механизмов управления водохозяйственной деятельностью выявляется необходимость составления и согласования перечня мероприятий, направленных на устранение имеющихся негативных изменений, включая проведение дноуглубительных и берегоукрепительных работ. Указанный перечень нами составлен посредством согласования необходимости их проведения с муниципальными образованиями и передан в Министерство природопользования и экологии Российской Федерации для дальнейшей реализации. В то же время, как было указано ранее, на их реализацию потребуются выделение большой суммы денежных средств, что с точки зрения оценки эколого-экономической значимости проводимых мероприятий не вполне обосновано. Это объясняется тем, что указанные процессы связаны с отсутствием оптимальных вариантов природопользования на речных водосборах, что при разумном гидролого-экологическом подходе можно предотвратить. Таким образом, при таких условиях широкомасштабное проведение противоэрозионных, в том числе и агро-лесомелиоративных мероприятий, минимизация пастбищной нагрузки на природные комплексы являются теми видами водоохранной деятельности, которые можно достичь при минимальных экономических затратах и при большой гидролого-экологической эффективности. Очевидна необходимость внедрения указанных положений в сферу управления водопользованием в бассейнах рек в масштабе всей страны.

А.М. Гафуров

Казанский (Приволжский) федеральный университет

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОЙ ЭРОЗИИ МЕТОДОМ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ*

Метод малых базовых линий (SBAS) радарной интерферометрии позволяет фиксировать микродеформации земной поверхности с миллиметровой точностью путем анализа серии интерферограмм, полученных со спутников Sentinel-1. В основе метода лежит сравнительный анализ фазовых сдвигов между парами снимков, взятых с малыми временными и геометрическими смещениями. Устранение орбитальных и атмосферных ошибок, выполнение фазовой развертки и применение статистической фильтрации обеспечивают извлечение чистого сигнала смещений, отражающего накопительные процессы деформации. Такой подход позволяет отслеживать постепенные изменения рельефа, что имеет решающее значение при изучении процессов деградации почв.

Особое внимание в настоящем обзоре уделено исследованию склоновой эрозии, включающей как линейные (овражные) процессы, так и плоскостные изменения рельефа. Склоновая эрозия характеризуется постепенным снижением уровня поверхности, развитием оврагов и утратой плодородного слоя, что оказывает негативное влияние на агроландшафты. Лесостепная зона, например, Республики Татарстан представлена в качестве примерного региона, где применение SBAS-интерферометрии позволяет выявлять участки активной деградации даже при наличии умеренного растительного покрова и сезонных климатических колебаний.

Спутниковые данные Sentinel-1, работающие в С-диапазоне микроволн, обладают рядом преимуществ для реализации метода SBAS. Высокая частота повторного обзора (каждые 6 дней для одного спутника, сокращаемая до 3 дней при совместном использовании двух аппаратов) и пространственное разрешение порядка 10 м в интерферометрическом режиме создают условия для построения непрерывных временных рядов смещений. Возможность проведения наблюдений в любых погодных условиях, отсутствие зависимости от освещенности и открытый доступ к данным значительно повышают практическую привлекательность этого подхода для мониторинга эрозионных процессов.

Сравнительный анализ SBAS-интерферометрии с другими методами дистанционного зондирования выявляет как ее преимущества, так и ограничения. Оптические спутниковые снимки высокого разрешения обеспечивают детальное визуальное различие эрозионных форм, однако зависят от условий освещенности и часто ограничены наличием облаков. GPS-измерения характеризуются абсолютной точностью, но их трудоемкость и низкая пространственная плотность затрудняют покрытие обширных территорий. В отличие от этих методов, SBAS-интерферометрия позволяет получать равномерное покрытие с субсантиметровой точностью, что особенно важно для регионального мониторинга и построения карт деградации земель.

Теоретические основы SBAS основаны на измерении фазовых разностей между последовательными радарными изображениями, что позволяет оценивать накопившиеся деформации с высокой пространственной плотностью. Применяя алгоритмы временной интерполяции и статистической аппроксимации, исследователи строят временные ряды изменений высоты поверхности даже при наличии шума и незначительной декорреляции сигнала. В отличие от одиночных точечных измерений, этот метод обеспечивает непрерывный пространственный континуум данных, что повышает разрешающую способность при анализе локальных особенностей рельефа. SBAS уже успешно применяется для отслеживания тектонических движений, оседания грунтов и инженерных деформаций, что подтверждает его высокую чувствительность и надежность.

Однако применение метода встречает и определенные ограничения. Основной проблемой остается декорреляция радиосигнала, особенно в зонах с интенсивным ростом растительности и резкими сезонными изменениями. Колебания влажности почвы влияют на диэлектрические свойства поверхности, что может приводить к ложным фазовым сдвигам. Резкие эрозионные события, такие как внезапное обрушение грунта, ухудшают когерентность интерферограмм и ограничивают применимость метода. Для повышения достоверности измерений необходимы верификация результатов наземными наблюдениями (GPS, нивелирные замеры) и применение временной фильтрации.

Перспективы развития SBAS-интерферометрии связаны с расширением архивов спутниковых данных, совершенствованием алгоритмов обработки и интеграцией наблюдений из различных диапазонов (С, L, X). Совмещенное использование радарных, оптических и геодезических методов позволит получать полное представление о динамике эрозионных процессов, что имеет решающее значение для планирования мероприятий по сохранению почвенного покрова и устойчивому использованию земель.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00145, <https://rscf.ru/project/25-27-00145/>

Е.М. Гирло

Институт водных проблем РАН

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОЦЕНКИ ВКЛАДА ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА МЕТОДОМ «ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА» В ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК

Метод «отпечатка пальца» (фингерпринтинг) представляет собой перспективный инструмент количественной оценки долевого вклада источников поступления наносов в водные объекты. Актуальность данного метода обусловлена усилением темпов эрозионных процессов, которые под влиянием климатических изменений и трансформации землепользования приводят к деградации почв, загрязнению водных экосистем, заилению водоемов и усилению переноса загрязняющих веществ, включая тяжелые металлы, радионуклиды и другие маркеры. В связи с этим идентификация пространственной структуры источников наносов и их мониторинг являются важной задачей устойчивого использования и управления водными ресурсами.

Развитие метода фингерпринтинга началось с применения минералогических характеристик и радионуклидов (^{137}Cs , ^{210}Pb) в 1970–1980-х гг. Позднее методологическая база существенно расширилась за счет внедрения таких групп маркеров, как геохимические элементы, магнитная восприимчивость, органические соединения (включая биомаркеры и CSSI), спектральные характеристики и экологическое ДНК (eDNA). Каждая группа маркеров обладает своими преимуществами в зависимости от условий, типа землепользования и географии исследования.

Ключевым этапом осуществления данного метода является формирование оптимального и наиболее релевантного набора маркеров. Выбор маркеров базируется на критериях, определяющих их консервативность (устойчивость при транспортировке), статистическое различие между источниками, а также выявление маркеров, которые наилучшим образом могут различать группы источников. Установлено, что комбинации трассеров, отобранные статистическими критериями, используемыми в трехэтапном методе (range test, KW тест, DFA), позволяют снизить неопределенности модели на 20–30% по сравнению с произвольным выбором маркеров.

Сильным прорывом в развитии метода «отпечатка пальца» стала разработка и внедрение модельных подходов. Широкое распространение получили программные комплексы, такие как FingerPro, SIFT, SedSAT, MixSIAR и SIMM, реализованные в среде R и адаптированные под открытые гидрологические задачи. Данные модели обеспечивают визуализацию данных, автоматизируют статистический выбор трассеров и расчет вкладов источников, а также существует возможность провести корректировку на гранулометрический состав наносов.

Наиболее распространенной моделью, использующей классический вероятностный подход, является FingerPro, в которой в последние годы традиционный трехэтапный алгоритм отбора трассеров был заменен на **консенсусный метод (Consensus Method)**. Наряду с этим активно применяются **байесовские модели**, такие как MixSIAR и SIMMR, основанные на алгоритмах **Марковских цепей и метода Монте-Карло**. Внедрение байесовских подходов, предусматривающих использование **виртуальных смесей** для оценки точности прогноза, значительно повысило надежность калибровки и валидации моделей, определяющих долевой вклад источников наносов.

Пространственная применимость метода охватывает диапазон от склонов до речных бассейнов площадью более 10 000 км². Метод фингерпринтинга широко используется в различных географических и ландшафтных условиях: урбанизированных, промышленных, сельскохозяйственных, лесных зонах, криолитозоне, горных областях, дельтах и эстуариях, пустынных районах. Наибольшее количество исследований наблюдается в Великобритании, США, Китае, Испании, Франции и Иране.

В настоящее время развитие методики направлено на совершенствование оценки неконсервативности трассеров и учета временной динамики процессов седиментации. Также актуальной задачей остается стандартизация процедур, в том числе норм по отбору, подготовке и анализу проб, интерпретации результатов и унификации моделей.

На базе методики фингерпринтинга проведены расчеты по долевному вкладу источников поступления взвешенного вещества в бассейне р. Сетунь с использованием трех моделей: FingerPro – классический вероятностный подход, SIMM и MixSIAR – байесовский подход. Расчеты проводились с учетом фракционного состава наносов PM1 и PM1-10. Наибольшее расхождение с результатами других моделей показала модель SIMM, что, вероятно, связано с ее ограниченной возможностью учета случайных эффектов (в отличие от MixSIAR), а также со сложностью в адаптации к природным условиям в бассейне р. Сетунь.

Г.Л. Гладков

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург

ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И СУДОХОДНЫЕ УСЛОВИЯ НА НИЖНЕМ ДОНУ

Объектом настоящего исследования является участок реки Дон, расположенный в нижнем бьефе Кочетовского гидроузла. Рассматриваемый участок водного пути в настоящее время является наиболее затруднительным для судоходства. Магистральный водный путь Азово-Донского бассейна входит в состав Единой глубоководной системы европейской части России и является одним из самых грузонапряженных участков внутренних водных путей международного значения Российской Федерации.

На сегодняшний день сток Нижнего Дона зарегулирован Цимлянским гидроузлом (1952 г.) и каскадом низконапорных сооружений – Николаевским (1975 г.), Константиновским (1982 г.) и Кочетовским (1920 г.) гидроузлами. В 2007 г. на Кочетовском гидроузле была осуществлена реконструкция сооружений и построена вторая нитка судоходного шлюза.

Судоходные условия на Нижнем Дону полностью зависят от водных ресурсов Цимлянского водохранилища и, в меньшей степени, от водности рек Северский Донец и Маныч. При нормальном навигационном попуске воды из Цимлянского водохранилища на Нижнем Дону путевыми работами поддерживается гарантированная глубина 340 см без учета сгонно-нагонных явлений со стороны Азовского моря, что меньше установленной глубины Единой глубоководной системы европейской части России.

За период, прошедший с момента ввода в эксплуатацию каскада гидротехнических сооружений на Нижнем Дону, в нижнем бьефе Кочетовского гидроузла в результате изменения режима регулирования стока и вследствие развития эрозионных процессов произошли существенные изменения руслового режима реки. Общий характер этих изменений заключается в том, что по длине реки произошло необратимое одностороннее понижение отметок дна и уровней воды, а также уменьшился диапазон глубин на судовом ходу – произошло выравнивание глубин на перекатах и в плесовых ложбинах.

Эти изменения обусловлены, с одной стороны, строительством и эксплуатацией гидроузлов на Нижнем Дону, а также связаны с проведением в русле реки дноуглубительных работ по обеспечению судоходных условий и добычи нерудных материалов. Имеющиеся данные показывают, что снижение уровней воды проявилось по всей длине рассматриваемого участка, однако наибольшая величина понижения бытовых отметок имеет место непосредственно в нижнем бьефе Кочетовского гидроузла и уменьшается по мере удаления от него вниз по течению реки.

В современных условиях Нижний Дон характеризуется высокой степенью использования водных ресурсов и исключительной напряженностью водохозяйственного баланса. Основным источником покрытия потребностей в водных ресурсах участников Нижнедонского водохозяйственного комплекса являются запасы воды в Цимлянском водохранилище.

Суммарная потребность в водных ресурсах со стороны участников водохозяйственного комплекса Нижнего Дона превышает величину стока среднего по водности года, которая составляет в средний год $21,3 \text{ км}^3$. При этом для поддержания нормируемых судоходных глубин используется ежегодно до $7,4 \text{ км}^3$, т.е. порядка 40% зарегулированного стока. На нужды других участников ВХК, в основном, орошаемого земледелия, безвозвратно используется до $3,0 \text{ км}^3$ водных ресурсов Цимлянского водохранилища.

Дефицит водных ресурсов для обеспечения судоходства в нижнем бьефе Цимлянской ГЭС будет ликвидирован после ввода в эксплуатацию Багаевского гидроузла на р. Дон. Лимит водопотребления на шлюзование Волго-Донского судоходного канала в среднемноголетнем укрупненном водохозяйственном балансе Цимлянского водохранилища составляет около 0.65% от общего объема приточности к водохранилищу.

После завершения строительства и ввода в эксплуатацию Багаевского гидроузла появится возможность снизить величину навигационного попуска воды и сформировать за счет экономии водных ресурсов комплексный санитарно-рыбохозяйственный попуск в размере около $1000 \text{ м}^3/\text{с}$. При таких значениях сбросных расходов воды, в зависимости от водности года, возможно будет обеспечить безнапорный режим работы всего каскада Нижне-Донских гидроузлов – Николаевского, Константиновского, Кочетовского и Багаевского в течение всего периода весеннего половодья.

Создание водохранилища на участке реки, который к настоящему времени оказался подверженным воздействию антропогенных факторов, как принесет положительный результат с точки зрения восстановления уровня режима реки, так и вызовет определенные негативные последствия. При нормальном подпорном уровне воды в зоне подпора произойдет незначительное подтопление прибрежной территории и изменится скоростной режим потока. Наибольшая величина подтопления будет иметь место на участке

реки, непосредственно примыкающем к створу строящегося гидроузла со стороны верхнего бьефа. По мере удаления от створа вверх по реке величина подпора уровней воды и степень влияния подпора на скоростной режим будут снижаться.

В связи с небольшой высотой подъема уровней воды на верховом участке водохранилища необходимо выполнить работы по коренному улучшению судоходных условий в границах Семикаракорской и Усть-Сальской излучин реки, а также в районе колена Поречное, представляющих значительные затруднения для судоходства в связи с недостаточными для безопасного расхождения судов радиусами закругления судового хода.

Помимо этого, в составе реализуемого проекта надлежит осуществить обширный комплекс мероприятий по инженерной защите территорий от подтопления, а также выполнить значительный объем работ по укреплению берегов от размыва.

Г.Л. Гладков, П.В. Беляков, П.С. Ржаковская, С.В. Конопацкий

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ

Ниже Волгоградского гидроузла проектные судоходные глубины поддерживаются попусками из Волгоградского водохранилища. На участке водного пути от Волгоградского гидроузла до о.п. Стрелецкое общей протяженностью 498,3 км в навигацию 2025 г. гарантированные габариты судового хода обеспечиваются при расходах воды через Волгоградский гидроузел не менее 5000 м³/с.

Особое место на рассматриваемом участке водного пути занимает Саралевский водный узел, без проведения коренного улучшения судоходных условий на котором проблему увеличения гарантированной глубины на Нижней Волге не решить.

Повышение гарантированных габаритов водного пути на Нижней Волге с 3,8 до 4,0 метров позволит существенно сократить затраты транспортного флота, увеличить скорость доставки грузов потребителям, а также уменьшить потери судовладельцев и сократить время простоев судов на лимитирующих участках.

На основании данных по гидротехническому и гидравлическому обоснованию проведения путевых работ на основе сценарного математического моделирования гидравлики потока и русловых деформаций для достижения единых на участке р. Волги от Волгоградского гидроузла до о.п. Стрелецкое гарантированных габаритов (глубина 4,0 м, ширина 100 м, радиус закругления 1000 м) определены участки и объемы дноуглубительных работ по созданию и поддержанию заданных габаритов водного пути по основной трассе существующего судового хода и с учетом коренного улучшения судоходных условий в районе Саралевского водного узла.

Результаты расчетного обоснования, выполненного для оценки возможности коренного улучшения судоходных условий в районе Саралевского водного узла, показали, что реализация данного проекта не приведет к снижению уровней воды в районе производства дноуглубительных работ и на вышерасположенном участке реки и обеспечит решение проблемы безопасности судоходства при минимальных затратах на содержание судовых ходов.

Определены объемы работ по переносу судового хода в правобережную протоку Саралевского водного узла и левобережную протоку Матвеевского разветвления. Для достижения гарантированной глубины 4,0 м на участке Нижней Волги по существующему на 2024 г. судовому ходу потребуется выполнение дноуглубительных работ ориентировочно в объеме 6200 тыс. м³.

При оценке эффективности проведения путевых работ с учетом их взаимного влияния с целью детальной проработки дноуглубительных и выправительных работ, а также для обоснования наиболее эффективных проектных решений при минимальных допустимых изменениях гидрологических условий в долгосрочном периоде построены математические модели для трех наиболее затруднительных для судоходства участков на Нижней Волге.

Математическая модель была создана для расчетного участка Саралевского водного узла и охватывает участок р. Волги в границах 2634,0–2675,0 км по судовому ходу. По результатам математического моделирования было получено гидравлическое обоснование коренного улучшения судоходных условий на данном участке.

На данном этапе была подготовлена математическая модель затруднительного для судоходства участка, включающего группу перекатов Верхний и Нижний Соленские в границах 2764,0–2789,0 км по судовому ходу. Для этого участка судового хода выполнено математическое моделирование характеристик течения воды и параметров транспорта наносов и получена оценка влияния дноуглубительных работ на гидравлику потока на участке разветвления русла в районе воложки Матвеевка.

Результаты расчетного обоснования, выполненного для оценки возможности коренного улучшения судоходных условий в районе воложки Матвеевка, показали, что рассматриваемые решения проблемы судоходства, предусматривающие перенос судового хода в левый рукав, на данном этапе не являются эффективными с гидравлической точки зрения.

Разработка дноуглубительной прорези в воложке Матвеевка практически не приведет к дополнительному перераспределению расхода воды в левый рукав. Результаты моделирования показали, что при таких значениях уклонов водной поверхности влияние от разработки дноуглубительной прорези в воложке Матвеевка на положение уровней воды в ее истоке отсутствует.

Анализ гидрографических материалов за многолетний период наблюдений и результаты выполненных гидравлических расчетов показали, что судоходные условия на Верхнем и Нижнем Соленских перекатах с течением времени ухудшаются. По мере развития морфологической ситуации на данном участке необходимо будет вернуться к рассмотрению вопроса о возможном переносе судового хода в воложку Матвеевка в среднесрочной перспективе. Проблему улучшения судоходства в районе воложки Матвеевка необходимо будет решать совместно с нижерасположенным разветвленным участком р. Волги с учетом перспективы возможного развития Клевской протоки.

Наряду с гидравлическим обоснованием отдельных, наиболее затруднительных для судоходства участков на Нижней Волге была получена прогнозная оценка возможного влияния всего комплекса намечаемых мероприятий на положение уровней воды и динамику руслового процесса.

П.П. Головлев¹, Е.Д. Панченко^{2,1}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

²Институт водных проблем РАН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ГИДРОГРАФА НА РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ Р. ВЯТКИ В РАЙОНЕ Г. КИРОВА)*

Вопрос влияния формы гидрографа на динамику русловых деформаций остается недостаточно изученным, несмотря на очевидную связь между режимом стока и морфодинамикой русел. В настоящем исследовании рассматривается, как различные типы гидрографов (различающиеся по крутизне подъема, длительности паводковой волны, числу пиков) могут оказывать влияние на пространственно-временное распределение эрозионно-аккумулятивных процессов.

В качестве объекта исследования выбран участок русла р. Вятки в районе г. Кирова. В 2024 г. здесь были проведены комплексные русловые изыскания, что позволило выполнить детальную калибровку математической модели и обеспечить высокую достоверность расчетов. Модель адаптирована с использованием отечественного комплекса Stream2D CUDA, основанного на уравнениях мелкой воды и модуле расчета русловых деформаций.

Основной задачей является определение того, как различия в форме гидрографа — при сохранении общего годового объема стока — сказываются на конфигурации русловых деформаций. Проведен ряд численных экспериментов, в которых варьировали параметры гидрографов, тогда как все прочие условия (характеристики русла, наносов, граничные условия) оставались неизменными. Анализируются как интегральные показатели (суммарная эрозия и аккумуляция), так и пространственно-временная структура изменений русла.

Предварительные результаты показывают, что крутые гидрографы с короткими паводковыми волнами вызывают локализованные, но интенсивные деформации, в то время как пологие и многовершинные гидрографы формируют более равномерное перераспределение наносов. В перспективе планируется расширение набора сценариев и использование полученных закономерностей для улучшения прогнозирования русловых изменений в условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия.

* Исследование выполнено по госзаданию (№ 121051100166-4) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

В.Н. Голосов^{1,2}, Е.Н. Шамшурина^{2,1}, А.П. Жидкин²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

²ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»

ТЕМПЫ АККУМУЛЯЦИИ НАНОСОВ В ДНИЩАХ СУХИХ ДОЛИН КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ТРЕНДОВ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ НА ПАШНЕ*

Активное сельскохозяйственное освоение территорий в пределах южного мегасклона Европейской части России сравнительно недавнее по сравнению со странами центральной и западной Европы. В частности, в пределах различных частей Среднерусской возвышенности оно охватывает период 200–300 лет. Локально распахка земель проводилась более длительное время, но площади таких территорий невелики, чаще всего обработка почвы велась на них с перерывами. Массовая распахка земель была обусловлена быстрым ростом численности сельского населения. В связи с этим в лесостепной зоне центра ЕТР площади пашни достаточно активно нарастали вплоть до последней четверти XIX в., когда после крестьянской реформы 1861 г. были распаханы даже крутые борта долин. Это спровоцировало бурный рост оврагов антропогенного происхождения и, как следствие, некоторое сокращение площади пашни. В XX в. в целом площади пашни на большей части Среднерусской возвышенности вплоть до распада СССР в 1991 г. оставались неизменными, за исключением ряда лет Второй мировой войны.

Продукты смыва с пахотных земель в пределах Среднерусской возвышенности преимущественно транспортируются в днища сухих долин, которые являются основными ловушками наносов. Следует отметить, что переотложившийся в днищах материал периодически вовлекается в дальнейшую транспортировку за счет формирования донных врезов. При этом большая часть наносов, образующихся при регрессивном отступании уступов овражных врезов, переоткладывается на небольшом удалении от места размыва. Исключением являются ситуации, когда донные врезы прорезают днище долины по большей части его протяжения, вплоть до устья. Такие малые водосборы характеризуются высокими коэффициентами доставки наносов с пашни в днища долин больших порядков, включая постоянные водотоки, и получили название транзитные. Их доля сравнительно невелика от общего числа малых водосборов.

Для детальной оценки темпов аккумуляции за разные интервалы времени в днищах сухих долин было выбрано 4 малых водосбора. Они располагаются в различных частях Среднерусской возвышенности. Для каждого водосбора на основе изучения архивных материалов было определено время начала распахки всего водосбора, а также получены картографические данные о том, что с момента начала обработки земель обработка склоновых земель проводилась без значительных перерывов. Некоторые изменения площади пашни, составлявшие не более 10%, также фиксировались. Соотношение площадей пашни и необрабатываемой части водосбора на момент проведения полевых работ на каждом из водосборов представлено в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики землепользования исследованных водосборов

Водосбор	Бассейн реки	Начало распахки, годы	Площадь						
			общая	пашня		луг		в том числе днище балки	
			га	га	%	га	%	га	%
Петровка	Локна	1760-е	95,9	83,2	86,8	12,7	13,2	2,1	2,2
Спокоевка	Воробжа	1770-е	105,5	92,9	88,1	7,7	7,3	2,0	1,9
Хвощин Лог	Сейм	1860-е	140,1	118,4	84,5	15,7	11,2	2,2	1,6
Просторное	Олым	1770-е	38,9	35,6	91,5	2,6	6,7	0,5	1,3

На водосборах полевые работы выполнялись поэтапно. Сначала проводилось крупномасштабное геоморфологическое картирование с выделением различных элементов рельефа и определением их площади по результатам GPS съемки. Это позволило выделить сектора в днище долин, отличающиеся друг от друга по морфометрии и путям доставки наносов с пахотных склонов. Затем внутри каждого сектора закладывался разрез, из которого после его описания послойно отбирались образцы для проведения анализов. Мощности наносов, накопившихся за разные интервалы времени, определялись тремя методами: почвенно-

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

морфологическим, радиоцезиевым и методом магнитного трассера. Это позволило определить объемы наносов, накопившихся за периоды: 1) с 1986 г. (Чернобыльский аварийный выброс); 2) с 1954 г. – начало проведения ядерных взрывов в атмосфере; 3) с момента запуска и активной эксплуатации железной дороги; 4) с момента массовой распашки всей территории водосбора.

В результате было установлено, что на всех исследованных водосборах максимальные среднегодовые темпы аккумуляции наблюдались в период с 1954 по 1986 г. На водосборах Петровка и Спокоевка, являющихся притоками более крупных балочных систем, темпы аккумуляции в этот период более чем вдвое превышали скорости отложения наносов за два других интервала времени. На водосборах Просторное и Хвощин Лог, которые являются истоками крупных балочных систем, скорости аккумуляции в этот период были незначительно выше, чем за два других интервала времени. Это связано с тем, что в пределах данных водосборов до 1986 г. активно развивались вторичные донные врезы, что вело к выносу части аккумулярованного материала ниже по течению. Тем не менее, можно утверждать, что максимальные темпы аккумуляции, а следовательно, и смыва с пашни, на всех водосборах пришлось на период 1954–1986 гг., что связано с климатическими условиями и использованием тяжелой сельхозтехники в этот временной интервал.

Г.Б. Голубцов, Р.С. Чалов, А.А. Куракова, Е.Д. Панченко, В.А. Семаков

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МОРФОЛОГИИ И ДИНАМИКЕ РУСЛА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ*

Северная Двина – одна из немногих рек, русловой режим которой изучен достаточно хорошо, и многие теоретические положения русловедения были получены на основе проводимых на ней исследований. При этом Северная Двина – река, сохранившаяся в естественном состоянии, т.е. на ней отсутствуют крупные гидротехнические объекты. Однако русло реки уже с конца XIX в. и особенно во второй половине XX в. подвергалось на большей части своей длины массовому техногенному воздействию – выправительным и дноуглубительным работам для создания современного водного пути и обеспечения нормальных условий судоходства. В этом отношении Северная Двина является рекой, на которой техногенные изменения русла проявились в наиболее полной мере из-за их массовости и объемов по длине реки, причем за последние 50 лет они осуществлялись на фоне увеличения водности реки как следствия изменений климата.

Между устьями Вычегды и Ваги русло сначала широкопойменное (135 км), формирующееся в свободных условиях развития русловых деформаций, а затем адаптированное или врезанное в моренные валунные суглинки. Ниже устья р. Ваги русло в основном врезанное в скальные грунты (известняки и гипсы), устойчивое, неразветвленное. Ниже п. Брин-Наволоок оно сужается до 500–700 м, образуя врезанные пологие, иногда крутые сегментные излуины. Ниже слияния с р. Пинегой и до г. Архангельска (устьевая область реки) русло устойчивое, глубокое, морфологически сложное структурно predetermined раздвоенное.

Распространение морфологически однородных участков, обусловленное на Северной Двине геолого-геоморфологическими условиями формирования русла (широкопойменных, адаптированных, врезанных), неизменно во времени, но внутри них морфодинамические типы русла претерпели очень существенные трансформации, связанные: 1) с естественными переформированиями русла, приводящими не только к изменению его параметров и гидравлической структуры потока, но и во многих случаях к смене или усложнению типа русла; 2) с изменениями водности реки при потеплении климата; 3) с техногенными воздействиями в течение XX в. на русло, связанными в основном с мероприятиями по совершенствованию водного пути; 4) с резким сокращением дноуглубительных, прекращением выправительных и ремонтно-восстановительных (для ранее возведенных дамб и полузапруд) работ. Во многих случаях только детальный русловой анализ позволяет установить причины изменений типа русла и направленность его деформации.

Благодаря разработке капитальных дноуглубительных прорезей и массовому возведению выправительных сооружений, основанным на выявленных закономерностях русловых деформаций, гарантированные глубины на Северной Двине постоянно возрастали: 60–70 см в 1913–1915 гг., 90 см в 1928 г., 120 см в 1940 г., 145 см в 1960 г. и 170 см в 1970–1991 гг. – от слияния с р. Вычегдой до устья р. Ваги и 180 см ниже по течению. С 1990-х гг. выправительные работы на Северной Двине прекращены, большинство ранее построенных сооружений было разрушено или в процессе переформирования русла оказалось за пределами его активной зоны. Это привело к проявлению тенденции восстановления естественного руслового режима и активизации русловых деформаций.

Несмотря на повышение меженного стока при снижении расходов воды в половодье дноуглубление и выправление русла привели к понижению уровней воды в межень более чем на 0,5 м. Это сказалось в сокращении на 20–40 дней продолжительности затопления прирусловых отмелей, что способствовало зарастанию побочней и осередков. Появление растительности на них при затоплении благоприятствует накоплению ила, способствуя дальнейшей активизации их зарастания и превращения в пойму. В результате с 1975 по 2016 г. вследствие зарастания осередков на Северной Двине возникло более 50 островов, увеличилась длина и ширина ранее существовавших, возросла рассредоточенность потока по рукавам и протокам, произошло усложнение разветвлений.

В результате в XX–XXI вв. на большей части реки произошли существенные трансформации русла, приведшие к превращению одиночных и односторонних разветвлений в параллельно-рукавные или сопряженные, образованию новых, спрямлению больших излуин и смене морфодинамического типа русла. Это явилось следствием проведения на реке различных гидротехнических мероприятий (дноуглубления и строительства выправительных сооружений) на фоне гидроклиматических изменений при одновременных интенсивных русловых переформированиях, свойственных слабоустойчивому руслу. Во всех случаях, когда происходила естественная трансформация русла, и для обеспечения в переходный период нормальных условий судоходства они поддерживались разработкой прорезей в развивающемся рукаве. При этом трансформации охватили как широкопойменное русло ниже слияния с р. Вычегдой, так и большую часть врезанного и адаптированного русла до устья р. Ваги, где оно формируется в основном в моренных валунных суглинках и пермско-триасовых песчаниках, и алевролитах. Ниже устья р. Ваги и особенно на нижнем 164-километровом участке, где врезанное русло формируется в известняках и гипсах карбона, его трансформации не проявляются или отмечены только в местных расширениях русла, сопровождающихся появлением узкой поймы ($B_{\text{п}} < b_{\text{р}}$), и на адаптированных участках ($B_{\text{п}} = 2 - 3b_{\text{р}}$).

* Выполнено по планам НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши (№ 121051400038-1) и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Макавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (№ 121051100166-4) – исходные материалы, при финансовой поддержке РФФИ (проект № 23-17-00065) – гидролого-морфологический анализ русла.

К.Г. Гончарова, Л.Ю. Гончарова

Южный Федеральный университет

СОДОУСТОЙЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Актуальность: основными типами почв сухостепной зоны Ростовской области, подверженных содовому засолению, являются каштановые почвы. Черноземы степной зоны, обладающие высоким естественным плодородием, нуждаются в постоянном агроэкологическом мониторинге, в том числе и в мониторинге показателя «содоустойчивости». Мерой содоустойчивости является количество соды, которое способна нейтрализовать почва.

Цель работы: оценить содоустойчивость почв Ростовской области.

Объектами исследования были каштановая среднесолонцеватая среднемощная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, солонец каштановый тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках (место отбора: Ростовская область, биосферный заповедник «Ростовский», Орловский район, Стариковский участок), темно-каштановая мощная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках (место отбора: Ростовская область, Дубовский район, ст. Подгоренская) и чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках (УОХ «Недвиговка» ЮФУ, Мясниковский район Ростовской области).

Известные методы определения устойчивости почвогрунта к содовому засолению, включающие титрование вытяжки кислотой, не позволяют классифицировать почвы и грунты по их устойчивости к содовому засолению. Для проведения исследований был выбран способ определения по В.П. Бобкову, который отличается от известных тем, что на образец почвы воздействуют 0,1н. раствором углекислого натрия, получают содовую вытяжку и путем нейтрализации определяют остаток углекислого натрия в ней. Это позволяет правильно выбирать почвы для орошения и прогнозирования содового засоления.

Расчет количества углекислого натрия в мг/экв на 100 г производился по формуле (1):

$$СИ = 50(A - B)T \quad (1),$$

где:

СИ – содовый иммунитет;

A – удвоенное количество кислоты в мл, израсходованное на титрование 10 мл контроля;

B – удвоенное количество кислоты в мл, израсходованное на титрование 10 мл вытяжки из почвы;

T – титр кислоты

Образцы почв для проведения анализа были подготовлены методом основной пробоподготовки, а полученные результаты были статистически обработаны ($n = 3$).

Результаты: все исследуемые почвы характеризуются разным уровнем содоустойчивости, что обусловлено их генетическими особенностями. Наименьшей содоустойчивостью обладает солонец каштановый, в котором интервал изменения этого показателя в почвенном профиле находится в диапазоне 23,2–27,8 мг/экв на 100 г почвы. Эта почва обладает низким иммунитетом к содовому засолению и характеризуется слабой содоустойчивостью. К этой же категории относится и каштановая среднесолонцеватая почва с диапазоном содоустойчивости от 21,0 до 31,1 мг/экв на 100 г почвы.

Показатель содоустойчивости и содового иммунитета несколько выше в темно-каштановой почве, колеблется в диапазоне от 32,6 до 25,2 мг/экв на 100 г почвы, что хотя и говорит о слабом содовом иммунитете, но в верхних горизонтах приближается к среднему значению.

Самой высокой содоустойчивостью из всех изучаемых почв обладает чернозем обыкновенный карбонатный (диапазон 38,6–32,4 мг/экв на 100 г почвы), он характеризуется средним уровнем содового иммунитета.

Выводы: содоустойчивость является индикаторным показателем состояния почв, который требует постоянного мониторинга. Относительно низкий уровень содоустойчивости солонцов и солонцеватых каштановых почв свидетельствует о необходимости применения мер по предупреждению и ослаблению содового засоления почвенного покрова изучаемого региона. Содоустойчивость темно-каштановой почвы и чернозема обыкновенного карбонатного выше за счет хороших физико-химических показателей почв, однако нуждается в систематическом мониторинге в комплексе с другими показателями.

Л.Ю. Гончарова

Южный федеральный университет

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ КАФЕДРЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА: ВАСИЛЬКО ВАСИЛЬЕВИЧ АКИМЦЕВ

9 января 2025 г. исполнилось 132 года со дня рождения Василько Васильевича Акимцева (1893–1967), доктора сельскохозяйственных наук, почетного члена Всесоюзного общества почвоведов при АН СССР. Он прошел путь от препаратора кафедры почвоведения Тифлисского политехнического института до известного ученого-почвоведа. При его участии создавались кафедры, лаборатории, учебные хозяйства в ряде высших учебных заведений Северного Кавказа и Украины. Он был заведующим кафедрой почвоведения и агрохимии Ростовского государственного университета (1951–1967), руководителем агропочвенного отдела НИИ биологии.

С 1900 по 1904 г. В.В. Акимцев обучался в двухклассной сельской школе в Белом Ключе, а затем продолжил обучение в реальном училище г. Тифлиса. Далее Василько Васильевич учился в военном училище в Санкт-Петербурге (1911–1913 гг.). После окончания военного училища Акимцев В.В. проходил военную службу в царской армии с 1913 по 1917 гг. В первую мировую войну Василько Васильевич служил в русском экспедиционном корпусе во Франции. В начале 1917 г. В.В. Акимцев получил на фронте контузию и тяжелое ранение, а после лечения вернулся по месту службы во Францию. После расформирования корпуса он обучался в Парижском университете, который окончил в июле 1920 г.

После возвращения в Россию В.В. Акимцев окончил Высшие сельскохозяйственные курсы, а в 1924 г. – агрономический факультет Тифлисского политехнического института. Ему посчастливилось работать с известными почвоведом Тюреновым С.Н., Захаровым С.А., и это определило его профессиональные интересы.

С самого начала Великой Отечественной войны В.В. Акимцев все свои знания, весь опыт мобилизует на помощь фронту и тылу. В этот период он пишет ряд записок, касающихся военного почвоведения, выезжает в экспедиции и проводит исследование почв и грунтов проектируемых аэродромов. В 1945 г. он был награжден медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

В 1951 г. Акимцев был переведен на должность заведующего кафедрой почвоведения Ростовского университета, которую он возглавлял 16 лет. Эта кафедра была создана Сергеем Александровичем Захаровым, что накладывало на Акимцева В.В. особую ответственность.

Акимцевым была защищена докторская диссертация на тему «Почвы Прикаспийской низменности Кавказа». Диссертационный материал был положен в основу написания монографии «Почвы Прикаспийской низменности Кавказа», опубликованной в издательстве РГУ. Эта работа охватывает территории Астраханской области, Калмыкии, Дагестана, Азербайджана, северо-западной части Казахстана. Эта работа имела большое теоретическое и производственное значение и не утратила актуальности и в настоящее время.

По инициативе В.В. Акимцева в университете на базе кафедры почвоведения была создана спектральная лаборатория по изучению микроэлементов в почвах и растениях. Акимцев В.В. возглавил эту лабораторию и одновременно руководит агропочвенным отделом в Научно-исследовательском институте биологии. Василько Васильевич организует ежегодные экспедиции по изучению почвенного покрова Ростовской области. Особое внимание в это время он уделяет исследованию содержания микроэлементов в почвах, роли микроудобрений в повышении урожайности сельскохозяйственных растений.

В.В. Акимцев – автор 160 научных трудов, посвященных различным вопросам почвоведения. В частности, он исследовал поглотительную способность органической и минеральной части почвенных коллоидов, проводил сельскохозяйственное районирование и работал в области прикладного почвоведения (военное почвоведение, защита железных дорог от заносов, мелиорация почв, озеленение пустынных степей, изучение почвенного покрова для развития виноградарства, садоводства и хлопководства, составление агрохимических карт). Известны работы ученого по горному почвоведению и агрохимии.

Профессор Акимцев сформулировал закон вертикальной микроразнообразности почв. Среди его научных работ – «Почвы Ганджинского района», «Почвы Прикаспийской низменности Кавказа», «Микроэлементы и естественная радиоактивность почв», «Почвы и здоровье человека» и др.

Много лет Василько Васильевич изучал связи почвоведения и виноградарства, а также вопросы влияния почв, в частности, их химического состава на качество вин.

Профессор В.В. Акимцев одним из первых среди почвоведов заинтересовался связью, существующей между почвами и болезнями. Именно В.В. Акимцев обратил внимание на роль почв в распространении заболеваний, причем не только имеющих эндемическую природу, но и таких, как рак, некоторые инфекционные болезни. Здоровье человека в значительной степени определяется той средой, в которой он вынужден жить, и, как оказалось, почве в этом вопросе принадлежит немаловажная роль.

За выдающиеся успехи в области науки и подготовки кадров профессор Василько Васильевич Акимцев в 1961 г. был удостоен высшей правительственной награды – ордена Ленина.

С.Н. Горбов^{1,2}, С.С. Тагивердиев², Е.М. Романюта²

¹ Научно-технологический университет «Сириус»

² Южный федеральный университет

ОПТИМИЗАЦИЯ НОРМ ПОЛИВА ГАЗОННЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ*

В условиях изменяющегося климата все острее становится вопрос о создании устойчивой зеленой инфраструктуры в парково-рекреационных и селитебных зонах крупных городов. Высокий антропогенный трафик и трансформация почвенного покрова таких зон усиливают негативное воздействие на растения, в результате чего усиливается гибель зеленых насаждений, прежде всего газонных покрытий. Мелиоративные мероприятия, направленные на решение этой проблемы, связаны как с реплантацией почв, так и с обеспечением оптимальных агротехнических мероприятий самих газонных покрытий, в которых ключевое место занимает регулярный полив. Поливные нормы в городских условиях зависят как от общих факторов: климат, тип почвы, уровень грунтовых вод и количество осадков, потребности конкретного растения, так и от экологических требований, ограничивающих количество воды, которое можно использовать для полива, во избежание загрязнения сопредельных сред.

Исследование по оптимизации норм полива проводили на базе «Экспериментального стационара по изучению почвенных конструкций», созданного в Ботаническом саду ЮФУ. Объектами выступали конструкторы различного состава, сформированные на основе региональных материалов, наиболее часто применяемых при реплантации почв. В качестве основных компонентов выступали песок, гумусово-аккумулятивный горизонт чернозема, торф, лессовидный суглинок. Мощность корнеобитаемого слоя конструкторов составляла 20 см.

Стандартная поливная норма газонов согласно СП 31.13330.2021 составляет 4–12 л/м² в день. Такой высокий разброс обоснован универсальностью регламентирующего документа, применяемого во всех климатических зонах и на всех типах почв, встречающихся в России. Однако такой унифицированный подход не может быть отнесен к технологиям эффективного природопользования, особенно с учетом отсутствия поправок на сезонные потребности растений во влаге.

Чтобы оптимизировать нормы полива, с апреля по октябрь были проведены полевые испытания. В начале каждого месяца определяли «эффективность нормы полива», с этой целью в течение нескольких дней на указанных площадках поднимали норму полива с 4 л/м² до тех пор, пока у газона не исчезали признаки угнетенного состояния (пожелтение отдельных листовых пластинок, снижение тургора). Полученные результаты указывают, что различные по составу и строению конструкторы имеют схожие потребности в поливной влаге, зависящие в большей степени от месяца вегетации. Такой эффект сопряжен с наличием плотной дернины и высокого проективного покрытия изученных газонов, которые препятствуют испарению влаги поверхностью почвы, что в условиях ежедневного полива нивелирует влияние влагоудерживающих и фильтрационных свойств корнеобитаемого слоя отдельно взятых конструкторов. В целом наблюдается нарастание дневной нормы с 5 л/м² весной до 15 л/м² летом и обратное снижение в осенний период до 5 л/м². Полученные нормы близки к рекомендуемым, однако важное значение в изученных климатических условиях приобретает двукратный полив. Особенно это актуально для молодых газонов, не имеющих 100% проективного покрытия. Дело в том, что за 24 часа 20-сантиметровый слой с плотной дерниной, сформированной газонными злаками, в изученных климатических условиях, иссушается, что безусловно сказывается на качестве газона.

Показано, что корнеобитаемый слой конструктора, в состав которого входит верховой торф, не отличается высокой изначальной влажностью, а следовательно, имеет не самую высокую наименьшую полевую влагоемкость. Его влажность по отношению к другим конструкторам зачастую принимает средние показатели.

Самой низкой влажностью за все месяцы вегетации отличается корнеобитаемый слой конструктора, сложенный послойным расположением песка и гумусово-аккумулятивного горизонта чернозема. При этом потеря влаги за первые 5 часов после полива на данном конструкторе минимальная. Разница между влажностью первого и последнего замера составляет в разные месяцы от 5,2 до 19,3%.

Конструктором, который сформирован из гумусово-аккумулятивных горизонтов чернозема, характеризуется наибольшей влагоудерживающей способностью за весь исследованный период. Однако скорость его иссушения также одна из самых высоких. Разница между влажностью первого и последнего замера составляет в разные месяцы от 8,7 до 25,9%.

Таким образом показано, что поливные нормы не зависят от процентного содержания или соотношения основных компонентов, входящих в состав конструкторов, наиболее характерных для Ростовской агломерации. Исходя из практических данных получена схема полива: апрель – 5 л/м²; май – 10 л/м²; июнь – 15 л/м²; июль – 15 л/м²; август 15 л/м²; сентябрь – 10 л/м²; октябрь – 5 л/м². С обязательным дроблением нормы полива на 2 части (утреннюю и вечернюю) в целях предотвращения пересыхания корнеобитаемого слоя. Наиболее благоприятными условиями с точки зрения гидрофизических свойств обладает конструктор, в состав которого входит песок среднезернистый и гумусово-аккумулятивные массы чернозема обыкновенного в равной пропорции.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023-0008.

Н.С. Горбунова, А.И. Громовик

Воронежский государственный университет

МИГРАЦИЯ ^{137}Cs В ЭРОЗИОННО-СКЛОНОВОЙ КАТЕНЕ ХОХОЛЬСКОГО РАЙОНА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящее время отмечается образование территорий с повышенным радиационным фоном, что связано с авариями на атомных электростанциях, испытанием ядерного оружия, нарушениями правил эксплуатации на предприятиях, правил хранения и транспортировки радиоактивных отходов, применением радиоактивных источников в медицине и промышленности. ^{137}Cs – один из долгоживущих техногенных радионуклидов, который значительно распространился по территории России после ядерных испытаний и аварий на АЭС. После аварии на ЧАЭС в 1986 г. на территории Воронежской области после оценки радиологических показателей в 8 из 32 муниципальных районах выявили радиоактивное загрязнение ^{137}Cs . Со временем происходит перераспределение ^{137}Cs как радиально, так и латерально. Данное исследование рассматривает эрозионно-склоновую катену, миграционный поток веществ в которой заключается в одностороннем переносе ^{137}Cs под действием гравитационных сил с эрозионными процессами, которые зависят от геоморфологических факторов.

Объектами исследования являются почвы ООО «ВОСХОД» Хохольского района Воронежской области, сформированные на лессовидных карбонатных суглинках. Отбор проб проводился в следующих точках: водораздел (чернозем типичный среднесуглинистый, $\text{Ч}_{4\text{т}}^{\text{III}}$) и склон юго-западной экспозиции: верхняя часть склона (чернозем типичный малогумусный слабосмытый тяжелосуглинистый, $\text{Ч}_{3\text{т}}^{\text{I}}$), средняя часть склона (чернозем типичный малогумусный среднесмытый тяжелосуглинистый, $\text{Ч}_{3\text{т}}^{\text{II}}$), нижняя часть склона (чернозем типичный среднесуглинистый слабосмытый, $\text{Ч}_{4\text{т}}^{\text{I}}$). Определение удельной активности ^{137}Cs проводилось посредством обнаружения источников внешних гамма-излучений, методом гамма-спектрометрического анализа с использованием лабораторного низкофонового гамма-спектрометрического комплекса с германиево-литиевым детектором.

Результаты исследований химических и физико-химических свойств почв демонстрируют изменения в содержании гумуса черноземов типичных. Отмечается деградация почв вследствие смыва плодородного слоя. Также с водными потоками происходит вымывание обменных катионов кальция и магния из почвенно-поглощающего комплекса. Карбонаты почвенного раствора постепенно поднимаются к дневной поверхности. На фоне эродированных почв в опыте также рассмотрен чернозем типичный слабосмытый, который диагностировался в полевых условиях по мощности гумусового горизонта: на водораздельном участке А+АВ составил 60 см, а в нижней части склона – 75 см (тогда как верхняя – 50 см, средняя – 35 см). Явное отличие от смываемых вследствие эрозии черноземов типичных состоит в нанесе гумуса: значения практически идентичны водораздельному участку и достигают 6,0%. Та же тенденция наблюдается и по показателям обменных ионов, что отражает перенос почвенной массы с вышележащего пространства с последующим накоплением в нижней части склона. Миграция веществ при этом была отмечена как латеральная, так и радиальная от земной поверхности в глубь почвенного профиля.

Удельная активность ^{137}Cs в слое (0–30 см) в исследованных почвах изменяется в диапазоне 13,8–57,4 Бк/кг. Основные запасы ^{137}Cs ($83 \pm 17\%$) сосредоточены в верхней толще 0–20 см. Радиальное распределение удельной активности ^{137}Cs в профилях черноземов типичных имеет регрессивно-аккумулятивный характер. Показатель удельной активности в черноземе типичном на водораздельном участке зафиксирован только в слое 0–10 см и составил 13,9 Бк/кг, глубже значения были меньше пределов обнаружения. В то же время в слабосмытом аналоге чернозема типичного в верхней части склона присутствие ^{137}Cs отмечается до глубины 0–20 см, в слое 0–10 см удельная активность выше и составила 32,9 Бк/кг, а в 10–20 см – 13,8 Бк/кг. Чернозем типичный среднесмытый в средней части склона обладает уже более высокими значениями удельной активности ^{137}Cs и на большей глубине: 0–10 см – 51,0 Бк/кг, 10–20 см – 28,3 Бк/кг, 20–30 см – 17,6 Бк/кг. В начале аккумулятивной зоны у подножья склона чернозем типичный слабосмытый характеризуется показателями удельной активности ^{137}Cs до глубины 40 см: 0–10 см – 57,4 Бк/кг, 10–20 см – 46,4 Бк/кг, 20–30 см – 36,1 Бк/кг, 30–40 см – 19,8 Бк/кг. Такие данные свидетельствуют о присутствии как радиальной, так и латеральной миграции по склону. Перенос ^{137}Cs может происходить как с процессами диффузии и сорбции радионуклида в твердой и жидкой фазе с их последующей миграцией, так и с инфильтрационным стоком. Можно также сделать предположение о наличии геохимического барьера: ^{137}Cs удерживается в пределах гумусового горизонта. Это связано с высоким содержанием мелкодисперсных фракций и органических веществ, которые повышают сорбционную способность почв. Щелочная реакция среды также может быть отнесена к радиальному геохимическому барьеру, снижающему миграционную активность элемента, по-

скольку при значениях слабощелочной реакции (7,5–8,5 ед.) мы можем наблюдать, что ^{137}Cs глубже данной отметки не проникает.

Таким образом, эрозионные процессы на склоне юго-западной экспозиции приводят к миграции радиоактивного ^{137}Cs , которая протекает сразу в двух направлениях одновременно: радиальная миграция вглубь профиля, до карбонатного геохимического барьера, и латеральный перенос вдоль склона со смываемой почвенной массой, с последующей аккумуляцией у подножья склона. Радиационный фон по ^{137}Cs в Хохольском районе Воронежской области можно считать благоприятным, поскольку показатели удельной активности находятся в пределах низкого уровня загрязнения. При этом необходимо постоянное проведение мониторинга почвенного покрова на содержание радиоактивного ^{137}Cs .

А.В. Горобец, С.Ф. Краснов, О.Г. Бушуева

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СМЫВА МОДЕЛЬНЫХ ПОЧВ*

В общем случае интенсивность смыва оценивается массой смытой почвы с единицы площади в единицу времени – размерность $\text{г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Однако в настоящее время более распространен подход, согласно которому для определения темпов эрозии требуется и характеристика активного фактора – гидравлических параметров потока или интенсивности ливня.

Ранее в экспериментальных исследованиях по размыву монофракционных образцов чернозема неоднократно отмечалась неравномерность размыва образца в течение опыта, и предпринимались методические попытки по снижению вариабельности величин интенсивности размыва. Особое внимание уделялось процессу подготовки образцов из предварительно увлажненных навесок почвенных агрегатов и стандартизации условий проведения экспериментов.

Целью данных исследований было совершенствование методики приготовления модельных образцов из пахотных горизонтов различных типов почв и экспериментальное определение интенсивности смыва в широком диапазоне скоростей водного потока с последующей оценкой их эродированности.

В работе использовали монофракционные образцы из пахотных горизонтов агродерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (Московская область, Солнечногорский район), агросерой среднесуглинистой почвы (Тульская область, Щекинский район) и агрочернозема глинисто-иллювиального легкого глинистого (Тульская область, Воловский район). Для проведения экспериментов использовали фракции почвенных агрегатов размером 1–2 мм, полученные из воздушно-сухих почв методом сухого просеивания.

Модельные образцы почв с заданной плотностью готовили по методикам, подробно изложенным в работе. Навески почв рассчитывали исходя из объема образцов ($5,78 \text{ см}^3$) и их заданной плотности. Плотность образцов агрочернозема задавали равной $1,3 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$, а агросерой и агродерново-подзолистой почв – $1,4 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$, для увеличения времени их смыва и повышения точности опытов.

Размыв модельных образцов почв осуществляли в гидродинамической трубе квадратного сечения ($25\times 25 \text{ мм}$) и длиной рабочей части – 860 мм, оснащенной измерительным устройством «Посейдон», позволявшим оценить вариабельность интенсивности смыва в течение эксперимента, связанную с методикой формирования образцов. Опыты проводили до полного размыва образцов, при 5–6-кратной повторности.

В первой серии экспериментов определяли оптимальную влажность для каждой модельной почвы, при которой интенсивность смыва была минимальной. Было установлено, что для агродерново-подзолистой и агросерой почв она составила 22% от массы воздушно-сухой почвы, для агрочернозема – 24%. Во второй серии экспериментов определяли интенсивность смыва почв в диапазоне скоростей потока в трубе $0,5\text{--}2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (с шагом $0,25\text{--}0,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) при их оптимальной влажности.

Поскольку наши попытки по снижению вариабельности получаемых экспериментальных данных при размыве образцов, приготовленных традиционным способом (путем вертикальной загрузки), не привели к положительному эффекту, был предложен новый способ подготовки, заключающийся в смене направления загрузки с вертикального на горизонтальное.

Проведенные эксперименты при новом способе подготовки образцов показали значительное уменьшение вариабельности получаемых данных, что объясняется перпендикулярным по отношению к потоку расположением слоев образца, возникающих при его формировании.

В экспериментах по оценке интенсивности смыва применен новый способ формирования модельных образцов с горизонтальной загрузкой кассет почвенными агрегатами, который позволил получить более равномерное сопротивление образцов в процессе их размыва водным потоком, по сравнению с традиционным (вертикальным) методом.

В результате проведенных исследований изучена интенсивность смыва монофракционных образцов из пахотных горизонтов агродерново-подзолистой, агросерой почв и агрочернозема в широком диапазоне скоростей водного потока. Полученные экспериментальные данные по интенсивности смыва почв подтвердили ее зависимость от куба скорости водного потока при постоянном коэффициенте эродированности.

Применение нового способа формирования модельных образцов и использование измерительного устройства «Посейдон» в экспериментальных исследованиях по размыву почв в широком диапазоне скоростей водного потока существенно повысили качество получаемых данных и значительно упростили их обработку.

Таким образом, предложенные методические подходы могут использоваться в дальнейших экспериментальных исследованиях для оценки эродированности монолитов почв и грунтов и модельных образцов с полифракционным составом, близким к естественному.

* Работа выполнена по плану НИР в рамках темы по госзаданию (№ 121051100166-4) НИЛ эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

О.Н. Горобцова

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, г. Нальчик

МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПАХОТНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА (ЗА ПЕРИОД 2012–2022 гг.)

Черноземные почвы Центрального Кавказа составляют ценнейший хозяйственный ресурс региона и практически полностью распаханы. Различные подтипы черноземов занимают значительную часть (42,3%, или 221,7 тыс. га) равнинно-предгорной территории Кабардино-Балкарии и составляют около 75% пахотных угодий Республики, где выращиваются различные сельскохозяйственные культуры (в основном кукуруза и подсолнечник, плодовые насаждения). Мониторинг гумусовых показателей осуществляется сотрудниками лаборатории почвенно-экологических исследований ИЭГТ им. А.К. Темботова РАН с 2012 г. Полученные данные позволяют определять характер и степень изменения состояния пахотных черноземов, а также прогнозировать возможные негативные процессы, приводящие к снижению почвенного плодородия.

Полевые исследования, определение местоположения мониторинговых площадок (МП) и первичный отбор почвенных образцов начали в 2012 г. МП (размером 50×50 м) закладывали как на территории естественных биогеоценозов (для определения параметров, характеризующих свойства различных подтипов черноземов в условиях отсутствия антропогенного воздействия), так и в агроценозах (непосредственно на полях, преимущественно под посевами кукурузы в стадии формирования початка). В период первичного обследования (2012 г.) была заложена сеть МП, из которых 50 МП расположены в естественных биогеоценозах, 83 МП – в агроценозах. В 2022 г. на заложенных ранее МП произвели повторный отбор образцов, отобрали и проанализировали 15 почвенных образцов, характеризующих пахотные почвы (по 5 образцов для каждого подтипа чернозема).

Анализ данных, полученных в 2012 г., позволил сравнить гумусовые показатели верхних горизонтов (0–20 см) естественных и агрогенных черноземов исследуемых территорий. Установлено, что обрабатываемые черноземы всех рассматриваемых подтипов следует отнести к почвам с низким содержанием гумуса (усредненные показатели колеблются в пределах $3,7 \pm 0,1\%$ – $4,1 \pm 0,2\%$), в то время как их естественные аналоги являются среднегумусными ($5,3 \pm 0,2\%$ – $6,5 \pm 0,2\%$).

В результате сельскохозяйственного воздействия к 2012 г. произошло снижение содержания гумуса и его запасов в пахотных горизонтах (0–20 см) черноземных почв на 20–34%. Литературные данные свидетельствуют, что наиболее значимые изменения гумусного состояния происходят в первые 45–50 лет пахотной обработки. При более длительном агроиспользовании снижается лабильность и возрастает устойчивость сохранившегося гумуса, а его запас стабилизируется на относительно постоянном уровне в течение длительного времени. Гумусовое состояние приобретает некоторую устойчивость (при условии поддержания определенной системы земледелия), но на ином уровне, в соответствии с новым режимом круговорота веществ и энергии, характерным для агроценозов.

Данные, полученные в 2022 г., подтверждают, что процесс потери органического вещества в старопашотных почвах замедляется и стабилизируется на более низком уровне и для обрабатываемых черноземов Центрального Кавказа (табл. 1). Наблюдаются даже благоприятные тенденции к возрастанию содержания гумуса в пахотных горизонтах черноземов выщелоченных и статистически значимое увеличение этого показателя в черноземах обыкновенных ($t > 3,6$; $P < 0,007$). Полученные данные позволяют отнести все исследуемые почвы к категории среднегумусных.

Запасы гумуса в пахотных горизонтах (0–20 см) черноземов типичных по данным 2022 г. значимо снижаются, по сравнению с 2012 г. ($t > 3,8$; $P < 0,005$). Вероятно, причиной является не дегумификация (т.к. содержание гумуса изменилось незначительно), а существенное уменьшение значений плотности пахотных горизонтов, зафиксированное в 2022 г. В пахотных горизонтах черноземов обыкновенных и выщелоченных даже проявляется тенденция к накоплению запасов гумуса ($t < 2,0$; $P > 0,08$), несмотря на более низкие показатели плотности почвы.

Таблица 1. Средние значения изученных показателей пахотных горизонтов (0–20 см) черноземов равнинных территорий Центрального Кавказа (за период 2012–2022 гг.)

Запас гумуса (0–20 см), т/га	Содержание гумуса, %	Плотность почвы, г/см	pH(H ₂ O)	Почвы
<u>108±8</u> 131±8	<u>3,85±0,39</u> 5,94±0,42	<u>1,43±0,07</u> 1,11±0,01	<u>8,06±0,27</u> 8,09±0,03	Чернозем обыкновенный
<u>147±4</u> 113±8	<u>5,27±0,29</u> 5,00±0,35	<u>1,40±0,03</u> 1,13±0,04	<u>7,93±0,18</u> 7,42±0,29	Чернозем типичный
<u>99±8</u> 110±6	<u>3,50±0,21</u> 4,48±0,25	<u>1,41±0,05</u> 1,23±0,02	<u>7,38±0,34</u> 7,16±0,36	Чернозем выщелоченный

Примечание: над чертой показатели 2012 г., под чертой – 2022 г.

Представленные данные указывают на необходимость продолжения мониторинговых исследований динамики гумусовых показателей в обрабатываемых черноземах Центрального Кавказа и определения тенденций происходящих в них процессов.

И.И. Григорьев, И.И. Рысин, В.В. Конев

Удмуртский государственный университет

ДИНАМИКА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В УДМУРТИИ ПО КОСМОСНИМКАМ LANDSAT И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ*

Динамика изменения соотношения пахотных и зарастающих земель является одним из ведущих факторов, влияющих на активность эрозионных процессов. В настоящее время в многочисленных работах подробно рассмотрены возможные причины изменения площадей пахотных земель в динамике землепользования в постсоветский период. Официальные статистические данные обычно привязаны к административным единицам, что не позволяет оценить пространственные изменения землепользования. Кроме того, количественные данные часто сильно отличаются в разных источниках. Материалы дистанционного зондирования, а именно разновременные космические снимки, являются важным источником для оценки динамики землепользования, наиболее популярными из них являются снимки, выполненные со спутников Landsat. Разрешения данных снимков (30 м на пиксель) вполне достаточно для решения наших задач. Съемка проводится в нескольких каналах с подходящей периодичностью и сплошным охватом территории.

В настоящее время стоит задача актуализации количественных данных по изменению структуры землепользования во временном разрезе в течение последних 30–40 лет. В последние 10–15 лет наблюдается общая тенденция затухания процессов оврагообразования, что объясняется изменением климатических условий и резким возрастанием необрабатываемых пахотных площадей в 1990-х гг. Основной целью данного исследования является оценка влияния динамики землепользования на интенсивность овражной эрозии на территории Удмуртии. В ходе исследования решались следующие задачи: 1) автоматическое дешифрирование выбранных участков с выделением нескольких категорий землепользования; 2) оценка достоверности дешифрирования; 3) сравнение и анализ выявленной структуры землепользования с густотой и плотностью овражной эрозии для двух временных срезов – конец 80-х гг. и период 2016–2017 гг. Созданная картографическая основа может быть использована для комплексной оценки природных и антропогенных факторов, влияющих на развитие различных эрозионных процессов.

Выбор участков осуществлялся для максимального учета различных ландшафтно-климатических условий территории Удмуртии. Нами подготовлены космические снимки Landsat на 3 участка в северной, центральной и южной части Удмуртии, ориентировочной площадью 2250 км², 4600 км² и 2300 км² соответственно. Для каждого участка подобраны снимки на 4 временных периода: 1989 г., 1999 г., 2013 г. и 2023 г. На каждый рассматриваемый период используются весенне-летние снимки. Снимки на 1989 и 1999 г. выполнены спутником Landsat 5, а на 2013 и 2023 гг. – спутником Landsat 8. Снимки Landsat 5 синтезированы в сочетании 5, 4, 3 каналы, Landsat 8 – 6, 5, 4.

Классификация выполнялась с помощью плагина Semi-Automatic Classification в программе QGIS. Использовались 6 диапазонов: Red, Green, Blue, ближний ИК, коротковолновый ИК-1 и ИК-2. Для качественной классификации набирается библиотека классов и их цифровых обозначений. Нами выделялись следующие классы земельных угодий: 1) пашня обрабатываемая; 2) пашня не обрабатываемая (зарастающая мелколесьем); 3) пашня, используемая под многолетние кормовые культуры (не распахивается от 6–8 лет и более); 4) пастбища и луга (сенокосные угодья); 5) лесные земли (залесенные площади, включая болота); 6) застроенные территории (включая селитебные, дорожную сеть, участки под нефтедобычей); 7) водоемы (пруды, озера, водохранилища и речная сеть). При выделении некоторых классов возникали некоторые сложности, требующие добавления дополнительных эталонов. Например, границы между зарастающей пашней, угодьями с многолетними травами и сенокосами. Контроль при выделении различных классов осуществлялся по снимкам высокого разрешения IKONOS, WorldView-2, Quickbird и др., представленным в программах Google Earth и Sasplanet. Кроме того, осуществлялся выборочный полевой контроль некоторых классов – пахотных угодий, заброшенных угодий с кустарниковой растительностью и др.

Далее создается векторный слой с контурами выделенных угодий и экспортируется в формат MapInfo *.tab. Наложением разновременных слоев друг на друга в программе MapInfo получаем участки уменьшения и увеличения площадей угодий. Добавление векторных слоев густоты и плотности овражной эрозии позволяет проанализировать их зависимость от процентного соотношения различных видов земельных угодий, в первую очередь пашни, внутри элементарного речного бассейна.

Использование механизмов автоматического дешифрирования способно увеличить скорость и точность подсчета площадей земельных угодий. Используемая методика позволяет получить качественный и достоверный результат в исследованиях влияния структуры землепользования, особенно пахотных угодий, на территории Удмуртии на темпы развития овражной эрозии.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-27-20003).

А.И. Громовик, Н.С. Горбунова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

ИЗМЕНЕНИЕ ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ПРИ РАЗВИТИИ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Влияние развития эрозии на гумусовое состояние и физические свойства черноземов исследовалось на территории землепользования ФГУП им. А.Л. Мазлумова (Рамонский район Воронежской обл.), где были заложены почвенные разрезы на катене, представляющей собой водораздельный участок, переходящий в слабопологий склон юго-западной экспозиции длиной около 1500 м и крутизной 5°. Почвенные разрезы закладывались на сопряженных элементах рельефа. В качестве объектов исследований послужили черноземы выщелоченные мало- и слабогумусированные среднесуглинистые разной степени эродированности. В качестве почвообразующих пород выступают покровные карбонатные суглинки, подстилаемые древне-аллювиальными отложениями.

Черноземы выщелоченные смытые отличаются неблагоприятными морфологическими признаками по отношению к не смытым разновидностям, что отражается в укорачивании гумусовой толщи до 40 см. В смытых разновидностях отмечается подтягивание к поверхности карбонатных горизонтов и ухудшение структурно-агрегатного состояния. В пахотном горизонте имеются глыбистые отдельности, и он обогащен пылевой фракцией, а горизонт А характеризуется зернисто-комковатой структурой.

Развитие эрозии способствовало снижению гумусированности почв на 13 и 30% в слабо- и среднесмытых разновидностях соответственно. Почвы имеют среднесуглинистый гранулометрический состав с преобладанием фракции среднего песка (ЭПЧ 1-0,25 мм). Выход илистых частиц при микроагрегатном анализе, а значит, и лучшая микроструктура, и структура в целом отмечаются у почв, расположенных на водоразделе. В них фактор дисперсности составляет 28%. В эродированных черноземах, особенно среднесмытых, выход илистой фракции при микроагрегатном анализе заметно возрастает до 42–48%, то есть микроструктура и структура этих почв менее прочная.

Развитие эрозионных процессов на черноземах выщелоченных сопровождается деградацией их структурно-агрегатного состояния. Наиболее весомый вклад в содержание $C_{орг}$ вносят мезоагрегаты размером 5–1 мм, которые активно утрачиваются при развитии эрозии. От степени смытости зависит потенциальная возможность черноземов к оструктуриванию. Микрооструктурность смытых в разной степени почв ухудшается от слабосмытых к сильносмытым разновидностям, где фактор дисперсности в пахотном горизонте увеличивается практически в два раза по сравнению с несмытыми черноземами. По мере усиления степени смытости черноземов происходит снижение количества агрономически ценных мезоагрегатов на 29–61%, что соответственно приводит к уменьшению коэффициента структурности до 0,27–0,63. Ухудшается водостойчивость почвенных агрегатов и критерий их водопрочности. От обогащенности почв ЛГВ зависит $K_{стр.}$ и АФИ. На фоне снижения содержания $C_{орг.}$ и низкой обогащенности структурно-агрегатных фракций ЛГВ в эродированных черноземах отмечается утрата водопрочной структуры и в целом ухудшение показателей структурно-агрегатного состояния. Следовательно, ЛГВ осуществляет весомый вклад в формирование водопрочной структуры черноземов.

Е.В. Даденко^{1,2}, А.М. Грищенко¹, С.Н. Горбов^{1,2},
 С.С. Тагивердиев^{1,2}, П.Н. Скрипников^{1,2}

¹Южный федеральный университет

²Научно-технологический университет «Сириус»

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКТОЗЕМОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ

Почвенные конструкции, созданные на основе органо-минеральных смесей, широко используются для целей озеленения. Эффективность внедрения таких конструкций зависит от их способности поддерживать биогеохимические циклы на уровне природных почв, что, в свою очередь, обусловлено активностью почвенных ферментов. Ферментативная активность отражает состояние микробного сообщества и интенсивность протекания биохимических процессов и может стать показателем, отражающим функционирование почвенных конструкций.

Целью исследования являлось изучение особенностей активности каталазы конструкторземов разного состава, созданных на базе «Экспериментального стационара по изучению почвенных конструкций» в Ботаническом саду ЮФУ. Изучено пять вариантов конструкций через два и четыре года после начала функционирования стационара.

Конструкция 1 – торф, песок, техногенный грунт. Конструкция 2 – сформирована смесью гумусово-аккумулятивного горизонта чернозема + песок в равных долях. Конструкция 3 – послойное расположение гумусово-аккумулятивного горизонта чернозема на песке. Конструкция 4 – послойное расположение песка на гумусово-аккумулятивном горизонте (К4н). Конструкция 5 – гумусово-аккумулятивный горизонт чернозема.

В качестве фона выступала территория центральной части экспозиции «Приазовская степь», расположенная в Ботаническом саду ЮФУ на черноземе миграционно-сегрегационном.

Каталазы — это внутриклеточные ферменты, антиоксидантной защиты от окислительного стресса, отражающие метаболическое состояние почвенной биоты. Фермент предложен в качестве меры оценки аэробной микробной активности. Каталаза играет важную роль в процессах синтеза и превращения, определяет направленность преобразования поступающих в почву органических веществ.

Фоновая почва является лидером по уровню активности каталазы и достоверно отличается от конструкций по данному показателю ($p < 0.05$) (рис. 1). Высокая активность отмечена также для конструкций 5 и 3, представленных гумусово-аккумулятивным горизонтом на поверхности. Такой уровень активности фермента достигнут ко второму году функционирования этих конструкций и к 2024 г. достоверно не изменился. В послойной конструкции 4 отмечено снижение активности каталазы к четвертому году в гумусово-аккумулятивном горизонте. Перекрытие горизонта слоем песка создает специфическое сочетание температуры,

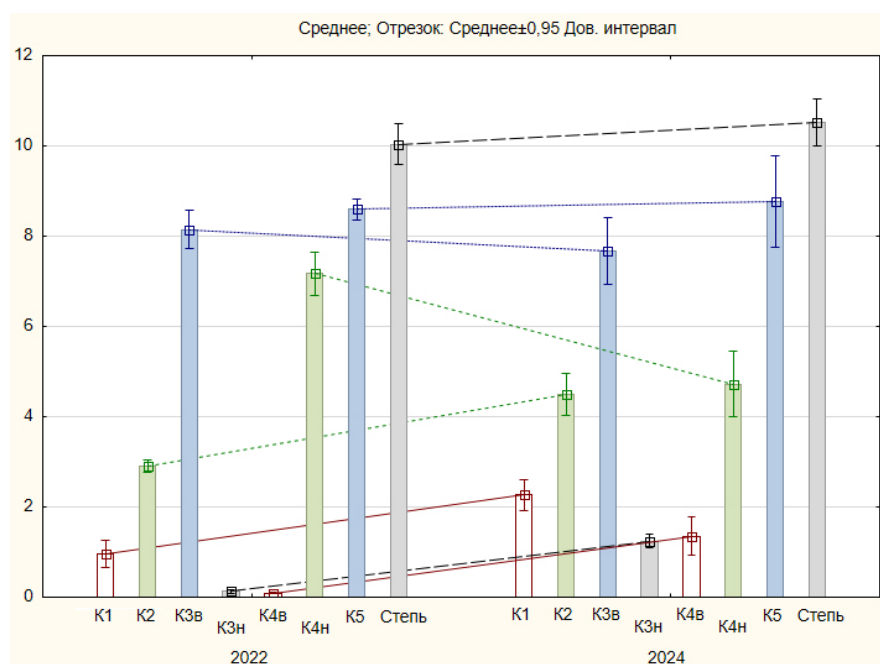


Рис. 1. Динамика активности каталазы в почвенных конструкциях различного состава

влажности и степени аэрации, что может ограничивать активность фермента. Для поверхностного песчаного слоя отмечен рост активности фермента к 2024 г., что вероятно связано с накоплением органического вещества и повышением микробиологической активности. Пониженные значения активности фермента отмечены в конструкциях 2 и 1. Для этих конструкций отмечен рост активности за исследуемый период, что свидетельствует об их активной биологической трансформации и интенсификации биохимических процессов в системе.

Уровень активности каталазы зависит от содержания органического углерода в почве. При рассмотрении конструкций, содержащих гумусово-аккумулятивные горизонты в своем составе, показана тесная корреляционная связь между содержанием органического углерода и активностью фермента. Для конструкции, созданной на основе торфа, песка и суглинка, несмотря на высокое содержание органического углерода, активность фермента очень низкая. Низкая активность каталазы является отличительной особенностью большинства торфов.

Анализ активности каталазы и расчет критерия Манна-Уитни позволили ранжировать конструкции по возрастанию их активности. Знак «<» означает наличие достоверных различий, «≤» достоверность различий не выявлена: Катализа: $K1 < K2 \leq K4 < K3 \leq K5 < \text{степь}$

Высокая активность каталазы свидетельствует о благоприятном метаболическом состоянии микробиоты и потенциале таких конструкций к поддержанию высокой интенсивности биохимических процессов.

Р.З. Дибирова, И.Р. Гаджиев

Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, г. Махачкала

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПОЧВ ВЫСОКОГОРНОЙ ЧАСТИ ДАГЕСТАНА НА ПРИМЕРЕ ОКРЕСТНОСТЕЙ С. ЦОВКРА-2

Горная зона занимает 1,95 млн га, или 39,9% общей площади Дагестана и охватывает территорию с высотными отметками более 1000 м над уровнем моря. Данные о почвенном покрове горного Дагестана отличаются разрозненностью.

Исследования проводились в с. Цовкра-2 Кулинского района Республики Дагестан. Село расположено в высокогорной части Дагестана на высотных отметках более 2000 м. Для района характерен суровый климат с холодной и продолжительной зимой (минимальные значения до -8°C) и коротким летом (с максимальными значениями до $+20^{\circ}\text{C}$). Рельеф местности в основном гористый, с небольшими равнинами. Растительность рассматриваемого района изменяется от высокогорной петрофильной (каменистой), альпийских и субальпийских лугов до степной растительности мелколиственных лесов. Животный мир района весьма разнообразен. Здесь водятся дагестанский тур, серна, черный гриф, представители отряда чешуекрылых, жесткокрылых, степная гадюка, кавказская кощачья змея и т.д. Гидрографическая сеть представлена р. Кунних с ее многочисленными левыми и правыми мелкими притоками, а также мелкими озерами. Почвообразующими породами являются преимущественно делювиальные отложения известняков и сланцев. В качестве основных почв выделены: горно-луговая субальпийская, горно-луговая альпийская и бурая лесная. Горно-луговые альпийские почвы занимают более теплые и менее увлажненные позиции под мелко травной луговой растительностью с участием злаков. Почвы характеризуются щебнистостью, в основном мелко- и среднесуглинистым механическим составом, высоким содержанием органического вещества, кислой реакцией с уменьшением значения pH с глубиной, замедленностью процессов внутрипочвенного выветривания, выщелоченностью профиля, отсутствием признаков оподзоленности. В результате проведенных исследований на предмет влияния экспозиционной направленности и высотной поясности на физико-химические свойства почвенного покрова описана и дана предварительная классификация.

Согласно разработанной методике, заложены ключевые площадки, проведены почвенно-геоботанические обследования. Установлены морфологические различия почв в зависимости от экспозиционной направленности и высотной поясности по основным признакам генетических горизонтов: мощность, окраска, структура, сложение, новообразования и включения, гранулометрический состав. Установлено, что с изменением высоты положения почвенного покрова уменьшается мощность почвенных горизонтов и цвет гумусового горизонта отличает более темная окраска вышерасположенных почв. В зависимости от экспозиционной направленности наибольшие отличия характерны для склонов южной экспозиции, которые отличает минимальная мощность генетических горизонтов и наибольшая плотность сложения.

Физико-химические свойства почв высокогорных территорий выполнялись по общепринятым методам ГОСТ.

Описания морфологических признаков и лабораторные исследования позволили установить различия между почвенными профилями в зависимости от высотной поясности и экспозиционной направленности.

Высокое содержание гумуса наблюдается на всех экспозициях в верхних горизонтах и снижается с глубиной. Равномерное снижение содержания гумуса и других элементов по профилю наблюдается на всех заложенных разрезах. Следует отметить снижение содержания гумуса с повышением высотных отметок на склонах южной экспозиции – 10,42–8,99% и обратную закономерность на северной – 14,43–18,78%.

Содержание нитратного азота высокое в каждом разрезе по всей глубине: 27,49–88,58. Содержание аммонийного азота в основном очень низкое и находится в диапазоне значений: 1,8–36,2. Содержание фосфора высокое: 28,0–168,7. Наибольшее содержание калия в почвах восточной экспозиции: 76,5–515,3. pH южной экспозиции нейтральный (7,01). А на всех других экспозициях кислые почвы: 5,28–5,57.

С агропроизводственной точки зрения наиболее ценны структурные отдельности почвы размером от 1 до 5 мм. Чем больше в почве структурных отдельностей указанного размера, тем лучше. Хорошо структурные почвы содержат агрегаты размером от 1 до 5 мм более 80%, средне структурные – от 30 до 80% и плохо структурные – менее 30%. В результате подсчета средней водопрочности агрегатов от 1 до 5 мм установлена средняя водопрочность агрономически ценных агрегатов верхних гумусовых горизонтов; для почв южной экспозиции значение суммы агрегатов составило – 42,34%, а для северной экспозиции – 53,77%. Гумусовый горизонт и горизонт, расположенный ближе к материнской породе, имеют наименьшее процентное содержание водопрочных агрегатов, чем средние горизонты. Почвы северной экспозиции имеют больше водопрочных агрегатов, чем южная и, следовательно, меньше склонны к деградации. Данные почвы можно отнести к средне-структурным.

С изменением высоты положения почвенного покрова уменьшается мощность почвенных горизонтов и цвет гумусового горизонта отличает более темная окраска вышерасположенных почв.

Влияние экспозиционной направленности характерно для склонов южной экспозиции, которые отличает – минимальная мощность генетических горизонтов и наибольшая плотность сложения.

Т.С. Дудникова, Т.М. Минкина, С.Н. Сушкова, Е.М. Антоненко, Е.Г. Шuvaев,
А.А. Немцева

Южный федеральный университет

СОДЕРЖАНИЕ ПАУ В РЕЧНЫХ НАНОСАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ ЛЕНЫ*

Крупные реки собирают с огромной площади водосбора растворенные вещества и взвешенные частицы и транспортируют их вниз по течению в устье реки. Возможный дополнительный сброс химических веществ из антропогенных источников или вынос элементов из ландшафтов увеличивает антропогенную нагрузку на экосистемы реки и ее притоков, что может стать причиной не только ухудшения качества воды, но и нарушения экологического состояния элементов речных систем. В аквальных ландшафтах основными депонирующими элементами, влияющими на интенсивность массопереноса загрязняющих веществ, являются донные отложения и речные наносы. Близкое расположение объектов промышленности и крупных населенных пунктов к прибрежным территориям рек способствует поступлению опасных химических поллютантов в природные воды с их последующей аккумуляцией в депонирующих средах аквальных экосистем. Среди них одними из наиболее опасных поллютантов являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – группа опасных канцерогенов, структура которых состоит из двух или более сконденсированных бензольных колец, входящих в список приоритетных поллютантов. В связи с этим цель работы состояла в определении содержания ПАУ в речных наносах и донных отложениях р. Лены.

Лабораторная обработка проб воды проводилась сразу же после отбора. Для выделения взвешенных (речных) наносов диаметром использовались фильтровальные установки Millipore, а также мембранные фильтры с размером 0.45 мкм. В исследовании определено содержание 12 представителей приоритетных ПАУ, включая нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, бенз(б)флуорантен, бенз(к)флуорантен, бенз(а)пирен, дибенз(а, h)антрацен и бенз(г, h, i)перилен в пробах донных отложений и взвешенных наносов. Результаты определения ПАУ суммированы. Извлечение ПАУ из образцов выполнено гексаном, количественный анализ поллютантов произведен методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1260 Infinity с флуориметрическим детектором.

Установлено, что суммарное содержание 12 приоритетных ПАУ в донных отложениях характеризуется относительно низкой для природных объектов вариацией с минимальным значением 169 нг/г и максимальным – 407 нг/г, при среднем значении – 234 нг/г, медиане – 219 нг/г и коэффициенте вариации 25%. Вариативность и суммарное содержание ПАУ в речных наносах выше, чем в донных отложениях, варьирует в диапазоне 302–3542 нг/г со средним и медианным значением 1126 нг/г и 1002 нг/г соответственно. Содержание поллютантов увеличивается по ходу течения р. Лены. Наибольший уровень содержания поллютантов отмечен в устьевой области, что связано с замедлением течения реки и скорости процессов трансформации.

Таким образом, содержание 12 приоритетных ПАУ в донных отложениях р. Лены в 1,8–8,7 раза выше, чем в речных наносах. Накопление поллютантов увеличивается по ходу течения реки от г. Якутска к дельте р. Лены.

* Результаты получены при финансовой поддержке проекта Правительства Российской Федерации, реализуемого в рамках Соглашения № 075-15-2025-008 от 27.02.2025.

Е.И. Ергина¹, М.Л. Новицкий², Е.А. Артемова¹

¹Крымский федеральный университет, Институт «Таврическая академия»

²Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

ПОСТИРРИГАЦИОННЫЕ ПОЧВЫ РАВНИННОГО КРЫМА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОЦЕНКА*

Длительное орошение водами Северо-Крымского канала привело к процессам перестройки внутри-почвенных зонально обусловленных процессов. Развитие рисоводства с интенсивным водопотреблением и сброс избытка поливных вод из дренажных коллекторов в залив Сиваш, соленые озера и заливы морей привели к рассолению почв и нарушению геохимического баланса прилегающих территорий. После прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу на территории Равнинного Крыма в настоящее время, по сути, происходит антропогенно и природно обусловленный эксперимент эволюции почв. Для исследований современного состояния почв, ранее орошавшихся, а ныне находящихся в богарном режиме, заложены ключевые участки на территории Джанкойского (Присивашье) и Симферопольского района (центральной части предгорного Крыма). В ходе экспедиционных работ были заложены трансекты, включающие ключевые участки с различными видами использования почв: ранее орошаемый, ныне находящийся в богарном режиме – постирригационный участок, ранее не орошаемый богарный (суходольный), и залежный участок, который являлся эталоном сравнения для изучения динамики свойств почв. На территории Присивашья исследовали почвы и в пределах бывшего рисового чека, ныне находящегося в постирригационном режиме. В итоге получены следующие результаты.

В Присивашье разрезы представлены в контурах зональных лугово-каштановых солонцеватых, глубоко солонцеватых почв на желто-бурых суглинках. По гранулометрическому составу почва тяжелая и представлена легкой глиной с преобладанием илистой фракции. В постирригационных почвах наблюдается увеличение дефляционно-опасной пыли. Наиболее плотная почва на залежном участке (в слое 0–100 см – 1,56 г/см³), на пахотных участках плотность почвы в верхних горизонтах более рыхлая, это связано с обработкой почвы техникой, с глубиной плотность увеличивалась и доходила до очень плотной – 1,58 г/см³ ниже 60 см, т.е. под влиянием различных факторов сформировалась почва с различной плотностью сложения. Реакция почвенной среды во всех вариантах – щелочная и сильнощелочная, по всему профилю pH составляет 7,62–8,94, что в значительной степени обусловлено присутствием карбоната натрия. Почвы относятся к средне- и слабокарбонатным. По содержанию гумуса все обследованные почвы относятся к малогумусным. На залежном участке в верхнем почвенном горизонте содержится больше всего гумуса – 2,56%, меньше всего в постирригационном и суходольном вариантах – 1,94 и 1,98%; ниже 40 см слоя содержание гумуса значительно уменьшается. В почве с постирригационным режимом в слое 76–83 см прослеживается незначительное увеличение гумуса, формируется вторичный гумусовый горизонт (иллювиальный), образованный в результате вымывания гумуса из верхних горизонтов в результате токов воды под воздействием орошения. Из солей преобладают сульфаты – в слое 80–140 см их содержание составило 0,681–0,979%. Анализ водной вытяжки постирригационного участка показал, что на всю глубину почвенного профиля почва не засолена. Но обнаружена сода на глубине 36–120 см в количествах 0,04–0,08 мг-экв/100 г почвы. На суходоле почва засолена легкорастворимыми солями с глубины 80–120 см, сумма солей составила 0,559–1,081%. На участке под бывшим рисовым чеком на всю глубину почвенного профиля почва не засолена, сумма солей не превышает 0,085% по профилю. На всех участках среди поглощенных оснований преобладает кальций, очень высокая доля магния. По содержанию обменного натрия почвы в верхнем горизонте не солонцеватые и слабосолонцеватые. Но в слое ниже 40 см средне- и сильно солонцеватые.

В центральной части предгорного Крыма почвы предгорные карбонатные черноземы на элювии и делювии карбонатных пород, слабосмытые тяжелосуглинистые. По гранулометрическому составу все исследуемые участки представлены легкой глиной с преобладанием илистых фракций. На пахотных участках плотность почвы в верхних горизонтах менее плотная, с глубиной плотность увеличивалась. На всех опытных площадках обнаружены скелетные фракции в виде мелкой гальки. Реакция почвенной среды во всех вариантах неоднородна от 6,97 до 8,50. pH с глубиной увеличивается. Почвы на всех участках классифицируются как средне- и сильнокарбонатные. Содержание гумуса до 1 метра на всех вариантах низкое и в среднем составило более 2%. По классификации такая почва относится к малогумусной. В верхнем слое 0–30 см больше всего гумуса содержится в залежи – 3,44%, немного меньше в вариантах постирригационном и суходольном – 3,03 и 3,11% соответственно. Анализ водной вытяжки на всех участках показал, что на всю глуби-

* Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-17-20020.

ну почвенного профиля почва не засолена, сумма солей не превышает 0,063% по профилю. На всех участках сумма обменных оснований 26,10–44,80 мг-экв на 100 г почвы. Содержание обменного натрия по профилю всех участков составляет 0,67–1,75% от суммы поглощенных оснований. И по этому параметру почва относится к не солонцеватой в слое 0–200 см. Из поглощенных катионов на участках преобладает кальций.

Таким образом, аналитические исследования современного состояния постирригационных почв в Присивашье подтверждают тенденцию рассоления почв при отсутствии процессов, связанных с подъемом уровня грунтовых вод. Выраженные процессы, связанные с прекращением орошения на более возвышенных, плакорных равнинах предгорного Крыма, не наблюдаются.

Е.И. Ергина¹, З.В. Тимченко²

¹Крымский федеральный университет, Институт «Таврическая академия»

²Крымская гидромелиоративная экспедиция

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕК РАВНИННОГО КРЫМА НА ПРИМЕРЕ ДЖАНКОЙСКОГО РАЙОНА*

Равнинный Крым включает в себя территорию, простирающуюся от северных склонов Внешней гряды Крымских гор на северо-запад до Черного моря, на север до Перекопского перешейка и на восток до залива Сиваш Азовского моря. По этой территории протекают самые маловодные водотоки Крыма, представленные в основном безымянными балками и сухоречьями. Гидрологический режим рек и балок равнинного Крыма остается не изученным. Характерным для них является то, что их русла были спрямлены в 60-е – 70-е гг. прошлого века и стали использоваться как главные коллектора. Связано это с тем, что после введения в эксплуатацию первой очереди Северо-Крымского канала начался подъем уровней грунтовых вод, что привело к подтоплению некоторых населенных пунктов и заболачиванию территории. Из-за спрямления фактические длины рек уменьшились. Целью работы является составление детальной характеристики рек равнинного Крыма на примере Джанкойского района и городского округа Джанкой Республики Крым, так как, несмотря на более чем трехсотлетнюю историю изучения Крымского полуострова, реки его северной части являются наименее изученными. Общая методика исследования состоит в выполнении гидрологических расчетов с применением ГИС-моделирования и полевых исследований, для получения и описания средних значений расходов воды рек Джанкойского района и городского округа Джанкой Республики Крым. Реки изучаемой территории представляют собой, в основном, балки и временные водотоки, заполняющиеся водой во время снеготаяния (при условии снежной зимы) и после дождей. Подъем уровня весной начинается в конце февраля – начале марта. С конца марта все водотоки почти на всем протяжении пересыхают, сток в них бывает эпизодически. Средняя многолетняя величина стока для равнинного Крыма составляет около 0,1 л/с км². Коэффициент стока составляет 0,01. Практически все водотоки ранее пополнялись дренажными водами, которые отводились с орошаемых территорий по специально построенным коллекторам, откуда они поступали в реки, но в виде недостаточно очищенных сточных вод, что приводит к загрязнению сопряженных компонентов акваландшафтов. Формирование катастрофических паводков происходит за счет ливневых осадков. Подъем уровней происходит интенсивно. По метеостанции Джанкой максимальный суточный слой осадков $P = 1\%$ составляет 178 мм. Ледовые явления наблюдаются не каждый год, лишь в суровые зимы. К тому же в зимнее время сток в реках чаще отсутствует. После прекращения подачи днепровской воды по Северо-Крымскому каналу в 2014 г. по рекам района сброс дренажных вод значительно снизился, и как следствие, значительно уменьшились средние расходы воды (рис. 1).

Несмотря на такие малые расходы воды, во время паводков происходит затопление и, как следствие, подтопление территорий населенных пунктов, в том числе город Джанкой (по обоим берегам р. Мирновка и Степная), с. Днепровка (по левому берегу р. Мирновка), с. Источное (по левому берегу р. Источная), с. Мирновка (по обоим берегам р. Мирновка), с. Озерки (по левому берегу р. Стальная), с. Стальное (по обоим берегам р. Стальная), с. Победное (по обоим берегам р. Победная), с. Пушкино (по обоим берегам р. Заветленинская).

Ситуация усугубляется тем, что русла рек были спрямлены и углублены, в настоящее время наблюдается их заиливание и зарастание камышом до 100%, что не позволяет им пропустить катастрофические расходы воды.

Таким образом, водохозяйственные проблемы равнинного Крыма ныне должны рассматриваться в нескольких аспектах: во-первых, недостаточная гидрологическая изученность; во-вторых, неблагоприятное экологическое состояние воды; а также с учетом предупреждения загрязнения подземных вод и сохранения видового разнообразия водных экосистем.

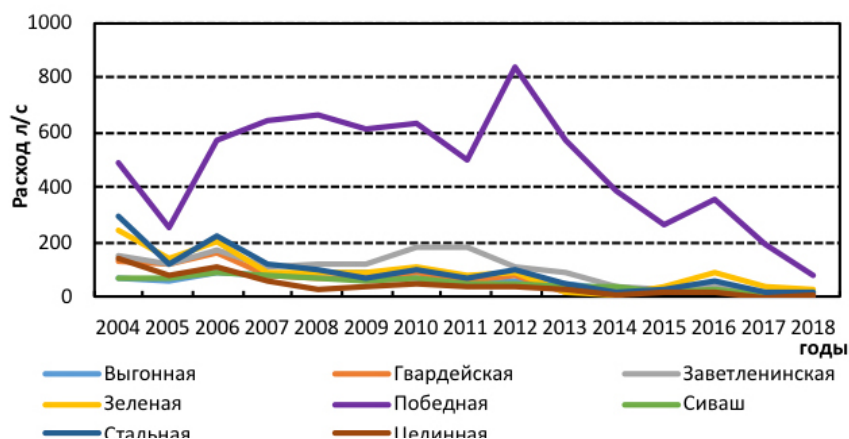


Рис. 1. Динамика расходов воды (л/с) за 2004–2018 гг. по рекам, протекающим на территории Джанкойского района Республики Крым

* Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-17-20020.

В.А. Ерин, Н.Д. Калашников, А.Г. Мокрикова

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТНОГО АЗОТА В ПОЧВЕ ПОД НУТОМ ПРИ ВНЕСЕНИИ ЖКУ И КАС С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL*

В результате антропогенной деятельности в современные ландшафты привносится огромное количество макро- и микроэлементов, которые в условиях склонов вовлекаются в вещественно-энергетические потоки и мигрируют за их пределы. Азот относится к элементам, соединения которых играют огромную роль в создании биомассы, функционировании природных и антропогенных экосистем.

Исследования проводили в Октябрьском районе Ростовской области на базе ИП Мокриков В.И. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке.

Полевые производственные опыты заложены по методике Б.А. Доспехова (1985) методом организованных повторений. Минеральные удобрения в виде жидкого комплексного удобрения (ЖКУ11:37) и карбамидно-аммиачной смеси (КАС-32) вносили при посеве. Схема опыта: 1) контроль, 2) ЖКУ50, 3) КАС50, 4) ЖКУ+КАС50, 5) ЖКУ100, 6) КАС100, 7) ЖКУ+КАС100. На контрольном варианте удобрения не применяли (б/у). В удобренных вариантах цифры указывают дозу ЖКУ и КАС – 50 и 100 л/га. Почвенные образцы отбирали из двух слоев (0–10 и 10–20 см) по следующим фазам развития растений нута – три листа, цветение и полная спелость.

Отбор проб и подготовку почвы к анализу проводили по ГОСТ Р 58595–2019. Содержание нитратного азота определяли потенциометрическим методом по ГОСТ 26951–86. Математическую обработку полученных результатов проводили в пакете программ STATISTICA 13.3 с 5% уровнем значимости ($P < 0.05$).

Изучение содержания нитратного азота в 2024 г. выявило, что обеспеченность почвы этим элементом на контроле по всем срокам отбора образцов – очень низкая. Однако применение удобрений существенно повышало уровень этого элемента. Следует отметить, что степень воздействия удобрений на нитрификацию зависит не только от их состава, но и от применяемой дозы. Так, в фазе трех листьев содержание нитратного азота при внесении ЖКУ 50 в обоих исследуемых слоях почвы соответствовало контрольным значениям.

Результаты экспериментов свидетельствуют, что использование жидких комплексных удобрений при no-till-технологии приводит к неравномерному распределению нитратного азота. Во всех вариантах с удобрениями наблюдалось его накопление в верхнем слое (0–10 см) в течение вегетационного периода нута. Наиболее выраженная разница между слоями зафиксирована в варианте ЖКУ + КАС 100, где применялась максимальная доза азотно-фосфорных удобрений ($N_{58}P_{52}$).

В фазе цветения в слое 0–10 см при использовании КАС 50 (100) и ЖКУ + КАС 50 (100) концентрация нитратного азота возрастала примерно в 1,5 раза по сравнению с контролем. Аналогичная динамика отмечалась и в слое 10–20 см.

Во всех вариантах опыта изменение содержания нитратного азота при выращивании нута имело сходный характер. Независимо от применения удобрений (в дозах 50 и 100 л/га) к фазе полной спелости наблюдалось снижение его количества как в верхнем (0–10 см), так и в более глубоком (10–20 см) слоях почвы.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») в Молодежной лаборатории регенеративного земледелия № СП-12-24-03.

Д.А. Ерко, А.В. Лысенкова, И.С. Казначеева, М.А. Кобцева,
Н.П. Черникова, А.В. Барахов

Южный федеральный университет

ВЛИЯНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА*

Современные проблемы деградации почвенных ресурсов обуславливают необходимость разработки инновационных подходов к восстановлению их плодородия. Актуальным направлением в почвоведении и агроэкологии является изучение влияния наноматериалов на физико-химические свойства почв. Использование наноконкомпозитов, обладающих высокой сорбционной способностью и активной удельной поверхностью, может способствовать повышению устойчивости почвенных систем и оптимизации их агрофизических характеристик. В данной работе проведено комплексное исследование влияния наноконкомпозитов, созданных на основе биочара и металлоорганического каркаса MIL-100(Fe), модифицированных гуминовыми кислотами и биополимером СТАВ, на гранулометрический состав, структурное состояние и водопрочность агрегатов почв.

Объектом исследования выступили черноземы обыкновенные, залегающие на территории сельскохозяйственных ландшафтов и прилегающие к залежным участкам ООПТ «Персиановская заповедная степь» и к зоне влияния теплоэнергетического комплекса — Новочеркасской ГРЭС. Проведен модельный лабораторный опыт с использованием тестовой культуры ярового ячменя (*Hordeum sativum*) по схеме: Контроль; Фон (загрязнение); Фон + 0,5% MIL-100(Fe) (MIL)+биочар (БЧ)+гуминовые кислоты (ГК); Фон+1% MIL+БЧ+ГК; Фон + 0,1% MIL+БЧ+ГК+биополимер СТАВ (БП); Фон + 0,2% MIL+БЧ+ГК+БП; Фон + 0,1% акусина (АУ); Фон+0,2%АУ. Модельный опыт позволил оценить влияние внесения наноконкомпозитов, созданных на основе биочара и металлоорганического каркаса MIL-100(Fe), модифицированных гуминовыми кислотами и биополимером СТАВ, как в сравнении с контролем, так и с фоном загрязнения.

В образцах почв модельного опыта определены гранулометрический состав седиментационным методом с пиррофосфатной подготовкой, структурное состояние методом сухого просеивания, водопрочность агрегатов по методу Андрианова.

Результаты анализа гранулометрического состава показали, что при внесении наноконкомпозитов происходят незначительные, но устойчивые изменения в тонкодисперсной части почвы. Отмечено снижение доли ила (<0,001 мм) на 3–5% и увеличение доли пылевой фракции, что, вероятно, обусловлено процессами агрегации частиц под действием гуминовых кислот и поверхностно-активных соединений наноконкомпозитов. Данные изменения сопровождаются уплотнением структуры и перераспределением мелкодисперсных частиц в сторону более агрегированных форм, что отражает влияние наноконкомпозитов на физико-химические процессы в почвенной системе.

Анализ агрегатного состава методом сухого просеивания выявил, что внесение наноконкомпозитов способствует формированию агрономически ценной структуры. Так, доля агрегатов размером 0,25–10 мм увеличилась с 63,1% (контроль) и 66,4% (фон) до 68–70,8% при внесении композита MIL+БЧ+ГК+БП в дозах 0,1–0,2%. Этот эффект обусловлен коагуляционно-структурообразующим действием органических и коллоидных компонентов наноконкомпозита.

Наибольшая водопрочность агрегатов (90%) зафиксирована также в вариантах с MIL+БЧ+ГК+БП при дозе 0,2%, что свидетельствует о формировании стабильной водоустойчивой структуры. В то же время применение ауксина в несвязанной форме привело к ухудшению структурных показателей, снижая содержание ценных агрегатов до 50,9–51% и водопрочность до 46–53%.

Результаты модельного опыта показали, что наноконкомпозиты на основе биочара, MIL-100(Fe), гуминовых кислот и биополимера СТАВ оказывают положительное влияние на гранулометрический состав и структурное состояние почвы, особенно в условиях техногенного загрязнения. Установлено, что данные материалы способствуют формированию водоустойчивых агрегатов, что делает их перспективным средством для ремедиации деградированных почв. Полученные результаты могут быть использованы для разработки технологий повышения агроэкологической устойчивости почв.

* Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-76-10054) в Южном федеральном университете.

А.П. Жидкин, А.В. Хирк, Д.В. Фомичева

ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева

ПРОБЛЕМА РАЙОНИРОВАНИЯ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПО СТЕПЕНИ ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ РАСТРА ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ*

В настоящее время органами исполнительной власти подчеркивается крайний дефицит актуальной информации об эрозии почв в различных регионах России. Современные методы эрозионного моделирования позволяют получать качественную информацию об эрозии почв при должной детальности входных параметров и верификации получаемых оценок. Однако практическое применение растров высокого пространственного разрешения, составляющего десятки метров, затруднительно на федеральном и региональном уровнях. Анализ таких цифровых карт требует навыка, технических знаний и специализированного программного обеспечения.

В данном исследовании проведена автоматизированная генерализация растра темпов эрозионно-аккумулятивных процессов с пространственным разрешением 30 метров, построенная на всю пашню Среднерусской возвышенности. В пределах Среднерусской возвышенности находятся одни из самых эрозионно опасных и при этом активно эксплуатируемых в сельском хозяйстве регионов России. Категоризация земель по эрозионной опасности была проведена в соответствии с классификацией М.Н. Заславского, которая использована в ГОСТ 17.4.4.03-86.

Установлено, что генерализация информации о темпах эрозии почв стандартными программными средствами приводит к существенному варьированию оценок (рис. 1). Генерализация темпов эрозии почв по объектам (пиксель 30 м – поле – водосбор) привела к сильному варьированию оценок в среднем по Среднерусской возвышенности. В частности, категория земель с «очень слабым смывом», занимающая 15% от территории Среднерусской возвышенности при оценках в пикселях, отсутствует при осреднении по полям и водосборам. При этом сильное варьирование выявлено для категории земель со «средним» смывом от 28 до 45% и «сильным» смывом от 19 до 54% от площади пашни на Среднерусской возвышенности (рис. 1).

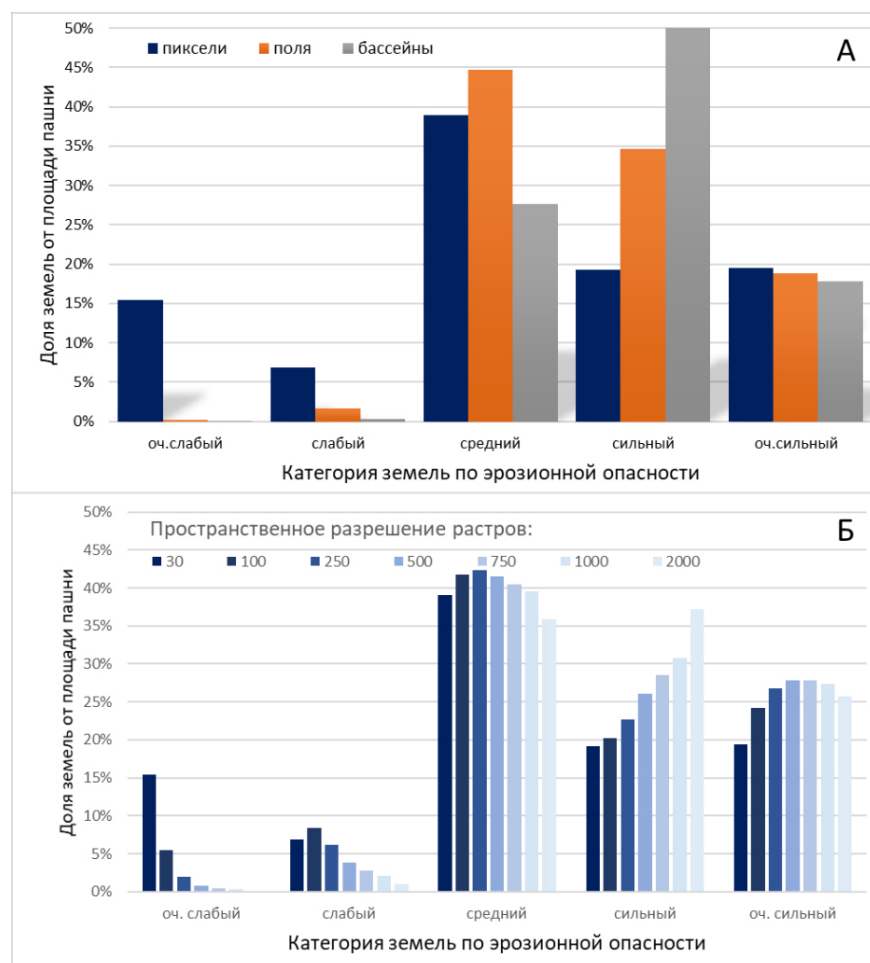


Рис. 1. Распределение категорий пахотных земель по эрозионной опасности на Среднерусской возвышенности, полученное на основе генерализации значений темпов эрозии почв: А – по объектам (пиксель 30 м – поле – водосбор); Б – по размеру пикселей от 30 до 2000 метров

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

Генерализация информации при изменении пространственного разрешения растра (ресемплинг) привела к меньшему варьированию, чем при осреднении по объектам (пиксель 30 м – поле – водосбор). Тем не менее при уменьшении пространственного разрешения растра выявлены аналогичные тенденции: сокращение доли земель с категорией «очень слабый» и «слабый» смыв, волнообразное изменение доли земель с категорией «средний» смыв и увеличение доли земель с категорией «сильный» смыв.

Таким образом данное исследование показало значительное варьирование оценок эрозионной опасности, полученное на основе карт с разным пространственным разрешением информации о темпах эрозии почв. Применение распространенных автоматических программных средств генерализации может приводить к существенным искажениям в оценках эрозии почв. Представляется важной разработка методических подходов к районированию крупных природных объектов по степени эрозионной опасности.

И.А. Жуков, Д.Н. Айбулатов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНОВ ВОЛГИ И УРАЛА

Целью работы является оценка интенсивности изменений стока воды малых рек во все фазы водного режима, сравнение выявленных изменений с аналогичными для средних и больших рек, а также установление границы аномальности малых рек, основываясь на особенностях их водного режима, и детализация классификации малых рек по площади бассейна.

Объектом исследования служат бассейны Волги и Урала. Изученность стока воды и изменений по фазам водного режима количественных гидрологических характеристик малых рек остается недостаточно освещенной, что и предопределяет актуальность исследования.

Поскольку активным фактором русловых процессов является сток воды, а его характеристики изменяются по длине рек, происходит соответствующее изменение форм проявления русловых процессов. М.А. Великанов указывал на преобладание разветвленных русел у больших рек и извилистых (меандрирующих) – у малых и средних.

В действующей нормативной документации закреплена величина бассейна малой реки в 2000 км². А сама малая река охарактеризована как река, гидрологический режим которой не свойственен рекам этой зоны.

Для настоящего исследования привлечены данные о среднесуточных температурах воздуха и суточных суммах осадков с 78 метеостанций в бассейне Волги и 15 станций в бассейне Урала.

Также отобрано 53 гидрологических поста в бассейне Верхней Волги, 21 в бассейне Нижней Волги и 18 постов в бассейне Урала. С продолжительностью наблюдений с 1932 по 2022 гг. В результате составлена база данных непрерывных рядов ежедневных расходов воды.

Определены сроки начала гидрологических изменений на исследуемой территории. Для каждого исследуемого поста, для каждой фазы водного режима построены разностно-интегральные кривые для определения года начала гидрологических изменений. Для бассейнов Волги и Урала построено 365 и 90 разностно-интегральных кривых соответственно.

В результате выявлена закономерность – чем южнее, тем раньше фиксируются сроки начала гидрологических изменений, а также, что изменения характеристик представляют собой выраженную широтную зональность.

Полученные данные по малым рекам сопоставлены с аналогичными данными для средних и больших рек. Установлено, что сроки начала гидрологических изменений для малых рек фиксируются раньше на 1–5 лет (в зависимости от фазы водного режима), чем у средних и больших рек. Реки с площадью бассейна до 500 км² в эту закономерность не вписываются.

Для бассейна Урала выявленные закономерности также подтверждаются, но сроки начала гидрологических изменений отличаются на 2–3 года в более позднюю сторону. Также отмечено, что для рек с площадью бассейна до 500 км² реакция на начало гидрологических изменений отличается.

Для каждого поста получено изменение 47 гидрологических характеристик для всех фаз водного режима.

Полученные данные по малым рекам сопоставлены с аналогичными данными по средним и большим рекам. Установлено, что изменение количественных характеристик малых рек Волги на 30–35% интенсивнее (в зависимости от фазы водного режима), чем у средних и больших рек.

Для малых рек бассейна Урала наблюдаются такие же закономерности, однако изменения для уральских рек на 20% еще более интенсивные, чем у волжских рек. В результате анализа всех построенных карт установлена закономерность – чем меньше бассейн реки, тем интенсивнее изменения водного режима. Также установлено, что для рек с площадью бассейна до 500 км² отсутствуют какие-либо закономерности изменения стока воды.

Установлено, что все исследуемые гидрологические характеристики имеют зональное распространение, с тенденцией уменьшения с севера на юг. Для бассейна Камы для меженей иногда характерно увеличение характеристик с запада на восток (из-за влияния Уральского хребта). Для выявления нарушений полученных закономерностей предложены 4 критерия, по которым можно считать малую реку аномальной.

По итогам применения критериев ко всем построенным картам, для каждого поста фиксировалось количество раз, когда он определялся как аномальный. Также для каждого поста определялся процент этих аномалий от общего числа карт. При ее анализе установлено, что малые реки бассейна Волги, имеющие площадь бассейна менее 500 км² – аномальны более чем в 67% случаев. Кроме того установлено, что два поста, имеющих площадь бассейна более 500 км², аномальны более чем в 75% случаев – это реки с самой большой лесистостью и заболоченностью бассейна и с максимальной закарстованностью бассейна.

Такая же таблица составлена и для бассейна Урала. Главное отличие – граница аномальности поднимается выше – до 74% от общего количества. Граница аномальности в 500 км² сохраняется, но проявляется более ярко.

Таким образом, граница аномальности малых рек по площади бассейна, на основе особенностей их водного режима, установлена на величине в 500 км², что позволило скорректировать определение термина «малая река», закрепленное в действующей нормативной документации для малых рек бассейна Волги и Урала.

Итак, на основе особенностей водного режима, предлагается следующее определение термина «малая река», применительно к бассейнам Волги и Урала: малая река – равнинная река лесных и лесостепной зон, а также зоны континентального климата Русской равнины, имеющая площадь бассейна не более 500 км² и водный режим которой, под влиянием местных факторов формирования стока воды, не свойствен рекам этой территории (то есть является аномальным).

А.С. Завадский, Д.В. Ботавин, П.П. Головлев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В ПРЕДЕЛАХ СУДОХОДНОЙ БАРОВОЙ БОРОЗДИНЫ РЕКИ ЯНЫ*

Общим фоном, определяющим мерзлотные условия в дельте Яны, является сплошное распространение многолетнемерзлых грунтов (ММГ) мощностью 400–500 м. В пределах авандельты и под дном Янского залива также развиты мерзлые породы, мощность которых составляет не менее 20 м. Однако до настоящего времени не было убедительных данных о характере распространения ММГ под руслами баровых бороздин, что заметно ограничивало возможности проведения путевых (дноуглубительных) работ для обеспечения гарантированных габаритов и обоснования оптимального положения трассы судового хода.

В июле-августе 2024 г. был выполнен комплекс геокриологических исследований с применением непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП) в пределах устьевого участка (бара) р. Яны от (–11) до (–22) км судовой трассы, общей протяженностью 11 км с захватом «полосы» шириной 500 м. В таком объеме и с такой степенью детальности подобного вида изыскания для барового участка были проведены впервые.

Также в работе был выполнен ретроспективный анализ условий формирования и циклов развития баровых бороздин р. Яны, установлены современные тренды формирования судовой бороздины Заманиха. Сделано заключение о том, что в последние годы все более выраженными становятся процессы аккумуляции в устьевой (наиболее мелководной) части баровой бороздины Заманиха. Водному потоку не удастся сконцентрироваться в одном направлении, а разрабатываемые дноуглубительные прорезы полностью заносятся к следующему навигационному периоду.

Проведенная батиметрическая съемка дна и непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП) толщи донных отложений с натурной «заверкой» шнековым бурением позволили визуализировать плановое и глубинное положение кровли ММГ. Эти результаты, а также анализ существующих архивных материалов, позволили сделать следующие выводы:

Судоводный баровый участок в районе проток Заманиха и Восточная (бывшая до 2016 г. судовой) формируется в условиях сплошного распространения ММГ, верхняя кровля которых залегает на отметках около 1,0–2,0 м от поверхности дна. Верхний слой полностью промерзает в зимний период и оттаивает на протяжении летне-осенних месяцев. Исключением является район формирования баровых бороздин, а также прилегающая к нему в полосе как минимум 500 м зона активных русловых переформирований, где образуется подрусовой талик (несплошной). Причиной формирования талика является отепляющее воздействие водного потока на дно и борта бороздин, а также весьма интенсивные русловые переформирования, способствующие периодическому перемещению динамической оси потока. Борты бороздин промерзают в зимний период, но оттаивают в теплое время года. Причем даже в случае смещения планового положения бороздин, формирования аккумулятивных форм на месте больших глубин глубинная многолетняя мерзлота не образуется достаточно длительный период. По крайней мере в пределах динамично смещающихся вниз по течению побочной ММГ не были обнаружены до глубины 5 м (от поверхности дна).

В современных условиях на участке развития баровых бороздин выделяется два типа мерзлых грунтов – сезонно промерзающие и многолетнемерзлые грунты. Сезонная мерзлота распространена повсеместно, за исключением плесовых участков с глубинами более 2,5–3,0 м, где концентрируется подледный зимний сток.

После начала снеготаяния сезонная мерзлота достаточно быстро деградирует и к началу августа встречается весьма фрагментарно, фактически не создавая затруднения для выполнения дноуглубительных работ. При этом мерзлый слой на начало августа был достаточно рыхлым и позволял полностью проходить его разведочным шнеком. Очевидно, что к концу навигационного периода сезонная мерзлота полностью исчезает.

В условиях преобладающего развития подрусового талика многолетнемерзлые грунты встречаются весьма ограниченно и относительно консолидированно выходят в верхнюю толщу донных отложений только непосредственно на наиболее мелководном участке бара – с –17 по –19 км. Общая площадь зон распространения ММГ (для участка –15,5 км – –19,5 км, где были зафиксированы линзы ММГ) не превышает 30%, при этом в пределах глубины до 3–3,5 м от проектного уровня воды (где потенциально ММГ могут ограничивать дноуглубительные работы) – 8%.

* Обобщение и анализ материалов натурных исследований выполнены по госзаданию (№ 121051100166-4) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

По данным НСАП кровля ММГ была выявлена и картографически отображена в виде разноуровневных линз на участке от –17,5 до –20 км. Локальные выходы ММГ были встречены на –16 км – 17,5 км непосредственно в границах трассы судового хода, а также относительно крупными линзами слева от судового хода. При этом непосредственно ограничивающим фактором при проведении дноуглубительных работ линзы ММГ могут выступать только на участке –17,5–19,0 км, где кровля ММГ поднимается выше 3,0 м от проектного уровня воды.

Основным прикладным результатом проведенного исследования стал план действий по оптимизации положения трассы судового хода на лимитирующем баровом участке с учетом условий залегания мерзлых и талых грунтов. Были предложены траектории судового хода, позволяющие уменьшить объемы разработки ММГ в 2–3 раза по сравнению с современными объемами дноуглубления.

А.С. Завадский, Ю.С. Ляхин, **К.М. Беркович**, Д.В. Ботавин, П.П. Головлев,
И.В. Крыленко, И.Н. Крыленко, М.А. Самохин, В.В. Сурков

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

СОВРЕМЕННАЯ МОРФОДИНАМИКА РУСЛА РЕКИ ВЯТКИ В РАЙОНЕ Г. КИРОВА И ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ СУДОХОДСТВА*

В 2024 г. были проведены работы по оценке современного состояния пойменно-руслового комплекса р. Вятки на участке от г. Кирово-Чепецка до пгт Мурыгино. Основной информационный материал о морфологии, динамике, гидрологических и гидравлических условиях был собран во время двух экспедиционных выездов, выполненных на спаде весеннего половодья и в условиях низкой летне-осенней межени.

Проведенный ретроспективный анализ позволяет говорить о стабилизации планового положения русла за последние 100–150 лет. Признаками данной тенденции являются несоответствие широкой поймы со следами свободного меандрирования и современной конфигурации русла с преобладанием устойчивых прямолинейных отрезков, отдельных вынужденных и адаптированных излучин. Начиная с середины XX в. все больше возрастала роль антропогенного фактора, проявлявшаяся в русловыправительных мероприятиях, добыче нерудных строительных материалов (НСМ), что также способствовало снижению интенсивности горизонтальных русловых деформаций. В настоящее время общая протяженность подверженных эрозионному воздействию потока участков составляет около 30 км, в пределах которых скорости отступления берегов колеблются в пределах 1,0–7,0 м/год; однако среднемаксимальные значения не превышают 1–3 м/год.

Гораздо большую опасность представляют вертикальные деформации русла. В пределах исследуемого участка Вятки на протяжении 70-х – начала 90-х гг. XX в. осуществлялась активная хозяйственная деятельность, проявлявшаяся в ежегодном извлечении из русла НСМ в объемах, на порядок превышавших естественный сток руслообразующих наносов. В отдельные годы объем безвозвратного изъятия руслового аллювия в результате карьерных разработок и дноуглубительных работ (под нужды судоходства) достигал 1,5–2,0 млн м³, при среднегодовых значениях стока влекомых наносов – 50–100 тыс. м³. По разным оценкам, за период с начала 1970 по начало 1990 гг. на участке от г. Кирово-Чепецка до пгт Мурыгино было добыто от 20 до 28 млн м³ песчано-гравийной смеси. Это привело к существенному изменению гидрологических и морфологических характеристик русла, трансформации его продольного профиля. Морфологически реакция русла на продолжительное и чрезмерное антропогенное воздействие проявилась в интенсивном врезании (понижении отметок дна), сопровождавшемся снижением («посадкой») уровней воды (в первую очередь меженных). Только за 80-е гг. XX в. в районе г. Кирова минимальные уровни в период открытого русла понизились на 100 см, а за весь период активного изъятия НСМ – на 120–130 см. С 1993 г. объемы добычи НСМ многократно снизились, а после введения в 1999 г. запрета на разработку русловых месторождений данный вид антропогенного воздействия на русло официально полностью прекратился.

Проведенный статистический анализ данных сетевых наблюдений за уровнем режимом (по г/п Киров) позволяет говорить, что на современном этапе (с начала XXI в.) произошла общая стабилизация русла с прекращением процессов «посадки» меженных уровней. Оценка баланса вертикальных деформаций (по материалам сравнения русловых съемок за 2011–2024 гг.) указывает на сопоставимые объемы эрозионных и аккумулятивных процессов в русле (с незначительным преобладанием процессов аккумуляции).

Отдельным направлением исследования стало изучение возможностей улучшения судоходных условий выше и ниже г. Кирова. Проведенные расчеты показали, что обеспеченность современного проектного (судоходного) уровня в районе г. Кирова, официально утвержденного Федеральным агентством морского и речного транспорта РФ (–90 см по г/п Киров), не превышает 40%. Это противоречит действующим рекомендациям и правилам содержания судовых ходов на внутренних водных путях, требующим для обеспечения безопасного судоходства обеспеченность гарантированных глубин в период навигации значения 80–90% (для рек с гарантированной глубиной менее 1,5 м). В случае приведения современной судоходной трассы в соответствие действующим нормативным требованиям и установления гарантированной глубины в диапазоне 1–1,3 м отметку проектного судоходного уровня следует понизить до –152 см (80%) или –162 см (90%) по г/п Киров, т.е. примерно на 60–70 см относительно современного значения. В таких условиях значительная часть перекаатов становятся лимитирующими и будут требовать больших объемов дноуглубительных работ. Относительно безопасные условия судоходства с гарантированными глубинами более 1,0 м на р. Вятке возможно обеспечить с 685 км и ниже по течению, а также в верхней части рассматриваемого участка в районе г. Кирово-Чепецка (730–720 км). Остальной участок между гг. Кирово-Чепецк и Киров представлен практически сплошной цепочкой мелководных перекаатов, разделенных достаточно глубокими (до 5–6 м) глубоководными, но относительно короткими плесами. В случае принятия решения о целесообразности достижения здесь гарантированной глубины более 1,0 (при обеспеченности 80%) экспертно можно говорить о необходимости выполнения на затруднительном для судоходства участке (720–685 км) дноуглубительных работ в объеме 0,6–0,8 млн м³.

* Обобщение и анализ материалов натурных исследований выполнены по госзаданию (№ 121051100166-4) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

И.В. Замулина, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, М.В. Бурачевская,
 Е.С. Лацынник, А.В. Барахов, Л.Ю. Гончарова

Южный федеральный университет

СОДЕРЖАНИЕ ЦИНКА В ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЯХ ПОЧВ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ*

Изучение отдельных гранулометрических фракций, выделенных из загрязненных и незагрязненных почв, представляет интерес для более детального анализа роли органо-минеральных почвенных компонентов в удерживании металлов. Высокодисперсные фракции характеризуются наиболее высокими концентрациями металлов, что обусловлено высокой адсорбционной способностью входящих в их состав вторичных глинистых минералов, коагелей полуторных окислов и кремнекислоты, окристаллизованных окислов железа и алюминия и гумусовых веществ более низкой конденсированности. От степени дисперсности частиц зависит прочность закрепления тяжелых металлов в почве и их биодоступность.

Объектом исследования выступили почвы территории кластера химических предприятий Каменск-Шахтинский Ростовской области. Почвенный покров исследуемой территории представлен незагрязненными луговыми почвами и хемоземами. Из почв методом центрифугирования выделены гранулометрические фракции (тонкие коллоиды ($<0,08$ мкм), грубые коллоиды (0,08–0,2 мкм), предколлоидная фракция (0,2–1 мкм) и мелкая пыль (1–5 мкм)) с предварительным ультразвуковым воздействием.

В выделенных тонкодисперсных гранулометрических фракциях почв проводили исследование фракционного состава соединений Zn методом последовательного фракционирования BCR. Содержание Cu и Zn в экстрактах определено методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ААС) на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-2МТ», ООО «Кортек», Москва.

Результаты показали, что в хемоземах увеличивается доля фракции размером $<0,08$ мкм на 10%. Содержание Zn в составе тонкодисперсных гранулометрических фракций почв как природных, так и техногенных ландшафтов выше, чем в почве в целом, в 3 раза. Наибольшее количество сосредоточено во фракции $<0,08$ мкм. Выявлено, что с увеличением доли тонких фракций в условиях загрязнения концентрация Zn возрастает.

Исследование состава соединений Zn в различных гранулометрических фракциях показало, что количество обменных соединений в незагрязненных почвах во фракциях менее 1 мкм минимально и не превышает 10% от суммы фракций. В условиях загрязнения содержание обменных соединений металлов увеличивается незначительно, в отличие от соединений, связанных с карбонатами, содержание которых возрастает с увеличением дисперсности частиц. Установлено, что с уменьшением размера частиц почв растет доля соединений, связанных с Fe- Mn (гидр)оксидами (рис. 1).

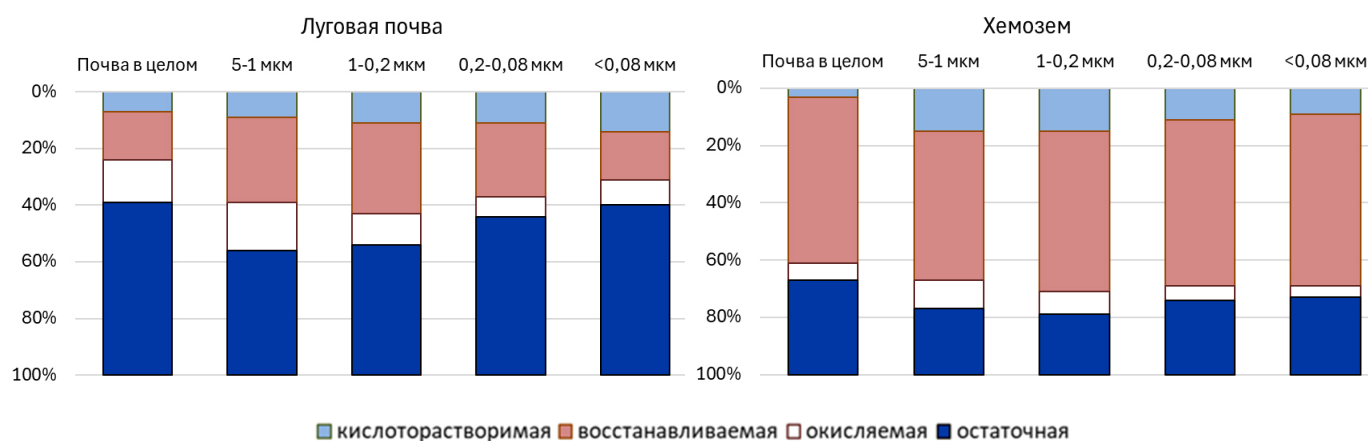


Рис. 1. Фракционное распределение Zn в луговой почве и хемоземе, % от суммы фракций

На основе химического фракционирования установлено, что наиболее активными компонентами в удерживании ионов Zn являются несиликатные соединения Fe и Mn и карбонаты. Значительная доля соединений металлов находится в составе первичных и вторичных силикатов. Полученные данные по фракционному составу Zn позволили установить доли фазовых компонентов в составе исследуемых образцов. В среднем доля минеральных фаз для исследуемых металлов составила $\approx 90\%$. Накопление металлов в составе органических компонентов составило $\approx 10\%$. Для луговой незагрязненной почвы с уменьшением размера гранулометрических фракций увеличивается сродство Zn с минеральной фазой.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023-0008.

А.М. Зейлигер^{1,2}, О.С. Ермолаева³

¹Институт водных проблем РАН

²Южный федеральный университет

³Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева

ОЦЕНКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СТОКА С ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ В Р. ВОЛГУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ*

Цель исследования состояла в оценке объема гидрохимического стока, поступающего в р. Волгу с пахотных земель Саратовской области, с использованием доступных геоданных характеристик почвенного покрова.

Объектом исследования являлись пахотные земли, расположенные на водосборе р. Волги в пределах границ Саратовской области.

Методика исследований была основана на использовании модели т.н. «Наиболее вероятного модуля гидрохимического стока» (НВМ-ГХС) азота и фосфора, поступающих с пахотных земель, переносимых с поверхностным стоком дождевых и талых вод, в первом случае в растворенном состоянии, а во втором – в адсорбированном на поверхности почвенных частиц. С этой целью в модели НВМ-ГХС используются эмпирические связи, зависящие от типа землепользования и гидрологических характеристик почвенного покрова (т.н. гидрологические группы почв).

Для компьютерной реализации модели НВМ-ГХС в среде ArcGIS.10.x был сформирован ГИС-проект, включающий слои: 1) векторных границ водосборной территории р. Волги; 2) векторных границ Саратовской области; 3) растрового слоя типов землепользования с использованием базы геоданных IISACA с пространственным разрешением 150 м; 4) растрового слоя гранулометрического состава верхнего 0–7 см слоя почвенного покрова по классификации USDA с использованием базы геоданных ISRIC (рис. 1); 5) растрового слоя гидрологических групп почв по классификации USDA.

По результатам пространственного анализа сформированных ГИС-слоев были выявлены контуры пахотных земель (рис. 2), приуроченные к водосбору р. Волги в пределах границ Саратовской области, с суммарной площадью 26 395,1 км², составившей 49,8% от ее площади. В табл. 1 приведены рассчитанные значения годовых объемов поступления с этих земель азота и фосфора, а также прибавки к соответствующим их концентрациям в годовом речном стоке р. Волги, принятого равным 250 км³.

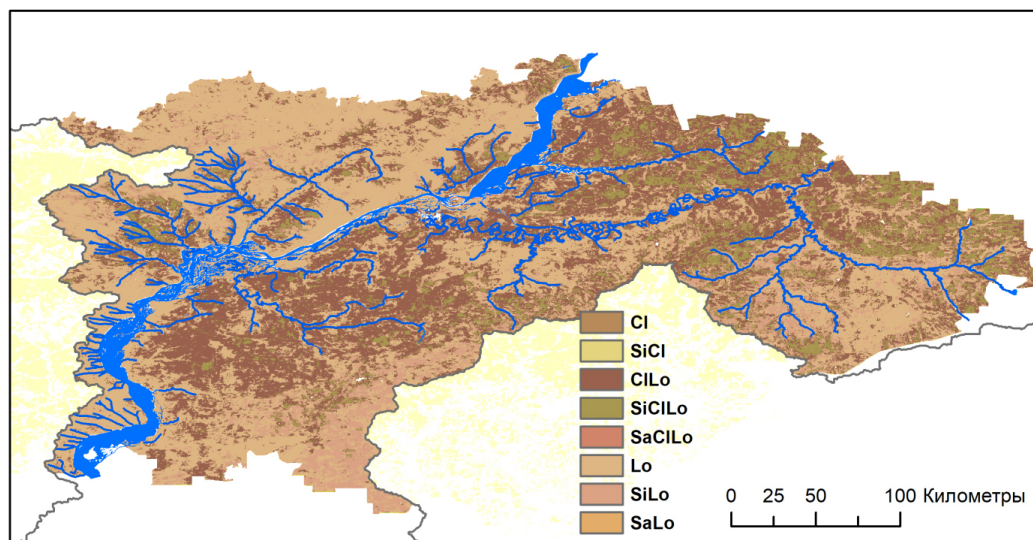


Рис. 1. Картограмма контуров почвенного покрова (классификация USDA) водосбора р. Волги в пределах Саратовской области

* Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

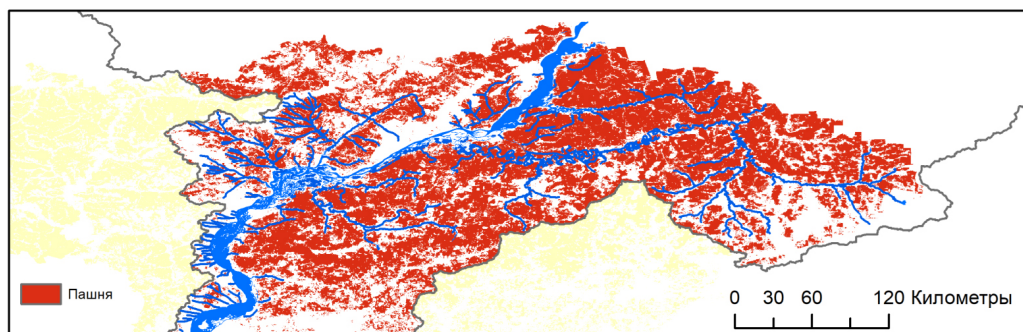


Рис. 2. Слой пахотных земель на территории Саратовской области в пределах водосбора р. Волги

Таблица 1. Характеристики поступления годового гидрохимического стока азота и фосфора в р. Волгу с пахотных полей Саратовской области

Параметр	Объем годового стока, тыс. т	Прибавка к концентрации годового стока, мг/л	В долях от ПДК, %
Азот	101,1	0,2	100
Фосфор	9,19	0,018	30

Представленные в табл. 1 результаты расчетов свидетельствуют о значительном вкладе объемов азота и фосфора, поступающих с пахотных земель Саратовской области в р. Волгу. Эти оценочные результаты, полученные по относительно простой модели, свидетельствуют об их высокой доле в ее гидрохимическом стоке. Для получения аналогичных оценок регионального уровня с более высокой достоверностью необходимы дальнейшие исследования с использованием технологий наземного мониторинга с привлечением отечественных баз геоданных типов землепользования, а также цифровых характеристик почвенного и растительного покровов. В связи с этим необходимо подчеркнуть ведущую роль цифровых характеристик почвенного покрова в последующем масштабировании такого рода результатов на региональные уровни субъектов РФ для решения разнообразных прикладных задач, в частности, связанных с ведением пропашного земледелия и его влиянием на качество водных объектов. По нашему мнению, это позволит не только выявлять источники загрязняющих веществ, но и вести непрерывное совершенствование как технологий земледелия, так и природоохранных мер и мероприятий.

Т.В. Иванкова¹, Я.В. Волосухин², Ю.Я. Потапенко³

¹ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

²Инженерный консалтинговый центр «Безопасность гидротехнических сооружений», г. Новочеркасск

³Северо-Кавказская региональная межведомственная стратиграфическая комиссия, г. Ессентуки

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ВОДООХРАННЫХ ЗОН МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕК ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В России насчитывается 2,5 млн малых рек и ручьев, 127 тыс. из них длиной от 10 до 200 км наиболее интенсивно используются в сельском хозяйстве. В средний по водности год их сток составляет более 1000 км³, водозабор 5% их стока, в том числе безвозвратный – около 4 км³. В европейской части водозабор из рек превышает 12%, а в Центрально-Черноземном районе, на Северном Кавказе и в Поволжье составляет от 20 до 60% их стока. На Юге России в бассейнах средних рек Терек, Сулак, Самур, Кубань, Дон и других насчитываются более 10 тыс. малых рек. Понятие «малые реки» нередко применяется ко всем рекам, имеющим только местное значение в масштабе страны или крупного региона. Однако таких рек большинство. Реки длиной менее 100 км составляют около 99% общего числа рек России и 92–93% их общей протяженности. В книге «Ресурсы поверхностных вод СССР» «малыми» являются реки, имеющие длину не более 100 км, независимо от площади их бассейнов. Наряду с количественными характеристиками малых рек указывается, что «малой следует считать такую реку, бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен рекам этой зоны». Авторами «малая река» понимается как природный комплекс, состоящий из русла и береговой зоны, включающий пойму и береговые террасы. Значительная часть населения проживает на малых реках, которые формируют средние и большие реки.

Базовый документ, определяющий границы и порядок содержания водоохранных зон, – Водный кодекс Российской Федерации (ВК РФ). Согласно ч. 4 ст. 65 ВК РФ ширина водоохранной зоны рек или ручьев устанавливается в зависимости от их протяженности от истока до устья: 1) до 10 км – в размере 50 м; 2) от 10 до 50 км – в размере 100 м; 3) от 50 км и более – в размере 200 м. Пункт 1 ст. 65 Водного кодекса Российской Федерации закрепляет определение водоохранной зоны, в качестве которой понимается территория, примыкающая к береговой линии водоема. Данная территория характеризуется прежде всего специальным режимом хозяйственной и иной деятельности. Подобный режим вводится прежде всего в целях защиты водного объекта. Таким образом, различного рода деятельность не должна приводить к загрязнению, засорению, заилению водных объектов, в том числе истощению его вод.

В целях рационального использования водных объектов, предотвращения их истощения, загрязнения и деградации необходимо повышение уровня научного сопровождения водопользования, разработка мер поддержки научно-исследовательских работ по использованию водных ресурсов, обеспечивающих, в том числе, надежные прогнозы ожидаемой гидрологической ситуации. Государственная политика по защите населения, территорий и объектов народного хозяйства от наводнений должна строиться на следующих основных принципах:

- территориально-бассейновый экосистемный подход;
- комплексность осуществления мер и мероприятий;
- объединение усилий органов законодательной, исполнительной власти, министерств, ведомств и заинтересованных организаций в реализации противопаводковых мероприятий.

Помимо паводков в горных и предгорных районах, в летний период высока вероятность прохождения по руслам основных рек селеподобных паводков. В большинстве случаев они являются следствием проливных дождей и таяния снега и сопровождаются стремительным подъемом уровня воды в достаточно узких речных долинах. Так, в конце июня 2002 г. прошел редкой силы паводок, вызванный атмосферными осадками. В районе Кавминвод интенсивный дождь шел в течение 26 ч, выпало более 150 мм осадков. Уровень Подкумка в 2002 г. поднялся на 5 м за 2 ч. Аномальный паводок на реках Кума, Подкумок и Бугунта вызвал катастрофическое затопление жилых районов в городах Минеральные Воды, Пятигорск, Ессентуки и Кисловодск, что привело к значительному ущербу и гибели людей. Последующие ежегодные паводки продолжают размыв правого неукрепленного берега, угрожая безопасности населения, проживающего в прибрежной полосе. В настоящее время береговая линия правого берега реки отодвинулась вглубь на расстояние 5–10 метров. Боковая и донная эрозия продолжает разрушение берега.

Комплексная программа защиты от наводнений должна решать основные принципиальные вопросы:

- повышение стокорегулирующей роли водосборных территорий;
- обустройство русел и поймы рек;

- регламентирование хозяйственной деятельности на паводкоопасных территориях;
- разработка и принятие нормативных актов страхования физических и юридических лиц на паводкоопасных территориях;
- реализация комплекса инженерно-технических мероприятий.

Устойчивое развитие территории возможно только с соблюдением экологических норм и повышением экологической стабильности среды, в частности: исключить возможность строительства в прибрежной зоне; осуществлять контроль за соблюдением норм в водоохранной зоне; проводить регулярный мониторинг водоохранной зоны.

М.М. Иванов¹, Н.Н. Иванова¹, П.И. Фоминых^{1,2}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

²Институт географии РАН

ИЗМЕНЕНИЯ БАЛАНСА НАНОСОВ МАЛЫХ ВОДОСБОРОВ НА СЕВЕРЕ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ*

Ускоренная эрозия на обрабатываемых склонах междуречий равнинных рек умеренного пояса является основным источником бассейновой составляющей твердого стока. Интенсивные изменения климата и системы землепользования ведут к трансформации баланса наносов водосборов различных уровней. Составление баланса наносов в пределах верхних звеньев флювиальной сети дает возможность оценить размеры проявления эрозионно-аккумулятивных процессов. Применение разновременных хронологических маркеров в совокупности с повторными исследованиями ключевых объектов позволяют оценить имеющие место тренды и динамику формирования стока наносов.

Были исследованы три малых сельскохозяйственных водосбора в пределах наиболее возвышенной части Среднерусской возвышенности в зоне интенсивного Чернобыльского загрязнения. В качестве хронологического маркера был использован техногенный ¹³⁷Cs, чье вертикальное распределение в отложениях позволяет оценивать интенсивность аккумуляции с момента выпадения в 1986 г. По серии точек в днище сухих долин, улавливающих склоновый сток наносов, такое распределение было определено в двухкратной повторности: первично в 1997, 2010 и 2012 и вторично в 2023–2024 гг. Вместе с этим по длине днищ была заложена серия скважин, где по морфологическим особенностям и вещественному составу была определена мощность толщи агрогенных наносов, возраст которых возможно датировать на основе документальных источников. Используя полученные данные о мощности аккумуляции по длине днища, авторы произвели оценку общего объема отложившихся наносов. Полученные данные и результаты эрозионного моделирования смыва с распаханых склонов позволили оценить баланс наносов за разные временные интервалы. На рис. 1 представлена схема баланса наносов для одного из исследованных водосборов.

В целом постчернобыльский этап характеризуется более высокими средними темпами аккумуляции в сравнении со всем периодом сельскохозяйственного освоения. Такое различие связано со снижением степени транзитности сухих долин в условиях сокращающегося талого стока. Выявлена высокая пространственная неравномерность накопления агрогенных наносов с явной диспропорцией в пользу верховий балочных форм, что приводит к трансформации продольного профиля и служит фактором активизации донных врезов и ремобилизации отложенного материала.

Методика повторного послойного отбора и определения ¹³⁷Cs чернобыльского происхождения оказалась эффективной для оценки динамики накопления наносов на участках со стабильной тенденцией к аккумуляции. Перспективы дальнейших исследований динамики темпов осадконакопления в днищах балочной сети и, в частности, на участках последовательной аккумуляции, связаны с проведением повторного отбора образцов для определения концентраций ¹³⁷Cs на регулярной основе в будущем и с привлечением дополнительных хронологических маркеров, позволяющих расширить временные рамки количественных оценок соотношения статей баланса наносов.

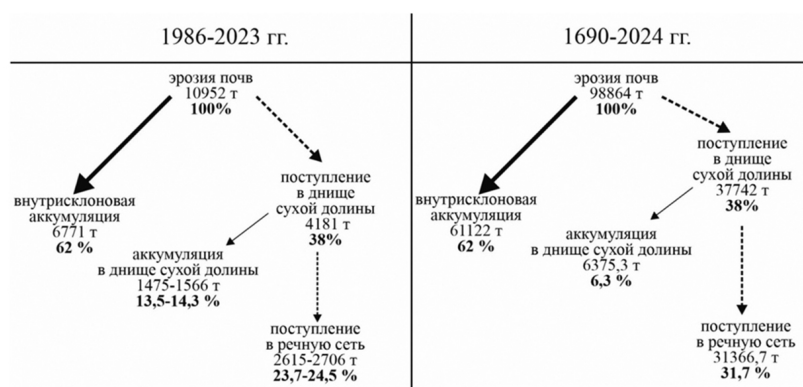


Рис. 1. Баланс наносов водосбора «Селезневка» за постчернобыльский этап и за период сельскохозяйственного освоения

* Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-77-10045.

Н.Н. Иванова, В.В. Беляев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ФОРМИРОВАНИЕ СМЫТО-НАМЫТЫХ ПОЧВ В БАССЕЙНЕ Р. ЛОКНЫ*

Смыто-намытые почвы нечасто попадают в поле зрения исследователей. Основной причиной их формирования является наличие нестабильной геоморфологической обстановки, когда в одной точке поверхности процессы сноса материала сменяются его переотложением. В пределах освоенных равнин умеренного пояса основным агентом возникновения смыто-намытых почв выступают процессы водной и механической эрозии. Смыто-намытые почвы являются характерной чертой почвенного покрова распахаемых склоновых ложбин. Их появление связано с постоянной сменой знака (врезание/переотложение) вследствие саморегулирующегося характера эрозионно-аккумулятивного процесса. Однако площадь таких почв составляет очень незначительную долю в структуре почвенного покрова пашни, а горизонтное строение конкретного почвенного тела может изменяться даже в течение одного эрозионного события. Еще одна зона геоморфологической нестабильности связана с изменением во времени пространственного положения нижней границы пашни. Исследования формирования смыто-намытых почв на границе распаханного склона междуречья/задернованный борт малой долины (балки) были проведены в бассейне р. Локны, расположенном в самой высокой северо-западной части Среднерусской возвышенности. Эта территория характеризуется густой и глубоко врезанной долинно-балочной сетью и высоким уровнем сельскохозяйственной освоенности. К моменту Генерального межевания (конец XVIII в.) в бассейне Локны было распахано 79%, т.е. с учетом площади, занятой долинно-балочной сетью (11%), селитебными территориями и лесами (10%), освоены были все пахотнопригодные участки до бровок эрозионной сети. Структура землепользования оставалась практически неизменной до 70-х гг. XIX в., когда после крестьянской реформы были распаханы верхние части бортов долин, где средние уклоны поверхности выше, чем на склонах междуречий. Вследствие значительного увеличения длины и среднего уклона линий стока полоса вдоль бровок долинной сети стала ареной интенсивного смыва почвы. Положение нижней границы пашен этого периода маркируется хорошо сохранившимися валами напашей. Ретроспективная количественная оценка баланса наносов на малых водосборах в бассейне Локны, проведенная с использованием WATEM/SEDEM, показала, что изменение общей площади пахотных угодий в результате перемещения нижней границы пашни не превысило 2–5%, тогда как общий объем смыва увеличился на 9–30% в зависимости от рельефа склонов. Распашка склонов долинной сети прекратилась в бассейне Локны только в начале 80-х гг. XX в. Нижняя граница пашни «поднялась» к бровкам долин, где начали формироваться напаша, которые задерживают большую часть склонового стока наносов. Знак процесса изменился, и ареал смытых в предыдущий период почв в пределах подножий пахотных склонов стал ареной преимущественной аккумуляции, которая продолжается и в настоящее время.

В бассейне Локны по космоснимкам высокого разрешения были отдешифрированы контуры «старых» напашей. В разных частях бассейна исследовано морфологическое строение почв 14 склоновых катен от приводораздельных распаханых участков до задернованных бортов и днищ малых долин. Установлено, что пояс смыто-намытых почв в пределах подножий пашни занимает 5–7% от площади элементарного склона, опирающегося на бровку долины.

В настоящее время ареалы смыто-намытых почв на нижней границе пашни являются зоной депонирования поступающих со склонов продуктов смыва и сопутствующих им загрязняющих веществ, значительно уменьшая степень геоморфологической связанности (connectivity) в системе распаханного склона–днище малой сухой долины (балки)–русло принимающей реки. В бассейне Локны геоморфологическая обстановка остается относительно стабильной в течение последних нескольких десятилетий. Однако в случае дальнейшего усиления неравномерности выпадения осадков, обусловленного глобальными изменениями климата, и увеличения посевных площадей за счет выхода пашни на борта и в днища малых сухих долин возможно резкое увеличение коэффициента доставки загрязненного материала в гидрографическую сеть вследствие нового цикла преимущественной эрозии в пограничной зоне пашня-задернованный борт малой долины.

* Результаты получены при финансовой поддержке научного проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2025-008 от 27 февраля 2025 г.

И.С. Казначеева, А.В. Лысенкова, Д.А. Ерко, В.Р. Попов, П.С. Манджиев,
Е.А. Кравченко

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

ВЛИЯНИЕ ГИДРОУГЛЯ НА ФИТОТОКСИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ЯРОВЫМ ЯЧМЕНЕМ*

В условиях возрастающего антропогенного загрязнения окружающей среды разработка эффективных сорбентов для иммобилизации поллютантов становится особенно актуальной. Перспективным направлением, активно развивающимся в последнее десятилетие, стала технология использования продуктов гидро-термальной карбонизации (ГТК) растительных отходов. В ходе данного процесса образуется твердый продукт – гидроуголь, обладающий высокой сорбционной емкостью и экологической безопасностью. Процесс его производства является экономически эффективным.

Целью работы являлось исследование влияния гидроуглей, полученных при разных температурах, на физические и фитотоксические свойства почв. Объектом исследования выступили гидроугли, полученные на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета (ЮФУ) из щепы яблони путем гидротермальной карбонизации при температурах 180 °C (Н180) и 250 °C (Н250) со временем выдержки 60 минут. Для достижения цели исследования заложен модельный вегетационный опыт с искусственным загрязнением чернозема обыкновенного карбонатного, отобранного из слоя 0–20 см на особо охраняемой природной территории «Персиановская заповедная степь». Использовалась навеска почвы массой 80 г на 1 чашку Петри (всего 54 шт.). Вносили Рb в форме сульфата в дозе 350 мг/кг, соответствующей 2,7 ориентировочно допустимой валовой концентрации Рb в близких к нейтральным (суглинистые и глинистые) почвам. Инкубация почвы с металлом проводилась в течение месяца. Затем были внесены сорбенты в дозах 0,5, 1, 1.5 и 2% от общего объема почвы. Инкубационный период почвы с сорбентами проводили в течение 2 недель при поддержании влажности в образцах на уровне $60 \pm 2\%$ от полной влагоемкости. Посев зерновок тест-культуры ярового ячменя двурядного сорта «Ратник» (*Hordeum sativum*) семейства Мятликовые (*Poaceae*) проводили в количестве 10 штук на одну чашку Петри и выращивали в лабораторных условиях при комнатной температуре (25 ± 2 °C) и освещении фотолампой (цикл свет-темнота 16/8 ч). Через 72 часа велся учет проросших семян для определения энергии прорастания (ГОСТ 10968–88). По истечении 10 дней с момента всходов измеряли всхожесть, длину корней и стеблей тест-культуры согласно ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Достоверность различий в морфометрических параметрах между экспериментальными вариантами оценивалась с помощью однофакторного дисперсионного анализа с последующим проведением апостериорного критерия Тьюки.

Результаты исследования показали, что в незагрязненной почве внесение гидроуглей Н180 и Н250 не оказывало значимого влияния на всхожесть семян, однако при дозе 2% Н250 наблюдалось достоверное снижение длины побега ярового ячменя (относительно контроля на 29%, $p < 0,05$). В загрязненной почве внесение Н180 в концентрации 1% привело к статистически значимому угнетению роста надземной части растений. Для Н250 выявлена линейная зависимость подавления роста побега: максимальное ингибирование (74 и 67% относительно контроля) зафиксировано при внесении 1,5–2% гидроугля. Токсикологическая оценка показала, что применение Н180 в незагрязненной почве проявляет стимулирующий эффект на развитие корневой системы и побегов ярового ячменя, тогда как в загрязненном субстрате токсичность оценивалась от низкой до нейтральной.

Модификация Н250 в дозах 0,5–1,5% стимулирует рост растений в незагрязненной почве. Все остальные варианты по токсичности оцениваются как нейтральные, кроме загрязненной почвы в дозах 1.5 и 2%, где токсичность низкая.

Гидроугли из щепы яблони, синтезированные при 250 °C, оказывают более значимое влияние на физико-химические и фитотоксические параметры почвы по сравнению с Н180. Это может быть связано с увеличением удельной поверхности гидроугля в условиях высокой температуры. Оптимальные дозы внесения для минимизации негативных эффектов составляют $\leq 1\%$ для Н250 и $\leq 0,5\%$ для Н180. Полученные данные подтверждают эффективность использования гидроуглей в качестве экологичного мелиоранта для ремедиации загрязненных почв.

На основе химического фракционирования установлено, что наиболее активными компонентами в удерживании ионов Zn являются органическое вещество, несиликатные соединения Fe и Mn и карбонаты. Значительная доля соединений металлов находится в составе первичных и вторичных силикатов. Полученные данные по фракционному составу Zn позволили установить доли фазовых компонентов в составе исследуемых образцов. В среднем доля минеральных фаз для исследуемых металлов составила $\approx 90\%$. Накопление металлов в составе органических компонентов составило $\approx 10\%$. Для луговой незагрязненной почвы с уменьшением размера гранулометрических фракций увеличивается сродство Zn с минеральной фазой.

* Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

Н.Д. Калашников, В.А. Ерин, А.Г. Мокрикова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

ВЛИЯНИЕ ЖКУ И КАС НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА В ПОЧВЕ ПОД НУТОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL*

Фосфор используется в многочисленных биохимических веществах, таких как коферменты, фосфат сахара, нуклеиновые кислоты (ДНК, РНК), нуклеотиды и фосфолипиды. Он способствует многим функциям роста растений, таким как образование семян, завязывание плодов и их цветение. Кроме того, многие физиологические процессы в растениях, такие как фотосинтез, превращение и дыхание, сбор энергии, деление и рост клеток, связаны с фосфором. Природные запасы фосфора в почвах определяются его содержанием в материнских породах, характером почвообразовательного процесса, гранулометрическим составом, кислотностью и количеством гумуса. В процессе формирования урожая растения в основном используют минеральный фосфор, различные формы и соединения которого отличаются по степени своей доступности для культур.

Исследования проводили на полях ИП Мокриков В.И. Октябрьского района Ростовской области. Длительность использования технологии no-till в указанном хозяйстве составляет 15 лет. Почва опытного участка – чернозем миграционно-сегрегационный на лессовидном суглинке.

Полевые производственные опыты заложены по методике Б.А. Доспехова (1985) методом организованных повторений. Минеральные удобрения в виде жидкого комплексного удобрения (ЖКУ11:37) и карбамидно-аммиачной смеси (КАС-32) вносили при посеве. Схема опыта: 1) контроль, 2) ЖКУ50, 3) КАС50, 4) ЖКУ+КАС50, 5) ЖКУ100, 6) КАС100, 7) ЖКУ+КАС100. На контрольном варианте удобрения не применяли (б/у). В удобренных вариантах цифры указывают дозу ЖКУ и КАС – 50 и 100 л/га. Почвенные образцы отбирали из двух слоев (0–10 и 10–20 см) по следующим фазам развития растений нута – три листа, цветение и полная спелость.

Методы исследования – отбор проб и подготовка почвы к анализу – ГОСТ Р 58595-2019; определение подвижного фосфора – по Мачигину; дисперсионный анализ полученных результатов проводили в пакете программ STATISTICA 13.3 с 5% уровнем значимости ($P < 0.05$).

Исследования показали, что динамика подвижного фосфора в почве при выращивании нута зависела от типа удобрений и глубины слоя. Внесение удобрений в верхний слой (0–10 см) снижало колебания содержания фосфора по фазам развития, тогда как на глубине 10–20 см его количество заметно уменьшалось по мере роста растений.

Во всех удобренных вариантах наблюдалось значительное повышение уровня подвижного фосфора. Применение ЖКУ 100 увеличивало его содержание на 78% по сравнению с контролем, а в варианте ЖКУ + КАС 100 прирост составил 91%. Однако добавление КАС к ЖКУ не усиливало мобильность фосфора, несмотря на повышение дозы азота.

К фазе цветения обеспеченность почвы фосфором в удобренных вариантах оставалась средней, тогда как на контроле она была очень низкой. Наибольшая концентрация (18,7 мг/кг) зафиксирована при внесении ЖКУ + КАС 100 л/га. В дальнейшем содержание подвижного фосфора снижалось вплоть до фазы полной спелости.

Различия между слоями 0–10 и 10–20 см были наиболее выражены в варианте ЖКУ 100. При этом удобрения способствовали накоплению фосфора в верхнем слое, что согласуется с данными предыдущих исследований (Есаулко и др., 2018; Ильченко и др., 2021).

Результаты показали, что жидкие минеральные удобрения улучшают фосфорное питание нута. Максимальная эффективность достигнута при использовании ЖКУ 100 как отдельно, так и в комбинации с КАС 100. Кроме того, ЖКУ (50 и 100 л/га) обеспечивали пролонгированное действие, поддерживая повышенный уровень фосфора до конца вегетации.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») в Молодежной лаборатории регенеративного земледелия № СП-12-24-03.

А.А. Камышев*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова***МОРФОДИНАМИКА РУСЛА Р. ОБИ В РАЙОНЕ СУРГУТСКОГО УЗЛА***

В пределах Сургутского узла (рис. 1) р. Оби сформировалась сложная многорукавная система, динамика которой оказывает критическое влияние на устойчивость прибрежных территорий, функционирование мостовых переходов, судовых ходов и водохозяйственной инфраструктуры. Проведенный анализ позволил реконструировать пространственно-временную эволюцию русла на участке длиной более 70 км по материалам дешифровки ретроспективных космических и аэрофотоснимков (1970–2022 гг.), лоцманских карт (1929–2009 гг.) и натурных гидрологических наблюдений.

На основе морфометрических характеристик, особенностей динамики береговой линии и параметров излучин выделены пять морфологически однородных участков русла, среди которых ключевую роль в формировании плановой структуры потока играют Широковская излучина, Санинское пойменно-русловое разветвление и система сопряженных рукавов у островов Черного, Раздорного и Тюменцева. Установлена последовательность трансформаций русла в сопряженной системе рукавов, подчиненная «правилу восьмерки», отражающему закономерную смену основного стока между левобережными и правобережными руслами.

Санинское разветвление, сформировавшееся в середине XX в., стало одним из основных факторов плановой реорганизации русловой сети: к 2020 г. доля стока в его правобережной протоке достигала 70–86% в зависимости от водности. Отмечено значительное расширение протоки, а также активное развитие излучин, смещающихся со скоростью до 20 м/год. Левый рукав утратил доминирующее положение, что обусловило его обмеление, зарастание и развитие мозаичных участков молодой поймы.

Темпы размыва берегов на отдельных участках достигают 10–20 м/год (Широковская излучина, протока Санина), что критически важно при оценке устойчивости берегов в зонах мостовых переходов. В зоне строящегося перехода через Триюганский участок зафиксировано устойчивое смещение динамической оси потока к левому берегу, а также потенциальная угроза активизации размыва в случае изменения положения главного течения.

В сопряженных разветвлениях ниже острова Черного наблюдается последовательное нарастание островов за счет регрессивного (вверх по течению) присоединения побочней. Зафиксированы процессы бифуркации стрежня потока, формирование стабильных осередков и соответствующее расширение русла. Положение стрежня не всегда совпадает с судоходным фарватером, что требует регулярной корректировки навигационных условий. Строительство Югорских мостов привело к спрямлению и углублению Малой Романовской протоки, однако перераспределения основного расхода воды в сторону данного рукава не произошло.

Выявлена инерционность развития многорукавной системы: перестройки в верхних участках (Санинское разветвление, Широковская излучина) с задержкой в 10–30 лет проявляются в изменении гидравлики и перераспределении стока в нижележащих рукавах. Такой эффект обусловлен не только гидравлическими условиями, но и характером трансформации островных комплексов, размывом яров и динамикой побочней.

Предложенная морфодинамическая схема и сценарии эволюции русла могут быть использованы при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений, обосновании зон охраны берегов, а также в целях навигационного и эколого-гидрологического мониторинга. Полученные результаты позволяют формировать практические рекомендации по снижению рисков русловых деформаций и повышению устойчивости прибрежной инфраструктуры в условиях активной русловой динамики.



Рис. 1. Космический снимок
Сургутского водного узла

* Исследование выполнено по планам НИР (ГЗ) Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ им. М.В. Ломоносова (№ 121051100166-4).

В.М. Католиков, Н.И. Католикова

Государственный гидрологический институт

ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ РУСЛОФОРМИРОВАНИЯ НА МНОГОРУКАВНОМ УЧАСТКЕ РЕКИ ХОР

Русловой процесс, развивающийся как на равнинных, так и на реках горно-предгорных районов по типу пойменной многорукавности, является наиболее разноплановым (сочетанным) процессом по своим проявлениям. При таком типе на морфологически однородном участке наблюдаются элементы ленточно-грядового и осередкового типов, меандрирования, долинного блуждания и русловой многорукавности. Все это многообразие зачастую производит впечатление хаотического явления. Практически принято рассматривать и прогнозировать отдельно процессы как в основных рукавах, так и во второстепенных пойменных протоках.

В данной работе процессы руслоформирования на морфологически однородном участке р. Хор рассмотрены с учетом основных руслоформирующих факторов. Выполненный анализ позволил установить 25-летнюю периодичность в развитии и спрямлении излучин основного двухрукавного русла реки и установить ключевые узлы разветвления основного русла, изменение морфологического строения которых определяет тенденции морфологического развития основных рукавов на ниже лежащих участках.

Учет этих закономерностей позволил разработать прогноз развития одной из речных излучин основного русла реки, пересекаемой трассами линейных сооружений, и систему мероприятий по регулированию развития вторичных пойменных протоков.

М.В. Киричков, Т.В. Бауэр, В.А. Поляков

Южный федеральный университет

СИНТЕЗ БИОЧАРА ИЗ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД: ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТА, СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, ЭКОРИСКИ*

Объемы образования осадка сточных вод (ОСВ) на очистных сооружениях резко возросли в последние годы – этому способствовали рост населения, ускоренная урбанизация и развитие промышленности. Этот сложный по составу побочный продукт очистки содержит опасные для человека патогены. Традиционные методы утилизации ОСВ – анаэробное сбраживание, захоронение на полигонах, а также использование в качестве удобрений. Для минимизирования риска попадания тяжелых металлов в окружающую среду необходимо тщательно изучать их содержание в продуктах карбонизации биочара. Степень иммобилизации металлов в биочаре из осадка сточных вод напрямую зависит от температуры пиролиза.

В данном исследовании изучалось влияние температуры пиролиза на свойства биочара, полученного методом кальцинирования осадка сточных вод. Повышение температуры с 300 до 900 °С привело к росту pH биоугля с 8,4 до 11,8 и возрастанию удельной поверхности с 68 до 161 м²/г. Также, повышение температуры пиролиза снижало выход биочара с 75,37±0,23% до 49,17±0,21%.

На рис. 1а представлены изотермы адсорбции-десорбции N₂ для исходного материала и полученных биочаров. Изотермы N₂ для образцов ОСВ и БЧ300 – БЧ700 (биочар, изготовленный при соответствующей температуре) соответствуют типу II по классификации IUPAC, что характерно для макропористых и беспористых материалов. Были обнаружены мезопоры средним размером 4 нм, более крупные поры размером 10–50 нм, а также макропоры размером 50–75 нм (рис. 1б).

Повышение температуры пиролиза с 300 до 500 °С приводило к увеличению удельной поверхности и общего объема пор. При температуре пиролиза 700 °С наблюдалось увеличение площади поверхности образца с 81,3 до 87,1 м²/г, одновременно с этим резко возрастала доля крупных мезо- и макропор, что приводило к увеличению общего объема пор до 0,32 см³/г. Дальнейшее повышение температуры (БЧ900) вызывало значительное увеличение микропористости и двукратный рост площади поверхности, но сопровождалось исчезновением макропор и крупных мезопор, что снижало общий объем пор.

С повышением температуры пиролиза наблюдался рост концентрации металлсодержащих фаз (рис. 2), что свидетельствует о более эффективной стабилизации металлов при высокотемпературной обработке. Этот эффект хорошо коррелирует с уменьшением выхода биочара, что также способствует увеличению доли металлсодержащих минеральных фаз.

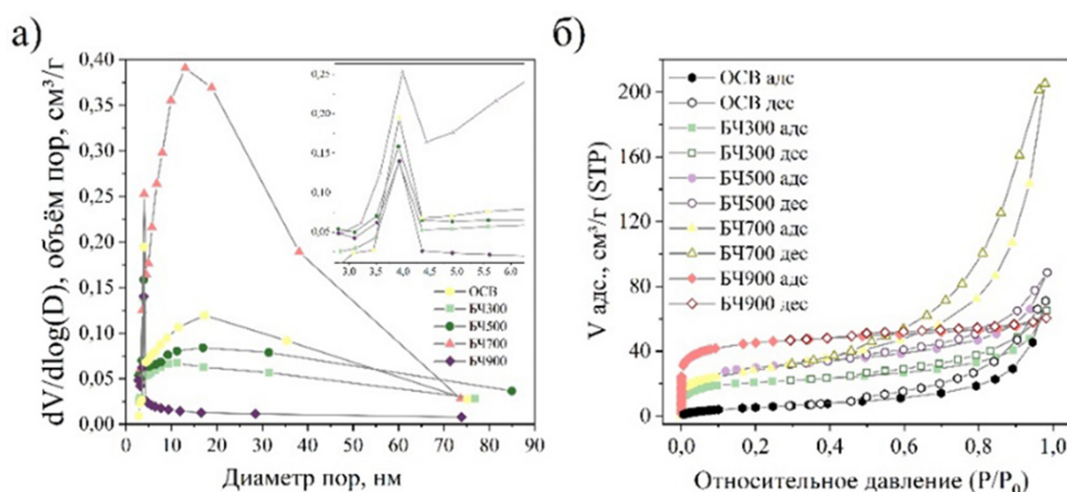


Рис. 1. (а) Изотермы адсорбции-десорбции N₂ и (б) распределение пор по размерам для осадка сточных вод и биочаров, полученных при разных температурах пиролиза. Обозначения: ОСВ – исходный осадок сточных вод; БЧХ – биочар, полученный при температуре Х (°С).

* Исследование выполнено при поддержке Проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории в рамках межрегионального НОЦ Юга России (FENW-2024-0001).

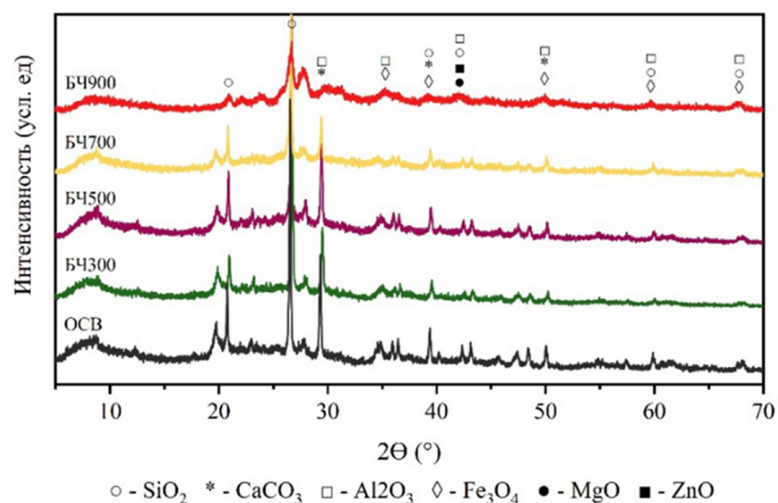


Рис. 2. Дифрактограммы всех исследуемых образцов с отмеченными минеральными фазами

Повышение температуры пиролиза снижало долю подвижных форм металлов (F1+F2) в биочаре, переводя их в стабильные оксидные и остаточные фракции (F3-F4). Наибольшая степень иммобилизации наблюдалась для таких металлов, как Mn, Zn и Cd. Оксиды металлов и зольные остатки в биочарах повышают pH до щелочных значений, что делает температуру пиролиза ключевым фактором иммобилизации тяжелых металлов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что пиролиз является эффективным методом обработки осадков сточных вод, посредством процесса иммобилизации тяжелых металлов в биочаре. Оптимизация температуры производства позволяет минимизировать потенциальное негативное воздействие на окружающую среду при последующем применении полученного материала в качестве сорбционного материала.

А.В. Клещенко

Южный научный центр РАН

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ДЕЛЬТЕ ДОНА ПРИ СГОНАХ*

Дельта р. Дон подвержена значительным колебаниям уровня воды, которые формируются под воздействием сгонов и нагонов. Кроме того, на изменения уровня оказывают влияние сейшевые колебания и изменения объема стока речной воды, однако следует отметить, что последний фактор влияет в меньшей степени.

Формирование обратных течений в дельту Дона связано, как правило, с нагонными явлениями. Однако в условиях маловодья Дона, начавшегося в 2007 г. и длящегося по настоящее время, растет вклад морских факторов на фоне сокращения расходов воды в дельте Дона, что приводит к увеличению влияния сейшевых колебаний уровня на формирование обратных течений.

Проведенные нами в мае 2024 г. морские научные исследования в дельте Дона на НИС «Профессор Панов» показали, что даже в условиях развития сильного сгона наблюдается формирование обратных течений в дельту Дона, которые связаны с сейшми Азовского моря. Зафиксированная скорость обратного течения составила 13,5 см/с на удалении 7 км от устьевом створа (рис. 1).

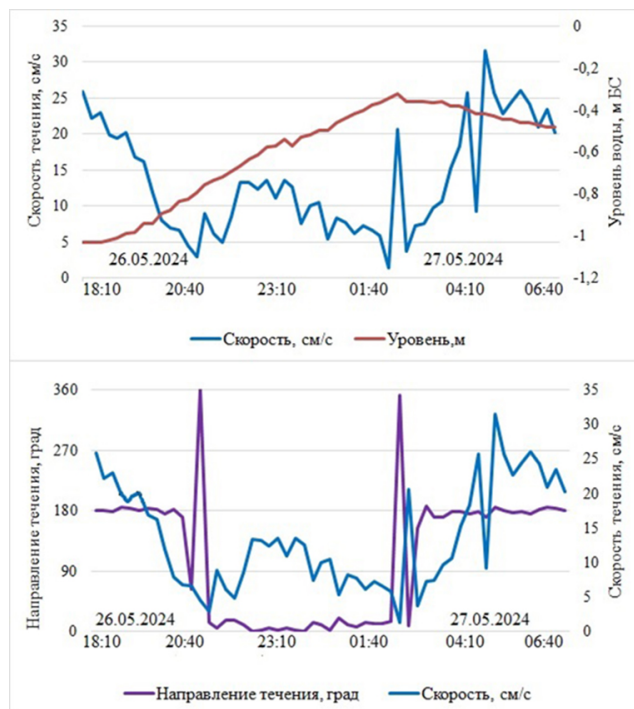


Рис. 1. Изменение скорости и направления течения

* Публикация подготовлена в рамках тематики НИР ГЗ ЮНЦ РАН на 2025 г. № гос. рег. 125012100503-4.

Ю.Ю. Клиндухова, Н.А. Черникова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИОЧАРА НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ*

Рост населения приводит к экспоненциальному увеличению потребности в продуктах питания. Удобрения являются одним из наиболее важных элементов удовлетворения этого возросшего спроса и обеспечения глобальной продовольственной безопасности. Однако низкая эффективность использования питательных веществ из удобрений по-прежнему остается основным фактором, ограничивающим развитие сельского хозяйства. Вместе с этим высокая концентрация неиспользованных удобрений привела к появлению огромных «мертвых зон» Мирового океана и увеличению глобальных выбросов закиси азота, усложняя усилия по ограничению изменения климата. Как следствие, возникают экологические, экономические, социальные проблемы. В последнее время разработан ряд альтернативных удобрений на основе биочара, полученного при использовании термохимических процессов. Такие биоудобрения должны повышать доступность питательных веществ растениям, улучшать их рост и развитие.

Исследования проведены в условиях вегетационного опыта. Опытная культура – твердая яровая пшеница (*Triticum durum* Desf.), сорт – Мелодия Дона. Схема вегетационного опыта включает следующие варианты: 1) контроль (б/у), 2) Рс60, 3) Рс90, 4) Рс150, 5) Б60, 6) Б90, 7) Б150, 8) БРс60, 9) БРс90, 10) БРс150. Контрольный вариант без удобрений (б/у). В удобренных вариантах цифры указывают дозу биочара (Б), суперфосфата (Рс) и биочара, насыщенного суперфосфатом (БРс), по действующему веществу (Р₂O₅) – 60, 90 и 150 кг/га. Почва – чернозем обыкновенный карбонатный (ООПТ Персиановская заповедная степь). Повторность опыта – трехкратная.

Биочар получали путем пиролиза соломы при температуре 700 °С, промывали раствором КОН и насыщали обогащенным суперфосфатом с содержанием фосфора – 29,0%. В подготовленную почву (500 г) вносили рассчитанное количество указанных удобрений, инкубировали 7 дней и проводили посев яровой пшеницы. После прорастания в сосудах оставляли по 15 проростков. В течение всего вегетационного опыта контролировали влажность почвы. Для оценки влияния химически модифицированного биочара были изучены морфометрические параметры яровой пшеницы на 35-е сутки (высота побега, длина корней, сырая и сухая масса побегов и корней).

Согласно полученным данным, внесение биочара оказывает положительное действие на рост и развитие растений яровой пшеницы. Средняя высота побега пшеницы контрольного варианта составила 25,4 см. При использовании Б60 и Б90 этот показатель увеличился на 17 и 13% соответственно. Применение биочара, насыщенного раствором суперфосфата, повышает высоту побега на 11 (БРс60) и 13% (БРс90).

Наибольшее влияние изучаемые удобрения оказали на длину корней. В вариантах Б60 и Б90 выявлено повышение рассматриваемого показателя на 15 и 41% соответственно относительно контроля. При внесении химически модифицированного биочара длина корней увеличилась на 70 (БРс60) и 49% (БРс90). Доза 150 кг д.в./га как исходного биочара, так и модифицированного показала меньший эффект.

* Работа выполнена при поддержке Проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории в рамках межрегионального НОЦ Юга России (FENW-2024-0001).

А.А. Коваленко^{1,2}, О.С. Решетняк¹

¹Южный федеральный университет

²Гидрохимический институт Росгидромета, г. Ростов-на-Дону

О ВЗАИМОСВЯЗЯХ ТРЕНДОВ МОДУЛЯ ИОННОГО СТОКА И ХИМИЧЕСКОЙ ДЕНУДАЦИИ НА ВОДОСБОРЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ*

Химическая денудация, или вынос растворенных веществ с водосборов, является одним из важных элементов миграции вещества нашей планеты. Под химической денудацией понимается совокупность процессов потери вещества ландшафтов путем их растворения и последующего выноса водой за пределы суши. Интенсивность химической денудации определяется геологическими особенностями (составом почв и горных пород), климатическими условиями (количеством атмосферных осадков и т.д.), рельефом местности, водностью рек и прочими факторами, в том числе антропогенными.

Исследование проведено на основе многолетних гидрологических и гидрохимических данных государственной наблюдательной сети Росгидромета за период с 1990 по 2017 г. Объекты исследования – участки р. Северной Двины и ее притоков – р. Вымь, Вычегда, Луза, Пинега, Сухона и Юг. Расчет ионного стока (ИС) и стока отдельных макрокомпонентов проведен прямым методом. Направленность тенденций ионного стока оценена на основе коэффициентов корреляции Кендалла. Показатель модуля ионного стока M (т/км² в год) рассчитывался как отношение ионного стока к площади водосбора (F , тыс. км²).

Модуль стока растворенных веществ характеризует интенсивность химической денудации на водосборе Северной Двины. Использование данного удельного показателя позволяет провести сравнительный анализ пространственной изменчивости ионного стока, т.к. исследуемые реки отличаются друг от друга по длине и площади водосбора.

Диапазоны и среднемноголетние значения модулей ИС и стока отдельных макрокомпонентов представлены в табл. 1. Для водосбора Северной Двины эти значения достаточно высоки по сравнению с другими северными и арктическими реками. При этом наибольшая нагрузка по модулю ИС и по модулю стока сульфатов характерна для р. Вымь. По значениям модуля стока хлоридов наибольшую нагрузку испытывает участок р. Сухоны (г. Тотьма), а по модулю стока гидрокарбонатов – все изучаемые участки рек, за исключением р. Сысола.

На фоне климатических изменений и достаточно высокой антропогенной нагрузки в бассейне Северной Двины наблюдается или статистически значимое снижение модулей ионного стока и отдельных макрокомпонентов, или вообще отсутствие каких-либо трендов, что может свидетельствовать об ослаблении процесса химической денудации на водосборе. Статистически значимые возрастающие тренды характерны для модулей стока сульфатов на всех участках р. Сухона, а также для стока гидрокарбонатов на изучаемых участках р. Луза и Сысола.

Тенденция возрастания модуля стока сульфатов на водосборе Сухоны обусловлена антропогенными факторами за счет высокой антропогенной нагрузки, тогда как статистически значимые положительные тренды модуля стока гидрокарбонатов на водосборах р. Луза и Сысола скорее всего вызваны усилением химической денудации карбонатных минералов.

Результаты исследования могут быть использованы для оценки антропогенной нагрузки на водосборе Северной Двины, а также для прогнозной оценки ионного стока и его возможного влияния на гидрохимический режим прибрежных морских акваторий Белого моря.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00366, <https://rscf.ru/project/24-27-00366/>

Таблица 1. Изменчивость модулей ионного стока и отдельных макрокомпонентов для рек бассейна Северной Двины (1990–2017 гг.)

№ п/п	Река, пункт наблюдений	Площадь водосбора, тыс. км ²	Модуль стока, т/км ² в год			
			ИС	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ³⁻
1	Северная Двина, с. Усть-Пинега	350	45,5–86,5*	1,29–2,80	9,00–19,2	23,9–42,2
			66,7	1,99	14,3	33,7
2	Вымь, с. Весляна	19,1	78,8–152	0,55–1,27	33,8–75,1	21,5–47,4
			111	0,86	47,7	33,6
3	Вычегда, с. Малая Кужба	26,5	35,2–62,2	0,45–1,32	5,63–12,3	18,3–35,4
			48,6	0,81	8,70	27,0
4	Луза, п. Красавино	16,3	41,4–91,6	0,82–4,10	1,88–22,4	17,1–44,8
			59,6	2,20	10,1	30,2
5	Пинега, с. Кулогоры	36,7	33,7–101	0,70–1,72	6,99–32,5	17,4–47,6
			71,6	1,26	18,2	33,4
6	Сухона, г. Тотьма	34,8	32,8–78,9	0,78–4,65	4,35–15,3	16,9–46,2
			51,4	2,05	7,51	30,4
7	Сухона, г. Великий Устюг	49,2	44,6–89,7	1,06–3,27	7,04–17,5	23,0–53,1
			63,7	2,05	11,2	33,6
8	Сухона, г. Сокол	15,5	33,9–73,3	0,65–2,56	5,87–15,6	18,3–44,9
			52,3	1,54	9,58	28,4
9	Сысола, пос. Первомайский	11,7	11,8–34,2	0,36–1,19	1,15–5,85	7,22–23,7
			27,2	0,63	2,53	17,3
10	Юг, пос. Подосиновец	15,3	41,5–100	0,95–3,96	2,81–17,1	21,4–72,5
			61,7	1,79	8,11	34,7

Примечание: *в числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднеемноголетнее значение модуля ИС или стока макрокомпонента. Статистически значимые тенденции (при p<0,05 и выше): зеленый – убывающая тенденция; розовый – возрастающая тенденция.

Р.С. Комаров^{1,2}, О.С. Решетняк¹

¹Южный федеральный университет

²ФГБУ «Гидрохимический институт»

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОДУЛЕЙ ИОННОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ Р. КУБАНЬ*

Формирование ионного стока на водосборе р. Кубань происходит в условиях засушливого климата, сложного рельефа, высотной зональности, значительного разнообразия дренируемых горных пород и почв, а также в условиях высокой антропогенной нагрузки и низкой водообеспеченности территории. При этом поверхностные воды рек бассейна имеют важное социально-экономическое и экологическое значение с точки зрения обеспечения водными ресурсами нужд населения и различных секторов экономики Карачаево-Черкесской Республики, Ставропольского края, Республики Адыгея и Краснодарского края. Происходящие изменения окружающей среды вследствие хозяйственной деятельности и климатических изменений также оказывают влияние на процессы формирования химического стока в бассейне реки. Цель исследования – анализ пространственно-временной изменчивости модулей ионного стока в бассейне р. Кубани в условиях антропогенного воздействия.

Исследование проведено на основе многолетних гидрохимических и гидрологических данных государственной наблюдательной сети Росгидромета. Исходная информация представляет собой ряды данных о расходах воды и концентрациях главных ионов в воде рек бассейна Кубани за период с 1990 по 2020 г. Расчет ионного стока выполнен прямым способом в соответствии с РД 52.24.748–2010 «Усовершенствованная методика определения выноса (переноса) загрязняющих веществ с речным стоком». Для отображения модулей стока применялся подход, который был использован исследователями из Института водных проблем РАН при разработке атласа «Гидрохимический сток рек Европейской части России». Путем вычитания среднесноголетних значений на расчетном и вышележащем пункте наблюдений получали показатели ионного стока частных водосборов.

На основе статистического анализа выделены контрастные периоды ионного стока, характеризующиеся повышенным и пониженным ионным стоком. Для этих периодов рассчитаны среднесноголетние модули стока веществ по каждому пункту наблюдений без вычитания значений на расчетном и вышележащем участках (т. е. для всей площади, относящейся к пункту наблюдений). Полученные результаты представлены на рисунке.

При детальном рассмотрении пространственного распределения модулей ионного стока прослеживается неоднородность интенсивности выноса веществ в пределах водосбора. Сток веществ преимущественно формируется в горных и предгорных районах бассейна р. Кубани. При этом максимальные значения модуля ионного стока наблюдаются в среднем течении реки (это территории с наибольшей антропогенной нагрузкой). На участке от г. Армавира до ст-цы Ладожской модуль ионного стока достигает максимальных значений (273 т/км² в год), что, по всей видимости, обусловлено совместным влиянием природных (за счет подземных вод) и антропогенных факторов.

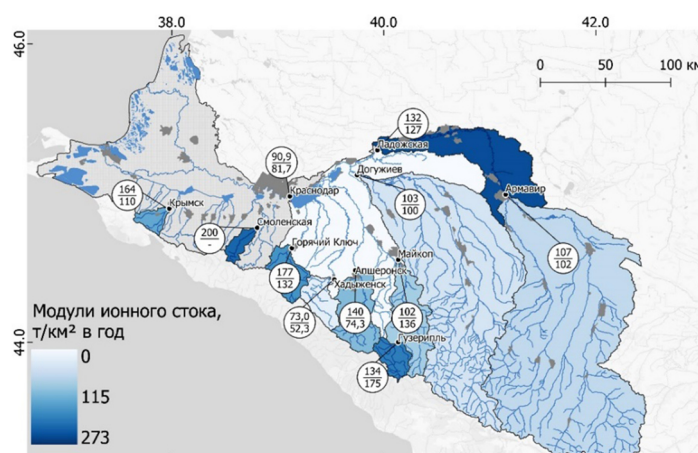


Рис. 1. Пространственно-временная изменчивость модулей ионного стока в пределах бассейна р. Кубани (цветом отмечены среднесноголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (т/км² в год) для пункта наблюдений за период 1990–2003 гг., в знаменателе – 2004–2020 гг.)

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27- 00366, <https://rscf.ru/project/24-27-00366/>

Во временной динамике ионного стока выявлены разнонаправленные тенденции. Так, например, на участках, расположенных по длине р. Белой (п. Гузерипль и г. Майкоп), величина модуля ионного стока возросла на 31–33%. В остальных пунктах наблюдений отмечалось снижение ионного стока на 3–47%.

Таким образом, на основе расчета и анализа значений модулей ионного стока определены территории в пределах водосбора р. Кубани, для которых характерна наибольшая интенсивность выноса веществ (области формирования стока химических веществ), выделены фазы повышенного и пониженного ионного стока относительно среднемноголетних значений, а также проанализирована временная динамика показателя. В дальнейшем эти сведения могут быть использованы для прогнозирования выноса химических веществ в прибрежные зоны Азовского моря и при разработке экологически обоснованных рекомендаций по управлению водными ресурсами в бассейне реки.

Е.Ю. Константинова, Т.М. Минкина, Е.С. Лацынник

Южный федеральный университет

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ОТЛОЖЕНИЙ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ДОН*

Донные отложения дельты р. Дон выступают геохимическим барьером в зоне смешения пресных и морских вод. Накопление тяжелых металлов (ТМ) представляет потенциальную опасность для экосистем и бентоса, которую можно оценить косвенно с помощью критериев качества отложений (sediment quality guidelines; SQG), установленных в зависимости от чувствительности водных организмов к загрязнению. В данной работе в качестве SQG использованы схемы порога кажущегося эффекта (apparent effect threshold; AET) и Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA). Схема АЕТ включает пороговый уровень эффекта (TEL), который соответствует предельному значению, при котором вероятность возникновения неблагоприятных эффектов незначительна, и вероятный уровень эффекта (PEL), который указывает на токсичность отложений и высокую вероятность возникновения неблагоприятных биологических эффектов. Схема NOAA включает низкий диапазон эффекта (ERL) и медиану диапазона эффекта (ERM), при которых неблагоприятные экологические эффекты редки (<ERL) или часты (>ERM). Превышение уровней и диапазонов указывает на потенциальную токсичность отложений. Для количественной оценки экотоксикологических рисков неблагоприятного воздействия ТМ рассчитаны средние коэффициенты ERM (ERM_Q) и индексы токсического риска (TRI):

$$ERM_Q = \frac{\sum ERM_{Qi}}{n} = \frac{\sum (C_i/ERM_i)}{n},$$

$$TRI = \sum TRI_i,$$

$$TRI_i = \sqrt{(C_i/TEL)^2 + (C_i/PEL)^2 / 2}$$

В пределах дельты отложения отобраны в руслах р. Дон и ее крупных притоков ($n = 18$) и на берегах водотоков на расстоянии 2–3 м от уреза воды ($n = 7$). Валовые содержания Cr, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb определяли методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (Спектроскан МАКС-GV, ООО НПО «Спектрон», Россия).

Средние содержания ТМ в отложениях дельты Дона убывают в ряду (в мг/кг): Ni (99,1) \approx Cr (98,3) \approx Pb (96,8) > Zn (88,0) > Cu (22,1) > Cd (1,9). Содержание Cu и Zn не превышает ERM/PEL, их уровни ниже ERL/TEL в большинстве проб (таблица), следовательно, эти металлы представляют минимальный экотоксикологический риск. Содержание Cr и Cd ниже ERM (в 100% проб), но выше TEL (в 96% проб), что указывает на умеренные риски. Основными источниками высокого риска являются Ni и Pb, уровни которых превышают ERM/PEL в большей части проб.

Таблица 1. Оценки индивидуальных экотоксикологических рисков загрязнения отложений дельты Дона тяжелыми металлами

Элементы		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Содержание, мг/кг		27,6–140,8	28,0–151,3	5,4–45,7	31,1–150,5	0,6–4,1	18,2–170,4
Диапазоны эффекта, мг/кг	ERL	80	30	70	120	5	35
	ERM	145	50	390	270	9	110
Диапазоны эффекта, % проб	<ERL	20	4	100	80	100	16
	ERL-ERM	80	12	0	20	0	36
	\geq ERM	0	84	0	0	0	48
Уровни эффекта, мг/кг	TEL	37,3	18	35,7	123	0,596	35
	PEL	90	36	197	315	3,53	91,3
Уровни эффекта, % проб	<TEL	4	0	96	84	4	16
	TEL-PEL	24	12	4	16	92	16
	\geq PEL	72	88	0	0	4	68

Оценка содержания ТМ в отложениях относительно ERM показала (рис. 1), что уровни Cu в 96% проб представляют низкий риск ($ERM_Q < 0,1$), содержание Zn и Cd соответствует среднему риску в 92% проб

*Исследование выполнено при поддержке Правительства Российской Федерации, реализуемой в рамках Соглашения № 075-15-2025-008 от 27.02.2025.

(ERMQ=0,1–0,5), а Cr и Pb значительному риску в 88 и 72% проб (ERMQ=0,5–1,5). Наиболее опасен Ni (ERMQ до 3), представляющий значительную и высокую опасность в 36 и 64% проб. Значения MERMQ варьируются в пределах 0,2–1,0, при среднем 0,7. Средневзвешенный риск классифицируется как средний в 20% и значительный в 80% проб. Во всей выборке значения TRI всех металлов, кроме Ni, меньше пяти, что характеризует вероятность возникновения негативных токсических эффектов как незначимую. Низкий риск потенциального негативного воздействия Ni отмечен в 56% проб (TRI до 6,6). Значения суммарного TRI варьируются в пределах 3,5–18,5, при среднем 11,7, и характеризуют риск как незначимый в 4% проб, низкий в 20%, средний в 64% и значительный в 12%.

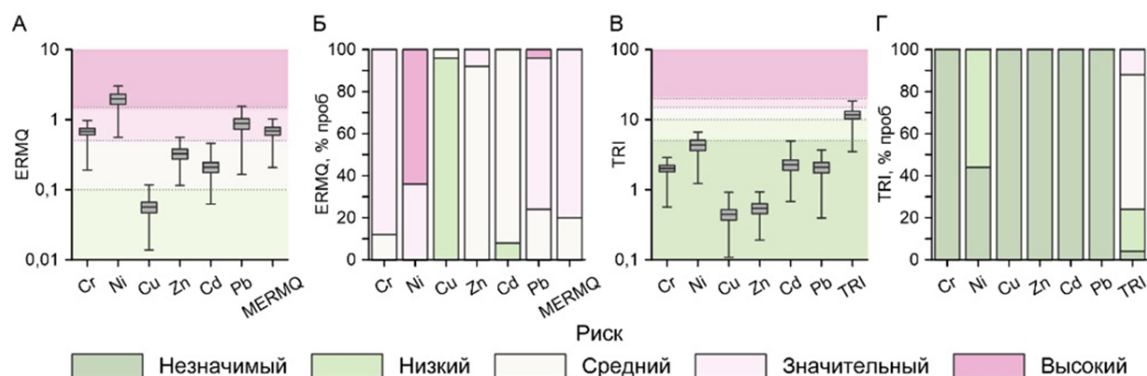


Рис. 1. Значения средних коэффициентов ERM (А) и индексов токсического риска (TRI) (В) и классификация отложений дельты Дона по уровням экотоксикологических рисков (Б, Г)

С.Е. Коркин^{1,2}¹Нижевартровский государственный университет, г. Нижневартовск²Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

ЭРОЗИОННО-РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИРОДНОГО ПАРКА «СИБИРСКИЕ УВАЛЫ»

В данной работе представлены результаты, полученные на основе изучения эрозионных и русловых процессов территории природного парка «Сибирские Увалы», которая вовлечена в современный морфолитогенез достаточно активно, идет формирование и преобразование долины р. Глубокий Сабун и Сармсабун. Активность эрозионно-русловых процессов напрямую зависит от литологического состава, характера рельефа, климатического и гидрологического факторов. На территории природного парка получили развитие районы с промежуточными условиями русловых деформаций (преобладание адаптированных русел) и районы распространения заломов на малых реках. С точки зрения морфодинамической составляющей преобладают широкопойменные типы русел, где излучины свободные, сегментные пологие (с продольным перемещением), сегментные крутые с широким распространением омеговидных излучин (с продольно-поперечным перемещением). Современные эрозионные и русловые процессы наиболее ярко проявляются в долине р. Глубокий Сабун. Преобладающий тип руслового процесса – свободное меандрирование; в самых верховьях реки и на участках сужения долины – ограниченное меандрирование. Пойму р. Глубокий Сабун можно разделить на три уровня: низкий (до 2 м), средний (2–3 м) и высокий (3–5 м); в притеррасной зоне встречаются террасы (4–6 м). В верховьях преобладают высокий и средний уровни, ниже по течению – низкий и средний. Мониторинговое моделирование пространственно-временной динамики эрозионно-русловых деформаций долины р. Глубокий Сабун проводилось в летние периоды с 2002 по 2012 и в 2023, 2024 гг. В процессе полевых работ за два прошедших года были получены следующие результаты, представленные ниже по тексту.

В 2023 г. было выявлено, что за 11-летний период отступление бровки берега на 5 участке бывшей базы «Брусовая» (левый берег р. Глубокий Сабун) составило на 1 створе 2,89 м, среднее значение 0,26 м/год, на втором створе 4,32 м, среднее значение 0,39 м/год, на 3 створе 3,65 м, среднее значение 0,33 м/год. Деформации береговой бровки на 6 ключевом участке составили на 1 створе 1,0 м, среднее значение 0,09 м/год, на 2 створе 1,1 м, среднее значение 0,1 м/год, на 3 створе 0,95 м, сред. значение –0,09 м/год, на 4 створе 2,6 м и среднегодовое значение равно 0,24 м/год.

В 2024 г. наибольший размыв происходит на незадернованных береговых склонах и такой участок это, излучина в районе бывшей базы Брусовой. На первом створе изменений в 2024 г. не было, а на втором отступление составило 0,08 м/год, на третьем 0,15 м/год. На излучине после базы «Брусовая» (6 ключевой участок) результаты были следующие: первый створ – 0,35 м/год; второй створ – 0,4 м/год; третий створ – 0,35 м/год; четвертый створ – не было изменений.

В.Н. Коротаев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

АТЛАС «ЭСТУАРИИ РЕК МИРА»*

Под *эстуарием* подразумевается раструбовидный залив в устье реки, в придонном слое которого формируется так называемый клин соленых морских вод и происходит реверсивное перемещение речных и морских наносов, препятствующее образованию дельты.

Из всего многообразия устьевых эстуарных систем было выбрано 23 наиболее типичных природных объекта: Россия – Тулома (Кольский залив), Кандалакшский залив, Мезень, Онега, Анабар, Пенжина, Амур, Колючинская губа (Ионивеем); Зарубежная Европа – Темза, Одра, Эльба, Везер, Эмс, Сена, Луара, Гаронна, Гвадалквивир; Северная Америка – Гудзон, Св. Лаврентия, Чесапикский залив и Делавэр; Китай – Цяньтанцзян (Фучуньцзян); Австралия – Муррей (таблица).

Атлас «Эстуарии рек Мира» – специализированный тематический атлас научно-справочного назначения, который может быть полезен для специалистов в области геоморфологии, гидрологии, береговых процессов, гидротехники и природопользования. При составлении Атласа использованы результаты полевых и камеральных геоморфологических, русловых, гидроакустических и гидрографических изысканий Географического факультета МГУ, Института океанологии РАН и Института водных проблем РАН за период 1990–2015 гг., а также опубликованные работы и массив архивных данных. В Атласе приведены фрагменты космических снимков *Landsat-7* и *Google Earth*.

Геоморфологическое картографирование устьевых систем проводилось на основе полевых маршрутных работ и камерального анализа топографических карт и космических снимков. Легенда для карт разработана на основании опыта геоморфологического картографирования географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова устьевых систем побережий России. Автор геоморфологических карт – Коротаев В.Н. Содержание научных сопроводительных текстов написано на основе энциклопедии «Реки и озера мира» (2012) и журнальных статей авторского коллектива (Айбулатов Д.Н. (МГУ), Анисимова Н.В. (МГУ), Исупова М.В. (ИВП РАН), Коротаев В.Н. (МГУ), Михайлова М.В. (ИВП РАН), Пронин А.А. (ИО РАН), Римский-Корсаков Н.А. (ИО РАН), Романенко Ф.А. (МГУ), Чалова Е.Р. (МГУ)).

Список использованной литературы насчитывает 140 названий.

Общий объем Атласа «Эстуарии рек Мира» – 130 стр.

Таблица 1. Основные сведения о гидрологическом режиме эстуариев рек Мира

Река, залив	Площадь эстуария, тыс. км ²	Длина эстуария, км	Сток воды, км ³ /год	Средняя величина прилива, м
1	2	3	4	5
Тулома	0,23	57	7,18	4
Анабар	0,5	52	14,8–15,4	1
Амур	1,4	80	343	2
Мезень	0,20	40	27,4	5–8
Онега	0,10	25	16,2	2
Пенжина	0,10	45	21,9	13
Колючинская губа	2,6	80	–	1
Темза	0,12	120	2,48	3–5
Везер	0,6	100	10,1	3
Эльба	1,5	150	27,2	2–4
Эмс	0,5	40	2,54	2
Сена	0,5	130	12,6–14,2	7–8
Луара	0,5	80	26,6–27,5	4–7
Гаронна	2	80	13,9–21,8	5–6
Гвадалквивир	0,13	23	13,7	2
Чесапикский залив	6,5	320	69,7	1
Св. Лаврентия	10,8	400	439	2–7
Гудзон	0,12	30	19,6	2
Делавэр	0,02	215	10,3	2
Цяньтанцзян	0,16	40	46	9
Муррей	0,22	12	8,1	Э/2/50

Примечание: 1) данные по стоку воды и наносов приводятся до и после строительства водохранилищ; 2) при составлении таблицы использованы данные из опубликованных статей и энциклопедии «Реки и озера Мира» (2012); 3) тип устьевой системы: Э – эстуарий/высота прилива (м)/ дальность проникновения в реку приливной волны и осолоненных вод (км).

* Работа выполнена по плану темы государственного задания НИЛ эрозии почв и русловых процессов «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем».

А.Г. Косицкий, Д.С. Первых, Е.В. Белозеров

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ОСОБЕННОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ ПАВОДКОВ НА РЕКАХ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ*

Паводки на реках Черноморского побережья Краснодарского края интересны как с научной, так и с прикладной точки зрения. Именно во время паводков происходит основное формирование русел данных рек. Исследуемая территория, учитывая ее географическое положение, является одной из наиболее густонаселенных в РФ, поэтому паводки на данных реках неизбежно оказывают серьезное влияние на население и хозяйство. В последние десятилетия здесь произошло увеличение количества паводков, носящих зачастую катастрофический характер.

Учитывая, что исследуемый регион представляет собой довольно узкую (шириной от двух до пятидесяти километров) полосу, заключенную между главным водораздельным хребтом Кавказских гор и Черным морем, гидрографические условия не позволяют здесь сформироваться большим и даже средним рекам. Все реки Черноморского побережья Краснодарского края в соответствии с ГОСТ 19179–73 являются малыми. Известно, что малые реки – аazonальные, формирование их стока плохо подчиняется пространственному анализу, что безусловно усложняет выявление закономерностей формирования паводков данных рек. Кроме того, малые реки характеризуются небольшим временем добегания. Период между выпадением осадков и формированием паводка в приустьевой части такой реки зачастую измеряется часами и даже минутами.

Малое время добегания является одной из причин катастрофического характера проходящих здесь паводков. Люди зачастую попросту не успевают вовремя эвакуироваться из опасных мест, особенно, когда паводок развивается в ночное время, как это было в июле 2012 г. на р. Адагум в г. Крымске. После этого наводнения, а также наводнения, проходившего в те же даты на р. Яшамбе в г. Геленджике, на территории Краснодарского края была развернута сеть станций НПК «Эмерсит» автоматизированного измерения уровня воды в реках. Эти станции каждые 10 минут проводят измерение уровня воды в автоматическом режиме и в случае превышения ими неблагоприятных или опасных отметок, информация сразу же поступает в краевое МЧС, откуда немедленно идет оповещение населения путем смс-информирования.

Другой особенностью прохождения паводков на рассматриваемых реках является их формирование в условиях высотной поясности. Зачастую обильные паводкообразующие осадки выпадают лишь в горной части водосборов, в то время как на берегу моря ничто не предвещает беды. В результате наводнения могут проходить в абсолютно ясную погоду. Осадки здесь крайне неравномерно распределены по водосборам рек, поэтому существующей сети метеостанций явно недостаточно, чтобы оценить их количество. Иногда они огромным слоем могут выпасть в пределах небольшого участка земной поверхности, но этот участок может оказаться водосбором малой реки, что неизбежно приведет к возникновению паводка на этой реке, в то время как ни одна метеостанция не зафиксирует сформировавшихся его осадков. Эта проблема частично устранена также усилиями НПК «Эмерсит», которая часть своих станций оборудовала осадкомерами, выдающими с тем же десятиминутным интервалом сведения о выпавших осадках. Несмотря на то, что число данных осадкомеров кратно превышает количество метеостанций УГМС, оно явно недостаточно, чтобы полностью получать информацию о количестве осадков в бассейнах исследуемых рек.

Третьей особенностью является близость к морю. С одной стороны, море является главным источником поступления влаги в атмосферу. Многие экстремальные осадки имеют здесь смерчевое происхождение, что бесспорно также увеличивает вероятность значительных паводков. С другой стороны, известно, что стоковый фактор – не единственный, а лишь один из многих определяющих величину подъема уровня воды в реках. Один и тот же максимальный расход воды, сформированный выпавшими ливневыми осадками, может пройти с большой скоростью течения при относительно небольшой площади поперечного сечения, а может наоборот иметь невысокие скорости, но занимая большую площадь в русле, вызывая серьезный подъем уровня воды. При одном и том же расходе воды уровень, как правило, определяется тремя факторами: уклоном, шероховатостью и формой поперечного сечения. Вблизи от устьевых участков на реки влияет подпор со стороны моря, что приводит к уменьшению уклонов, падению скоростей и, как следствие, увеличению уровня воды.

И наконец, четвертой важной особенностью является плотная застройка долин рек, особенно в их нижнем течении. Искусственное стеснение речных долин, исключение поймы приводит к неизбежному подъему уровня воды. Также нельзя не учитывать антропогенное засорение ряда русел исследуемых рек, что увеличивает их шероховатость, а значит, снижение скоростей течения и тоже увеличение уровня.

Подводя итоги, следует подчеркнуть необходимость сгущения сети мониторинга на данных реках. Это касается наблюдений за уровнями воды, но особенно за осадками на их водосборах. Также необходимо прекратить строительство в зонах, потенциально подверженных затоплениям. Следует помнить, что устройство защитных дамб в данном случае не является спасением, поскольку они приводят к уменьшению ширины русла и увеличению уровней воды.

* Выполнено в рамках темы НИР кафедры гидрологии суши «Анализ, моделирование и прогнозирование изменений гидрологических систем, водных ресурсов и качества вод суши» (ГЗ).

А.С. Куанова¹, Т.С. Ершова¹, Н.Г. Шабоянц²

¹Астраханский государственный технический университет

²Астраханский государственный медицинский университет Минздрава РФ

УЧАСТИЕ МАКРОФИТОВ В МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭКОСИСТЕМЕ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ

Растения рода *Potamogeton*, погруженные и полупогруженные гидрофиты, способны поглощать вещества для своего метаболизма как из водной среды, так и из донных отложений. Эти виды растений встречаются в различных водных экосистемах по всему миру, а в дельте р. Волга являются одними из наиболее распространенных видов.

Основной целью данной работы является оценка способности разных видов растений рода *Potamogeton* накапливать химические элементы из окружающей среды, а также выявить виды-индикаторы, способные аккумулировать металлы в наибольших концентрациях.

Объектами исследования являлись представители рода *Potamogeton*: рдест узловатый (*Potamogeton nodosus* L.), рдест блестящий (*Potamogeton lucens* L.), рдест курчавый (*Potamogeton crispus* L.), рдест злаковый (*Potamogeton gramineus* L.), рдест узколистный (*Potamogeton angustifolius* L.), рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.), рдест плавающий (*Potamogeton natans* L.), рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus* L.).

Отбор проб растений, а также воды и донных отложений осуществлялся в различных водотоках дельты Волги. Работу проводили на базе кафедры «Гидробиология и общая экология» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» с использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии (ГОСТ 30178-96) для определения концентрации химических элементов в растениях, воде и донных отложениях.

Результаты исследования показали, что растения рода *Potamogeton* обладают высокой способностью к накоплению химических элементов из воды и донных отложений. Это позволяет предположить, что в будущем есть возможности для использования этих растений как биоиндикаторов состояния экосистемы дельты Волги.

В речной воде в наибольших концентрациях зафиксировано железо (0,23 мг/л). Данный факт может быть связан с распространенностью этого металла в природных средах и антропогенной деятельностью. По сравнению с исследованными металлами концентрация кадмия минимальная и составляла 0,0003 мг/л. Остальные значения химических элементов варьируют в диапазоне от 0,002 (марганец) до 0,01 (хром, кобальт) мг/л. По содержанию в речной воде химические элементы распределяются в следующем убывающем ряду:

$Fe > Cr \geq Ni \geq Co > Cu > Zn \geq Pb > Mn > Cd$.

Разные виды *Potamogeton* показали различные коэффициенты биологического поглощения (КБП) для различных элементов. Было отмечено, что значения КБП химических элементов из воды значительно выше, чем из донных отложений. Данный факт указывает на то, что высшие водные растения рода *Potamogeton* более эффективно поглощают химические элементы из воды, нежели из донных отложений. Исключение составляют марганец, кобальт и кадмий. Данные микроэлементы способны проникать в ткани растений и из воды, и из донных отложений.

Среди исследованных видов рода *Potamogeton* стоит выделить *Potamogeton nodosus*, который отличался небольшими коэффициентами биологического поглощения, при одинаковых условиях существования. Можно предположить, что именно этот вид рдестов способен регулировать поступление металлов в свой организм и, в связи с этим, обладает большей экологической устойчивостью.

У изученных видов рдестов выявлены видовые особенности в накоплении химических элементов. Так, концентраторами железа являются *Potamogeton lucens* и *Potamogeton natans*. При этом *Potamogeton lucens* также является аккумулятором кадмия, а *Potamogeton perfoliatus* – марганца.

Таким образом, *Potamogeton* поглощают химические элементы более активно из воды, чем из донных отложений, это объясняется их адаптацией к водной среде, эффективными механизмами усвоения и высокой доступностью растворенных питательных веществ. Полученные данные могут быть использованы для дальнейших исследований и разработки методов управления экосистемами дельты Волги. Мониторинг микроэлементного состава донных отложений дельты Волги является важным для оценки состояния экосистемы и разработки стратегий по охране окружающей среды.

А.А. Куракова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА*

Радиоактивное загрязнение является актуальной проблемой для Обь-Иртышского бассейна. Одним из источников такого загрязнения является ФГУП «ПО «Маяк», находящийся на восточном склоне Южного Урала, в междуречье р. Течи и Мишеляк, вблизи г. Кыштым. Через р. Течу осуществляется русловый сток воды из Иртышско-Каслинской и Кыштымской систем озер. Для осуществления производственной деятельности водный сток в верховье р. Течи был зарегулирован путем строительства плотин и проточных прудов – Теченский каскад водоемов. Водоемы являются источником поступления радионуклидов в приземный слой воздуха, поверхностные и подземные воды. Прямой сброс радионуклидов в открытую гидрографическую сеть не производится, однако фильтрация загрязненных вод в открытую гидрографическую систему р. Течи происходит через и под боковыми дамбами в лево- и правобережные каналы, сооруженные для сброса речных и паводковых вод вокруг ТКВ. Поступление воды, загрязненной радионуклидом ^{90}Sr , ^{137}Cs с консольных водосбросов каналов в р. Течу, является организованным выпуском сточных вод ФГУП «ПО «Маяк» в открытую гидрографическую сеть. На выпуск установлены нормативы допустимых сбросов (ДС) радионуклида ^{90}Sr и других радионуклидов в р. Течу и выдано разрешение на сброс радиоактивных веществ в водные объекты. По многим данным, след радиоактивного загрязнения можно проследить вплоть до устья Иртыша. Но проведенные ранее исследования в основном касались определения содержания различных радионуклидов в природных средах без их увязки с гидрологическим и русловым режимами рек. Поэтому новые исследования направлены на выявление миграции ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде по длине речной системы Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь и влияние на это переформирования русла (размылов берегов) как возможного источника вторичного загрязнения, а также оконтуривание пятна загрязнения донных и пойменных отложений ^{90}Sr и ^{137}Cs в пределах речной системы Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь и определение вклада вторичного загрязнения за счет переформирования русла и условий затопления поймы.

* Результаты получены при финансовой поддержке проекта Правительства Российской Федерации, реализуемого в рамках Соглашения № 075-15-2025-008 от 27.02.2025.

А.А. Кузина, В.Г. Гайворонский, С.И. Колесников

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологий им. Д.И. Ивановского,
 г. Ростов-на-Дону*

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ БЕНЗИНА НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО*

Бензин, наравне с тяжелыми металлами, относится к опасным загрязнителям окружающей среды.

В последнее время экологический подход является приоритетным при оценке состояния окружающей среды. Для определения экотоксичности нефтепродуктов и нарушения экологических функций почв все чаще выбираются наиболее чувствительные и информативные биологические показатели.

Для модельного исследования активности каталазы по загрязнению почвы бензином использовали чернозем обыкновенный (Voronich Chernozems Pachic), отобранный на территории Ростовской области, Октябрьского района, х. Киреевка. Данная почва имеет тяжелосуглинистый гранулометрический состав, содержание органического вещества – 3,5% и pH – 7,5. В предварительно увлажненную почву вносили бензин в весовой концентрации 1, 5 и 10% от массы почвы. Затем по истечении инкубационного периода, равного 30 суткам, в образцах определяли активность каталазы.

Внесение бензина в концентрации 1% не вызвало достоверного снижения активности каталазы. Внесение 5% бензина снизило каталазную активность в черноземе обыкновенном на 31%. При 10% концентрации бензина в почве наблюдалось снижение активности каталазы в черноземе обыкновенном на 60% (рис. 1).

Таким образом, загрязнение бензином угнетает каталазную активность исследуемой почвы. Установлено, что с возрастанием дозы вносимого поллютанта усиливается токсическое воздействие на ферментативную активность.

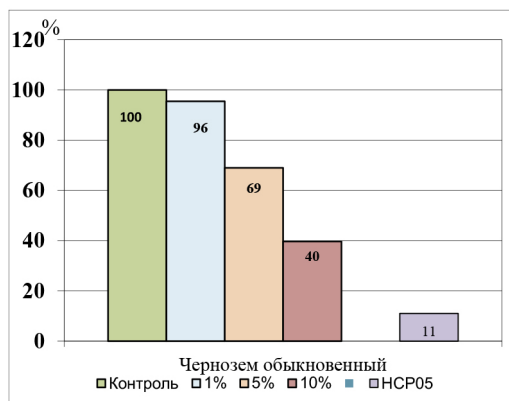


Рис. 1. Изменение активности каталазы при воздействии бензина на чернозем обыкновенный

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (№ FENW-2023-0008).

М.В. Кумани, В.С. Потапенкова

Курский государственный университет

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКЕ СЕЙМ НИЖЕ ГОРОДА КУРСКА НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ

На основе данных многолетних наблюдений в створе р. Сейм ниже г. Курска рассматриваются особенности сезонных изменений гидрохимического состава, формирующегося под влиянием природных факторов и урбанизированных территорий. Большой объем данных позволяет определить качество поверхностных вод, степень их загрязнения и выявить оптимальный набор показателей для объективной оценки загрязнения реки. Актуальные проблемы оценки качества поверхностных вод вызваны главным образом сложностью их состава и постоянно изменяющимся и расширяющимся списком потенциальных загрязнителей.

Обширные списки веществ, рекомендуемые для оценки качества сточных и, соответственно, поверхностных вод не конкретизированы по гидроэкологической роли гидрохимических показателей в водотоках, не учитывают фоновых особенностей природного состава и хозяйственного загрязнения.

На основании выше изложенного очевидно, что такой необоснованный, излишне обширный список контролируемых веществ приводит к завышенной стоимости мониторинга качества поверхностных вод, как для природоохранных организаций, так и для водопользователей, не давая объективной оценки ситуации и разработки на ее основе обоснованных природоохранных мероприятий.

Цель исследования заключается в том, чтобы на конкретном примере на основе обширных фактических данных наблюдений предложить методику составления списка актуальных для конкретного водного объекта гидрохимических показателей, определяющих степень загрязнения.

В процессе исследования была выявлена сезонная и многолетняя динамика содержания контролируемых веществ в р. Сейм ниже г. Курска, определены источники поступления и накопления этих веществ в различных природно-хозяйственных условиях и выявлена классификация веществ по группам:

А. Вещества, реально характеризующие качество поверхностных вод и их экологическое состояние: нефтепродукты, АПАВ, БПК взвешенные вещества, фосфаты, нитриты, аммонийный азот.

Б. Вещества, которые не относятся к разряду загрязняющих в конкретных гидрохимических и гидроэкологических условиях изучаемого водного объекта: хлориды, сульфаты, нитраты, кадмий, хром, никель, свинец, сухой остаток.

В. Вещества, которые могут превышать установленные ПДК, но отражают фоновое природное состояние водного объекта, не связанное с хозяйственной деятельностью: НПАВ, железо, цинк, медь, марганец.

На основании анализа можно сделать предварительные выводы о принадлежности контролируемых веществ к трем выделяемым группам и их влиянии на природный водоем, а также в продолжении исследования доказать, что обширные списки веществ, рекомендуемые для оценки качества сточных и, соответственно, поверхностных вод, не конкретизированы по их гидроэкологической роли в водотоках, не учитывают фоновых особенностей природного и хозяйственного загрязнения.

Е.В. Кучменко, А.А. Меженков, Ю.А. Литвинов

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ЭРОЗИОННО ОПАСНЫХ ЗЕМЕЛЬ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ РАЗНОМАСШТАБНЫХ ПОЧВЕННЫХ ДАННЫХ

Ростовская область расположена на юге Европейской России, где совокупность природных факторов делает ее одним из лидирующих субъектов страны в сельскохозяйственной отрасли, что повышает необходимость исследования состояния почвенного покрова. Почвенная эрозия по-прежнему остается одной из главных экологических проблем для южной части России. С 1950-х по 1990-е гг. организацией НИИ «ЮжГИПРОЗем» проводились крупномасштабные почвенные обследования Ростовской области, послужившие основой для создания крупномасштабных и среднемасштабных карт. Водная и ветровая эрозия почв учитывалась при проведении этих обследований. После распада СССР научно-исследовательский институт «ЮжГИПРОЗем» был реорганизован, а сохранившиеся архивные данные были переданы агрохимическому центру «Ростовский». Таким образом, для инвентаризации эрозионно опасных земель исследуемой территории необходима оцифровка и векторизация имеющихся разномасштабных почвенно-географических данных.

Объектом исследования является Ростовская область. Материалами исследования являются данные крупномасштабных почвенных обследований (почвенные карты и отчеты).

При проведении исследования использовались ГИС-технологии и методика оцифровки крупномасштабных данных, разработанная на базе Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и Южного федерального университета. Особенностью методики является отражение комплексности почвенного покрова посредством нескольких контуров (до трех), идентичных по геометрии, но различных по атрибутивному наполнению, с указанием процентного участия каждой почвы в почвенной комбинации.

Для инвентаризации данных производился анализ по трем типам эрозии: плоскостная водная эрозия, ветровая и линейная водная эрозия. Анализ проводился для каждого хозяйства по каждому административному району. Результаты анализа приведены в таблице. Отмечено, что плоскостной и линейной водной эрозии наиболее сильно подвержены почвы в северо-западной и северо-восточной природно-сельскохозяйственных зонах. В различной степени плоскостная водная эрозия в северо-западной зоне характерна для 55.5% земель, линейной водной эрозии подвержено около 1% почвенного покрова. Общая площадь северо-восточной зоны составляет 1 893 787,42 га, из которых более 53% территории подвергаются плоскостной водной эрозии. Почвы северо-западной и северо-восточной природно-сельскохозяйственных зон практически не подвержены ветровой эрозии. В северо-восточной зоне дефляции подвержены 3% земель, а в северо-западной – 2%.

Южную, приазовскую и восточную природно-сельскохозяйственные зоны объединяют высокие показатели по ветровой эрозии. В южной зоне дефляции подвержено 50% земель, в восточной – 29%, в приазовской – 6%. В Егорлыкском районе, входящем в состав южной зоны, дефляция проявляется сильнее всего. Ветровой эрозии здесь подвержено около 86% почвенного покрова, в основном это среднедефлированные почвы. Немалую часть территории вышеперечисленных сельскохозяйственных зон стоит отнести к землям, подвергшимся водной эрозии. Плоскостная водная эрозия в южной и приазовской зонах занимает 40% от общей площади территории, в восточной зоне этот показатель равен 26%.

Центральная орошаемая сельскохозяйственная зона характеризуется как наиболее благоприятная для ведения сельского хозяйства, поскольку эрозионные процессы здесь проявлены в незначительной степени. На долю плоскостной водной эрозии приходится 19% от общей площади, линейная водная эрозия занимает менее 1% территории. Ветровая эрозия на исследуемой территории охватывает 5% от общей площади (табл. 1).

Таблица 1. Эродированные земли по природно-сельскохозяйственным зонам Ростовской области

Природно-сельскохозяйственная зона	Плоскостная водная эрозия, %	Дефляция, %	Линейная водная эрозия, %
Южная	40.782	50.275	0.115
Приазовская	40.001	6.173	0.194
Центральная орошаемая	18.718	4.757	0.180
Северо-Восточная	53.358	3.000	0.613
Северо-Западная	55.560	2.103	1.054
Восточная	25.584	29.460	0.110

Проведенная инвентаризация показала: наименее подверженной эрозионным процессам является территория центральной орошаемой природно-сельскохозяйственной зоны. В почвенном покрове других природно-сельскохозяйственных зон широко распространена как плоскостная водная, так и ветровая эрозия. Сельскохозяйственное использование этих земель возможно при проведении противоэрозионных мероприятий (вспашка поперек склона, высаживание полезащитных и противоэрозионных лесных насаждений и поддержание их функциональности).

ОЦЕНКА ВКЛАДА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ФОРМИРОВАНИЕ ВОДОУСТОЙЧИВОСТИ АГРЕГАТОВ И ЭРОЗИОННОЙ ВОДОПРОЧНОСТИ ПОЧВ*

В широко используемых эрозионных моделях (USLE (RUSLE) и др.) фактор эродированности почв в числе нескольких показателей зависит от содержания органического вещества (ОВ) и водопрочных агрегатов размером $>0,25$ мм. Оба эти показателя имеют генетическую взаимообусловленность, что определило цель настоящей работы. Исследование агрегатов на макро- и микроуровнях проводили комплексом методов. Так как эрозионно опасные земли широко представлены на агроугодьях, то оценки противоэрозионной устойчивости пахотных почв наиболее актуальны. Однако такие объекты изучения, как целинные аналоги, которые выступают точкой отсчета, важны для понимания механизмов проявления физической деградации и оценки ее интегрального результата за весь период агрогенной трансформации почв. Серия из 13 целинных и 3 старозалежных почв степной зоны с содержанием ОВ $4,7 \pm 0,4$ ($2,3 \div 8,2$)% с последующим оценкой водостойчивости (W) по фракциям 1–2, 2–3, 3–5 и в пяти случаях 5–7 мм, показавшей в узком диапазоне (83–100%) среднее значение $93,3 \pm 1,4\%$, послужила информационной основой для получения уравнения связи: $W_{cp} = 77,85 \cdot \text{ОВ}^{0,116}$ ($r = 0,58$). Согласно этому уравнению замедление эффективности клеящей способности гумусовых веществ наблюдается в ходе природного педогенеза при содержании ОВ $> 6\%$, что характерно и при отдельном рассмотрении связи в отношении W_{2-3} . Теснота связи содержания ОВ и водостойчивости усиливается по мере повышения диаметра агрегатов, но наиболее резко она проявляется при увеличении размерности от 2 до 3 мм. Постепенное вовлечение и закрепление механических элементов в микро-, а затем и макроструктуру осуществляется при формировании агрегатов не крупнее 5 мм. Не только количество, но и качество ОВ меняется в зависимости от размеров агрегатов, например, доля лабильного новообразованного ОВ повышается в более крупных макроагрегатах. В агрегатах от 2 до 3 мм нижний предел размерности – это граница, сопряженная с дифференциацией органического клеящего материала, которая отражается в различной роли отдельных компонентов ОВ в формировании агрегатов <2 мм и >2 мм. В целинных почвах большой вклад в водостойчивость агрегатов вносит биогенность структуры, определяемая по доле копролитов дождевых червей. Например, в абсолютно заповедной степи Аскания-Нова в горизонте А (9–28 см) доля копролитов в структурных отдельностях диаметром 2–5 мм составляет 44,6%, в том числе во фракции 2–3 мм – 51%, тогда как в этой фракции пахотной почвы эта доля не превышает 10–13%.

Агрегирующая эффективность ОВ (АЭ,%) характеризует долю ОВ почвы, приходящуюся на 1% величины водостойчивости агрегатов (в частности, W_{1-3}). Для оценки климатической обусловленности величины АЭ сравнили две выборки, характеризующие менее и более аридные районы, которые по величине климатических затрат энергии на педогенез отличаются на 150 МДж/м² в год. В более гумидной обстановке при росте содержания ОВ с 2 до 6% величина АЭ снижалась в 2,95 раза (с 43 до 15), а при более засушливых условиях при том же увеличении содержания ОВ величина АЭ уменьшалась в 2,48 раза (с 38 до 15). В формировании водопрочной структуры вклад ОВ имеет оптимум, т.е. с определенной границы содержания ОВ эффективность его клеящей способности снижается. Для указанных выше климатически отличающихся районов такой рубеж определяется величинами содержания ОВ 5 и 4% в направлении усиления аридизации.

В режимах целины и ренатурации степных почв средневзвешенный диаметр водостойчивых агрегатов (d) постепенно уменьшается по мере увеличения гумусированности почв: в целинных почвах при росте содержания ОВ с 2,5 до 5%, величина d уменьшается с 2,8 до 1,1 мм, в старозалежных почвах при росте содержания ОВ с 2,3 до 3,5%, величина d уменьшается с 1,6 до 0,8 мм. Недавние залежи занимают промежуточное положение по этим параметрам: при содержании ОВ $= 3,4 \pm 0,3\%$ средняя величина $d = 1,5$ мм, что подтверждает направленный механизм перегруппировки водостойчивой структуры в эволюционном тренде. Пахотные почвы в аналогичных биоклиматических условиях характеризуются средней величиной $d = 0,5 \pm 0,02$ мм при содержании ОВ $= 2,0 \pm 0,2\%$.

На микроагрегатном уровне связь с ОВ проявляется более определенно, чем на уровне макроагрегатов. Так, в целинных почвах при увеличении ОВ с 2,7 до 4,5%, величина K_A растет в 1,5 раза (с 25 до 38), а у старозалежных почв при увеличении содержания ОВ с 2,3 до 3,2%, величина K_A возрастает в 1,3 раза (с 29 до 34). Агрогенная трансформация почв (дегумусированность и физическая деградация) полностью разрушает влияние гумусированности на формирование баланса по содержанию микроагрегатов и ЭПЧ. Пахотные степные почвы при низком обогащении ОВ в $2,0 \pm 0,2$ ($1,1 \div 2,8$)% отличаются широким размахом показателя K_A ($27 \div 48$) при средней величине 41 ± 3 , а связь K_A с ОВ не выявляется. Величина расхода наносов в условиях

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169/>

квазиустановившегося режима (R_0 , г/с·м) характеризуется сильной теснотой связи с коэффициентом микроагрегированности, рассчитанным по данным для слоя 0–10 см: $R_0 = -0,061 \cdot \ln(K_A) + 0,409$; $R^2 = 0,914$. Это показывает высокую детерминированность эрозионной водопрочности почв их генетическими особенностями, которые наиболее значимо выявляются на микроагрегатном уровне. Селективный характер эрозии проявляется в наибольшей доле в транспорте наносов частицы с гидравлической крупностью $< 0,01$ мм по причине их обогащения ОВ и меньшей плотности твердой фазы. Это отражается в часто регистрируемом обогащении гумусом педоседиментов, по сравнению с исходной почвой, которое по обобщенным данным характеризуется средней величиной коэффициента превышения 1,8.

Г.В. Лобанов

Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ФРОНТОВ РАЗМЫВА ИЗЛУЧИН ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ДЕСНА

Верхнее течение р. Десна – отрезок русла до устья р. Болва (в черте г. Брянска) протяженностью 350 км. Сток зарегулирован, на 98 км реку пересекает плотина Десногорского водохранилища. До г. Брянска (граница города на 335-м км течения) русло пересекает 8 капитальных мостов. Иное антропогенное воздействие незначительно. Поймы слабо используются в хозяйстве; заняты фациями луговых трав, кустарников, болот мелколесья, которые чередуются мозаично.

Русло широкопойменное со свободными условиями развития горизонтальных деформаций. Типичная высота береговых уступов в летнюю межень – 2.0–3.0 м. Руслоформирующие грунты представлены преимущественно легкоразмываемыми фракциями – мелким песком и крупной пылью. Конфигурация русла сложная – одиночные излучины и их серии чередуются с короткими относительно прямолинейными отрезками 0.5–2.0 км. Среди излучин современного русла преобладают сегментные, реже омеговидные и заваленные. Местами встречаются одиночные излучины, превосходящие средние размеры в 2–3 раза («макроизлучины»). Формы современного русла накладываются на плавные изгибы оси пояса меандрирования и повороты долины, формируя сложные излучины. Изгибы пояса меандрирования задают местоположение, ориентацию и взаимовлияние современных излучин и соответственно мест проявления горизонтальных деформаций. Размываемые участки берегов встречаются часто; отступают преимущественно уступы пойменного берега, значительно реже – первой террасы; участки размыва коренного склона долины встречаются единично.

Разнообразные сочетания форм русла разных порядков определяют сложное географическое распределение особенностей русловых процессов и их внешнего проявления – фронтов размыва. По результатам экспедиционных исследований верхнего течения р. Десна выделяется три отрезка различающихся особенностями распространения фронтов размыва берегов.

Первый отрезок от плотины Десногорского водохранилища до устья р. Снопоть (100–170 км от истока). Несмотря на извилистое русло, фронты размыва встречаются редко; береговые уступы пойм заросшие. Морфологические особенности русла определяют очень крупные изгибы (повороты оси пояса меандрирования), на которые наложены излучины двух масштабных уровней – со стрелой прогиба 50–100 м и 150–300 м. Редкость заметной динамики, по-видимому, обусловлена формированием особенностей конфигурации русла в эпохи большей водности, т.е. современное русло наследует ранее созданные формы, но практически не изменяет их.

Второй отрезок – от устья р. Снопоть до устья р. Габья (170–210 км от истока). Здесь участки размыва берегов встречаются значительно чаще, причем группами. Морфологические особенности русла определяет чередование относительно прямолинейных отрезков протяженностью 1–2 км с отдельными крупными излучинами (преимущественно омеговидными) или сериями излучин современного русла. Здесь преобладают два варианта положения фронтов размыва. Первый вариант – фронты размыва сосредоточены на крыльях крупных омеговидных излучин, значительно превосходящих современные. Встречное движение фронтов размыва и формирование новых изгибов приводит к значительной деформации вершины излучины, которая «вытягивается» вдоль течения и превращается в прямолинейный или слабовыпуклый отрезок. Второй вариант – фронты размыва соответствуют переходам от участков меандрирующего русла к относительно прямолинейному.

Третий отрезок – от устья р. Габья до западной окраины г. Брянска (210–335 км от истока). На большей части отрезка русло меандрирующего типа. Здесь присутствуют как варианты положения фронтов размыва, описанные на втором участке, так и классический вариант – с фронтами размыва на крыльях и в вершине излучин современного русла. Кроме того, отрезку свойственны крутые изгибы русла, которые в настоящее время не проявляют динамику, свойственную излучинам. Береговые уступы на крыльях таких изгибов стабильны, следы размыва отсутствуют.

Предложенная схема деления на отрезки отражает специфику современной динамики русла и таким образом может учитываться при обосновании прогнозов горизонтальных деформаций.

А.В. Лысенкова, И.С. Казначеева, Д.А. Ерко, Э.В. Ларина, Н.П. Черникова,
И.В. Замулина, Т.М. Минкина

Южный федеральный университет

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ УГЛЕОТВАЛОВ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОЧАРА В УСЛОВИЯХ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА*

В условиях нарастающего загрязнения экосистем, вызванного деятельностью горнодобывающей промышленности, особенно угледобычи, становится критически важным разработать эффективные методы рекультивации загрязненных земель. Одним из перспективных подходов является использование биочаров, получаемых из биомассы, которые обладают уникальными физико-химическими свойствами, способствующими улучшению качества почв. Эффективность применения биочаров для восстановления почв – открытый вопрос в связи с большими различиями в экспериментальных протоколах, условиях получения биочаров и их свойств, типов почв и источников их загрязнения. Следовательно, важным направлением исследований является оценка взаимодействия и взаимовлияния биочаров и свойств почв для проведения последующих рекультивационных работ.

Цель работы – изучение химических свойств почв в условиях вегетационного опыта при внесении биочаров, инокулированных консорциумом микроорганизмов ПАУ-деструкторов и нитрификаторов. Объектами исследования стали образцы загрязненной почвы, отобранные у подножья углеотвала шахты Ленина, и чернозем обыкновенный в качестве контроля, отобранный на территории Ботанического сада ЮФУ. Вегетационный эксперимент был заложен в контролируемых лабораторных условиях (фитокмнате). Навески почвы по 2 кг помещали в пластиковые сосуды объемом 3 л и вносили добавки в дозе 2,5% от массы почвы: биочар из соломы пшеницы (БЧ), а также приготовленные на его основе биосорбенты с иммобилизованными микроорганизмами: БЧд – консорциумом ПАУ-деструкторов (спорообразующий штамм *Priestia megaterium* и денитрифицирующий штамм *Enterobacter ludwigii*); БЧн – консорциумом нитрифицирующих бактерий (аммоний окисляющие *Nitrosomonas communis*, *Nitrospira* и нитрит окисляющие *Nitrolancea*) и БЧдн – синергической микробиотой, состоящей из консорциума ПАУ-деструкторов и нитрифицирующих бактерий. Почву увлажняли дистиллированной водой до 80% ППВ и инкубировали в течение 1 месяца. Для оценки влияния растительного покрова на скорость деструкции полиаренов в загрязненной почве с внесением биосорбентов, а также одновременного связывания углерода из атмосферы, спустя 1 месяц инкубации почвы засевали семенами овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea*) в количестве 3 г на сосуд (норма высева 10–15 м²) в 3-кратной повторности. Параллельно проводили эксперимент без посева растений.

В образцах почв вегетационного опыта проводили определение содержания органического углерода методом высокотемпературного каталитического сжигания на анализаторе общего и неорганического углерода TOC-LCPN, Shimadzu; pH потенциометрическим методом в суспензии почва:вода в соотношении 1:2,5 при постоянном помешивании на анализаторе ИПЛ-101 – 3; содержание обменных катионов кальция и магния по методу Гиссинга в модификации И.В. Тюрина.

Результаты эксперимента показали, что внесение биочаров из соломы пшеницы в загрязненную почву привело к значительному увеличению содержания органического углерода. Максимальное повышение C_{org} наблюдалось при использовании консорциума ПАУ-деструкторов, инокулированных на биочаре, где содержание органического углерода увеличилось с 4,8% (фон) до 6,0%. Содержание C_{org} в вегетационном опыте выше на вариантах с отсутствием растений в среднем на 3–9%.

Внесение биочаров способствовало увеличению pH почвы с 6,88–6,99 до 7,23–7,37. Это увеличение связано с щелочной природой биочаров и наличием основных катионов. Однако в вегетационном опыте с растениями pH был на 3–5% ниже, что может быть обусловлено выделением растениями экссудатов, содержащих органические кислоты.

При внесении биочара сумма обменных оснований ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$) в черноземе обыкновенном достигала 35,8 смоль/кг, тогда как в загрязненной почве фонового образца этот показатель составил 28,4 смоль/кг. Наиболее выраженное увеличение обменных катионов наблюдалось при использовании биочаров, инокулированных консорциумом ПАУ-деструкторов. В составе почвенно-поглощающего комплекса преобладает Ca^{2+} . При внесении биочара проявляется положительная динамика увеличения обменных Ca^{2+} и Mg^{2+} . Содержание обменных форм Ca^{2+} увеличивается с 28,4 до 31,5 смоль/кг. Выявлена тенденция к повышению обменного Mg^{2+} . При внесении биочара из соломы пшеницы и биочаров, инокулированных микроорганизмами, соотношение Ca: Mg принимает значения, близкие к фону (4,0–5,1). Максимальное соотношение соответствует варианту фон+БЧд (5,1).

Таким образом, результаты модельного эксперимента позволили оценить изменения химических свойств почв для проведения последующих работ по восстановлению загрязненных почв угледобывающей промышленности при использовании биопрепаратов.

* Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2023-587.

А.А. Магаева*Южный научный центр РАН*

РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВ БАСЕЙНА НИЖНЕГО ДОНА*

Длительное активное хозяйственное освоение бассейна Нижнего Дона (от Цимлянского водохранилища до устья, включая основные притоки – Северский Донец и Западный Маныч) наряду с физико-географическими условиями и региональными изменениями климата обуславливают развитие процессов водной эрозии почв на данной территории.

Для оценки интенсивности потери почв использована модель RUSLE. Это модифицированный вариант универсального уравнения USLE (Universal Soil Loss Equation), согласно которому водная эрозия почв рассматривается как сочетание факторов климата, свойств почвы, топографии и землепользования. Интеграция модели в среду ГИС позволяет оценить водную эрозию почв в обширном пространственном охвате.

На данном этапе выполнен сбор входных данных и их предварительная обработка для последующего выполнения расчетов в среде ГИС с целью оценки объемов потери почв на территории бассейна Нижнего Дона в 2020 г.

Информация о количестве осадков за 2020 г. получена из базы глобальных данных о погоде и климате WorldClim в растровом формате с разрешением 2,5 минуты (примерно 3,5 x 4,5 км). Данные о свойствах почв получены из гармонизированной базы данных почв мира v2.0 (Harmonized World Soil Database v2.0). Для оценки топографии исследуемого района использована цифровая модель рельефа (ЦМР), созданная в ЮНЦ РАН на основе данных радарной топографической съемки SRTM. Пространственное разрешение ЦМР – 30 м, шаг по высоте – 1 м. Информация о землепользовании на территории бассейна Нижнего Дона получена из карт Esri Land Cover, построенных на основе данных Sentinel-2. Карта содержит 9 классов землепользования: вода, деревья, затопленная растительность, посевные культуры, застройка, голая земля, снег/лед, облака, пастбища.

Все исходные данные в растровом формате интегрированы в ГИС, приведены к единому пространственному разрешению и географической привязке. На следующем этапе будут выполнены расчеты объемов потерь почв на территории бассейна Нижнего Дона и анализ полученных результатов.

* Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН на 2025 г. № госрегистрации 125011200143-4.

С.С. Манджиева, М.В. Бурачевская, А.В. Барахов, Е.С. Богомаз (Лацынник),
В.А. Чаплыгин

Южный федеральный университет

НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ИМПАКТНОЙ ЗОНЫ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС*

Накопление поллютантов в почвах территорий, находящихся в непосредственной близости от предприятий топливно-энергетического комплекса, приводит к повышению уровня загрязнения всех сопредельных сред, зачастую превышающего нормативные показатели. Цель работы – оценка содержания и распределения ТМ в почве импактной зоны НчГРЭС.

Объектом исследования являлись почвы, отобранные в зоне влияния крупнейшего в Ростовской области предприятия топливно-энергетического комплекса – филиала публичного акционерного общества «Вторая генерирующая компания оптового рынка электроэнергии» (ПАО «ОГК-2») «Новочеркасская» ГРЭС (НчГРЭС), основной базовой электростанции в Ростовской энергосистеме.

Площадки мониторинга 4, 5, 8, 9, 10, 13, 18, 19 были заложены с учетом розы ветров на расстоянии 2–20 км в направлении преобладающих ветров (СЗ и СЗЗ) – в зоне вероятного интенсивного техногенного воздействия, а также на расстоянии 1–12 км вокруг электростанции – в зоне вероятного диффузионного массопереноса выбросов (площадки 1–3, 6, 7, 11, 12, 16, 17) и менее вероятного воздействия на почвы и растения со стороны предприятия (площадки 14, 15, 20–25).

Почвенный покров исследуемой территории представлен черноземами обыкновенными карбонатными легкоглинистыми, тяжелосуглинистыми, среднесуглинистыми и легкосуглинистыми разновидностями (Calcic Chernozem (Hyperhumic, Pachic, Loamic)) (площадки 1, 4, 5, 7, 9–16, 18–25, а также фоновым участком), лугово-черноземными тяжелосуглинистыми и легкоглинистыми (Stagnic Fluvisols (Humic, Arenic)) (площадки 3, 6, 8, 17) и аллювиальной супесчаной почвами (Calcaric Fluvisols (Arenic)) (площадка 2).

Валовое содержание Mn, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd в почвах определяли рентген-флюоресцентным методом на спектроскане МАКС-GV. Уровень загрязнения почв ТМ оценивали на основе сопоставления с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) и ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) по валовому содержанию металлов (СанПиН 1.2.3685-21).

В почве фонового участка валовое содержание ТМ убывает в ряду: Mn – 815 мг/кг > Cr – 97 мг/кг > Zn – 69 мг/кг > Cu – 49 мг/кг > Ni – 39 мг/кг > Pb 25 мг/кг > Cd – 0.4 мг/кг. Высокие концентрации Cr в черноземе обыкновенном обусловлены региональными биогеохимическими особенностями микроэлементного состава почв Ростовской области и минералогического состава почвообразующих пород, представленных желто-бурыми лессовидными суглинками и глинами с высоким содержанием Cr. Валовое содержание и подвижные формы ТМ в почве фонового участка не превышают ОДК и ПДК. Анализ пространственного распределения ТМ в почвах импактной зоны показал, что наибольшее влияние выбросы электростанции оказывают на почвы площадок мониторинга 4–6, расположенных на расстоянии до 3 км в западном и северо-западном направлении. Наблюдается превышение ОДК валового содержания Cr и Ni в 1.1 раза, Cd – в 1.4 раза в почвах импактной зоны. Относительно фонового участка на расстоянии до 5 км от электростанции фиксируется превышение валового содержания Cd и Pb.

* Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-77-10097-П) в Южном федеральном университете.

А.Н. Махинов, В.И. Ким

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

СТРОЕНИЕ ГАЛЕЧНО-ВАЛУННЫХ АККУМУЛЯТИВНЫХ ФОРМ В РУСЛЕ РЕКИ БУРЕЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ДОБЫЧИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Река Бурея в среднем течении относится к горно-предгорным водотокам с галечно-валунным руслом. Русло в основном многорукавное с пойменно-русловыми и одиночными разветвлениями, на отдельных участках меандрирующее. Непосредственно выше устья р. Ургал на субмеридиональном отрезке протяженностью 1,8 км выделяется прямолинейный участок реки, характеризующийся наличием расположенных в шахматном порядке обширных побочней.

Один из крупных побочней сформировался у правого берега в виде обширного аккумулятивного тела овальной формы, отделенного от поймы узкой протокой. Его размеры составляют – протяженность 750 м, ширина 350 м (рис. 1). Наиболее широкая часть и максимальная высота побочня приходятся на его верхнюю половину. В межень побочень соединяется с коренным берегом вблизи своей верхней части.

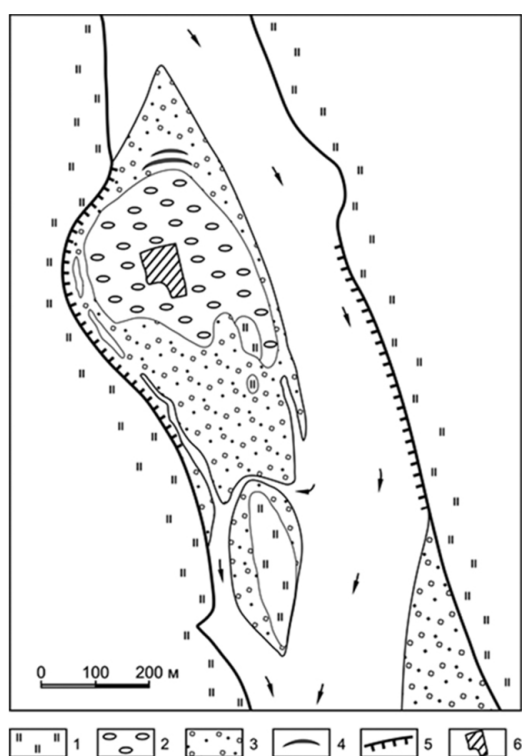


Рис. 1. Строение побочня в русле р. Бурея

- 1 – пойма, отложения;
- 2 – галечно-валунные,
- 3 – галечно-гравийные,
- 4 – поперечные гряды на приверхе побочня,
- 5 – интенсивно размываемый берег,
- 6 – карьер

Большая крупность отложений и значительные размеры побочня, сопоставимые с шириной реки, обуславливают его чрезвычайно малую подвижность, о чем можно судить по данным сравнения разновременных крупномасштабных карт и космических снимков, полученных за большой промежуток времени.

Рассматриваемый побочень закрепился на данном участке реки и не смещается вниз по течению. Он находится на стадии превращения в остров, формируя простое одностороннее разветвление в русле реки, отделенного от коренного берега узкой протокой шириной 40–50 м, действующей лишь при достаточно высоких уровнях воды в реке. Расход воды в летнюю межень в профилях выше, напротив и ниже побочня приведен в таблице.

Значительное накопление аллювиальных отложений, образовавших побочень, способствовало во время больших наводнений активизации размыва правого вогнутого берега р. Бурея, сложенного песчано-су-песчаной пойменной толщей. Узкая второстепенная протока, активно работающая во время высоких наводнений, образовала вдоль этого берега излучину, пересыхающую в самую низкую межень. Излучина продолжает увеличивать свою крутизну, на что указывает крутой уступ поймы со следами современного интенсивного размыва на всем ее протяжении вдоль правого берега.

Разработка месторождения НСМ в русле р. Бурея производится в верхней наиболее высокой части по-бочня, сложенной довольно мощной толщей (более 7,0 м) галечно-валунного состава. Работы ведутся в ме-

Таблица 1. Расходы воды (р. Буря, 7 июля 2023 г.)

Створ у побочня	Расход м³/с	Площадь сечения, м²	Скорость, м/с		Ширина, м	Глубина макс., м
			Сред.	Макс.		
Выше	306	576,5	0,53	2,23	282,5	3,70
Напротив	301	333,5	0,90	3,46	163,7	3,18
Ниже	302	296,3	1,02	3,57	192,7	2,45

женное время открытым способом с использованием экскаватора. Максимальные размеры карьера составляют 70х100 м при глубине до 5,0 м.

Анализ строения русла данного участка показал, что незначительное локальное увеличение живой площади реки вследствие заполнения карьера водой в высокие паводки и быстрой заносимости его наносами не приводит к изменению уклонов водной поверхности выше и ниже разрабатываемого месторождения и, соответственно, к существенному увеличению скоростей течения. Следует также отметить, что месторождение расположено вне активной части русла реки. В этом случае размыв дна р. Буря выше и ниже карьера и посадка уровней воды при ограниченных количествах добываемого грунта практически не происходит.

Р.А. Медведева, О.П. Ермолаев

Казанский (Приволжский) университет

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ОВРАЖНЫХ ФОРМ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

Изучение овражной эрозии с использованием данных дистанционного зондирования Земли проведено в степной зоне Оренбургской области. В процессе дешифрирования оврагов было выявлено большое количество эрозионных форм со специфическими морфологическими различиями, ранее не встречавшиеся в регионе Среднего Поволжья. Наряду с овражными формами повсеместно выявляются линейные эрозионные образования, которым одновременно присущи черты классических овражных форм, сформированных временными водотоками, так и долинных форм с признаками русловых процессов. Согласно выработанной системе дешифровочных признаков оврагов, эти формы имеют четко выраженную бровку, участками прослеживается тальвег. Отличительными особенностями ряда эрозионных форм являются:

Фрагментарное врезание по простирацию отрицательной формы без четко выраженных в рельефе вершины и устья. Образуется каскад дискретных оврагов с «висячими» врезам.

Прослеживается сочетание русловых форм и вторичного (донного) врезания в пределах одной эрозионной формы.

Наличие разветвляющегося русла без следов постоянного водотока, с хорошо сформированными меандрами (рис. 1).



Рис. 1. Сухое разветвленное русло с меандрами

Широкое распространение подобных эрозионных форм на юге Оренбургской области и отсутствие подобных образований в степной зоне Восточно-Европейской равнины на ранее изученных территориях могут свидетельствовать о специфических условиях их образования. Рассмотренные выше особенности эрозионных форм могут быть результатом работы периодических мощных водных потоков, возникающих после интенсивных ливней. Несмотря на то, что центральная и южная части Оренбургской области по коэффициенту увлажнения 0,6–0,82 и от 0,6 и ниже относятся к засушливой и очень засушливой территориям соответственно, в летний период года наблюдается выпадение сильных дождей. Так, например, по данным за 2023 г. в отдельных районах выпало в виде ливневых дождей до 139% месячной нормы осадков.

Геологический фактор также может определять возможность образования эрозионных форм. Так, например, строение западной части Оренбургской области представляет собой смену с севера на юг разнообразных отложений пермской, триасовой, меловой и четвертичной систем. В таком же направлении отмечается погружение кристаллического фундамента платформы и увеличение мощности осадочных пород. Для более детального изучения нетипичных эрозионных форм требуется проведение полевых исследований.

По данным государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды (2023 г.) на территории Оренбургской области в настоящее время ведутся наблюдения за активностью проявления овражной эрозии на 8 стационарных пунктах наблюдения. Наблюдательной сетью охвачены 8 административных районов Оренбургской области, расположенные на территории 3 областей инженерно-геологического районирования – Общего Сырта, Равнин Предуралья и Урало-Тобольского плато. Линейный прирост оврагов за последние 10 лет (2013–2023 гг.) изменяется от 0,2 до 0,8 м в год. Эти данные хорошо коррелируются с нашими результатами, полученными по разновременным космическим снимкам. У большинства овраж-

ных форм прирост либо отсутствует, либо не превышает 0,5 м в год. Однако в ходе дешифрирования космических снимков был найден участок с аномально высокими показателями линейного прироста оврагов. Вблизи поселка Суходольный Илекского района Оренбургской области наблюдается большое количество овражно-балочных систем. Одна из них активно развивается: с 2013 г. по 2024 г. линейный прирост главной вершины составил почти 97 м, что в среднем составляет 9 м в год. Протяженность основного эрозионного вреза составляет 4,2 км. Большинство отвершков расположено по правому борту. Самые крупные из них относятся к средней части главного оврага. Фрагментарно отмечается извилистый рисунок тальвега, напоминающий меандрирующее русло постоянного водотока. Данная территория требует особого внимания и организации геоэкологического мониторинга для предотвращения дальнейшей деградации почв и сельскохозяйственных угодий.

Е.А. Минакова¹, А.П. Шлычков¹, С.А. Кондратьев²

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет

² Институт озерадения РАН, г. Санкт-Петербург

ОЦЕНКА ВКЛАДА ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИЕ ДИФFUЗНОЙ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДОСБОРАХ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ (НА ПРИМЕРЕ КУЙБЫШЕВСКОГО И НИЖНЕКАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ В ГРАНИЦАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

Изучение процессов формирования биогенной нагрузки на водные объекты для разработки способов ее снижения – актуальная проблема геоэкологии как с научной, так и с практической точек зрения. В настоящее время на водоемы и водотоки, помимо природных, воздействуют антропогенные факторы, ускоряющие процессы протекания эвтрофирования. Объектом исследования является сложная антропогенно-нарушенная водная система равнинных водохранилищ Европейской части России на примере Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ и пилотных объектов в границах РТ в современных изменяющихся природно-антропогенных условиях.

С использованием усовершенствованной модели ILLM за период 2001–2019 гг. рассчитана доля вклада в совокупную диффузную биогенную нагрузку на Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища в границах РТ со стороны следующих факторов:

- аэротехногенные выпадения, тыс. т/год;
- побочные продукты животноводства, тыс. т/год;
- поступление с сельскохозяйственных угодий, тыс. т/год;
- сток с естественной подстилающей поверхности, тыс. т/год; сток с урбанизированных территорий, тыс. т/год;
- нагрузка от населения, проживающего в неканализованных районах, тыс. т/год. Результаты оценки приведены на рисунках 1, 2.

Выявлено, что формирование диффузной биогенной нагрузки N определяется аэротехногенными выпадениями (45,3%) и влиянием побочных продуктов животноводства (30,2%). Существенный вклад в поступление N вносит сток с естественной подстилающей поверхности (15,0%), а также внесение минеральных и органических удобрений (7,5%). Поступление N на водосборную площадь водных объектов с селитебных территорий и от населения, проживающего на неканализованных территориях поселений, является незначительным и составляет в совокупности 2%.

Анализ рис. 2 позволил заключить, что формирование совокупной диффузной биогенной нагрузки P на Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища в границах РТ определяется воздействием побочных продуктов животноводства (85,1%), аэротехногенными выпадениями (10,2%). Вклад от внесения минеральных и органических удобрений составляет 2,6%, вклад нагрузки от населения, проживающего на неканализованных территориях поселений, составляет 1,5%, вклад от естественной подстилающей поверхности и стоков с урбанизированных территорий является незначительным (0,4% и 0,2%, соответственно).

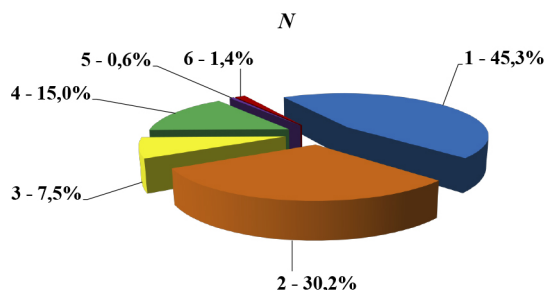


Рис. 1. Доля вклада факторов в диффузную биогенную нагрузку N на Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища в границах РТ, %

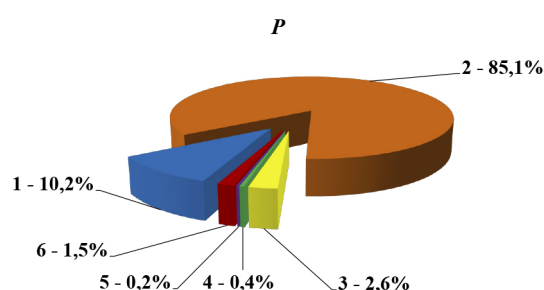


Рис. 2. Доля вклада факторов в совокупную диффузную нагрузку P на Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища в границах РТ, %

1 – аэротехногенные выпадения; 2 – побочные продукты животноводства; 3 – поступление с сельскохозяйственных угодий; 4 – сток с естественной подстилающей поверхности; 5 – сток с урбанизированных территорий; 6 – нагрузка от населения, проживающего в неканализованных районах

А.З. Миндубаев¹, Э.В. Бабынин²

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань

²ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

БЕЛЫЙ ФОСФОР: НЕ ТОЛЬКО ТОКСИЧНЫЙ, НО И ГЕНОТОКСИЧНЫЙ

Оценка генотоксичности белого фосфора Р4 при помощи SOS-lux теста показала, что он проявляет мутагенные свойства (рис. 1). Р4 в концентрации 62.5 мкг/мл является слабым мутагеном, по сравнению с пероксидом водорода. При более высоких концентрациях токсические свойства Р4 преобладают над мутагенными.

Важной задачей являлось исследование генотоксичности Р4 для клеток эукариот. Для этого использовали тест-систему с корешками репчатого лука (Allium тест). Установлено, что Р4 существенно снижает митотическую активность тканей по сравнению с контролем и, следовательно, обладает митотоксической активностью. Анализ соотношений фаз митоза показал увеличение доли клеток на стадии профазы с соответствующим уменьшением процентного отношения других стадий. Это может быть связано с блокировкой деления клеток в конце стадии профазы.

Данные результаты получены нами впервые в мире, в более ранних работах генотоксичность у белого фосфора обнаружена не была.

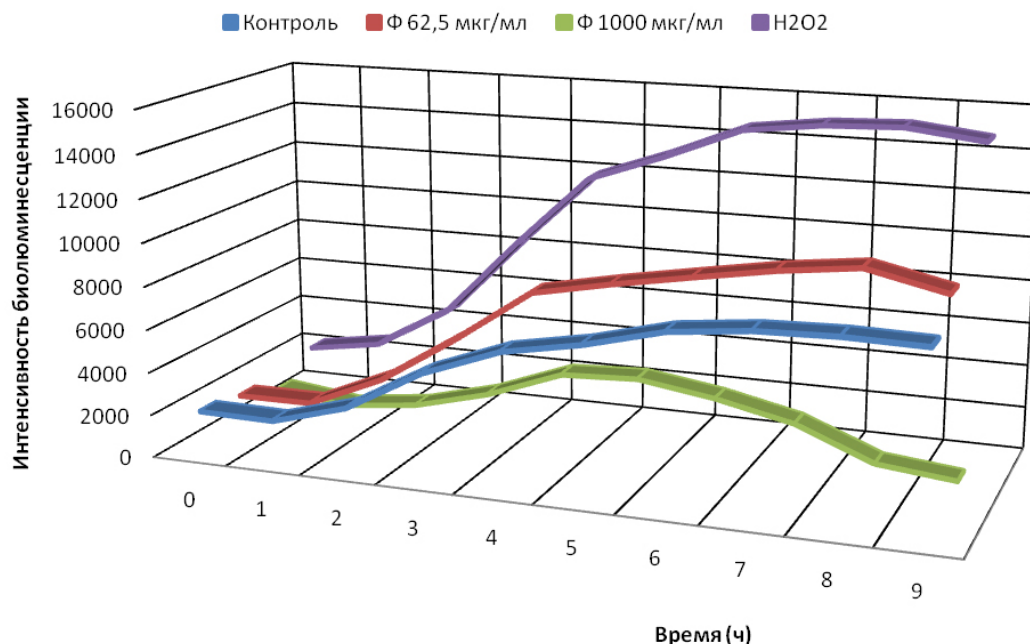


Рис. 1. Сравнение влияния белого фосфора на SOS-индукцию с перекисью водорода и негативным контролем (среда без мутагена)

Т.М. Минкина¹, Д.Г. Невидомская¹, Т.Н. Польшина², Н.П. Черникова¹,
 Т.С. Дудникова¹

¹Южный федеральный университет

²Южный научный центр РАН

ПРОЯВЛЕНИЕ АДАПТАЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ У ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ДОН В ОТВЕТ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ*

В настоящее время возрастает уровень антропогенных воздействий на границе взаимодействия наземных и аквальных систем. В работе исследованы территории дельты р. Дон, северного и южного побережья Таганрогского залива, входящие в устьевую область р. Дон. Здесь сконцентрирована основная доля населения Ростовской области, промышленность, топливно-энергетические комплексы, транспортная инфраструктура и т.д. Это обуславливает высокий уровень техногенно-нарушенных территорий, дренируемых речной системой Дона, и способствует активному развитию массопереноса потенциально токсичных веществ, таких как тяжелые металлы, поступающих с водосборов и накапливающихся в пограничной прибрежно-водной зоне. Прибрежно-водные растения способны аккумулировать загрязняющие вещества и поэтому становятся удобными объектами индикации при проведении биомониторинга.

Цель настоящей работы – исследовать проявление адаптационных морфофункциональных особенностей у прибрежно-водных растений некоторых экологических групп устьевой области р. Дон в ответ на их загрязнение тяжелыми металлами.

Проведены полевые исследования природно-антропогенных территорий ландшафтов нижнего течения р. Дон, его дельты и побережья Таганрогского залива. Экспедиционные исследования проводились с середины июня по начало августа 2023 г. Для характеристики растительности на исследуемой территории было заложено 50 площадок мониторинга. При исследовании популяции прибрежно-водных растений использовали общепринятые геоботанические методики и описания. Для биоиндикации были выбраны сообщества: пырея ползучего (*Elytrigia repens* (L.)) – многолетний мезофит; тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.)) – многолетний гелофит; дурнишника восточного (*Xanthium orientale* (L.)) – однолетник, мезофит. Для анализа высоты растения на каждой площадке были выполнены замеры высоты 15 экземпляров растений каждого вида в соответствии с международным протоколом. Кислотную экстракцию Mn, Cr, Ni, Zn, Pb, Cu, Cd в подземных и надземных частях растительных образцов проводили 20-% HCl после предварительного озоления и минерализации проб при 450–500 °С методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (МГА-915МД). Установлено, что содержание металлов в корнях и стеблях растений по медианному содержанию образует ряд: Mn (961,1 мг/кг) > Cr (95,1 мг/кг) > Ni (86,7 мг/кг) > Zn (56,8 мг/кг) > Pb (45,5 мг/кг) > Cu (32,0 мг/кг) > Cd (2,4 мг/кг). Показано, что накопление Cr, Pb, Ni, Zn, Cd в частях растений дурнишника значительно выше, чем в растениях пырея и тростника. Более низкая аккумуляция поллютантов в растениях семейства Мятликовые обусловлена их морфофизиологическими особенностями, препятствующими миграции поллютантов из почвы в корень и из корня в стебель. Многофакторный дисперсионный анализ выявил, что длина растений зависит от видовых особенностей и зоны их произрастания. Медианное значение длины дурнишника составляет 18, 28 и 31 см, пырея – 73, 47 и 43 см, тростника – 168, 130 и 180 см в условиях произрастания на территории дельты Дона, северного и южного побережий Таганрогского залива, соответственно. Длина дурнишника, произрастающего на территории дельты Дона, значительно ниже, а пырея значительно выше, чем у растений, произрастающих на территории Таганрогского залива (рис. 1).

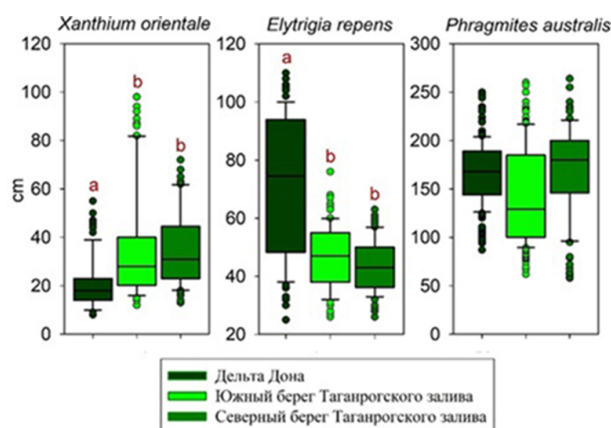


Рис. 1. Высота растений исследуемых видов, произрастающих на территории дельты Дона и побережья Таганрогского залива. Разные буквы обозначают значимые различия ($p < 0,05$)

* Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023-0008.

Для тростника значительные изменения длины в зависимости от зоны отбора не наблюдались, что подтверждает его устойчивость к изменению условий среды произрастания.

Таким образом, дурнишник является наиболее чувствительным видом, а тростник наименее чувствительным к загрязнению металлами. В местообитаниях с повышенной антропогенной нагрузкой исследуемые виды растений проявляли адаптации в виде уменьшения (карликовость) или увеличения (гигантизм) ростовых параметров, что говорит о наличии защитных механизмов, которые начинают проявляться при существенных отклонениях условий произрастания в градиенте увеличения содержания металлов в окружающей среде.

Т.М. Минкина, С.Н. Сушкова, А.Н. Самойлов, Э.В. Мельник, А.В. Козловский,
Ю.А. Литвинов, А.А. Меженков

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПОЧВ ЮГА РОССИИ*

В настоящее время крайне актуальным является вопрос рационального использования почвенных ресурсов страны и одновременно повышения интенсивности сельскохозяйственного производства. Эти задачи должны решаться реализацией сбалансированных управленческих решений и применением современных информационных технологий. Последние крайне необходимы для характеристики и учета почвенных ресурсов, создания реестра почв, проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия, прогнозирования поведения почвенных систем при антропогенном воздействии. Цифровизация играет ключевую роль в трансформации современного сельского хозяйства и экологии, существенно повышая эффективность, устойчивость и экологическую безопасность агропромышленного комплекса страны. Использование цифровых инструментов позволяет улучшить организацию производственных процессов, сократить негативное влияние человека на окружающую среду и приблизить агропромышленный комплекс к целям устойчивого развития.

Объектом исследования является Мясниковский район Ростовской области. Материалами исследования являются данные крупномасштабных почвенных обследований (почвенные карты и отчеты).

При проведении исследования использовались методы инвентаризации и оцифровки архивных материалов почвенных обследований Мясниковского района Ростовской области для формирования обучающей выборки, а также различные методы обработки данных с использованием больших языковых моделей (векторно-графовая модель), распределенной обработки данных (облачные и краевые вычисления), геостатистических методов и методов машинного обучения (нейронные сети, алгоритмы классификации и регрессии).

Оцифровка почвенной информации проводилась в несколько этапов, включающих в себя: подготовку первичных аграрно-почвенных данных, геореференсацию картографических данных (почвенные карты, тематические картосхемы), составление унифицированных справочников аграрно-почвенных данных, векторизацию картографических данных, оцифровку результатов физико-химических анализов почвенных образцов, верификацию цифровых данных в геоинформационной системе.

Для решения задач разработки математической модели проведен анализ цифровых почвенных данных. Наборы данных представлены более чем 1000 записей, включающих в себя: границы элементарных почвенных ареалов, семантическое описание почв территории исследования, количественные показатели почвенных свойств и уровня техногенного загрязнения. Цифровые данные характеризуются: неполнотой информации для участков интереса, неравномерным распределением категориальных признаков (большинство категориальных признаков имеют неравномерное распределение, где одна или несколько категорий встречаются значительно чаще остальных).

Для оценки моделирования почвенного покрова в целях устранения неполноты почвенной информации был проведен анализ данных с использованием следующих метрик: **RMSE (RootMeanSquaredError – среднеквадратичная ошибка)**, **R2 (R-squared – коэффициент детерминации)**, **MAE (MeanAbsoluteError – средняя абсолютная ошибка)**, **MedianAE (MedianAbsoluteError – медианная абсолютная ошибка)**.

• **Gradient Boosting** продемонстрировал наилучшие результаты в целом, показав высокие значения R2 и низкие значения RMSE для большинства целевых переменных. Это подтверждает эффективность данного ансамблевого метода для задач регрессии.

• **Random Forest** также продемонстрировал хорошие результаты, особенно для признаков «Число генетических горизонтов», «Широта», «Долгота» и «Глубина отбора образцов». Random Forest хорошо справляется с нелинейными зависимостями и устойчив к переобучению.

• **Linear Regression** оказался менее эффективен для большинства целевых переменных, показав низкие значения R2 и высокие значения RMSE. Это может быть связано с тем, что данная модель предполагает линейную зависимость между признаками и целевой переменной, что может не соответствовать реальным данным.

• **Decision Tree** и **Support Vector Machine** продемонстрировали смешанные результаты, в некоторых случаях показывая хорошую точность, а в других – неудовлетворительные показатели.

Цифровой двойник почв имеет ключевое значение в задачах сценарного прогнозирования и стресс-тестирования бизнес-проектов в сфере земледелия, связанных с внедрением новых технологий в агропроизводство. Моделирование почвенного покрова земельного участка позволит дать экономическую оценку при планировании орошения и севооборотов агротехнологических операций, тем самым значительно снизив финансовые риски. Также цифровой двойник почвы позволит прогнозировать вероятность наступления страхового случая и размер возможных убытков, тем самым является эффективным в контексте агрострахования.

* Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

Т.В. Минникова*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского*

СРАВНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПРОТЕАЗЫ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ ПОСЛЕ РЕМЕДИАЦИИ*

Протеаза в почвах отвечает за превращение азоторганических соединений, в том числе за образование минеральных форм азота. В частности, протеаза участвует в разложении поступающих в почву растительных остатков и обеспечивает растения доступными источниками азота. При загрязнении почв органическими и неорганическими веществами установлено нарушение соотношения между C:N, что приводит к снижению биологической активности почв и уровня плодородия.

Цель – оценить изменение активности протеазы почв, загрязненных нефтью и глифосатом, после ремедиации.

В рамках модельного эксперимента отбирали чернозем обыкновенный карбонатный (место отбора – пашня Ботанического сада ЮФУ). Почву просушивали, отбирали растительные остатки (ветки, корни) и иные включения, просеивали через сито 3 мм. В подготовленную почву вносили нефть (1 и 5% нефти от массы почвы) и глифосат (1 и 10 г глифосата на 1 кг почвы). После этого в образцы почв вносили ремедианты: биочар (1%), гумат натрия (0,1% раствор) и микробиологический препарат «Ленойл» (0,01%). Образцы почвы инкубировали при поддержании влажности почвы и температуры воздуха. Сроки отбора образцов почв составляли 30 и 150 суток от начала эксперимента. Активность протеазы (пептид – гидролазы. КФ 3.4.4) определяли по количеству аминокислот при протеолизе внесенных в почву белков, путем связывания их в окрашенные комплексы (по Хоффману и Тейхеру (1957)), мг аминного азота на 100 г почвы за 20 ч.

В зависимости от вида, концентрации загрязнителя и продолжительности загрязнения активность протеазы различалась (рис. 1). При загрязнении нефтью 1 и 5% от массы почвы через 30 суток от начала эксперимента не установлено достоверного воздействия ремедиантов на активность протеазы. Через 120 суток активность протеазы в почвах, загрязненных 1% нефтью с внесением гумата натрия, биочара и «Ленойл», была простимулирована на 30, 37 и 54; соответственно в сравнении с нефтезагрязненным фоном (Н). При загрязнении 5% нефти активность протеазы была простимулирована на 10, 18 и 35% после ремедиации гуматом натрия, биочаром и «Ленойл».

При загрязнении почвы глифосатом 1 г/кг на 30-е сутки установлена достоверная стимуляция активности протеазы при внесении биочара на 15% больше, чем в фоновой почве при загрязнении глифосатом (Г). При увеличении концентрации глифосата до 10 г/кг на 30-е сутки стимуляция активности установлена при внесении гумата натрия, биочара и «Ленойл» на 35, 17 и 22% относительно фона.

На 150-е сутки от начала эксперимента стимуляция протеазы при внесении гумата натрия, биочара и «Ленойл» составляла 24, 15 и 41% относительно фона. При увеличении концентрации глифосата до 10 г/кг установлена стимуляция протеазы при внесении гумата натрия, биочара и «Ленойл» на 35, 17 и 22%, а на 150-е сутки – 19, 19 и 13% соответственно.

Длительность ремедиации, оцененная по активности протеазы, как индикатора экологического состояния почв, наибольшая при загрязнении нефтью, чем глифосатом. Чем выше концентрация нефти и глифосата, тем больше времени нужно на восстановление экологического состояния почвы. Если оценивать состояние почвы по изменению активности протеазы, внесение биочара и «Ленойл» наиболее эффективно при загрязнении глифосатом, а «Ленойл» – при загрязнении нефтью.

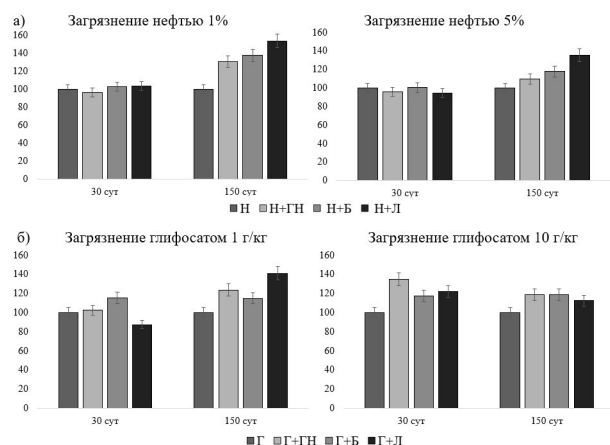


Рис. 1. Активность протеазы чернозема, загрязненного нефтью (а) и глифосатом (б), в % от фонового содержания нефти/глифосата
Примечание: Н – нефть; Г – глифосат; ГН – гумат натрия; Б – биочар; Л – «Ленойл»

* Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») (СП-12-23-01), Проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории в рамках межрегионального НОЦ Юга России (FENW-2024-0001).

**Н.М. Михайлова, О.В. Овчинникова, Л.А. Турыкин,
А.М. Тарбеева, В.Р. Беляев, И.В. Крыленко, В.В. Сурков**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА НАНОСОВ Р. ЧЕРТАНОВКИ

Чертановка – малая река на юге Москвы – является левым крупнейшим притоком р. Городни, относящейся к бассейну Верхней Волги. Протяженность Чертановки составляет 12 км (по ЦМР – 15,2 км), водосбор полностью расположен в пределах г. Москвы, его площадь 33,7 км² (по ЦМР – 33,5 км²). Среднего расхода воды в реке – 0,032 м³/с.

Несмотря на свое расположение, реки бассейна р. Чертановки не изучены как в плане гидрологического режима, так и с точки зрения русловых процессов.

С 2022 г. авторами начали проводиться мониторинговые наблюдения за деформациями русла, транспортом наносов и гидрологическим режимом рек этого бассейна. Наибольший интерес представляет участок бассейна в пределах парка «Битцевский лес», где реки развиваются в естественных условиях практически на всем протяжении в границах парка. На этом участке реки протекают по глубоким врезам V-образной формы, где источниками поступления наносов в русла служат пойменные, террасовые и коренные берега при их размыве, оползании, обрушении, активных солифлюкционных процессах на незадернованных уступах берегов, суффозия, склоновые процессы, плоскостной смыл на водосборе, а также активное врезание рек. Проведенное обследование рек бассейна р. Чертановки позволило выделить и картировать участки берегов, которые в настоящее время являются наиболее мощными источниками поступления наносов в результате размыва и оползания, особенно в период снеготаяния. Только на отрезке р. Чертановки от Севастопольского проспекта до Сумского проезда в 2024 г. зафиксировано более 20 таких участков. Однако их количество год от года изменяется: одни участки размыва развиваются на протяжении многих лет, другие появляются только при прохождении высоких и продолжительных паводков или (что чаще) в период таяния снега и прохождения половодья после снежной зимы. Последние, как правило, представляют собой крупные оползни, которые размываются в течение одного или нескольких лет, затем зарастают, часто не размывшись до конца. В результате размыва и оползания пойменных и террасовых участков берегов, не покрытых древесной растительностью, темпы горизонтальных деформаций составляют от нескольких сантиметров до 1–1,5 м/год, при обрушении террасовых и коренных берегов вместе с деревьями – до 2,5 м/год. Такие горизонтальные деформации, определяемые по смещению бровки берега, могут составлять до 80–100% ширины русла.

Размываемые участки берегов имеют разную литологию, что определяет состав поступающих в русло наносов. В верховьях притоки Чертановки прорезают моренные и флювиогляциальные отложения, ниже притоки и сама Чертановка – меловые морские, флювиогляциальные московского оледенения и современные пойменные аллювиальные отложения. Обследование размываемых берегов показало, что уступы террас сложены в основном суглинистыми и супесчаными отложениями, реже с песком и щебнем; в уступах коренных берегов вскрываются суглинки с валунами (моренные отложения), пески различной сортировки, имеющие слоистое залегание, и глины; пойменные берега сложены песчаными, супесчаными и суглинистыми отложениями, иногда с примесью гравия и гальки. В результате в русла рек поступает разный по составу материал от валунов до пыли и ила.

Так как высокую долю занимают террасовые и коренные берега, в русло попадает преимущественно песок разных фракций с наибольшей долей частиц 0,1–0,25 и 0,25–0,5 мм, который практически весь переходит в состав влекомых наносов. Исключение составляют белые меловые пески, в составе которых значительную долю занимают частицы размером до 0,1 мм, а также разжиженный солифлюкционный материал, поступающий в русло с незадернованных уступов террасовых берегов, который, в отличие от самого уступа, имеет в своем составе более 50% частиц размером менее 0,1 мм (табл. 1). При размыве уступов пойменных берегов также поступает большое количество мелкозернистого материала. Другим немаловажным источником поступления наносов в русла рассматриваемых рек является эрозия дна, что особенно характерно для верховьев водотоков. Здесь подстилающей поверхностью являются отложения московской морены (глины, суглинки с валунами) и флювиогляциальные (пески хорошей и средней сортировки). Там, где верховья рек прорезают подстилающие моренные отложения, суглинки и супеси быстро вымываются. По мере вымывания таких более податливых отложений на дне оголяются валуны морены диаметром 30–70 см, которые становятся останцами и начинают оказывать влияние на гидравлические характеристики потока. Менее крупные валуны по мере высвобождения переходят в состав влекомых наносов и перемещаются в период высоких паводков. По результатам регулярной геодезической съемки продольных профилей наибольшее изменение отметок дна зафиксировано на одном из верхних створов руч. Коньковского – до 58 см/год. Такое

высокое значение является отражением суммарного размыва дна – сначала размываются в данном створе наносы, отложившиеся на дне после предыдущего паводка, затем при продолжении размыва дна происходит направленное врезание водотока (размыв коренных отложений). Только за один высокий паводок в июле 2023 г. наибольшая скорость врезания в глины составила 14 см, на участке с преобладанием крупной гальки и валунов – 9 см.

Поступившие в русло наносы размером менее 0,1 мм практически полностью переходят в состав взвешенных даже при небольшом повышении водности, о чем свидетельствует проведенное сопоставление содержания частиц разной крупности в отложениях размываемых берегов, взвешенных и влекомых наносах. Сравнение гранулометрического состава береговых отложений на разных участках по длине рек и состава взвешенных наносов, а также анализ частиц указывают на преимущественное содержание во взвешенном состоянии наносов, поступивших в воду в результате деформаций русла.

На всем протяжении рек чередуются участки размыва дна и аккумуляции наносов. На последних наносы могут задерживаться на короткий промежуток времени и продолжать движение при небольшом увеличении водности, на других накапливаются длительное время. Проведенное бурение в 2025 г. на одном из таких участков показало, что максимальный слой наносов, накопившихся за многолетний период, составил 2,95 м, при этом активный слой в настоящее время составляет 1 м в высокие паводки.

А.Г. Мокрикова, В.А. Ерин, Н.Д. Калашников

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

ВЛИЯНИЕ ЖКУ НА СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТНОГО АЗОТА В ПОЧВЕ ПОД ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL*

Азот является одним из самых сложных питательных элементов растений. Как избыток, так и недостаток доступного для растений азота в почве приводит к снижению урожая и качества растениеводческой продукции. Основная часть азота в почве представлена в форме органических соединений, источником его для высших растений являются минеральные формы – аммоний и нитраты. Содержание как аммонийного, так и нитратного азота в почве изменяется в зависимости от почвенно-климатических условий выращивания, от вида растения, его возраста, а также агротехнических приемов возделывания.

Исследования проводили на базе ИП Мокриков В.И. в Октябрьском районе Ростовской области. Исследуемая почва – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке.

Образцы почвы (слои 0–10 и 10–20 см) отбирали в следующие фазы развития озимой пшеницы: осеннего и весеннего кущения, начала выхода в трубку, полной спелости.

Опыт проводили на поле площадью 97 га, предшественник – кориандр. Удобрения ЖКУ 11:37 применяли согласно схеме опыта: 1) Контроль без удобрений, 2) ЖКУ 100 л/га, 3) ЖКУ 150 л/га, 4) ЖКУ 200 л/га. ЖКУ вносили при посеве, а в фазы весеннего кущения и выхода в трубку была проведена подкормка КАС–32 в дозе 200 и 150 л/га соответственно.

Методы исследования – отбор проб и подготовка почвы к анализу – ГОСТ Р 58595-2019; определение нитратного азота – потенциометрическим методом с ионселективными электродами по ГОСТ 26951-86. Корреляционный и дисперсионный анализы полученных результатов проводили в пакете программ STATISTICA 13.3 с 5% уровнем значимости ($p < 0.05$).

Согласно проведенным исследованиям, обеспеченность почвы нитратным азотом на контроле очень низкая по всем срокам отбора образцов. Применение удобрений значительно увеличивает содержание этого элемента в почве.

В фазу осеннего кущения, когда растениям еще мало требуется азота, уже при внесении 100 л/га отмечен существенный рост содержания нитратного азота в слое 0–10 см, с увеличением дозы ЖКУ повышение установлено в обоих слоях почвы.

В фазу весеннего кущения значительное возрастание содержания данного показателя в обоих слоях установлено при внесении максимальной дозы удобрений – 200 л/га.

В период выхода в трубку наблюдалось увеличение содержания нитратного азота по всем вариантам опыта, при наибольшем его накоплении в варианте ЖКУ 150 и ЖКУ 200 л/га, что подтверждено дисперсионным анализом.

В конце вегетации озимой пшеницы, в фазу полной спелости наблюдалось повышение нитратного азота при внесении ЖКУ на фоне двух подкормок КАС-32 в фазу весеннего кущения и выхода в трубку, что, вероятно, связано с пролонгированным действием изучаемых удобрений.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») в Молодежной лаборатории регенеративного земледелия № СП-12-24-03.

Н.Н. Назаров¹, И.В. Назарова²

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

²Пермский государственный национальный исследовательский университет

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. РАЗДОЛЬНАЯ, ЮЖНОЕ ПРИМОРЬЕ

Выявление особенностей развития эрозионно-аккумулятивных процессов в устьевых областях рек (УОР) является частью решения проблемы современного формирования переходной зоны «суша – океан». Принято считать, что в границы УОР попадают участки нижних течений, в которых фиксируются проявления морских процессов, а также приустьевые части взморья, где в том или ином виде присутствуют следы деятельности речных процессов. В настоящее время при достаточно активном изучении руслового и некоторых других типов морфолитогенеза в мезо- и макроприливных УОР российского сектора тихоокеанского побережья наименее исследованными остаются микроприливные устья рек.

Одной из таких рек Южного Приморья является р. Раздольная. Протяженность реки составляет 245 км, площадь водосбора – 16,8 тыс. км², речной сток – 2,46 км³. Река впадает в море в вершине Амурского залива. Морские процессы в заливе характеризуются средней величиной полусуточного прилива – в сизигию колебания уровня находятся в пределах 20 см. Широкая (8–10 км) долина реки в нижнем течении имеет четковидную форму с сужением до 1,5 км в районе н.п. Раздольное. Долина покрыта густой сетью осушительных каналов и занята преимущественно землями сельскохозяйственного назначения. Расходы воды в реке изменяются в широких пределах: от 6 м³/с в зимнюю межень (январь 2014 г.) до 730 м³/с в пик половодья (май 2011 г.). Если в первом случае наибольшая дальность проникновения зоны смешения морских и речных вод от устьевого бара в русло составила около 30 км, то во втором – эта зона была вытеснена в Амурский залив.

В процессе изучения влияния руслоформирующих процессов на морфологическое строение УОР были задействованы спутниковые изображения открытого доступа (Yandex-карты, GoogleMaps). При установлении ее верхней границы использовался опыт, полученный при картировании мезо- и макроприливных устьев рек. В первую очередь это касалось наработок по выявлению дешифрировочных признаков распространения приливных явлений. Верхняя граница УОР Раздольной зафиксирована в районе сужения (перезима) долины реки (н.п. Раздольное), сразу ниже которого происходит раздвоение русла. Вверх по реке от этого места – приустьевой участок реки представлен свободными излучинами, чередующимися с относительно прямолинейными вставками русла и русловыми разветвлениями. В первом устьевом участке УОР, выделенном исходя из особенностей набора в нем морфодинамических типов русла, находится и верхняя граница эстуария, установленная ранее исследователями по расположению последнего песчаного переката – аккумулятивного тела, фиксирующего, по-видимому, перерастание «количества» (частоту) проникновений нагонов морских вод вверх по руслу реки в «качество» – увеличение в русловых процессах доли аккумулятивных и сокращение эрозионных. По сравнению с приустьевым участком реки (выше н.п. Раздольное) на первом устьевом участке, где периодически происходит смешение речных и морских вод, фиксируется увеличение доли излучин, относящихся к более высокой стадии развития – замещение сегментных излучин сложными петлеобразными.

Второй устьевой участок протягивается до дельтообразной части эстуария и в настоящее время находится под более активной моделировкой морскими процессами. Перехват значительной части речных наносов на первом устьевом участке привел к снижению на втором доли влияния аккумуляции в формировании русла эстуария. Выражается это понижением структурного уровня развития излучин с IV до III – они снова становятся сегментными.

Самая нижняя дельтовидная часть эстуария реки, еще в относительно недалеком прошлом представлявшая собой обычную малорукавную дельту, в результате направленного повышения уровня океана до 1,5 мм/год при устойчивой тенденции вертикальных движений земной поверхности отрицательного знака 2–5 мм/год в этой части Приморья, превратилась в заливы лимана и практически полностью вышла из-под влияния русловых процессов. Сквозь толщу воды на устьевом участке взморья четко просматриваются затопленные (концевые) фрагменты островных массивов субаквальной дельты и приустьевой бар.

Таким образом, формирование микроприливной УОР р. Раздольная по сравнению с мезо- и макроприливными УОР отличается относительно меньшей протяженностью участков, выделяемых по структуре морфодинамических типов русла, и большей выраженностью в них проявлений речных (русловых) процессов, чем морских.

И.В. Никонорова, В.Н. Ильин, А.А. Ильина, А.А. Никитин

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

РОДНИКИ КАК НАЧАЛЬНЫЕ ЗВЕНЬЯ РЕЧНОЙ СЕТИ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ*

Особенности геолого-геоморфологического строения Чувашской Республики привели к высокой эрозионной расчлененности территории. Положительный баланс осадков и развитие водной эрозии способствовали формированию многочисленных участков разгрузок подземных вод – восходящих и нисходящих родников. Родники, в свою очередь, являются источником питания – начальными звеньями – речной сети региона. В последнее время остро стоит вопрос об экологическом состоянии малых рек Чувашской Республики, так как практически все населенные пункты республики расположены вдоль них. Следует отметить, что характерной особенностью малых рек является их более низкая, по сравнению с большими и средними реками, способность к самоочищению вследствие низкой водности. В результате чего на этих реках значительно чаще, чем на крупных, формируются участки хронического загрязнения, а гидрохимический режим более ярко отражает особенности географического положения водосбора, отмечаются превышения по микробиологическим показателям.

В целом экологическое состояние поверхностных водных ресурсов в Чувашской Республике оценивается как неудовлетворительное. Малые реки региона зачастую характеризуются многокомпонентным превышением допустимых параметров ПДК. Из-за этого качество воды в 50% створов Чебоксарского водохранилища в пределах республики, куда впадают эти реки, соответствует классу качества 3б (загрязненные). Целью исследования было выявление влияния качества родниковой воды, как начальных звеньев, на экологическое состояние речной сети Чувашской Республики. Для этих целей за период 2024–2025 гг. в рамках общественного мониторинга был проанализирован химический состав родниковой воды в более чем 100 источниках, питающих гидрографическую сеть региона. Анализу были подвергнуты родники всех муниципальных образований Чувашской Республики.

Химический анализ родниковой воды проводился с использованием ранцевой лаборатории «Ранцевая полевая лаборатория исследования водоемов «НКВ-Рм» и стационарной лаборатории с использованием спектрометра. Водородный показатель pH во всех полученных образцах не превышает допустимые значения (от 6,9 до 7,5). Общая минерализация родниковой воды по Чувашской Республике варьирует от 0,07 г/л до 0,6 г/л при допустимом пороге 1,5 г/л. Вода ультрапресная и пресная. При движении с севера на юго-восток наблюдается постепенное увеличение общей жесткости воды. Повышение значений общей минерализации и жесткости связано с последовательной сменой водоносных горизонтов, из которых осуществляется разгрузка в виде нисходящих и восходящих родников. Средние показатели жесткости воды по региону составляют 5–7 мг-экв/л. На крайнем юго-востоке величина жесткости возрастает до 11 мг-экв/л (при допустимых 10 мг-экв/л). В исследованных пробах не было выявлено превышения показателей ионов натрия, нитратов и нитритов. Превышения показателей аммония, железа, сульфатов и хлоридов наблюдаются точечно. Из некондиционных родников преобладают те, в которых наблюдается превышение показателей аммония. Это родники, расположенные близко к животноводческим комплексам, хозяйственным постройкам. Их доля не превышает 6% от общего количества исследованных родников. Также выделяются отдельные родники, в которых наблюдается превышение сульфатов и хлоридов (родник д. Иваньково Ядринского муниципального округа (МО)), ионов железа (родник д. Акшики Мариинско-Посадского МО), общей жесткости (родник д. Бичурга-Баишево Шемуршинского МО). Исследования подтвердили, что качество воды в подавляющем большинстве родников соответствует необходимым требованиям.

В свою очередь, регулярный мониторинг в створах рек показывает среднегодовое превышение ПДК: ионов меди в 3,3 раза, трудноокисляемых органических веществ по величине ХПК – 1,2 раза, железа общего – 1,2 ПДК, азота нитритного – 3,3 ПДК и нефтепродуктов – 0,92 ПДК, азота аммонийного – 1,11 ПДК.

Из вышеизложенного следует, что на качество воды поверхностных водных объектов оказывает влияние сброс недостаточно очищенных сточных вод промышленных и сельскохозяйственных предприятий республики. Снижение качества воды в реках за счет питания загрязненной родниковой водой может наблюдаться лишь точечно.

В заключение следует отметить, что родники являются стабильным источником питания малых рек. Именно они обеспечивают необходимую водность, особенно в засушливые годы, повторяемость которых в последнее время вызывает особую тревогу. Поэтому очень актуальными являются мероприятия по расчищению родников от заиливания и зарастания. Решить проблему силами только сельских жителей невозможно: необходима помощь администраций, волонтеров-общественников из природоохранных организаций.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-20133) и Чувашской Республики, <https://rscf.ru/project/24-27-20133>.

Т.В. Пилипенко¹, А.Ю. Кудряшов¹, А.А. Калашников²

¹ФГБОУ ВО НГАСУ (Сибстрин)

²ФГБОУ ВО СГУВТ

ИССЛЕДОВАНИЯ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА РЕКАХ НОРИЛО-ПЯСИНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ

Работа выполнена в рамках выполнения научно-исследовательской работы, направленной на исследования в области изучения и освоения внутренних водных путей Норило-Пясинской водной системы, а именно, р. Талая, р. Норильская, р. Лама, о. Лама и о. Мелкое.

Проблемой, с которой столкнулись авторы, является то, что водные пути рассматриваемой территории, не являясь судоходными, никогда не были исследованы с гидрографической точки зрения и даже не имеют ни одного гидрологического поста, по которому бы велись гидрологические наблюдения хотя бы за уровнями и/или расходами воды.

В связи с тем, что исследуемый участок довольно протяженный и включает в себя три реки: Норильская, Талая, Лама, а также два озера: Лама и Мелкое, с целью получения гидрологических данных необходимо было установить ряд временных гидропостов. Наблюдения за уровнями воды велись ежедневно с момента установки временных гидропостов – с 08.07.2024 (рис. 1).

Начало исследования Норило-Пясинской системы – гидропост Валек. В настоящее время гидропост не функционирует. Гидрологический пост р. Норилка – пос. Валек (на р. Норильская) располагается на 19 км от устья реки, ниже по течению от железнодорожного моста, в 2,5 км ниже по течению от впадения р. Валек, на правом берегу реки. Среднегодовой уровень воды в створе гидрологического поста равен 171 см (28,04 м БС). Среднегодовой расход воды в створе гидрологического поста равен 457 м³/с. Высший годовой уровень воды 1%-ной обеспеченности в створе гидрологического поста равен 616 см (32,49 м БС). Максимальный годовой расход воды 1%-ной обеспеченности в створе гидрологического поста равен 4030 м³/с.

Авторами исследования были оборудованы реечные посты, для создания планового обоснования съемки участка был проложен теодолитный ход (магистраль) по берегам водных объектов. Плановое обоснование было создано с обязательным условием выполнения инженерно-геодезических изысканий, а именно создано в условных координатах. Направление теодолитного хода (магистрали) было выбрано в пределах незатопляемой части берега, довольно близко к урезу воды (около 0,5 м). Результаты исследования были зафиксированы в полевых журналах, затем участниками экспедиции были проведены камеральные работы.

Результат проведенных исследований положил начало исследованиям в области гидрологического режима исследуемых водных объектов Норило-Пясинской системы. Следующим этапом работы было выполнение навигационно-гидрографических работ (промеры рассматриваемых водных объектов). На основании обработанных данных авторами были построены планы исследуемых объектов в изобатах.

Далее, на основании построенного графического материала и по измеренным гидрологическим параметрам русел рассматриваемых водотоков, были выявлены особенности русловых процессов и обоснованы рекомендации, направленные на возможность выведения данных объектов исследований в категорию судоходных, имеющих статус Федеральные внутренние водные пути определенной категории.

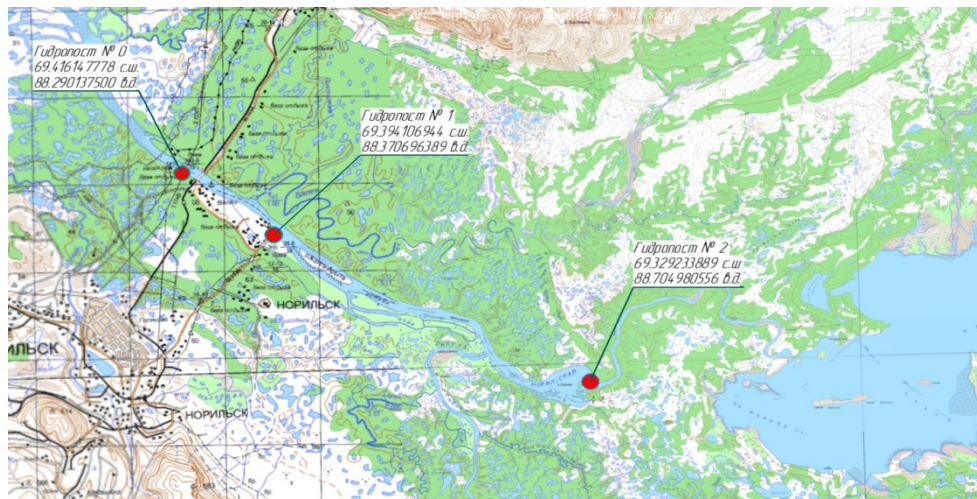


Рис. 1. Расположение временных гидропостов (№ 0-3)

Н.Р. Поваляев¹, А.Н. Кондратьев², Н.И. Гордеева³, А.О. Стрюцкая⁴

¹Самозанятый, г. Краснодар, ²ООО «Русловые процессы», г. Санкт-Петербург, ³АО «Нефтехимпроект», г. Казань, ⁴ООО «ДАТУМ Инжиниринг», г. Ростов-на-Дону

СПОСОБ ОЦЕНКИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РЕЧНЫХ РУСЕЛ ПРИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Для оценки горизонтальных деформаций речных русел обычно используется способ при наличии разновременных картографических материалов, при наложении которых появляется понимание процессов, происходящих на исследуемом участке. Такой способ приведен в нормативных документах, например, в ВСН 163–83 и СТО ГУ ГТИ 08.29–2009. На практике же не всегда имеются исходные данные в достаточном объеме, чтобы использовать этот метод. Поэтому требуется расширение системы методов с добавлением методов при отсутствии и недостаточности исходных данных для ситуаций, не рассмотренных в нормативных документах.

В статье (Кондратьев А.Н., Поваляев Н.Р. Обзор способов обоснования профиля предельного размыва речных русел // Гидротехника. 2024. № 1. С. 15–21) приведен набор способов оценки размывов берегов, рекомендуемых для практического использования. В таблице 1 эти способы перечислены и ранжированы по степени наличия исходных данных, где учитываются две основные ситуации: 1) при наличии данных (карт и т.п. (пункты 1 и 2 в таблице); 2) при отсутствии данных (пункты 6 и 7 в таблице). В каждом способе дополнительно учитывается влияние ограничивающих условий, а в способах 4 и 5 ограничивающие условия – главенствующий фактор.

Сейчас дополнительно предлагается еще один способ оценки горизонтальных деформаций (п. 3 в таблице) при недостаточности данных, а именно, при следующих условиях: 1) немеандрирующие реки, в которых горизонтальные деформации относительно малы, но не исключены, например, русловая многорукавность, ленточно-грядовый, осередковый, побочневый типы русловых процессов; 2) есть один (и только один) информативный плановый материал (карта, космоснимок или т.п.), по которому нельзя определить скорость смещения берега, но можно определить изменчивость ширины русла по длине участка; 3) дополнительно следует учитывать влияние ограничивающих условий для развития плановых деформаций, при их наличии:

$$L = (B_{\text{макс}} - B_{\text{ств}}) + K_1 \cdot B_{\text{макс}} \quad (1),$$

где L (м) – максимально возможный расчетный размыв берега; K_1 – повышающий коэффициент; $B_{\text{макс}}$ (м) – максимальная ширина русла на участке; $B_{\text{ств}}$ (м) – ширина русла в расчетном створе.

Два слагаемых в этой формуле отражают две сущности размывов берегов реки: 1) размывы, соответствующие существующей максимальной ширине русла, 2) возможные дополнительные размывы более современной ширины. Численное значение коэффициента K_1 требует уточнения. Возможно, его значение будет зависеть от типа русловых процессов, географических зон и других руслоформирующих факторов.

Таблица 1. Способы оценки горизонтальных деформаций речных русел

№	Условия применимости способа	Способ	Формула
1	При наличии данных (карт) и однонаправленных деформациях	Экстраполяция прошлого размыва с учетом неравномерности	$L = K_2 \cdot T \cdot V$
2	При наличии данных (карт) и разнонаправленных деформациях	Учет всех возможных схем деформаций	$L = T \cdot \sum (K_i \cdot V_i)$
3	При наличии одного информативного картографического материала	Учет связи размыва берега с шириной водотока	Формула (1)
4	При исключении деформаций (укрепленные берега и т.п.)	Размыв равен нулю	$L = 0$
5	При воздействии горизонтальных ограничивающих факторов	Размыв дается с учетом ограничивающих факторов	$L = L_{\text{до ограничивающего фактора}}$
6	При отсутствии данных (карт) и малых деформациях (врезанные реки и т.п.)	Размыв принимается равным минимально возможным значениям	$L = \min$
7	При отсутствии данных (карт) и выраженных, но не ясных деформациях	По ширине пояса руслоформирования ($B_{\text{рф}}$); ширине поймы ($B_{\text{п}}$); ширине дна долины ($B_{\text{д}}$)	$L = B_{\text{рф}};$ $L = B_{\text{п}};$ $L = B_{\text{д}}$

В таблице: T (годы) – расчетный период, на который дается оценка размыва; K_2 – повышающий коэффициент; V (м/год) – скорость размыва берега. Остальные обозначения приведены выше.

Предлагаемый дополнительный способ при недостаточности данных (п. 3 в таблице) расширяет систему способов оценки горизонтальных деформаций речных русел, что отвечает многообразию ситуаций при оценке размывов рек.

В.А. Поляков¹, Т.В. Бауэр², В.В. Бутова¹, М.А. Грицай¹, Т.М. Минкина²

¹Международный исследовательский институт Интеллектуальных материалов ЮФУ

²Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванковского ЮФУ

НАНОПЛАТФОРМА MIL-100(Fe)/БИОЧАР ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ДОСТАВКИ АУКСИНОВ: ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ КОМПОЗИТА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ 2,4-Д В ОРГАНАХ HORDEUM SATIVUM*

Ежегодный рост численности населения диктует новые вызовы современному сельскому хозяйству и стимулирует научное сообщество на поиск альтернативных способов повышения урожайности сельхозкультур. Эффективное применение фитопрепаратов, в частности, ауксинов, является одной из актуальных задач, поскольку неконтролируемая дозировка снижает их регуляторный потенциал в отношении стимуляции роста растений. Эта проблема особенно актуальна в регионах, подверженных различным абиотическим стрессам, таким как засуха. Перспективным решением является создание систем доставки с контролируемым высвобождением активных веществ. Целью данной работы стала разработка наноплатформы на основе биочара и MIL-100(Fe), модифицированной гуминовыми кислотами (ГК) и цетилтриметиламмония бромидом (СТАВ) и предназначенной для адресной доставки и контролируемого высвобождения ауксина (АУ) 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д), стимулирующего рост растений.

Наноплатформа была синтезирована из биочара (БЧ), полученного из пшеничной соломы, покрытого нанокристаллами высокопористого металл-органического каркаса MIL-100(Fe), образуя композит MIL@БЧ. Далее нанокompозит модифицировали: одну часть – ГК (MIL@БЧ@ГК), другую – ГК и СТАВ (MIL@БЧ@ГК@БП). В оба варианта, а также немодифицированный образец, загружали ауксином 2,4-Д. Анализ динамики адсорбции методом UV-vis спектроскопии и анализа SEM-EDS показал, что MIL@БЧ@ГК@БП обладает наилучшей сорбционной способностью, за счет развитой поверхности, модифицированной большим числом функциональных групп ГК и катионов СТАВ. Для проведения фитотеста в чашках Петри, содержащих по 50 г воздушно-сухой почвы, вносили загруженные ауксином нанокompозиты в дозах 0,5%, 1%, 1,5% и 2% от общей массы почвы. Одновременно с внесением композитов проведен посев ярового ячменя *Hordeum sativum distichum*. Спустя 7 дней с момента всходов корни и надземные побеги измельчали и высушивали и подвергали дополнительно лиофильной сушке, для окончательного удаления влаги. Полученные образцы изучали методом рентгено-флуоресцентного анализа (РФА) и оценивали содержание хлора (Cl) в надземных и подземных частях растения (рис. 1).

По результатам анализа РФА было установлено базовое содержание хлора (Cl) в побегах и корнях ячменя без внесения добавок. Внесение немодифицированного нанокompозита MIL@БЧ привело к снижению

содержания Cl в обеих частях растения, что объясняется связыванием содержащегося в почве хлора нанокompозитом. При использовании нанокompозитов, загруженных ауксином (2,4-Д), зафиксировано увеличение содержания Cl – в побегах в 1,1–1,3 раза, а в корнях в 1,9–3,2 раза. Максимальное накопление Cl в побегах наблюдалось при внесении 2% MIL@БЧ@ГК@АУ и MIL@БЧ@ГК@БП@АУ, что связано с улучшенной биодоступностью ауксина благодаря модификации ГК и повышенному содержанию препарата при покрытии БП. В корнях наибольший эффект показал MIL@БЧ@АУ в дозе 1%, что объясняется быстрым высвобождением 2,4-Д, не сдерживаемым взаимодействиями с функциональными группами ГК и БП. При дозах 1,5–2% наибольшей эффективностью обладал MIL@БЧ@ГК@БП@АУ, обеспечивая значительное повышение содержания Cl в подземной части растений за счет наибольшего содержания ауксина в своем составе.

Таким образом было показано, что модификация поверхности наноплатформы является ключевым моментом, определяющим эффективность доставки ауксина в различные органы растения. Это открывает большие возможности в таргетном проектировании новых наноплатформ и повышении эффективности существующих решений.

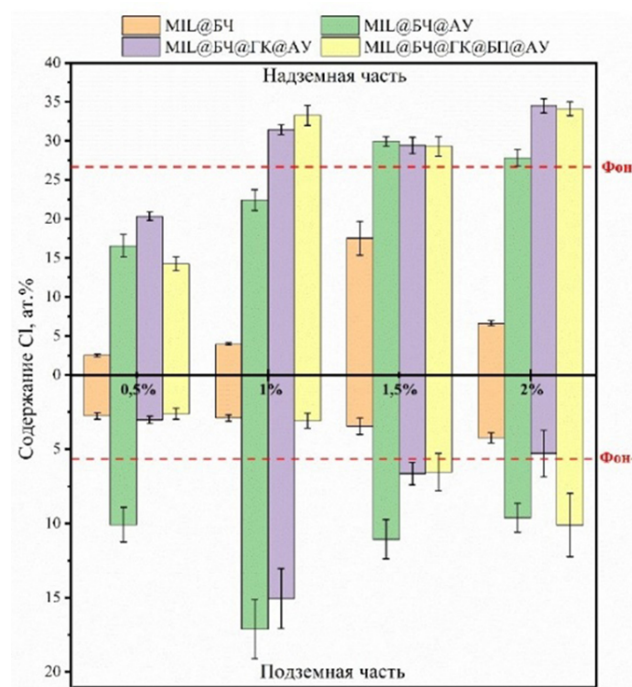


Рис. 1. Данные РФА по содержанию Cl (ат.%) в корнях (подземная часть) и побегах (надземная часть) ярового ячменя (*Hordeum sativum*), выращенного на чистой почве (Фон) и на чистой почве с добавлением разных видов и доз нанокompозитов

* Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-76-10054-П) в Южном федеральном университете.

А.Р. Полякова, О.П. Ермолаев

Казанский (Приволжский) федеральный университет

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ (1979–2024 гг.) ДИНАМИКА ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ В АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

В качестве исходных данных для анализа пространственно-временной динамики запасов воды в снежном покрове на территории азиатской части страны (южнее 60-й параллели) были использованы оценки запасов воды в снеге из двух открытых источников: GlobSnow и CGLS SWE. Оба источника предоставляют ежедневные данные о запасах воды в снеге (Snow Water Equivalent, SWE). Однако данные научного продукта GlobSnow представлены за период с 1979 г. по 2018 г. и имеют пространственное разрешение 25 км, а данные научного продукта CGLS SWE охватывают период с 2006 г. по настоящее время с пространственным разрешением 5 км.

Предварительно, для проверки корректности объединения данных из двух источников (GlobSnow и CGLS SWE), была проанализирована их согласованность на временном промежутке, где есть данные из обоих источников – с 2006 по 2018 г. Анализ показал приемлемое качество согласия: коэффициенты корреляции растров, полученных по GlobSnow и по CGLS SWE, около 0.8; средние и медианы разностей около нуля. То есть, данные из двух источников не противоречат друг другу и подходят для дальнейшего объединения.

В докладе представлена разработанная нами методика по оценке максимальных запасов воды в снеге к началу весеннего снеготаяния в пикселях территории в заданный год. Результат – 45 растровых слоев с максимальными предвесенними значениями SWE для конкретного года с 1979 по 2024 г. Таким образом, в каждом пикселе (5×5 км) мы имеем временной ряд этого показателя (обозначим его maxSWE), отражающего его межгодовую динамику за 45 лет (1979–2024 гг.).

Первоначально, для выявления основных статистических закономерностей была проведена оценка статистических показателей в целом по территории, а также для разных климатических зон. На графиках, приведенных в докладе, показана межгодовая динамика maxSWE, обобщенная как среднее и медиана по всей исследуемой территории и как среднее по климатическим зонам. Корреляционный/регрессионный анализ показал, что для средних по территории maxSWE имеет место статистически значимый (с надежностью не менее 95%) тренд на увеличение значений за последние 45 лет (с 1979 г. по 2024 г.). Простая линейная регрессия, которая моделирует зависимость среднего по территории maxSWE от года, дает коэффициент детерминации 46%, коэффициент регрессии равен 0.58. Согласно выявленному тренду, за 45 лет максимальные предвесенние запасы воды в снеге увеличились в среднем по всей территории примерно на 20 мм, относительное изменение – 20% (разность оценки за 2024 г. и оценки за 1979 г. по отношению к оценке за 1979 г., в %). Изменения менее выражены в континентальных западносибирских зонах (северной и центральной, южной) и тихоокеанской зоне, а наиболее выражены в континентальной и резко континентальной восточно-сибирской климатической зоне и в предгорьях Алтая и Саян.

На следующем этапе проводился более детальный анализ пространственно-временных изменений этого показателя. С этой целью рассматривались временные ряды maxSWE за 45 лет в каждом пикселе территории, где строилась простая линейная регрессия maxSWE на год. Результатом стало получение двух растровых слоев – растр коэффициентов регрессии и растр их значимости (p-value). Значение коэффициента регрессии в пикселе, его знак и значимость (p-value) позволяют судить о тенденции maxSWE в пикселе. Значение p-value < 0.05 говорит о том, что в пикселе выявлен значимый тренд (с надежностью не менее 95%). В этом случае знак коэффициента регрессии будет с соответствующей надежностью говорить о направленности изменений («-» – тенденция на уменьшение, «+» – тенденция на увеличение), а значение коэффициента регрессии (по абсолютной величине) о силе изменений. Анализ пространственного распределения показывает наличие пространственной неоднородности динамики исследуемого показателя. Почти на половине территории (47% площади) имеет место тренд на рост значений предвесенних запасов воды в снеге за последние 45 лет. На ряде участков, составляющих 5% площади всей территории, направленность изменений обратная, на уменьшение. На 48% площади изменения этого показателя за 45 лет статистически не значимы. В предгорных ландшафтах, там, где межгодовые изменения значимы, они имеют положительную направленность, то есть тренд на увеличение предвесенних запасов воды в снеге. На равнинных ландшафтах ситуация аналогичная: там, где статистически значимая динамика присутствует, она в основном указывает на рост показателей. При этом есть четыре относительно небольших участка с обратной направленностью изменений – западнее г. Барнаула в пределах степной/лесостепной зоны (Приобское плато); между Екатеринбург и Тюменью в южно-таежной зоне (Туринская равнина), юго-западнее г. Абакана (южная оконечность хр. Кузнецкий Алатау), в районе истока р. Подкаменной Тунгуски (северная оконечность Ан-

гарского кряжа), западнее г. Магадана (Кава-Тауйская равнина), восточное предгорье северной оконечности Срединного хребта на полуострове Камчатка.

Таким образом, согласно данным о запасах воды в снежном покрове, доступным по результатам дистанционного зондирования Земли из космоса и представленным в научных продуктах GlobSnow и CGLS SWE, на значительных участках территории исследования выявлена тенденция к увеличению значений предвешенных запасов воды в снежном покрове за последние 45 лет (1979–2024 гг.), что может быть причиной роста интенсивности почвенной эрозии в период талого стока. Отметим, что в азиатской части России в тенденциях изменения запасов воды в снеге наблюдается принципиальное отличие от ее европейской части, где запасы воды в снеге за этот же период сократились в среднем на 21%.

А.М. Прокашев, С.А. Стяжкина

Вятский государственный университет

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ФЛЮВИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ДОЛИНЫ РЕКИ ВЯТКИ

Река Вятка, правобережный приток Камы, относится к группе крупных рек востока европейской России. Она берет свое начало на Верхнекамской возвышенности и впадает в Каму в ее нижнем течении. Длина реки составляет 1370 км, площадь бассейна 129,2 тыс. км², среднегодовой расход – 851 м³/сек, модуль стока – 6,86 л/с/км². Заложение долины реки началось на мезо-кайнозойском геоморфологическом этапе и было тесно связано с ритмами восходящих и нисходящих тектонических движений на Русской равнине, изменением климата в палеоген-неогеновое и четвертичное время и водности реки на различных участках течения. Это определило особенности планового положения и ширину долины, строение ее поперечного профиля, количество террас, степень извилистости русел, состав аллювиальных седиментов и т.п.

В направлении от истоков к устью река последовательно дренирует западные отроги Верхнекамской аккумулятивно-денудационной возвышенности, Верхне-, Средневятскую и Кильмезскую зандровые низменности, Мари-Турекское и Кукморское денудационные плато. При этом она дважды пересекает возвышенность Вятские Увалы: 1) в среднем течении – у г. Кирова с общим направлением движения с северо-востока на юго-запад и 2) в нижнем течении – у г. Советска – в направлении с северо-запада на юго-восток. Следование по различным морфоструктурам определяет различие в ширине долины, количестве и высоте надпойменных террас (нпт) – от 3 на низменных до 4–5 на возвышенных участках. Возраст террас составляет: III нпт (пильнинская) – 170–140 т.л.н.; II нпт (микулинско-калининская) – 140–50 т.л.н.; I нпт (мончаловско-осташковская) – 50–10 т.л.н., пойма (голоцен) – 10–0 т.л.н.

Цель сообщения – сравнительное изучение особенностей взаимодействия реки с морфоструктурами Вятских Увалов в зоне контакта со Средневятской низменностью и при повторном прорыве Увалов у г. Советска. Задачей является анализ строения вятской долины в зоне пересечения Увалов, с одной стороны, и Средневятской низменности у г. Кирова, с другой. Увалы развиваются в режиме колебательных разнонаправленных, преимущественно восходящих тектонических движений. Причиной последних служит положение над мобильной отрицательной структурой кристаллического фундамента – Вятским палеорифтом, генератором сейсмических толчков силой до 3 баллов и более. Увалы сложены с поверхности коренными пермскими красноцветными песчано-глинистыми отложениями татарского отдела. Низменность, напротив, соответствует тектонически малоактивным структурам с тенденцией отрицательного знака движений. Она выполнена водно-ледниковыми песчано-супесчаными наносами днепровского возраста.

Долина реки на рассматриваемых участках имеет противоположную асимметрию. В зоне Увалов (выше г. Кирова) для нее характерен крутой левый коренной берег и пологий ступенчато террасированный правый. Последнее служит примером отклонения от закона Кориолиса. Причина подмывания левого берега – изменение юго-западного направления течения реки на отрезке Кирово-Чепецк–Нововятск на северо-западное и юго-западное при встрече с препятствием – западными грядами Вятских Увалов. Ширина вятской долины у г. Кирова составляет примерно 5 км, а глубина около 80–90 м.

При выходе на Средневятскую (Кировско-Котельничскую) низменность (ниже г. Кирова) река начинает подмывать правый берег, образуя по левобережью весьма обширный террейновый комплекс в составе поймы и 3 нпт. Ширина долины на этом участке достигает порядка 18–20 км, поймы до 6–8 км, при глубине вреза долины около 50–55 м. Пойма отличается ярко выраженным сегментным рисунком мезорельефа, высокой степенью заболоченности и обилием староречий, подчеркивающих господство бокового блуждания русла. Судя по имеющимся в нашем распоряжении данным радиоуглеродного датирования палеостаричных фаций аллювия, резкие изменения направления русла на этом отрезке вятской долины происходили за интервалы времени от 5 до 8 тыс. лет.

Ниже по течению, минуя низменность, Вятка повторно сечет Вятские Увалы в их более возвышенной части, образуя 3 крупных излучины. На этом участке т.н. прорыва ширина долины резко сужается до 1,8–2 км, т.е. в 2,5–3 раза по сравнению с кировским и в 10 раз по сравнению со средневятскими участками. Глубина вреза долины составляет 100–150 м.

В районе г. Кирова признаки аналогичных боковых миграций русла четко просматриваются, например, в районе Заречного парка (ЗП), расположенного на пойменном правобережье Вятки. Здесь прослеживается не менее 3 голоценовых русел – современного, староречья и палеорула. Положение наиболее древнего из сохранившихся речных лож, прижатого вплотную к левому (западному) коренному берегу, угадывается в районе слободы Вересники. Ниже по течению оно открывается в Ершовский пруд под Трифиновым монастырем. Ныне вересниковская слобода имеет естественную сухопутную связь с левобережной частью

г. Кирова, однако в половодье эта связь временно затрудняется ввиду подтопления палеорула. Более молодое русло, ныне староречье Вятки, находится на противоположной (восточной) периферии поймы и ЗП. Оно изогнуто в виде дуги, следующей под пп. Бол. и Мал. Субботиха – Богородское – Макарье, расположенными на близлежащем краю I нпт. Современное русло Вятки пролегает между более древними и возникло в историческое время, на рубеже XVII-XVIII вв. До этого времени ЗП не был заречным и именовался Красным бором, а пойма служила сенокосным угодьем, сдаваемым в аренду жителям г. Вятки (ныне Киров).

Таковы в общих чертах особенности и результаты геологической работы вод р. Вятки при противоречивом взаимодействии флювиальных и эндогенных процессов на отдельных участках ее долины.

С.С. Псардиян, Е.П. Пуликова, А.В. Горовцов, Т.М. Минкина

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского

СРАВНЕНИЕ АКТИВНОСТИ АВТОТРОФНОЙ И ГЕТЕРОТРОФНОЙ НИТРИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ*

Нитрификация является ключевым этапом биогеохимического цикла азота, обеспечивающим преобразование аммония в нитрат, и традиционно изучена преимущественно у автотрофных микроорганизмов. Однако гетеротрофная нитрификация, в ходе которой способен окисляться как органический, так и неорганический азот при наличии органического углерода, остается слабо изученной. Изучение гетеротрофной нитрификации актуально из-за предполагаемой устойчивости гетеротрофных нитрификаторов к различным факторам среды, что делает ее важным звеном в азотном цикле загрязненных почв. Цель исследования заключается в сравнении активности автотрофной и гетеротрофной нитрификации штаммов, выделенных из загрязненных цинком почв.

Объектом исследования были автотрофные и гетеротрофные нитрифицирующие бактерии техногенно нарушенных почв бывшего шламонакопителя с крайне опасным уровнем загрязнения тяжелыми металлами. Валовое содержание цинка (Zn) в почвах превышает ОДК (220 мг/кг) в 272–331 раз.

В исследовании применялись классические микробиологические методы, включающие посев почвенного разведения на питательную среду мясо-пептонный агар (МПА), отбор колоний различных морфологических типов с последующим тестированием их способности к образованию нитритов и нитратов, на основе чего осуществлялся отбор наиболее активных штаммов. Для анализа активности гетеротрофной нитрификации в колбы, содержащие по 10 мл МПБ, вносили по 100 мкл исследуемой суспензии бактерий, тогда как для анализа активности автотрофной нитрификации в колбы с 9 мл раствора сульфата аммония добавляли 1 мл накопительной культуры автотрофных нитрификаторов. В две колбы дополнительно вносили 50 мкл раствора сульфата цинка, с конечной концентрацией 10 мг/мл. Все колбы инкубировали на шейкере (150 об/мин) при температуре 30° в течение 48 часов. Содержание нитритов/нитратов определяли с помощью реактива Грисса. Измерение оптической плотности выполняли на спектрофотометре при длине волны 540 нм. Осуществлялась идентификация культур микроорганизмов масс-спектрометром Microflex LT MALDI-TOF и программой Flex Control и MALDI Biotyper 3.0 (BrukerDaltonics, Германия). Анализ спектров и идентификацию проводили с использованием программы Biotyper 3.0.

В результате исследования было выделено 7 штаммов гетеротрофных нитрифицирующих бактерий из загрязненных тяжелыми металлами почв, среди них были представители родов *Bacillus*, *Arthrobacter* и *Streptomyces*. Внесение ионов Zn снизило активность нитрификации накопительной культуры автотрофных нитрификаторов (A1) с 1430 мкг N-NO₂-/ч/г до 99 мкг N-NO₂-/ч/г, значение ингибирования составляет 93%. Активность нитрификации гетеротрофных бактерий (G1–O4) находилась в диапазоне 16–338 мкг N-NO₂-/ч/г, внесение ионов Zn снижало активность на 70% у штамма O₄, 72% – G1, 45% – F10, 4% – F11. У нескольких штаммов Zn простимулировал активность нитрификации на 432% – F1, 118% – O₂, 37% – K7 (рис. 1).

Активность гетеротрофной нитрификации в присутствии Zn превышала таковую при автотрофной нитрификации. Таким образом, гетеротрофные нитрификаторы в загрязненных почвах способны выполнять функции автотрофных нитрификаторов, активность которых в данных условиях сильно заингибирована. Внесение в почву гетеротрофных нитрификаторов способствует замыканию азотного цикла, что окажет положительное влияние на восстановление техногенно нарушенных почвенных экосистем. Представленный подход может рассматриваться в качестве эффективного метода биологической ремедиации загрязненных почв.



Рис. 1. Активность нитрификации органического азота в МПБ

* Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2023-587, и Программой стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

Е.П. Пуликова, А.В. Горовцов, Т.М. Минкина

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского

АКТИВНОСТЬ НИТРИФИКАЦИИ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ БЫВШЕГО ШЛАМОНАКОПИТЕЛЯ*

Азот является ключевым элементом биогеохимических циклов, критически важным для функционирования экосистем. Техногенное загрязнение тяжелыми металлами (ТМ) и полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) нарушает баланс азотного цикла, усиливая эмиссию закиси азота и потерю его минеральных форм. Для разработки способов ремедиации техногенно нарушенных почв важно изучить адаптационный потенциал почвенного сообщества нитрифицирующих микроорганизмов в условиях загрязнения ТМ и ПАУ.

Для анализа адаптационного потенциала сообщества нитрифицирующих микроорганизмов были выбраны техногенно нарушенные почвы (Spolic Technosols) с экстремальным уровнем загрязнения ТМ (Zn, Cu, Pb, Cd), расположенные в районе бывшего оз. Сорное в пойме р. Северский Донец в Каменск-Шахтинском районе Ростовской области. Валовое содержание Zn варьирует от 81 до 117 г/кг почвы, а содержание подвижных форм – от 3300 до 9600 мг/кг Zn, что в среднем в 2000 раз выше, чем в незагрязненных почвах. Для определения влияния краткосрочного загрязнения ТМ на активность нитрификации был проведен модельный эксперимент по изучению влияния Zn в концентрации 2200 мг/кг почвы как доминирующего поллютанта на состояние сообщества нитрифицирующих микроорганизмов тяжелосуглинистых почв естественного ландшафта. Незагрязненная почва (Stagnic Fluvisol Humic) была отобрана в пойме р. Северский Донец вблизи (от 1 км) шламонакопителя оз. Сорного. Быстрый метод определения потенциальной скорости нитрификации автотрофными бактериями и археями был проведен путем инкубации образцов почвы с добавлением сульфата аммония в течение 2–4 часов (ISO 15685).

Внесение 2200 мг/г Zn в аллювиальную почву значительно снизило активность окисления аммония и нитрита в 14,0 и 9,40 раза соответственно (рис. 1). В то время как при долгосрочном загрязнении более чем 100 000 мг/г Zn активность нитрификации снизилась всего лишь в 2 раза.

Модельный опыт показывает, что краткосрочное загрязнение ТМ не приводит к развитию адаптационных механизмов у сообществ нитрификаторов, как это происходит при загрязнении почвы в течение более 50 лет. Изучение механизмов адаптации микробных сообществ, подвергшихся длительному экстремальному загрязнению, позволит восстановить активность даже самых чувствительных к загрязнению микроорганизмов – автотрофных нитрификаторов или заменить их более устойчивой альтернативной группой – гетеротрофными нитрификаторами.

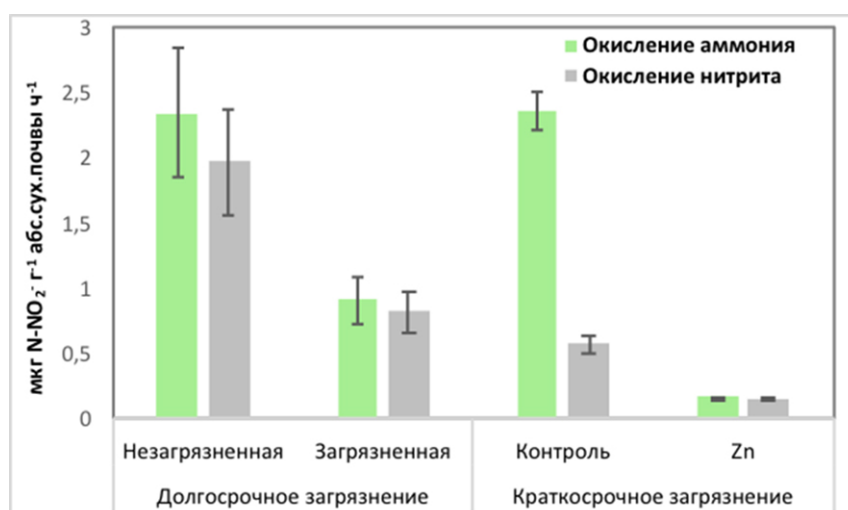


Рис. 1. Активность нитрификации при долгосрочном (81–117 г/кг Zn) и краткосрочном загрязнении ZnO (2282 мг/кг Zn) в модельном эксперименте

* Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2023-587, и Программой стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

О.С. Решетняк, К.А. Шумилин, М.В. Альпин

Южный федеральный университет

КАЧЕСТВО ВОДЫ В БАССЕЙНАХ РЕК АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РФ В КОНТЕКСТЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Одной из приоритетных проблем в области охраны окружающей среды и устойчивого развития территорий является оценка качества воды поверхностных вод с учетом бассейнового принципа и экосистемного подхода. Качество воды рек любого региона имеет определяющее значение для устойчивого экологического и экономического развития территории.

В концепции устойчивого развития реализуется цель 6: «обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех». Индикатор 6.3.2 предполагает увеличение «доли природных водоемов с чистой водой». Это может быть реализовано, если 80% показателей качества воды в пункте наблюдений соответствуют установленным стандартам. При этом речной бассейн будет устойчиво функционировать и иметь «хорошее» качество воды, если 80% контрольных точек также покажут «хорошее» качество воды.

Цель работы – провести сравнительный анализ качества воды водных объектов в регионах азиатской части России в контексте реализации индикатора 6.3.2 концепции устойчивого развития. Исследование выполнено на основе данных государственного мониторинга.

Анализ распределения водных объектов с разными классами качества воды в субъектах РФ азиатской части России показал, что в 2023 г. «хорошее» качество воды (то есть с 1-го по 3-й класс) наблюдается только в 10 субъектах (около 38%). Данные субъекты можно разделить на две группы. К первой группе можно отнести регионы, где все представленные водные объекты соответствуют высокому качеству вод (1-3-й классы), а ко второй – субъекты, на территории которых более 80% водных объектов характеризуются «хорошим» качеством воды. Первую группу составили 2 региона – это Иркутская область и Камчатский край. Во вторую группу вошли 8 субъектов РФ: Республика Тыва, Хакасия, Алтай, Бурятия, Якутия, Сахалинская, Кемеровская области и Алтайский край (рис. 1а).

Для поверхностных водных объектов остальных регионов характерно несоответствие индикатору 6.3.2. Так, в регионах Приморский край (рис. 1б), Еврейская АО, Омская область и Забайкальский край доля водных объектов, вода которых соответствует «хорошему» качеству, составила в 2023 г. 59, 66,7, 70,4 и 70,9% соответственно, что ниже индикаторного значения. В Хабаровском и Красноярском краях, Магаданской, Челябинской и Томской областях доля водных объектов с «плохим» качеством воды (4-го («грязная – очень грязная») и 5-го классов («экстремально грязная»)) колеблется от 58,8 и до 69,6%.

Наиболее неблагоприятная гидроэкологическая ситуация и несоответствие концепции устойчивого развития в части качества водных ресурсов сложились в следующих субъектах РФ:

- Амурская, Новосибирская, Свердловская, Тюменская области, где доля водных объектов, вода которых относится к категории «плохого» качества, меняется в диапазоне от 76,5 и до 85%;
- Курганская область, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий АО, водные объекты которых характеризуются исключительно категориями «грязных» и «экстремально грязных» вод (4-й и 5-й класс качества).

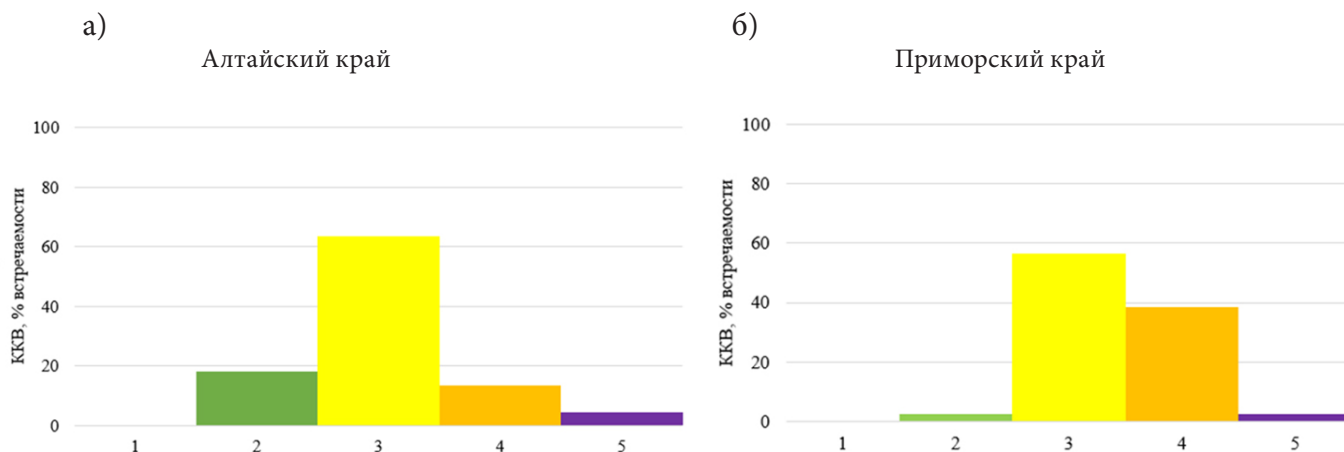


Рис. 1. Распределение (%) водных объектов с разным классом качества воды (ККВ) в Алтайском (а) и Приморском крае (б) (составлено авторами)

Обобщение данных по состоянию загрязненности поверхностных вод в целом для территории азиатской части РФ за 2023 г. показало, что доля водных объектов с классом качества воды 1–3-го классов качества составляет всего 54,5%, что также не соответствует индикатору цели 6 концепции устойчивого развития.

Таким образом, в данном исследовании проанализированы результаты оценки качества воды рек азиатской части РФ с позиции достижения цели устойчивого развития № 6 на основе использования данных мониторинга поверхностных вод суши (мониторинга первого уровня). Показано, что поверхностные воды азиатской части РФ в целом не соответствуют требованиям рассматриваемого индикатора устойчивости (менее 80% водных объектов имеют «хорошее» качество воды). В бассейнах рек азиатской части необходимо проводить мероприятия по повышению качества воды и снижению уровня их загрязненности. Полученные результаты могут быть использованы для оценки качества поверхностных вод в современный период и разработки региональных Стратегий устойчивого развития территорий или речных водосборов азиатской части РФ.

Н.А. Римский-Корсаков¹, В.Н. Коротаев², Н.Ф. Тихонова¹

¹Институт океанологии РАН,

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

АТЛАС «ГЕОМОРФОЛОГИЯ МОРСКИХ БЕРЕГОВ И УСТЬЕВЫХ СИСТЕМ РЕК ЧУКОТКИ И КОРЯКСКОГО НАГОРЬЯ»*

Атлас «Геоморфология морских берегов и устьевых систем рек Чукотки и Корякского нагорья» – специализированный тематический атлас научно-справочного назначения, который может быть полезен для специалистов в области геоморфологии, гидрологии, береговых процессов, гидротехники и природопользования. При составлении Атласа использованы результаты полевых и камеральных геоморфологических, русловых, гидроакустических и гидрографических изысканий Географического факультета МГУ и Института океанологии РАН за период 1990–2015 гг., а также опубликованные работы и массив архивных данных. В Атласе приведены фрагменты космических снимков Landsat-7 и Google Earth.

Геоморфологическое картографирование устьевых систем проводилось на основе полевых маршрутных работ и камерального анализа топографических карт и космических снимков. Легенда для карт разработана на основании опыта геоморфологического картографирования специалистами географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова устьевых систем побережий России. Автор геоморфологических карт – В.Н. Коротаев.

Чукотка – горная страна со средневысотным (до 1000 м) и низкоротным (до 500 м) эрозионно-денудационным рельефом, представленным Анюйским нагорьем в центральной части и Анадырским плоскогорьем и Чукотским нагорьем на востоке. Высшей точкой является гора Безымянная в Чантальском хребте – 1 887 м. Здесь широко развиты формы горного оледенения, разнообразные криогенные образования с преобладанием солифлюкционных и гольцовых форм. Низменности распространены в прибрежных районах на севере Чукотки (Чаунская и Ванкаремская), на востоке (Анадырская) и в центральной части округа – Парапольско-Бельская низменность. На этих территориях широко распространены термокарстовые процессы с образованием бугров пучения, байджеяхов и термокарстовых озер.

В приморских равнинах и межгорных впадинах широко развиты кайнозойские ледниково-морские осадки (например, средне- и верхнечетвертичные песчаные и галечниковые отложения вдоль побережья Колычинской губы и залива Креста). Голоценовые морские отложения представлены песками кос, пляжей и низких террас. На территории Чукотки также широко распространены интрузивные и вулканогенные образования от архея и триаса до юры и позднего мела мощностью до нескольких километров. Извержения вулканов сопровождались выбросом миллионов тонн пепла, шлаков и лав, которые заливали огромные пространства, образуя вулканические плато.

Густая гидрографическая сеть полуострова Чукотка и Корякского нагорья принадлежит к бассейнам морей Восточно-Сибирского, Чукотского и Берингова. Большинство водотоков относится к так называемым малым рекам, длина которых не превышает 400 км. Как правило, реки берут начало в Анадырском плоскогорье и в Чукотском и Корякском нагорьях, протекая бурными потоками в V-образных долинах, заложенных по тектоническим разломам. Течение рек в верховьях бурное, нередко они образуют пороги и шиверы. В пределах приморских низменностей реки становятся равнинными, а их русла образуют меандры с пойменной много рукавностью.

Описание типов берегов северо-восточных морей России базируется на известной генетической классификации морских берегов О.К. Леонтьева, которая учитывает степень воздействия главного берегоформирующего фактора – морского волнения – на переработку морем края прибрежной суши. Согласно этой классификации, берега выстраиваются в определенную генетическую последовательность от неизменных и слабо измененных морем берегов до созданных морскими процессами. В первую категорию входят берега с ледниково-тектоническим расчленением (фиордовые и шхерные), с эрозионно-тектоническим расчленением, тектонически обусловленные (сбросовые). Категория преобразованных морем берегов подразделяется на три группы: 1) абразионные берега с несколькими разновидностями (абразионно-денудационные, собственно абразионные, абразионные отмершие, термоабразионные и ледовые); 2) абразионно-аккумулятивные берега; 3) аккумулятивные берега представлены несколькими разновидностями: созданные волновыми процессами (пляжевые и лагунные), созданные приливными и сгонно-нагонными процессами (осушные, марши и ватты) и созданные устьевыми процессами (дельтовые).

Наиболее характерным геоморфологическим обликом морских побережий Чукотского полуострова и Корякского нагорья является формирование фиордовых типов берегов, а также широкое развитие лагунных побережий.

Список использованной литературы насчитывает 113 названий.

Общий объем Атласа «Геоморфология морских берегов и устьевых систем рек Чукотки и Корякского нагорья» – 110 стр.

*В настоящее время при поддержке Русского географического общества готовится к изданию «Атлас геоморфологии морских берегов и устьевых систем рек Чукотки и Корякского нагорья». Издательский проект РГО № 61 600.

И.И. Рысин, И.И. Григорьев, М.А. Пермяков

Удмуртский государственный университет

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ОБРАЖНОЙ ЭРОЗИИ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ*

В данной работе целью исследования является анализ динамики роста оврагов за период с 1978 по 2024 г. на территории Удмуртской Республики (УР). На 2024 г. в систему мониторинга на землях сельскохозяйственного назначения входят 169 вершин оврагов, которые располагаются на 28 ключевых участках в различных ландшафтных условиях Удмуртии.

Определение темпов линейного прироста оврагов производится путем измерения расстояния от вершины оврага до предварительно установленного репера. На большинстве участков (127 вершин оврагов) наблюдения проводятся один раз в год (летом), а на девяти ключевых участках (42 оврага) измерения осуществляются дважды: в мае, после снеготаяния и в октябре или начале ноября, после окончания сезона летне-осенних ливней.

Наряду с реперными измерениями, на наиболее интенсивно растущих оврагах производится тахеометрическая съемка их вершинной части, включая уступы, бровки, тальвег и поперечные профили. На основе повторной тахеометрической съемки оцениваются линейный прирост и изменения плановой конфигурации бровок и тальвегов, их поперечного сечения по длине оврага. Это весьма трудоемкий метод, но он дает наиболее объективную и точную информацию о состоянии оврагов. Основными его достоинствами являются высокая точность и возможность изучения динамики роста за любое время. Благодаря ежегодной тахеометрической съемке, нами составлены детальные схемы развития некоторых оврагов, включающие линейные, площадные и объемные показатели роста. С 2019 г. периодически производятся залеты квадрокоптером DJI PHANTOM 4. В частности, это овраг у д. Юмьашур Алнашского района, овраг в д. Крымская Слудка Кизнерского района и др. Снимки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) отличаются сверхвысоким пространственным разрешением и имеют высокую скорость получения. Также появляется возможность осуществления визуального наблюдения интересующих нас объектов путем получения перспективных фотографий и видеосъемки.

За весь 47-летний период мониторинга оврагов на фоне общего нисходящего тренда отчетливо выделяются 4 пика с максимальными значениями, которые все относятся к первому этапу наблюдений 1978–1997 гг.: 1979 г. (2,8 м/год), 1990 и 1991 гг. (1,9 и 2,3 м/год) и в 1994 г. (1,8 м/год). Усиление темпов отступления вершин оврагов в эти годы было обусловлено интенсивностью половодного стока и значительной долей пашни на их водосборах. После 1997 г. темпы отступления вершин оврагов резко уменьшились (рис. 1).

Анализ данных мониторинга показывает, что наибольшие различия по средним скоростям линейного роста наблюдаются среди вторичных оврагов (1,27 м/год.), значительно ниже эти показатели у первичных

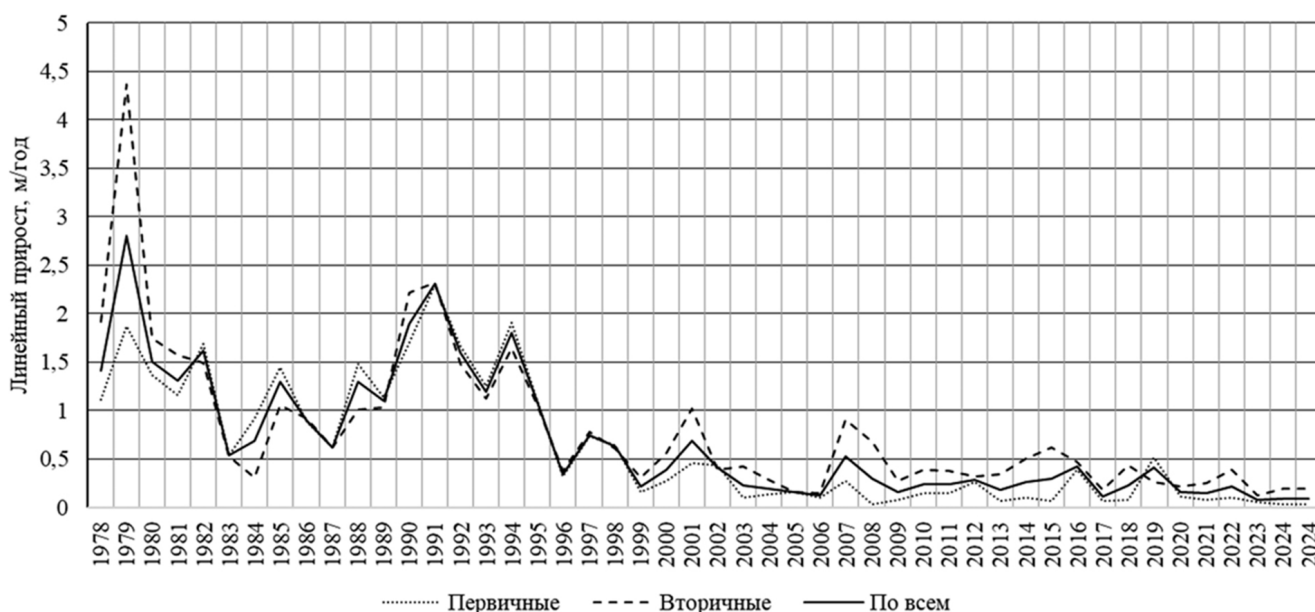


Рис. 1. Динамика среднегодовых скоростей прироста первичных, вторичных и всех типов оврагов на территории УР за 1978–2024 гг.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-20003, <https://rscf.ru/project/25-27-20003>.

оврагов – 0,59 м/год. Сокращение темпов прироста первичных оврагов по типам отличается незначительно – от 5,8 до 7,1 раза, а у вторичных оврагов различия более существенные – от 2,65 раза у донных, до 5,12 раза у вершинных, при этом отмечается увеличение в 0,73 раза в развитии пойменных оврагов.

Среди первичных наиболее интенсивно развиваются приводораздельные (склоновые) овраги, их средняя многолетняя скорость за рассматриваемый период составляет 0,81 м. Максимальная скорость отмечена в 1985 г. у с. Мушак Киясовского района УР и составила 80,3 м, второй максимум был зарегистрирован в этом же овраге в 1984 г. (63,2 м). Вторичные овраги развиваются более активно, чем первичные. По максимальным скоростям наиболее высокие показатели у вершинного оврага (84,58 м) были зарегистрированы в 1979 г. на участке у с. Варзи-Ятчи Алнашского района УР. Высокие средние скорости двух пойменных оврагов обусловлены за счет интенсивного роста техногенно обусловленного развития оврага на пойме р. Варзинка (пр. приток р. Иж), возникшего в 2007 г. вследствие прорыва 2 земляных дамб прудов на его водосборе, когда его годовой прирост составил 53 м.

Поскольку овраги наносят огромный ущерб сельскохозяйственным землям и социальной инфраструктуре, то исследования механизма и факторов их развития имеют важное прикладное и научное значение при решении задач прогнозирования и разработки территориальных схем противоэрозионной защиты.

И.И. Рысин, И.И. Григорьев, И.К. Соловьев

Удмуртский государственный университет

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЫВОВ ИЗЛУЧИН НА РЕКАХ УДМУРТИИ*

С целью исследования особенностей развития горизонтальных русловых деформаций на территории Удмуртской Республики (УР) по крупномасштабным топокартам нами было выделено 55 ключевых участков, охватывающих реки разной величины. Полевые работы на изучаемых реках проводятся ежегодно (с 1999 г.) в летний период, а на отдельных участках (около г. Ижевска) два раза в год – весной (в мае) и осенью (в октябре). Для определения скоростей размыва на всех ключевых участках было заложено около 300 стержней и марок, а в пределах 30 из них проводится нерегулярная тахеометрическая съемка размываемого берега. Излучины исследуемых рек, в соответствии с классификацией МГУ, в морфогенетическом плане относятся к типу свободных, а по внешнему виду – к сегментным, синусоидальным и петлеобразным. С 2019 г. для изучения русловых процессов на большинстве ключевых участках нами применяется спутниковый приемник «EFT» вместе с беспилотными летательными аппаратами «DJI Phantom 4» и «Autel Evo II PRO».

По данным полевых реперных наблюдений наибольшие скорости размыва характерны для рек с порядком выше 9-го по А.Е. Шайдеггеру (1964). Максимальные значения размыва, наблюдаемые на таких реках, достигают 6–8 м и более, среднегодовые скорости размыва колеблются в интервале 0,8–3,1 м/год. На р. Вятке, имеющей 15-й порядок, среднегодовые скорости размыва превышают 3–5 м/год, а максимальные из зафиксированных значений составляют 12–15 м/год.

Для малых рек (6–9-й порядок) средние скорости отступления берега составляют 0,3–0,5 м/год. Но на отдельных участках размывы намного выше: на р. Кырыкмас (лев. приток р. Иж) у д. Тавзямал в 2012 г. максимальный размыв составил 5,05 м, в 2017 г., соответственно – 5,35 м. На р. Пызеп (пр. приток р. Чепца) у д. Бани в 2012 г. максимальный размыв на одном из участков составил 4,8 м, а в 2019 г. данный показатель достиг рекордных для данной группы – 5,5 м.

Анализ среднегодовых и максимальных размывов, полученных методом реперных измерений, показал, что за последние 25 лет на всех реках отмечается тенденция уменьшения величин размыва. Результаты же регулярной тахеометрической съемки на отдельных реках показывают обратную картину: величины размывов (линейных, площадных и объемных), наоборот, имеют положительный тренд. При этом наибольшие

размывы для некоторых рек зарегистрированы в 2012, 2013, 2016 и 2021 гг., когда на них отмечались и наиболее высокие половодья. При этом на р. Кырыкмас в 2021 г. зафиксирована рекордная для малых рек величина размыва – 8,14 м, она находится в нижнем крыле развитой сегментной излучины (рис. 1).

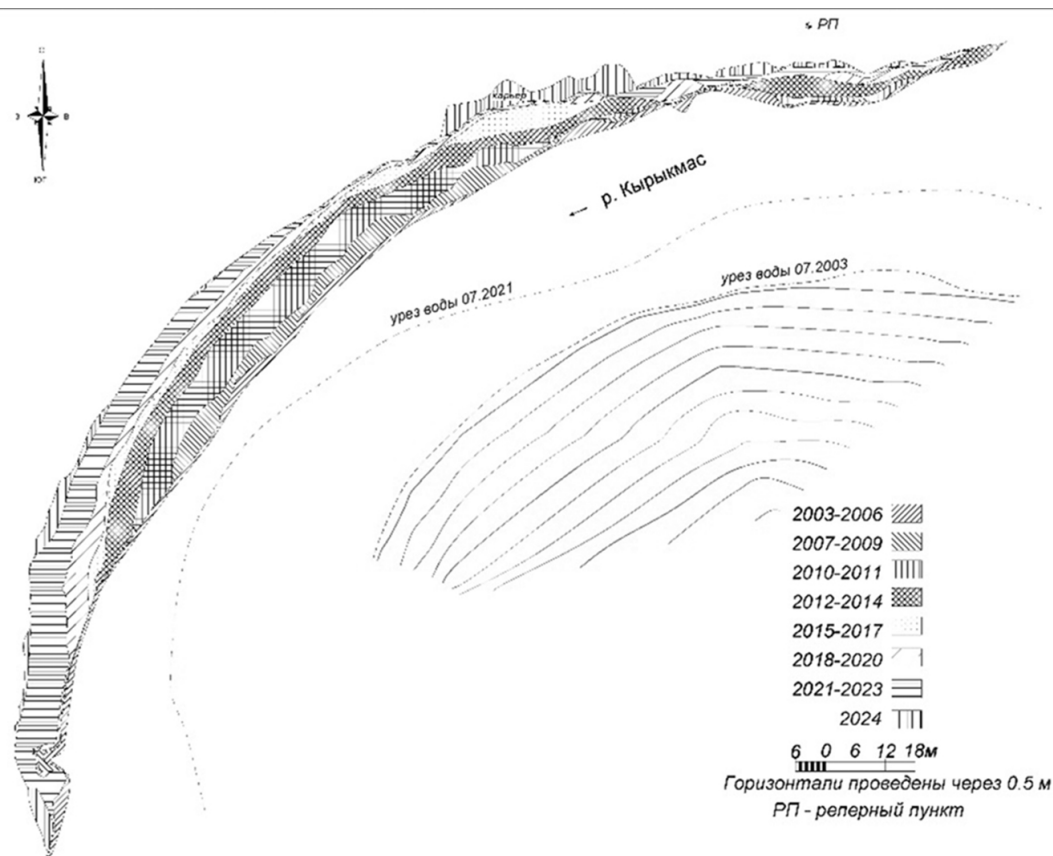


Рис. 1. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Кырыкмас у д. Тавзямал за 2003–2024 гг.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-20003, <https://rscf.ru/project/25-27-20003>.

Корреляционный анализ максимальной ширины размывов на р. Кырыкмас за 2004–2021 гг. с максимальными годовыми расходами на р. Позимь (река-аналог) за эти же годы показал достаточно значимую связь, о чем свидетельствуют значения коэффициентов корреляции ($r = 0,617$) и детерминации ($R^2 = 0,381$). Аналогичная связь с максимальными годовыми расходами на р. Чепца получилась очень высокой ($r = 0,899$), а для р. Сива высокой ($r = 0,600$). На р. Чепца для участка у с. Адам связь между площадью и объемом размыва с одной стороны и максимальными годовыми расходами, с другой, также оказалась высокой и получилась равной для обоих показателей ($r = 0,787$). Аналогичная ситуация возникла и для р. Сива на участке у д. Метляки, где зависимость площадей и объемов размыва от максимальных годовых расходов также оказалась высокой ($r = 0,794$) и превысила показатель связи с максимальной шириной размывов.

Анализ размывов на трех средних реках показал, что главным фактором, обеспечивающим размыв береговых уступов в условиях свободного развития излучин, являются максимальные половодные расходы. Участки с наибольшими размывами часто приурочены к нижнему крылу излучины и немного смещены вниз по течению от точек с наибольшей кривизной.

В.А. Семаков, Г.Б. Голубцов, А.А. Куракова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ОСОБЕННОСТИ РАССРЕДОТОЧЕНИЯ СТОКА В РАЗВЕТВЛЕННОМ РУСЛЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ*

Северная Двина – одна из крупнейших рек севера Европейской части России. Исторически она является важным транспортным путем, соединявшим Россию с Европой. В XVII в. грузооборот порта Архангельск достигал 75% от всего объема российской внешней торговли. В настоящее время основной объем грузов, перевозимых по Северной Двине, составляет продукция лесопромышленного комплекса, суммарный грузооборот речных перевозок составляет первые миллионы тонн.

В гидрологическом отношении Северная Двина хорошо изучена. Наблюдения за уровнем воды начались с середины XVIII в., метеорологические наблюдения – в начале XIX. На рис. 1 приведена схема участка проведенных в июне 2024 г. исследований с указанием местоположения некоторых гидрологических постов.

Гидрологический режим Северной Двины сохранился в естественном состоянии, но многие перекатные участки подвергались значительному техногенному воздействию, направленному на улучшение условий судоходства. Выправительные и дноуглубительные работы активно осуществлялись в советский период отечественной истории. Затем они практически прекратились и сейчас проводятся несистемно. Таким образом, изменение распределения стока воды на разветвленных участках русла происходило не только вследствие развития исключительно естественных русловых процессов, но и компенсации предшествовавшего антропогенного вмешательства.

Наиболее интересны для анализа участки, где Северная Двина образует широкопойменное разветвленное русло. В качестве примера на рис. 2 приведен участок параллельно-рукавного русла.

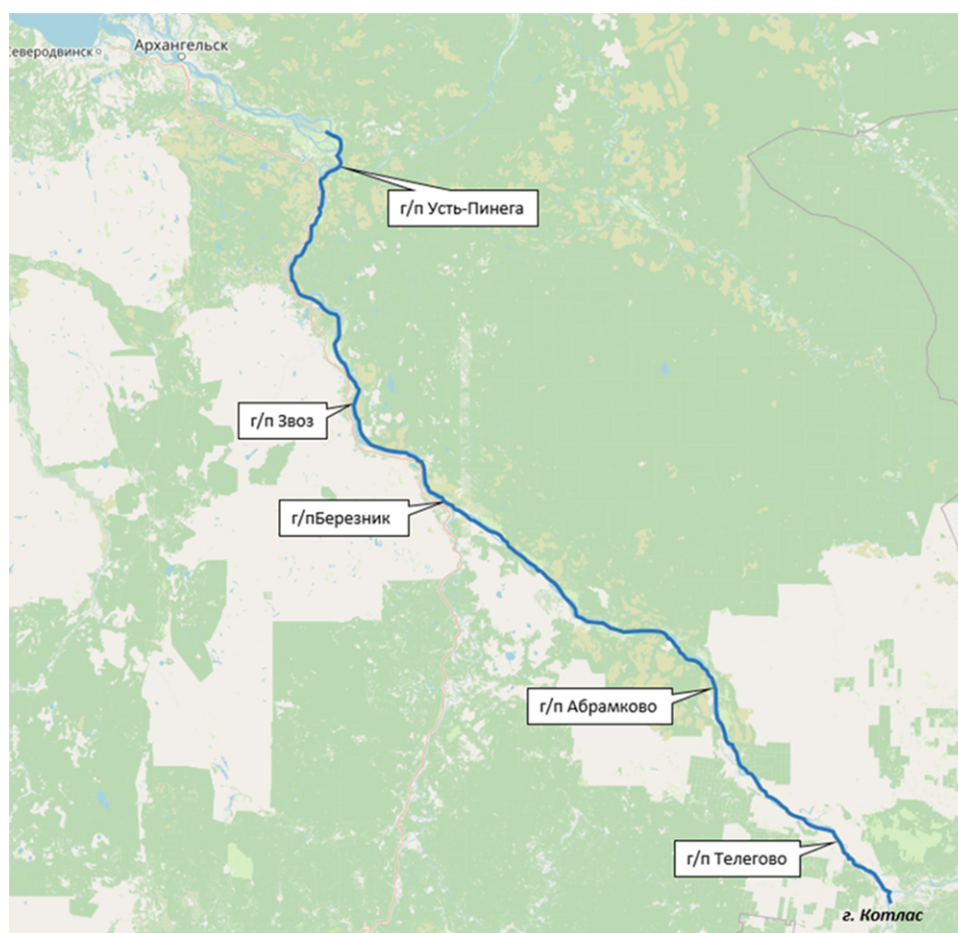


Рис. 1. Схема размещения гидрологических постов и участок проведения исследований в июне 2024 г. на р. Северная Двина

* Выполнено по планам НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (№ 121051100166-4) – исходные материалы, при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-17-00065) – анализ рассредоточения стока воды по рукавам.



Рис. 2. Схема створов измерения расхода воды на участке Тядемских перекатов (указано направление течения и современное положение судового хода, 482–488 км)

Естественное, гидравлически обусловленное распределение стока воды по рукавам Северной Двины подвергалось значительному техногенному воздействию. Наиболее интенсивно вмешательство происходило в третьей четверти XX в. В хозяйственных целях русло спрямлялось, углублялись прежде второстепенные рукава, на островах и берегах сооружались выправительные дамбы. С конца 1980-х гг. такие работы были практически полностью прекращены, и река стала возвращаться в естественное состояние. В последние годы происходит интенсификация дноуглубительных работ.

Кроме антропогенного фактора, на изменение распределения стока оказывает влияние и изменение климата. В последние 50 лет в бассейне Северной Двины фиксируется рост среднегодовых температур воздуха и увеличение годового стока воды.

В результате современное распределение стока воды по рукавам Северной Двины на ее участках со свободным развитием русловых процессов определяется, в первую очередь, естественными природными факторами. Выемка грунта для целей обеспечения судоходства отстает от природных процессов, как правило, в попытке сохранять существующую траекторию судового хода. При этом техногенное воздействие происходит недостаточно интенсивно, чтобы эффективно перенаправлять естественное развитие реки. В итоге, в наиболее сложных разветвлениях выделение основного русла становится затруднительным, сток равномерно распределен между рукавами Северной Двины.

А.Ю. Сидорчук*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова***БОЛЬШИЕ ДРЕВНИЕ РЕКИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ***

В середине прошлого века И.А. Волков (1960) обнаружил на юге Западно-Сибирской низменности ясные следы древних больших рек, ширины которых намного превышали ширины современных русел рек в тех же бассейнах. Волков предположил, что большие палеоруслу являются свидетельством эпох повышенной увлажненности и больших расходов воды в этих реках. Полученные датировки показали, что большие реки были активны как минимум 15 тыс. лет назад, в период начала деградации последнего материкового оледенения, но еще широкого распространения вечной мерзлоты. В ходе дальнейших исследований выяснилось, что это явление характерно для всей Западно-Сибирской низменности от тундры до сухих степей. Было обнаружено более 60 участков рек с хорошо выраженными фрагментами меандрирующих палеорусел на пойме и низких террасах.

Известно, что ширина меандрирующего русла определяется руслоформирующим расходом воды, близким по величине к среднему максимальному расходу половодья. Связь между этими величинами степенная, показатель степени устойчив для современных рек в самых разных ландшафтах, от перигляциальных до экваториальных, и колеблется в пределах 1.3–1.5. Это позволило по морфометрическим характеристикам русел древних рек Западно-Сибирской низменности восстановить максимальные расходы половодий времени их активности и привести их по связи с площадью водосбора к суточному модулю максимального стока с единичного водосбора. Последняя величина не зависит от площади водосбора и поэтому была положена на карту (см. рис. 1А).

Сложнее переход от максимального расхода половодья к среднегодовому и годовому стоку рек. Здесь неизбежны гипотезы, основанные на методе аналогий. В настоящем исследовании использованы нижеследующие гипотезы. (1) Климат характеризовался длинной суровой зимой с обильным выпадением снега, быстрым снеготаянием весной при малом испарении и жарким летом с очень малым количеством дождей. Эта гипотеза базируется на данных споро-пыльцевого анализа отложений времени деградации последнего материкового оледенения, которые свидетельствуют о сухих летних месяцах, и на данных восстановления максимальных расходов воды, что говорит о больших запасах воды в снеге к началу снеготаяния и быстрому сходу снежного покрова. (2) Сток воды за период половодья был близок к годовому, что следует из предыдущей гипотезы. (3) Температура воздуха для периода деградации оледенения удовлетворительно моделируется современными моделями глобальной циркуляции атмосферы и океана, что подтверждается многочисленными численными экспериментами на основе современных данных. (4) Имеется с достаточной точностью соответствие между модельными среднемесячными температурами воздуха в узлах сетки климатической модели и данными измерений на современных метеостанциях, расположенных на других территориях. (5) При заданном режиме весенних температур воздуха на метеостанции и заданном среднем максимальном суточном слое стока воды с единичного водосбора с помощью гидрологической модели во всех узлах сетки вычисляется величина необходимого запаса воды в снеге. (6) Последняя величина при малых потерях соответствует модулю стока воды за период половодья и годового стока воды и тоже может быть положена на карту (рис. 1Б).

Расчеты показали, что в среднем для Западно-Сибирской низменности суточный слой максимального стока в период активности древних больших рек составлял около 47 мм, что в 5–6 раз больше современных средних значений и близок к суточному максимуму на полуострове Ямал. При этом суточный максимум на севере низменности был более 75 мм.

Среднегодовые значения слоя стока в период активности древних больших рек в среднем для всей низменности составляли около 250 мм, для бассейна Оби (без горной части) – 258 мм, для бассейнов Надыма, Пура и Таза – около 400 мм. Это соответствует годовому стоку Оби с Иртышом (без горной части) в 720 км³ (в два раза больше современного), 129 км³ с бассейнов Надыма, Пура и Таза (в 1.3 раза больше современного). Эти оценки уточняют сделанные ранее другими методами и не противоречат им.

* Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы № 121051100166-4 «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозивно-русловых систем».

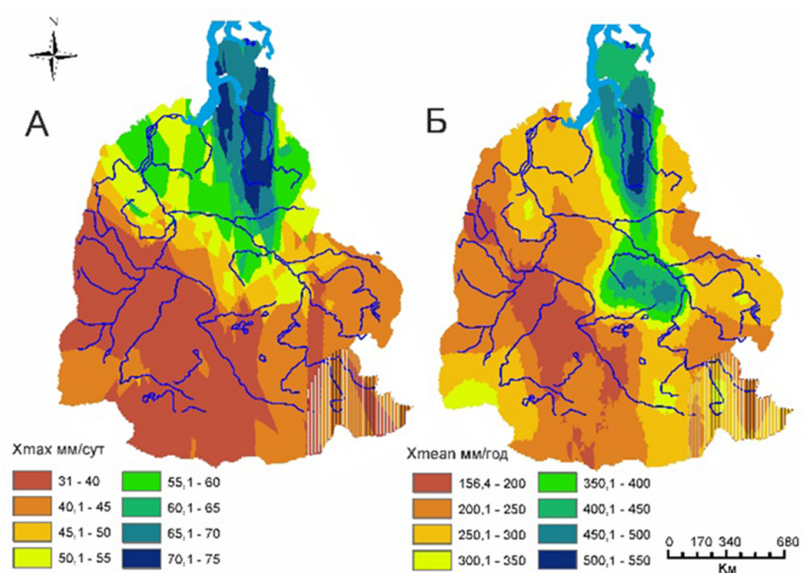


Рис. 1. Распределение (А) суточного максимального X_{max} и (Б) среднегодового X_{mean} слоя стока по территории Западно-Сибирской низменности во время активности больших древних рек

А.А. Скляренко, Л.Ю. Гончарова

Южный федеральный университет

ПОКАЗАТЕЛИ ЭРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ЮФУ

Актуальность: эрозия является одной из причин деградации почвенного покрова. За последние 200 лет уничтожено более 2 миллиардов гектаров сельскохозяйственных земель, что превышает площадь пахотных земель. Эрозия почв наносит огромный экономический и экологический ущерб.

Целью работы является изучение некоторых показателей устойчивости почвенного покрова к эрозии на территории Ботанического сада ЮФУ (БС ЮФУ).

Практическая значимость: на основе полученных данных разработаны противоэрозионные рекомендации для сохранения почвенного покрова БС ЮФУ.

Объектом исследования является эрозионная устойчивость почв БС ЮФУ, а именно преобладающих типов почв – чернозема обыкновенного и аллювиально-луговой почвы. Были использованы следующие методы исследования: метод сухого просеивания по Саввинову Н.И., определение водопрочности почвенных агрегатов по методу П.И. Андрианова в модификации Н.А. Качинского, ГИС-технологии. Также были определены эрозионный индекс осадков, коэффициент структурности почвенного покрова и др.

Ботанический сад Южного федерального университета расположен в северо-западной части Ростова-на-Дону и в пойме р. Темерник. Его площадь составляет 163 га, почвенный покров неоднороден. Для исследования были отобраны образцы преобладающих типов почв: чернозема обыкновенного карбонатного с верхней и средней части склона балки, чернозема обыкновенного карбонатного с агроценоза кормовых трав и аллювиально-луговой почвы с правого и левого берега р. Темерник.

Проанализировав результаты структурного анализа, установили, что содержание агрономически ценной структуры (0,25–10 мм) в исследуемых образцах различно и изменяется от 55 до 88%. То есть структура почв оценивается от удовлетворительной (черноземы в верхней и средней части склонов балки) до отличного состояния (чернозем на агроценозе кормовых трав). Наибольшим количеством мезоагрегатов характеризуется аллювиально-луговая почва (88,12%), находящаяся на левом берегу р. Темерник. Следовательно, структура почв обладает достаточной устойчивостью к ветровой эрозии.

Проявление эрозионных процессов во многом зависит от коэффициента водопрочности почвенной структуры. Главным показателем устойчивости почвенного покрова к водной эрозии является качество структурных агрегатов и их прочность по отношению к воде. Исследуемые почвенные образцы имеют высокую устойчивость и избыточно высокую оценку водопрочности структуры. Наибольшую водостойкость имеет почвенный образец, отобранный с агроценоза кормовых трав (100%). Почва имеет хорошую сопротивляемость размытию агрегатов, следовательно, она лучше противостоит водной эрозии. Результаты оценки водопрочности представлены в табл. 1.

Таблица 1. Оценка водопрочности почвенных агрегатов (2–3 мм), % в гор. Ад (0–20 см)

Место отбора образцов	Водопрочность почвенных агрегатов, %	Оценка водопрочности структуры	Оценка устойчивости сложения по структуре
Верхняя часть склона балки	83,1	Избыточно высокая	Высокоустойчивая
Средняя часть склона балки	89,3	Избыточно высокая	Высокоустойчивая
р. Темерник, левый берег	96,9	Избыточно высокая	Высокоустойчивая
р. Темерник, правый берег	76,5	Хорошая	Устойчивая
Агроценоз кормовых трав	100	Избыточно высокая	Высокоустойчивая

Влияние метеорологических факторов на проявление эрозионных процессов велико. Эрозионный индекс осадков на территории Ростовской области составляет 3,5 мм/час, что согласно классификации Г.А. Ларионова можно охарактеризовать как ливневый дождь, что способствует возникновению водной эрозии.

С помощью ГИС-технологий установлено, что площадь эрозионно опасных участков БС ЮФУ составляет 107,19 га, или 65,76% от общей площади территории, то есть большая часть территории является эрозионно опасной. Преобладают среднепокатые (24%) и малопокатые (31%) склоны.

На основе полученных данных были разработаны рекомендации по повышению устойчивости почвенного покрова на территории БС ЮФУ к эрозионным процессам. На обрабатываемых территориях – внесение органических удобрений, посев многолетних трав, безотвальная вспашка и проведение вспашки поперек склонов; на необрабатываемых территориях – сохранность и восстановление лесных насаждений, укрепление овражно-балочных территорий посадками древесно-кустарниковой растительности.

Н.А. Скокова, А.Г. Нарожная, А.А. Бочарова

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СМЫВА ПОЧВ НА ЗАИЛЕНИЕ ПРУДОВ*

Заиление прудов и водохранилищ является важной экологической и хозяйственной проблемой, что приводит к уменьшению полезного объема водоема, ухудшению качества воды и нарушению экосистемы. Процесс заиления обусловлен как внутренними процессами (волновая эрозия, биологическая активность, оседание взвесей), так и внешними факторами, среди которых ключевую роль играет водная эрозия почв и поступление мелкозема с прилегающих территорий.

Целью данной работы является изучение влияния смыва почв на заиление прудов.

Объектом исследования стали пруды в с. Красный Октябрь Белгородского района и в с. Верхний Ольшанец Яковлевского городского округа Белгородской области.

Изучаемые пруды относятся к бассейну р. Северский Донец. В бассейне Северского Донца в пределах Белгородской области насчитывается более 400 прудов общей площадью зеркала 3584,5 га, большая часть из которых построена в 1970–1980 гг.

Климат бассейна умеренно континентальный, отличается довольно мягкой зимой со снегопадами и оттепелями и продолжительным летом. Средняя годовая температура составляет 7,1 °С. Среднегодовое количество осадков от 594 мм. Почва прогревается и промерзает примерно до глубины 0,5–1 м. Вегетационный период длится 187–197 дней.

Для определения мощности донных отложений полевым путем на промерных вертикалях от поверхности донных отложений до поверхности дна водоема (твердого основания) производили путем плавного задавливания вертикально установленной геодезической рейки в дно пруда до упора в контакт «ил – подстилающее твердое основание». Мощность вычисляли как разницу между отчетом по рейке (снятым от зеркала воды) при контакте с дном и полученной на этой же промерной вертикали после вдавливания до контакта ила с подстилающим твердым основанием. Подсчет объема донных отложений осуществлен методом вертикальных сечений в ГГИС «ГЕОМИКС».

Объем почвы, смываемой с прилегающих территорий, был определен расчетным путем. Для этого использовали эмпирические формулы.

Расчет среднесногоголетнего смыва почв во время снеготаяния производили по формуле В.П. Герасименко. Среднегодовые темпы ливневой эрозии почвы на пашне были рассчитаны по эмпирической модели USLE, адаптированной для условий Европейской России Г.А. Ларионовым:

Чтобы получить величину суммарного среднесногоголетнего смыва почв, сложили полученные растры среднесногоголетнего смыва почв во время снеготаяния и ливневой эрозии. Полученные значения смыва (т/га) выразили в кубических метрах.

Коэффициент доставки наносов (КДН) является ключевым параметром при оценке эрозионных процессов в бассейнах водных объектов. Он характеризует долю эродированного материала, которая достигает водоема, от общего объема потенциально смываемых частиц. В данной работе использовали эмпирическую связь коэффициента доставки наносов и площади водосбора В.Н. Голосова.

В результате исследования получили следующие значения (табл. 1).

Таблица 1. Объем смытой с водосбора почвы и объем донных отложений за период после очистки прудов

Название объекта	Лесистость, %	Период накопления	Полевое измерение, м³	КДН	V, м³	Разница, %
	Застройка, %					
Пруд в с. Красный Октябрь	18,8 39,5	42	2319	0,75	2319,5	+0,022
Пруд в с. Верхний Ольшанец	0,20 29,4	48	6825	0,67	4770,9	–19,58

Расчет количества наносов, поступающих в водоем с водосборной площади, с использованием эмпирических формул, учитывающих различные природные факторы, продемонстрировал высокую точность на первом объекте исследования: отклонение расчетных данных от фактического объема наносов в пруду составило всего 0,022%. Это подтвердило корректность работы модели, отразило реальные процессы и позволило считать ее надежным инструментом для прогнозирования. Однако расчет по данным измерений второго пруда показал разницу между смытой почвой и накопленными наносами 19,58%.

Поскольку коэффициент доставки наносов в исследовании определяли эмпирической зависимостью от площади бассейна, полученные значения не полностью отражают реальные процессы транспорта наносов. Формулы С.В. Ясинского показывают, что структура угодий может также оказывать значительное влияние на коэффициент доставки наносов. Однако для адаптации этих формул недостаточно двух объектов исследования, поэтому нами запланированы полевые изыскания еще для не менее трех объектов с более крупными водосборами и различной структурой землепользования.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2025-0006.

П.Н. Скрипников, С.С. Тагивердиев, С.Н. Горбов, Н.В. Сальник, Г.Н. Носов

Южный федеральный университет

УГЛЕРОД КАК МАРКЕР АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ГОРОДСКИХ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ*

Необходимость изучения почвенного углерода обусловлена его незаменимой ролью в поддержании функционирования почв и устойчивости окружающей среды. Антропогенное вмешательство оставляет след на процессе накопления и, в свою очередь, пространственном распределении как органического, так и неорганического углерода. Существует предположение, что ключевые факторы, определяющие запасы углерода, зависят от масштабов исследований, но на местном уровне антропогенные факторы, скорее всего, оказывают более сильное влияние на данный показатель. Таким образом, изменения в содержании углерода можно потенциально выделить в качестве индикатора антропогенного воздействия.

Исследование углеродного цикла в городских почвах Ростовской агломерации выявило четкие различия в распределении органического (SOC) и неорганического углерода (SIC) между естественными и антропогенно преобразованными почвами. Анализ 959 почвенных образцов из различных функциональных зон показал, что содержание и соотношение органического и неорганического углерода служат надежными индикаторами степени антропогенного воздействия. В естественных почвах (горизонт AU rz) преобладает органический углерод. Для черноземов под древесной растительностью его содержание в десятисантиметровом слое составляет $4.24 \pm 0.85\%$, под степной – $3.25 \pm 0.94\%$, что характерно для зональных черноземов региона, тогда как в урбиковых горизонтах (UR) его содержание снижается в 1,5 раза ($2.59 \pm 0.79\%$ SOC), что обусловлено различными факторами антропогенного воздействия. Содержание SIC в 10-см слое для Ростовской агломерации составляет $0.59 \pm 0.38\%$. Наибольшее его содержание выявлено в промышленной зоне $0.84 \pm 0.22\%$ с коэффициентом вариации ($V = 26\%$). Далее содержание SIC в изученном слое снижается в следующем ряду функциональных зон: селитебная и исторический центр города (0.64 ± 0.40 и $0.54 \pm 0.22\%$ соответственно) → черноземы под степной растительностью ($0.39 \pm 0.14\%$) → черноземы парково-рекреационной зоны ($0.21 \pm 0.26\%$). Таким образом, содержание углерода в почвах, испытывающих на себе антропогенную нагрузку, имеет динамику к увеличению SOC и обеднению SIC.

В антропогенно преобразованных почвах наблюдается также изменение профильного распределения изученных параметров. Ослабляется корреляция содержания углерода с глубиной или же становится статистически недостоверной, в отличие от естественных почв региона, где значение r составляет -0.96 и 0.92 для SOC и SIC соответственно.

Метод главных компонент (PCA) подтвердил ключевую роль углерода в дифференциации почвенных горизонтов. Хотя непосредственная факторная нагрузка SOC на PC1 невелика (-0.086), его значимость раскрывается через противопоставление естественных и антропогенно преобразованных почв. Горизонты AU и AU rz формируют отрицательный полюс PC1, который ассоциируется с сохранением природной почвенной матрицы (глинистые фракции, оксиды алюминия и железа). Высокое содержание SOC здесь определяет устойчивую структуру почвы, протекторные свойства, снижающие подвижность тяжелых металлов, интенсификацию активности почвенной биоты. Была выявлена отрицательная корреляция SOC с песком и CaO, прямая связь SOC с глинистыми фракциями ($r = +0.68$, $p < 0.05$) и алюмосиликатами. Таким образом, SOC выступает маркером сохранности естественных почв. Его высокие значения в AU и AU rz подчеркивают их устойчивость к техногенному воздействию, тогда как снижение SOC в урбиковых горизонтах сигнализируют о деградации почвенных функций.

Более показательным индикатором выступает SIC, который вошел в число трех наиболее значимых параметров первого фактора. Вклад неорганического углерода в объяснение дисперсии PCA составляет 12.9% дисперсии PC1 с факторной нагрузкой 0.590. Выявлена положительная корреляция с величиной pH, оксидами кальция и магния, а также с содержанием в почве крупной и средней фракции песка, что говорит о техногенном привносе карбонатных и песчаных материалов как о мощном факторе техногенного воздействия. Необходимо также уточнить, что данное исследование имеет ограничения, связанные с локализацией их проведения и особенностью статистического анализа, основанного на линейных взаимосвязях.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00390 на базе Южного федерального университета, <https://rscf.ru/project/24-27-00390/>

А.А. Соколов, В.А. Фоменко

Филиал Южного федерального университета в г. Геленджике

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА РЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА*

В ходе работы над проектом РНФ авторы разработали систему мониторинга антропогенного воздействия на окружающую среду (рис. 1), содержащую соединенные между собой каналами связи центр управления, а также подсистему анализа, обработки и моделирования, включающую базы мета- и геопространственных данных, средства отображения и документирования, блок поддержки принятия решений, блок анализа значений предельно допустимых выбросов, блок анализа значений предельно допустимых концентраций, подсистему мониторинга и прогноза экологической устойчивости, подсистему мониторинга и прогноза сейсмического и радиационного воздействия, а также содержащую блок мобильного мониторинга, стационарные наблюдательные посты, оборудованные гидрогеологическими наблюдательными скважинами, и мобильные лаборатории. Предлагаемая структура системы позволяет осуществлять мониторинг антропогенных загрязнений, включая сейсмические и радиационные воздействия, а также мониторинг загрязнения грунтовых вод.

В отличие от существующих аналогов система позволяет осуществлять весьма вероятное за 3 дня (75–90%) и вероятное прогнозирование от 3 до 5 дней (до 50%) антропогенных катастроф (рис. 1).

Предлагаемая система способствует уменьшению негативного воздействия горнодобывающих предприятий на окружающую среду и увеличению сохранения ее экологической устойчивости.

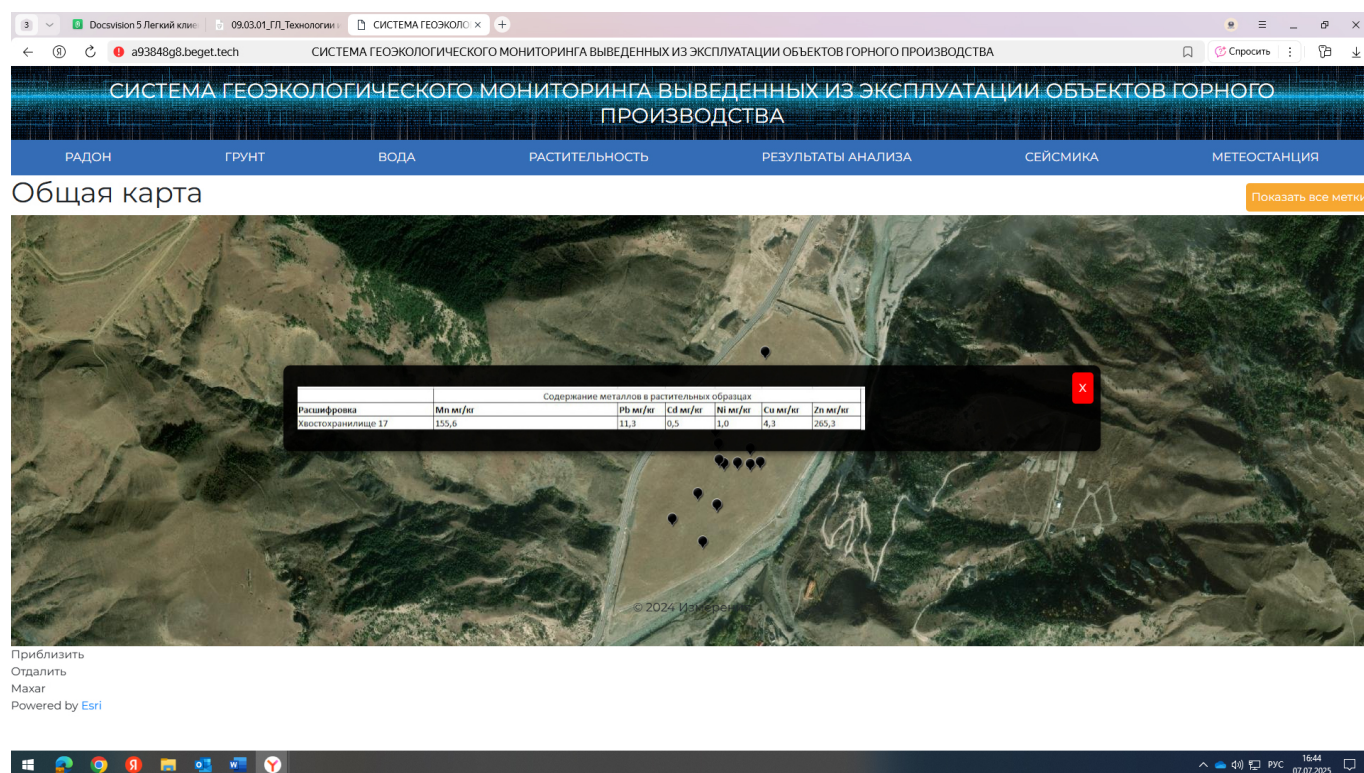


Рис. 1. Скриншот демоверсии разработанной системы

* Исследования выполнены в Южном федеральном университете за счет средств Российского научного фонда (проект № РНФ/23-37-ГЛ, № 23-77-00015).

В.В. Сурков, А.С. Завадский

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ПРЕКРАЩЕНИЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОЙМЫ Р. ИРТЫШ В Г. ОМСКЕ И ЕЕ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ТЕХНОГЕННУЮ ТЕРРАСУ*

Техногенные террасы создаются на месте пойм, затопление которых исключено. Они образуются при регулировании стока реки, изъятии его части на орошение и водопотребление, обваловании поймы, сооружении насыпных площадок. Типичная техногенная терраса, не затапливаемая уже более 60 лет, – пойма Иртыша в пределах Омской агломерации.

Ширина поймы 0,5–4 км, 10% площади приходится на острова. Ее пониженная прирусловая часть – острова и причлененные к берегу островные массивы. Острова веретенообразной и эллипсовидной формы включают высокое (4–5,5 м) центральное ядро и низкую (2–4 м) периферию, состоящую из узких, 10–30 м, грив и ложбин. Центральные ядра покрывают редколесья из ветлы, тополя и березы, периферийные гривы – густые ивняки. Рельеф высокой центральной, в прошлом лесолуговой, поймы (6–8, местами до 9,5 м), на излучинах сегментно-гривистый, на прямолинейных участках русла – параллельно-гривистый, амплитуда – 3–4 м. Низкая (2–4 м) притеррасная пойма включает плоские тростниковые низины; в сужениях – сводится к одной ложбине шириной 50–100 м, с озерами и болотами.

Водный режим р. Иртыш зарегулирован Верхне-Иртышскими ГЭС. До зарегулирования он был близок к алтайскому типу. Трех-четырёхмесячное половодье (120–130 суток) имело две волны. Первая (конец апреля – первая половина мая) совпадала с ледоходом. Усиленная заторами льда, она превышала вторую, имела резкий подъем воды на 7–9 м и такой же резкий, на 3–4 м, спад уровней. Максимальные уровни держались 2–3 дня, до разрушения заторов. Вторая волна, более низкая (5–6 м) и пологая, проходила с конца июня по сентябрь. Между волнами (15–30 суток) вода освобождала острова и центральную пойму, но из притеррасных болот не уходила.

При естественном гидрологическом режиме затопление высокой поймы было регулярным (1 раз в 3–10 лет) и наблюдалось при вскрытии реки, с образованием ледовых заторов. За период наблюдений (с 1891 г.) в г. Омске полное затопление поймы наблюдалось 15 раз. В катастрофическое половодье 1928 г. (затор возник у д. Захламино) уровень Иртыша достиг отметки 9,58 м над меженным уровнем при расходе воды 6340 м³/с. Затопило центр города, левобережные поселки, пострадало свыше 800 домов, были жертвы и огромные убытки. Затопление центральной поймы начиналось при подъеме воды на 7–7,5 м. При ледовых заторах оно наблюдалось уже при расходах воды 3500–3700 м³/с, в беззаторных условиях – 4000–4200 м³/с. Полное затопление поймы с переливом воды через прирусловые валы было возможно с подъемом воды на 8 м при расходах воды 5000–5500 м³/с. Транзитный поток возникал на локальных отрезках: в половодье днище долины было, скорее, цепью разгороженных заторами слабопроточных разливов, чем рекой.

После зарегулирования стока водный режим реки стал близок к западносибирскому. Ледовые заторы из-за сброса теплых вод в реку сейчас не образуются. Первая волна половодья почти не выражена; вторая, связанная с попусками воды с Шульбинской ГЭС, обычно выше первой. Нередко половодье проходит одной растянутой волной, пик которой приходится на середину-конец мая. Оно стало более коротким (70–90 суток), со значительным, до двух недель, смещением на более ранние сроки. Весенний ледоход (4–7 суток) стал малоинтенсивным. На приустьевом участке р. Оми лед тает на месте.

С зарегулированием стока максимальные уровни половодья снизились на 40% (не более 6,3 м над меженным уровнем). Прекратилось затопление грив высокой центральной поймы. Ежегодные санитарные попуски с Шульгинской ГЭС 2000–2500 м³/с обеспечивают подъем уровней до 4–5 м над меженным уровнем. Затопляются бичевники, ухвостья островов, ложбины, периферийные низкие прирусловые гривы. При расходах 2800–3300 м³/с (1 раз в 3–5 лет) уровни поднимаются на 6 м; островная пойма покрывается водой; но затопление береговой поймы наблюдается только местами при ширине разлива 100–500 м. Вода выходит в понижения и ложбины центральной поймы. Вне разливов остаются отрезанные дамбами и насыпями притеррасные понижения. Продолжительность затопления пониженных участков поймы и островов колеблется от 10–15 дней до месяца, но в маловодные годы не отмечается вовсе. Площадь затопляемой территории сократилась на 60% – с 215 км² до 80 км².

Прекращение затопления высокой поймы способствовало ее застройке хозяйственными объектами – селитебными, промышленными, рекреационными и коммуникациями; всего их более 400. На островной пойме сохраняются естественные урочища из-за ее относительной недоступности. Рельеф прирусловой береговой поймы изменен карьерами, многочисленными отвалами и выемками. Карьеры стали затонами, используемыми для стоянок судов и в рекреационных целях. На селитебных территориях пойма скрыта под набережные, причальные комплексы и площадки с отвалами грунта; ее пересекают дамбы и дорожные насыпи – подъезды к дачам, городским кварталам и инженерным объектам. У с. Красная Горка сооружается техническая площадка гидроузла и шлюза.

* Исследование выполнено в рамках плана работ Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева (госзадание № 121051100166-4).

К.С. Сушко

Южный научный центр РАН

ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПРИАЗОВЬЯ И ДЕЛЬТЫ ДОНА В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕГО МАЛОВОДЬЯ*

Малые реки Приазовья и водотоки дельты Дона играют важную роль в формировании ландшафтной структуры региона, сохранении биологического разнообразия. В то же самое время прибрежная часть малых рек испытывает сильную антропогенную нагрузку на все компоненты природных комплексов, в том числе почвенный покров.

Почвенный покров прибрежной и островной части дельты Дона и устьевых зон малых рек характеризуется значительной сложностью и комплексностью, связанной с сочетанием зональных и интразональных факторов ландшафтообразования. В период комплексных экспедиций ЮНЦ РАН 2021–2025 гг. выявлено, что основным типом почв является аллювиальный, широко распространены аллювиально-луговые, лугово-аллювиальные, аллювиальные лугово-болотные, а также слоистые песчаные почвы дельтовых песков на почвообразующих породах различного генезиса (рис. 1).



Рис. 1. Профиль аллювиально-луговой почвы (восточная часть дельты Дона)

Профиль аллювиальных почв дельты Дона состоит из нескольких горизонтов (Ад–А–В–С), неоднороден и имеет четкую слоистость, связанную с чередованием песчаных слоев с темными суглинистыми прослойками, а также слоями песчано-ракушечного аллювия. В верхней части профиля формируется плодородный дерновый горизонт, вниз по профилю отмечены прослои аллювия различного гранулометрического состава.

Аллювиальные слоистые карбонатные почвы формируются на аллювии средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава (строение профиля Ад–А–Вса–Сg,са), в профиле имеют четко выраженную слоистость. Вскипают с поверхности и имеют карбонатную пропитку в верхней части профиля. В нижней части профиля с 35 см отмечены признаки в виде ржаво-охристых и сизых пятен оглеения. Их образование связано с периодическим затоплением островных и прибрежных ландшафтов дельты Дона, а также с переотложением частиц, приносимых паводковыми водами в период поднятия уровня рек.

Почвы района исследований формируются прежде всего под воздействием накопления аллювиальных отложений, что в свою очередь является результатом периодического затопления и подтопления территории, в современный период отмечается сокращение периода разлива и изъятие значительной части стока малых рек. Смена почвенных разновидностей прослеживается в направлении от основного русла Дона, к прирусловым валам.

В направлении более возвышенного участка прирусловой поймы в пределах коренного берега Таганрогского залива, а также к северу от основного судоходного русла Дона формируются аллювиальные примитивные почвы, характеризующиеся совершенно иным строением почвенного профиля. Паводковыми водами они затапливаются ненадолго, также возможно периодическое дренирование этих участков временными водотоками, формирующимися в эрозионных бороздах, и ериками в пределах дельты Дона. Дернина маломощная, до 7–15 см, ниже располагаются горизонты песчаного аллювия.

Почвы сформированы на тяжелосуглинистом аллювии темного цвета на глубинах от 90 до 115 см. Уровень грунтовых вод – 90–145 см. Важно наличие карбонатных новообразований, отделяющих горизонт вымывания от горизонта почвообразующих пород. Это характеризует выпотный тип почвообразования, связанный с пересыханием увлажненной почвенной массы и восходящим током карбонатов и прочих солей по горизонту вверх в теплый период.

На сравнительно небольшой площади на восточной окраине дельты Дона и малых рек северо-восточного Приазовья сформировались несколько подтипов аллювиальных почв – прежде всего аллювиальные темно-гумусовые глеевые почвы, аллювиальные глеевые карбонатные почвы, а также аллювиальные примитивные почвы. Смена подтипов прослеживается в направлении от основного русла Дона, к прирусловым валам. Почвообразующей породой везде отмечены темноцветные тяжелосуглинистые и глинистые аллювиальные отложения, гранулометрический состав которых сформирован притоком материала из коренных берегов Таганрогского залива, центральной части дельты Дона, русла Мертвого Донца.

* Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, на 2025 г. № гос.пер. 125040404857-4.

С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Т.С. Дудникова, Ал.И. Барбашев,
В.Р. Попов

Южный федеральный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВАХ ПОБЕРЕЖЬЯ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА*

Территория побережья Таганрогского залива характеризуется исключительно благоприятными природными условиями и является уникальной по своей продуктивности. Кроме того, побережье Таганрогского залива Азовского моря – это важный рекреационный ресурс Ростовской области, роль которого с каждым годом возрастает. В настоящее время данная территория подвержена активному техногенному прессингу. Одними из основных загрязняющих веществ рассматриваемой территории являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Особенно остро эта проблема касается гидроморфных почв прибрежных территорий, где активно протекают процессы переноса и осаждения потоков веществ природного и антропогенного характера. К настоящему времени оценка экологического состояния почв прибрежных территорий не проводилась. Целью работы являлось оценить суммарное содержание ПАУ в почвах побережья Таганрогского залива.

Объектом исследования являлись аллювиальные луговые насыщенные, аллювиальные луговые карбонатные и аллювиальные луговые насыщенные слоистые почвы побережья Таганрогского залива. Для целей исследования заложено 23 площадки мониторинга (рис. 1). Отбор проб почвы проведен на глубину 0–20 см согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017. Свойства почв варьируют в широких пределах от рыхлого песка до тяжелых суглинков.



Рис. 1. Картограмма расположения площадок мониторинга

Извлечение поллютантов из образцов почвы проведено по методу РД 52.10.556–95 в модификации. Модификация метода заключалась в изменении опасного неполярного растворителя – этоксиэтана на менее опасный гексан (ХЧ). ПАУ количественно определены методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на хроматографе Agilent 1260 с флуориметрическим детектированием. ПАУ, которые были определены: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, аценафтен, аценафтилен, флуорантен, пирен, хризен, бенз(а)антрацен, бенз(б)флуорантен, бенз(к)флуорантен, бенз(а)пирен, дибенз(а.һ)антрацен, бенз(ɡ.һ.і)перилен.

Статистический анализ данных, а также графическое оформление полученных результатов выполнено в программах Statistica 10 и Microsoft Excel 2013. Картографический материал представлен с использованием программы Google Earth Pro.

В результате исследования установлено, что суммарное содержание ПАУ в почвах Таганрогского залива варьирует от 117 нг/г (площадка мониторинга № 26) до 16 006 нг/г (площадка мониторинга № 70). Низкое содержание ПАУ в почве площадки мониторинга № 26 обусловлено тем, что она расположена в рекреационной зоне на удалении от источников поступления поллютантов и представляет собой песок связный, обладающий низкой сорбционной способностью. Почва площадки мониторинга № 70 располагается на тер-

* Результаты получены при финансовой поддержке исследования/проекта/работы Правительством Российской Федерации, реализуемой в рамках Соглашения № 075-15-2025-008 от 27.02.2025.

ритории Беглитской косы – объекта массового туристического интереса. Высокое накопление ПАУ в почве площадки мониторинга № 70 вероятнее всего обусловлено разливами нефтепродуктов от малого судоходного транспорта.

В почвах исследуемой территории в составе ПАУ доминирует фенантрен, поступление которого связано с природными источниками, и бенз(g,h,i)перилен, поступление которого обусловлено как деятельностью пирогенных источников, так и разливами топлива.

Таким образом, в результате исследования установлено, что суммарное содержание ПАУ в аллювиальных почвах Таганрогского залива варьирует от 117 нг/г до 16 006 нг/г. В составе ПАУ доминируют фенантрен и бенз(g,h,i)перилен. Наблюдаются превышения фонового содержания бенз(k)флуорантена, бенз(a)пирена до 33,0 раз и бенз(a)антрацена, бенз(k)флуорантена, дибенз(a,h)антрацена, бенз(g,h,i)перилена – до 18 раз.

Д.В. Сыщиков, И.В. Агурова, А.С. Березовский

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Донецкий ботанический сад»

ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТАВА И ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ ДЕГРАДИРОВАННЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ*

Всевозрастающая нагрузка на окружающую среду способствует возникновению ряда региональных и глобальных кризисов природопользования, среди которых к особо опасным относят агроэкологические проблемы деградации земель, качественного ухудшения функциональных возможностей и почвенного плодородия. Необходимость проведения агроэкологического мониторинга связана с получением достоверных сведений о состоянии плодородия почв с последующим внедрением полученных результатов в проведении ряда агрохимических мероприятий.

Основной целью проводимых исследований было изучение влияния деградационных процессов в почвах сельскохозяйственных угодий в степной зоне для выявления возможных путей восстановления биологической продуктивности почв и их эффективного использования.

Исследования проводились на модельных участках восточной и западной части Шахтерского района ДНР. Для исследования почвенного покрова деградированных агроэкосистем были выбраны следующие модельные участки: № 1 – участок со степной растительностью (условный контроль), № 2 – склоновый участок поля под озимой пшеницей второй год монокультуры, № 3 – склоновый участок поля под озимой пшеницей, № 4 – склоновый участок поля под кукурузой после пшеницы, № 5 – склоновый участок поля под паром, первый год после картофеля, № 6 – склоновый участок поля под паром первый год после лука, № 7 – склоновый участок поля под томатами, № 8 – склоновый участок поля под луком, № 9 – склоновый участок поля под баклажанами. Исследование гранулометрического состава почвенных горизонтов проведено в соответствии с ГОСТ 12536–2014. Определение актуальной и потенциальной кислотности, суммы обменных оснований и степени засоления проводили общепринятыми методами. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по общепринятым методам параметрической статистики на 95% уровне значимости.

Установлено варьирование процентного содержания фракций в зависимости от местоположения участка, выращиваемой на участке культуры, культуры-предшественника, системы севооборота. Выявлено, что большинство модельных участков характеризуются преобладанием фракций более 10 мм и 3–1 мм. Несмотря на оцененное по коэффициенту структурности состояние почв как хорошее и отличное, можно утверждать о создании потенциально неблагоприятных условий для выращивания сельскохозяйственных культур на большинстве изученных участков. Это связано с преобладанием мега- и микроагрегатов в структуре, способствующих ухудшению водного режима.

При изучении показателя актуальной кислотности в почвах агроценозов мониторинговых участков установлено варьирование значений от слабокислой до слабощелочной реакции среды. При изучении обменной кислотности установлено существенное превышение показателей склоновых участков под пшеницей (в 3,6–6,4 раза) по сравнению со значениями зональной почвы. В наименьшей степени деградационные процессы отразились на значениях обменной кислотности участков, оставленных под паром, а также под овощными культурами, где превышение показателей варьировало от 1,1 до 1,5 раза. Для участков под зерновыми культурами значения гидролитической кислотности были существенно выше показателей гидролитической кислотности зональной почвы (в 4–10 раз).

При изучении суммы обменных оснований установлено, что на участках под пшеницей эти показатели достоверно снижены по отношению к контролю на 37–44%. Основные причины существенного снижения данного показателя связаны с интенсивной обработкой почвы и нерациональным внесением минеральных удобрений. На участках под овощными культурами значения суммы обменных оснований выше по отношению к контролю в среднем в 1,3–1,5 раза. Наибольшие показатели суммы обменных оснований наряду с высокой степенью насыщенности основаниями (около 98%) были зафиксированы на участке под томатами. На всех изученных участках при изучении количественного состава ППК зафиксировано преобладание катионов кальция и магния. Наименьшее количество обменного кальция зафиксировано на участках под пшеницей, где его содержание снижено по сравнению с контролем в среднем на 45–50%, что может служить признаком развития деградационных процессов. Кроме того, как показывают результаты исследований, содержание магния на этих участках повышено, а соотношение кальция и магния в ППК составляет 3:1, что является резким отклонением от оптимального соотношения.

* Работа выполнена в рамках госзадания ФГБНУ «Донецкий ботанический сад» по теме FREG-2023-0002 «Качественные и функциональные характеристики почв сельскохозяйственных угодий в степной зоне и пути восстановления их биологической продуктивности», № 123101300198-3.

Р.Б. Табакаев¹, И.К. Калинин¹, К.О. Пономарев²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Тюменский государственный университет

СВЧ-ПЕРЕРАБОТКА КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ПОЧВЕННОГО МЕЛИОРАНТА*

В условиях нарастающей деградации почвенных ресурсов, усугубляемой климатическими изменениями и возрастающей антропогенной нагрузкой, особую актуальность приобретает разработка эффективных подходов к восстановлению почвенного плодородия. Одним из перспективных решений в данном направлении является использование биоугольных мелиорантов (биочара), способных не только улучшать агрофизические и агрохимические характеристики почв (включая водоудерживающую способность, катионообменную емкость и содержание органического углерода), но и обеспечивать долговременную секвестрацию углерода в почвенном профиле. Широкое распространение для производства биочара получили вращающиеся пиролизные печи, шнековые установки или углевыжигательные печи.

Особый интерес в настоящее время представляет внедрение инновационных технологий получения биоугля, в частности СВЧ-пиролиза, который позволяет при относительно низких энергозатратах формировать углеродные материалы с развитой пористой структурой. Такие материалы демонстрируют высокий потенциал в качестве восстановителей деградированных почв и функциональных компонентов устойчивых агроэкосистем. В связи с этим особое значение приобретает исследование физико-химических свойств биочара, полученного методом микроволновой обработки, а также механизмов его воздействия на восстановление нарушенных и загрязненных почв, что имеет важное значение для формирования устойчивых систем землепользования и адаптации аграрного сектора к изменяющимся экологическим условиям.

Целью работы является сравнение характеристик биочара, полученного медленной слоевой переработкой биомассы и в условиях СВЧ-нагрева. В качестве объектов исследования рассмотрены сосновые опилки, навоз крупнорогатого скота и пшеничная солома. Медленный слоевой пиролиз биомассы осуществляли согласно ГОСТ 3168-93 (ISO 647-74).

Как видно (табл. 1), использование СВЧ-нагрева биомассы приводит к ее более полной деструкции, в результате чего выход биочара снижается. При этом минеральные компоненты биомассы, в отличие от органической части, не претерпевают серьезных изменений, что приводит к увеличению зольности биочара. При изучении текстурных характеристик биочара (табл. 2) отмечено, что СВЧ-переработка позволила получить пористый углеродный материал с более развитой удельной поверхностью, что способствует более длительному удержанию воды, лучшей адсорбции тяжелых металлов и повышению катионообменной емкости.

Таблица 1. Выход и характеристики биочара в зависимости от вида переработки биомассы

Сырье	Способ переработки	Выход биочара, % (в пересчете на сухую массу)	Зольность Ad, % (на сухую массу)	Элементный состав органической части, % (на сухую массу)				
				C ^d	H ^d	N ^d	S ^d	O ^d
Опилки	МСП	38,8	2,7	75,46	3,51	0,72	–	17,61
	СВЧ	14,6	6,2	88,05	1,23	0,41	–	4,11
Навоз	МСП	40,6	35,2	52,60	1,64	2,08	0,29	8,19
	СВЧ	34,5	38,1	50,48	1,24	1,40	0,19	8,59
Солома	МСП	41,0	7,0	73,93	4,11	1,75	–	13,21
	СВЧ	22,7	17,4	72,92	1,33	1,11	–	7,24

Примечание: МСП – медленный слоевой пиролиз, СВЧ – пиролиз в условиях СВЧ-нагрева.

Таблица 2. Текстурные характеристики биочара в зависимости от вида переработки биомассы

Параметр	Опилки		Навоз		Солома	
	МСП	СВЧ	МСП	СВЧ	МСП	СВЧ
Удельная площадь поверхности по БЭТ, м ² /г	4,497	35,619	2,276	5,663	5,275	31,769

Примечание: МСП – медленный слоевой пиролиз, СВЧ – пиролиз в условиях СВЧ-нагрева.

Результаты проведенного исследования показали, что применение СВЧ-нагрева для термической переработки биомассы позволяют получить минерализованный биочар с более развитой удельной поверхностью.

* Проект выполнен при поддержке РФН (22-19-00410-П).

С.С. Тагивердиев*Южный федеральный университет*

СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В АГРЕГАТНЫХ ФРАКЦИЯХ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ*

Структура почвы играет ключевую роль в ее устойчивости к эрозии. Хорошо агрегированные почвы, имеющие высокую долю водопрочных агрегатов, лучше противостоят водной и ветровой эрозии благодаря высокой инфильтрации и устойчивости к размыву. В условиях крупных городов роль оструктуренных почв возрастает, поскольку именно они могут в полной мере выполнять свои экологические функции. Напротив, бесструктурные почвы могут представлять опасность, загрязняя сопредельные среды и ухудшая качество жизни горожан.

В городах антропогенные воздействия часто приводят к деградации почвенной структуры из-за внесения неагрегирующих субстратов (песок, гравий, стекло, керамика), механического разрушения, уплотнения, сокращения растительного опада и замены полезной микрофлоры на патогенную. Реже можно наблюдать позитивную динамику в рекультивированных компостно-гумусовых горизонтах (RAT) благодаря высокому содержанию гумуса и активности микроорганизмов.

Роль почвенной структуры в городских экосистемах недооценена, хотя ее деградация интенсифицирует накопление поллютантов, повышая риски для здоровья людей. Исследователи часто связывают миграцию загрязнителей с гранулометрическим составом, но в естественных условиях именно структура почвы определяет ее сорбционную способность. Агрегаты, цементируя мелкие частицы, снижают их активную поверхность, влияя на удержание загрязняющих веществ. Поэтому размер и состав структурных фракций критически важны для оценки сорбционного потенциала почвы.

Наше исследование направлено на изучение валового состава различных структурных фракций с целью выявления особенностей концентрирования цинка, меди и свинца в почвенных агрегатах различных размеров.

Исследование проводили на территории Ростовской агломерации. Объектами выступали почвы разной степени трансформации, среди которых выделяли две основные группы: черноземы миграционно-сегрегационные и урбостратоземы на черноземах. Структурное состояние почвы определяли методом Саввинова (сухое и мокрое просеивание). Для анализа валового состава отобраны фракции >10; 7–5; 5–3; 2–1; <0,25 мм, что обусловлено особенностями черноземов и их трансформацией при урбопедогенезе. Валовой химический состав почвы и фракций определяли рентгенофлуоресцентной спектроскопией (МАКС-GV).

Почвы Ростовской агломерации, особенно в пределах Ростова-на-Дону, демонстрируют устойчивую тенденцию к загрязнению тяжелыми металлами. Наиболее остро эта проблема проявляется в отношении цинка и свинца, содержание которых чаще всего превышает ориентировочно допустимые концентрации (ОДК). В отличие от них, уровень меди хотя и превышает фоновые показатели примерно вдвое, тем не менее остается значительно ниже установленных нормативов ОДК. Такое распределение позволяет оценить экологическую ситуацию по меди как удовлетворительную, тогда как по цинку и свинцу она вызывает серьезные опасения.

Исследование распределения металлов по структурным фракциям почв выявило несколько важных закономерностей. В естественных черноземах содержание цинка остается относительно стабильным во всех фракциях, демонстрируя минимальный коэффициент вариации – 4%. Однако в урбостратоземах картина резко меняется – здесь цинк явно тяготеет к самым мелким фракциям (<0,25 мм), где его концентрация достигает максимальных значений. Более выражена эта тенденция для свинца, который в урбостратоземах не только концентрируется в мелких фракциях, но и проявляет аномально высокое содержание в крупных агрегатах (>10 мм). Это может объясняться особенностями миграции свинца в виде относительно крупных частиц, которые задерживаются макропорами почвы.

Особый интерес представляет поведение меди, которое существенно отличается от двух других изучаемых металлов. Ее распределение по фракциям в черноземах и урбостратоземах оказалось весьма сходным, без выраженного накопления в каких-либо конкретных фракциях. Это позволяет предположить, что антропогенное воздействие не приводит к значительному перераспределению меди в почвенных агрегатах, возможно, из-за постоянного привноса материалов с низким содержанием этого элемента.

Проведенный анализ выявил важную особенность: при загрязнении почв основная масса поступающих металлов сорбируется именно мелкими (пылеватыми) фракциями. Это особенно ярко проявляется для цинка, который в урбостратоземах демонстрирует четкую зависимость – чем мельче фракция, тем выше содержание металла. Для свинца ситуация несколько сложнее – наряду с накоплением в мелких фракциях наблюдается его повышенное содержание и в самых крупных агрегатах, что может быть связано с достижением некой критической концентрации, после которой начинаются процессы деградации почвенной структуры.

Результаты согласуются с данными других исследователей, подтверждая ключевую роль почвенных агрегатов в процессах сорбции тяжелых металлов, а также дополнив эти представления, специфическими механизмами накопления свинца в крупных фракциях и показав относительную устойчивость распределения меди к антропогенному воздействию. Эти наблюдения имеют важное значение для разработки методов мониторинга и реабилитации загрязненных городских почв.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023-0008.

А.М. Тарбеева¹, В.С. Ефремов², Л.С. Лебедева², В.В. Шамов^{2,3}, И.В. Крыленко¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

²Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова, г. Якутск

³Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

ПЕРЕМЕРЗАНИЕ МАЛЫХ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ*

В зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород малые реки с площадью менее 2 тыс. км² ежегодно промерзают до дна, а средние и некоторые большие реки (2–75 тыс. км²) перемерзают на отдельных участках. Промерзание малых и перемерзание средних рек длится большую часть года, однако процессы, происходящие в русле при его замерзании и оттаивании, и их влияние на морфологию и динамику русла, сток воды, наносов, растворенных веществ, окружающие мерзлые породы практически не исследованы. Не изучено и влияние современных климатических изменений на указанные процессы. Для ответа на эти вопросы в 2016–2022 гг. были проведены наблюдения за промерзанием и оттаиванием русел трех разных по размерам малых рек Центральной Якутии: Левая Шестаковка (площадь водосбора 90 кв. км), Шестаковка (площадь водосбора 170 кв. км) и Кенкеме (площадь водосбора 3 550 км²), а также проанализированы данные гидрологических постов на исследованных реках: «Камырдагыстах» (р. Шестаковка) и «Второй Станок» (р. Кенкеме).

Характер замерзания русел в криолитозоне – промерзание до дна на всем протяжении или только на отдельных участках – в значительной степени определяется морфологией русла. Участки исследованных рек, где глубина воды при замерзании менее 1,5 м, промерзают до дна. Глубокие расширения четковидного русла самой малой из исследованных рек – Левого Шестаковки, также как и глубокие плесы в вершинах излучин наиболее крупной из исследованных рек – Кенкеме не промерзают до дна, под ними образуются локальные талики мощностью до 4 м, подо льдом сохраняются линзы воды, в которой концентрируются растворенные в воде вещества, возникает криогенное давление, в результате которого лед растрескивается и происходит излияние наледных вод. Средняя по водности из рассмотренных рек – Шестаковка, имеющая прямолинейное русло с равномерным распределением глубин, промерзает до дна на значительном протяжении. Промерзающие до дна участки рек заполнены речным и наледным льдом общей мощностью до 1–1,5 м. Наледный лед формируется в осенне-зимний период за счет притока вод, «выжатых» из русла при его замерзании, вод притоков или надмерзлотных вод в период промерзания деятельного слоя. Оттаивающий за лето слой отложений под промерзающим до дна руслом достигает 2–2,5 м.

Характер оттаивания русел определяется тепловой энергией водного потока (скоростью течения и температурой воды), с одной стороны, и объемом заполняющего его льда с другой. В широких незалесенных долинах, где вода разливается по пойме и прогревается, а примерзший к берегам лед в русле затопливается, его оттаивание происходит быстрее, чем в узких, залесенных и затененных долинах, или при врезании потока в лед.

Роль водного потока в формировании перемерзающих и промерзающих русел снижена из-за затрат механической и тепловой энергии потока в начале половодья на разрушение льда, заполняющего русло, и оттаивание берегов. Это приводит к снижению реальных руслоформирующих расходов воды и их обеспеченности по сравнению с непромерзающими реками с аналогичным водным режимом и водностью, и сильнее проявляется на самых малых реках. Пик расходов воды в половодье на самых малых реках проходит по льду, не оказывая воздействия на русло. По мере увеличения размеров реки происходит уменьшение объема льда относительно размеров русла и увеличение водности и продолжительности подъема уровней воды, пик расходов воды смещается на более поздние сроки и чаще проходит по свободному ото льда и оттаявшему руслу, что способствует размыву берегов.

Повышение температур воздуха приводит к более позднему перемерзанию рек при несущественном сдвиге сроков начала стока, уменьшению толщины ледяного покрова, при этом возрастает роль дождевых паводков. Указанные процессы в дальнейшем могут привести к более раннему таянию тонкого льда, частому прохождению пика половодья по свободному ото льда руслу, что при неизменных прочих условиях приведет к увеличению стока наносов и темпов деформации берегов. При этом заполнение наносами глубоких расширений четковидных русел может привести к более равномерному распределению глубин в русле и его промерзанию на всем протяжении.

* Обработка и обобщение материалов выполнены по теме ГЗ НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ (№ 121051100166-4).

А.М. Тарбеева¹, В.В. Шамов^{2,3}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

²Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

³Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова, г. Якутск

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОХОЖДЕНИЕМ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В ОВРАГЕ ВБЛИЗИ П. ТИКСИ (СЕВЕР ЯКУТИИ)*

Потепление климата, которое особенно интенсивно происходит в Арктике, приводит к изменению условий формирования стока на мерзлых водосборах, включая увеличение глубины сезонного оттаивания, изменение микро- и мезорельефа, активизацию экзогенных процессов и перестройку эрозионно-русловой сети. Одним из проявлений климатических изменений в последние десятилетия являются появление и интенсивный рост эрозионно-термокарстовых оврагов, заложившихся по вытаявшим жилам подземных льдов. Образование оврагов приводит к изменению рельефа и глубины оттаивания, перераспределению снега, концентрации стока воды, увеличению выноса твердых веществ, в т.ч. органических. Один из таких оврагов образовался в аномально теплом 2020 г. вблизи п. Тикси. В 2022 г. на активно растущем овраге были проведены детальные наблюдения за прохождением половодья для выявления связи стока воды, наносов, динамики оврага и оттаивания отложений.

С 27 мая по 13 июня проводились измерения уровней, расходов, температуры и электропроводности воды, определялось содержание взвешенных наносов, включая оценку минеральной и органической части на трех створах оврага, а также измерение температуры поверхности и глубины оттаивания почвы вблизи оврага, проводились описания строения и мощности снежного покрова, а также динамики оврага при помощи повторных съемок с БПЛА.

Овраг заложился после интенсивных осадков в августе 2020 г. в нижней части склона г. Лялькина. Склон имеет северо-западную экспозицию, крутизну 9–11 градусов, сложен оторфованными алевритистыми суглинками мощностью около 4–5 м, содержащими полигонально-жильные льды мощностью около 4 м, шириной жилы по верху около 2,5 м, выраженные в виде ложбинного рельефа. Причиной образования оврага было обрушение свода тоннеля внутри жилы льда. К весне 2022 г. длина оврага составляла около 50 м, максимальная ширина оврага – 12 м, глубина – 4 м. Вершина оврага представляла собой вертикальный уступ, образованный жильным льдом. В нижней части оврага поток уходил в тоннель, затем снова появлялся на поверхности на расстоянии около 120 м от вершины оврага, где образовывал ручей с низкими берегами. Водосбор оврага занят преимущественно осоково-кустарничковой тундрой, по ложбинам преобладает пушица и осока.

Наблюдения за стоком воды и наносов проводились на трех створах, расположенных в вершине оврага, сразу ниже выхода стока из нижнего тоннеля и в 150 м ниже оврага в ручье, где был установлен уровнемер. На двух поперечниках через овраг проводились измерения глубины оттаивания и определялась температура поверхности почвы.

На начало наблюдений за стоком 27 мая снег занимал 40–50% площади водосбора, овраг и русло ручья ниже него были заполнены снегом. Снег таял и насыщал водой нижние части толщи. Поверхностный сток начался на всех трех створах 1 июня, после того как дневная температура воздуха достигла устойчивых положительных значений. Расходы воды имели направленный рост до 5 июня, когда их значение достигло 68 л/с, а затем так же резко снизились до значений 1–4 л/с. Сток воды в овраге шел под снегом, а в районе нижнего створа – по поверхности снега. 5 июня дневная температура воздуха достигла +15,3 °С, наблюдался пик расходов воды по всем створам. Снег в русле ниже оврага полностью растаял, в овраге поток продолжал течь под снегом.

Температура и электропроводность воды также росли по всем трем створам и при этом имели суточный ход с максимумами в 13–15 часов. Температура воды в ночные часы опускалась до околонулевых значений до 5 июня, после 5 июня минимальные температуры воды, как и максимальные, направленно росли и имели положительные значения.

Мутность воды вела себя более сложным образом. В целом она росла вместе с расходами воды до 5 июня, достигнув значений 1200 мг/л, а затем снижалась вместе со снижением расходов воды. Но с 8 июня на нижнем створе и с 9 июня на среднем створе начался новый подъем мутности воды на фоне стабилизирующихся расходов. К окончанию наблюдений 12 июня на нижнем створе пик мутности начал падение, а на среднем створе продолжал расти. Весовая доля органики в пробах мутности чаще всего не превышала 1%, но в редких случаях достигала 13% при низких значениях мутности.

* Обработка и обобщение материалов выполнены по теме ГЗ НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ (№ 121051100166-4).

В начале половодья сток воды над вершиной оврага проходил по ложбинам и приводил к быстрому увеличению глубины оттаивания под ложбинами. По мере увеличения общего оттаивания почвы сток рассредотачивался и стекал в вершину по кровле оттаявших отложений широким фронтом.

До 8 июня видимая динамика оврага отсутствовала, однако под снежной толщей в днище оврага и в ледяных тоннелях ниже него шли активные процессы. Тоннель ниже оврага в начале половодья был забит льдом, что привело к формированию серии озер, которые затем спускались, увеличивая расход воды и наносов. 8 июня в вершине оврага произошел обвал блока жильного льда и перекрывающих его отложений. Длина блока около 2 м, ширина около 1 м и высота около 2 м. Упавший блок образовал узкий вершинный врез оврага, продвинувшийся вверх по ложбине стока.

Наблюдения позволили разработать ряд методических приемов для наблюдения за стоком воды, наносов и динамикой оврага в мерзлых отложениях, показали тесную связь процессов в овраге с оттаиванием поверхностного слоя отложений, таянием снега и льда.

Р.Х. Темботов^{1,2}, Е.В. Абакумов²

¹Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, г. Нальчик

²Санкт-Петербургский государственный университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ИНТЕРАКТИВНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОЧВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ*

Возросшая в последнее время значимость изучения роли почвенного покрова в решении глобальных экологических и продовольственных задач требует не только наличия почвенно-ресурсной информации, но и оптимизации ее сбора, анализа и визуализации. Поэтому картографическое моделирование с применением данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-методов является эффективным инструментом для мониторинга и экологической оценки состояния почвенного покрова, как естественных, так и агрогенных биогеоценозов. Особенно это важно для труднодоступных высокогорных областей, таких как Кавказ и Тибет.

Методологический подход к созданию интерактивной картографической модели (ИКМ), отражающей пространственное варьирование важнейших биохимических показателей почв, основан на технологии, разработанной группой под руководством Ю.Г. Пузаченко. Методику, которую группа Ю.Г. Пузаченко использовала в основном для анализа и картографирования растительности и моделирования потенциального местообитания животных, мы усовершенствовали и применили для задач почвенно-экологических исследований. Представленная методика заключается в том, что при создании ИКМ учитывается информация о разнообразии рельефа, климатических особенностях и неоднородности растительного покрова, полученная из «внешних» источников информации. «Внешняя» информация представляет собой совокупность данных дистанционного зондирования, включающую в себя: мультиспектральные снимки спутников Landsat; набор климатических данных из глобальной базы WorldClim; информацию, полученную на основе данных цифровой модели рельефа (SRTM). Согласно данной методике, полученная «внешняя» информация является основой для интерполяции на всю исследуемую территорию полученных в результате полевых и лабораторных исследований точечных значений изученных почвенных показателей. Задача интерполяции в нашей работе решается с применением дискриминантного анализа, который кроме интерполяции также позволяет установить, какие именно внешние переменные обеспечивают различимость состояний изученного почвенного показателя.

Так как естественные и агрогенные биогеоценозы являются различными природными системами, то при построении картографических моделей возникает необходимость построения двух типов гипотетических моделей для каждого изученного почвенного показателя. Первый тип моделей иллюстрирует пространственную динамику почвенных характеристик, согласно закономерностям, обнаруженным для агроценозов. Второй тип моделей отображает изменение контролируемых параметров в условиях естественных биогеоценозов. Следующим этапом при создании ИКМ является объединение гипотетических моделей в общую картографическую модель, которая отражает реальную картину пространственного изменения почвенных показателей на всей исследуемой территории.

По представленной методике нами создана ИКМ (рис. 1), представляющая собой многослойный комплект векторно-растровой информации, выполненный в единой проекционной системе координат и имеющий единую географическую привязку. Она представляет собой совокупность групп тематических растровых слоев (картографических моделей) и векторную карту, которая является визуализированной базой данных. Векторная карта состоит из точек-пикселей, представляющих собой квадраты со стороной 90 м, в которых представлена информация о географических координатах, классификационной принадлежности почвы, обрабатывается почва на данном участке или нет, а также оценочная характеристика изученных почвенных показателей горных черноземов Центрального Кавказа. Таким образом, ИКМ, созданные по представленной методике, могут стать источником комплексной информации и быть востребованы при экологическом мониторинге и оценке состояния почвенного покрова, не только равнинных, но и труднодоступных высокогорных территорий Земли, таких как Кавказ, Тибет и т.д.

* Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 24-44-00006.

157

Л.Н. Трофимец¹, Е.А. Паниди², А.О. Баркалов¹, Н.В. Туманов¹

¹Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

²Санкт-Петербургский государственный университет

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ СМЫВА ПОЧВЫ В ТАЛЬВЕГАХ РУЧЬЕВ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ ВЕСНОЙ ПОСЛЕ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ НА СЛАБО- И СИЛЬНОВЫПАХАННЫХ ПОЧВАХ: КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ, МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЛЬЕФА, ДИАГРАММЫ ПОСЛОЙНОГО ПО ГЛУБИНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137 (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)

На полях Орловской области распространены участки выпаханных почв. Они сформировались в последние десятилетия на тех участках сельскохозяйственных полей, где по каким-то причинам происходит формирование недостаточного количества легкоразлагаемого органического вещества (ЛОВ). Причины могут быть разные. Прежде всего – это недостаточное внесение в почву удобрений. Но причиной может быть и иссушение верхних слоев почвы вследствие потепления климата. Ю.М. Нестеренко, по наблюдениям на южном Урале, сделал вывод, что на аридных территориях, в условиях высоких температур в верхних слоях почвы создаются условия для формирования дефицита ЛОВ (легкоразлагаемого органического вещества): микробиота, переводящая растительные остатки в ЛОВ, резко сокращает свою активность. Анализ, проведенный в Тимирязевской академии, показал, что на экспериментальном участке встречаются почвы очень слабовыпаханные (4,7 балла – степень выпаханности на водораздельной поверхности), слабовыпаханные (степень выпаханности 9,3 балла у основания склона), средневыхпаханные (степень выпаханности 9,7 вдоль северной оконечности поля) и сильновыпаханные (степень выпаханности 10,7 балла вдоль северо-западной оконечности поля). Считается, что выпаханные почвы подвержены ускоренной эрозии. Может ли выпаханность влиять на величину потерь почвы вследствие эрозии? На первом этапе авторы проверили, не может ли выпаханность (индикатором которой служит количество ЛОВ в пахотном горизонте) обуславливаться иссушением верхнего слоя почвы в последние десятилетия. Анализ максимальных декадных температур в июне-августе за период с 1946 по 2020 г. показал, что, действительно, в 7–10 годах из 20-летнего периода (2000–2020) максимальные декадные температуры в июне-августе были обеспечены в многолетнем общем ряду температур на 1–23%, то есть были редкой повторяемости. Повторяемость ливневых осадков (интенсивностью более 10 мм) в период с 2011 по 2022 г. достигала в июле-августе 4–6 за месяц. Интенсивность ливней в июле достигала 50 мм, в августе – 40 мм. Однако ливневые осадки не приводили к формированию ручейковой сети на распахиваемых склонах в бассейне верхней Оки. Осадки впитывались в иссушенную почву, не формируя поверхностный сток. Поверхностный сток формировали интенсивные дожди весной, в период, когда почва оттаивала с поверхности и становилась податливой водной эрозии. Анализ показал, что в апреле практически ежегодно в 2011–2022 гг. выпадали дожди интенсивностью более 10 мм. В 2022 г. таких дождей в апреле была серия из девяти. Анализ космических снимков и визуальные наблюдения позволили авторам обнаруживать ручейковую сеть на экспериментальном поле (в бассейне Сухой Орлицы Орловского района Орловской области) в 2014 и в 2022 гг. Данными о снижении активности микробиоты авторы не располагали, поэтому была предпринята попытка использовать цезий-137 в качестве маркера интенсивности водной эрозии на участках почв с разной степенью выпаханности. В 2015 г. в сухом русле ручья, обнаруженном на склоне южной экспозиции, был проведен послойный отбор проб по глубине через 2 см. Ручей пересекал распахиваемый склон в области слабовыпаханных почв и сильновыпаханных почв. Степень выпаханности определялась по методу Ганжары – Борисова. Для слабовыпаханных почв степень выпаханности – 9,3 балла. Для сильновыпаханных – 15,3 балла. Гамма-спектрометрический анализ позволил авторам построить диаграммы послойного по глубине распределения цезия-137 (он выступал маркером смыва почвы в точке). Анализ диаграмм позволил рассчитать интенсивность смыва почвы в точке. Наложение слоя ГИС точек с интенсивностью смыва почвы в тальвеге ручья на слой уклонов поверхности и слой степени выпаханности показал следующее (таблица). Смыв почвы в ручье на сильновыпаханных почвах на поверхности с уклонами не более 2 градусов составил 62,4–67,2 т с 1 га в год. Смыв в ручье на слабовыпаханных почвах с уклонами от 3 до 6 градусов составил 61,3 т с 1 га в год, а в зоне аккумуляции (у основания склона) – 39,7 т с 1 га в год. Видно, что смыв в области сильновыпаханных почв сравним со смывом на слабовыпаханных почвах, но расположенных в области больших уклонов. Смыв в точках пересечения русла ручья с тальвегами свально-развальных борозд вырастает до 75,5–82 т с 1 га в год. Вывод: смыв почвы

на сильновыпаханных участках сельскохозяйственных полей сравним со смывом на слабовыпаханных почвах, но расположенных в зоне больших уклонов поверхности. Дискуссионным остается предположение об увеличении водной эрозии с увеличением степени выпханности почв.

Таблица 1. Потери почвы вследствие водной эрозии

точка	Степень выпханности, баллы	Уклон, %	Смыв, тонн с 1 га в год	Зона аккумуляции (смыва)	Выпаханность
244150	9,3	3–6	39,7	аккумуляции	слабовыпаханные
244151	9,3	3–6	82	смыва	слабовыпаханные
244152	9,3	3–6	75,5	смыва	слабовыпаханные
244153	9,3	3–6	61,3	смыва	слабовыпаханные
244155	15,3	1–2	67,2	смыва	сильновыпаханные
244157	15,3	1–2	62,4	смыва	сильновыпаханные

Т.В. Турутина

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт»,
г. Санкт-Петербург*

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНОГО ВИДА ЛАЗЕРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРОБ РЕЧНЫХ НАНОСОВ

В настоящее время существует большое количество лазерных анализаторов, которые быстро и качественно определяют гранулометрический состав взвешенных частиц различной крупности в диспергированных смесях. Эти приборы нашли широкое применение во многих отраслях хозяйства и науки. Применение таких анализаторов для определения гранулометрического состава грунтов разных видов, а также речных наносов рассматривалось множеством авторов. Целью этой работы является сравнение результатов определения гранулометрического состава проб речных наносов на разных лазерных дифрактометрах. Возникают большие разногласия в определении гранулометрического состава наносов методом лазерной дифракции и гидравлическими методами определения гранулометрического состава, которые были ранее разработаны, приняты и используются у нас в стране. К этому стоит еще добавить вопрос о критериях оценки использования тех или иных характеристик лазерных анализаторов для этого вида обработки проб наносов. По своим техническим характеристикам и назначению все лазерные анализаторы разные. Метод лазерной дифракции это технология, которая определяется стандартом ISO 13320:2020. Анализ размера частиц – Методы лазерной дифракции. Большинство приборов ориентированы на процесс контроля за качеством мелкодисперсных смесей, например в фармацевтической, лакокрасочной, косметической и пищевой промышленности. Также они имеют разные диапазоны измерения частиц, используют лазеры разного вида и их количество. Результаты анализа представляются обычно в виде графиков и таблиц с интегральным объемным распределением частиц по размеру. В разных источниках (статьях) можно найти несоответствия по определению процентного содержания фракций различной крупности методом лазерной дифракции и другими методами определения гранулометрического состава. При определении процентного содержания мелких фракций (менее 0,01 мм) методом лазерной дифракции возникает существенное занижение из-за того, что более крупные частицы затеняют более мелкие. Также возникают и большие несоответствия при определении процентного содержания песчаных фракций (крупнее 0,1 мм) из-за быстрого их осаждения. Кроме того в определении гранулометрического состава важную роль играют количество анализируемого материала, поступившего в прибор для анализа, а также параметры самой кюветы (емкость, куда помещается проба для анализа).

Л.А. Турыкин, Н.М. Михайлова, К.М. Беркович

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

МНОГОЛЕТНИЕ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОПЛЕСОВ В ПЕРИОДЫ С РАЗЛИЧНОЙ ВОДНОСТЬЮ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЙ ОКИ)*

Техноплесом предлагается называть протяженный участок реки, переуглубленный в результате многолетней русловой добычи общераспространенных полезных ископаемых, представляющий собой череду карьеров различного возраста, разделенных относительно короткими останцами бытового русла.

Особенности трансформации техноплесов верхней Оки в зависимости от водности многолетнего периода рассмотрены на примере серии русловых карьеров, расположенных на участке с. Бунырево – д. Ладыжино (между городами Алексин и Таруса). В настоящее время исследованный участок в целом представляет собой глубокий техноплес, образованный чередой карьеров (действующих и отработанных), разделенных останцами нескольких перекатов – Буныревского, Вашанского, Егнышевского, Ладыжинского.

Трансформация русла на обследованном участке происходит под воздействием техногенных факторов и естественных русловых процессов. К техногенным факторам относятся русловая добыча строительных материалов и путевые дноуглубительные и выправительные работы. Естественные русловые процессы включают размыв, перемещение и отложение руслообразующих наносов. Береговая линия при этом в целом стабильна.

Рассмотрены вертикальные русловые деформации данного участка за два периода 2013–2021 гг. и 2021–2024 гг. Средний многолетний расход воды на опорном гидрологическом посту в г. Калуге имеет величину 294 м³/с. Период с 2013 по 2020 г. можно рассматривать как маловодный (за исключением 2013 г.) – средний расход за этот отрезок времени составил 220 м³/с, а без 2013 г. – 200 м³/с, т.е. был заметно меньше среднего многолетнего значения. Период 2021–2024 гг. напротив относится к многоводным – средний годовой расход воды – 423 м³/с, значительно превышает средний многолетний расход.

За период 2013–2020 гг. согласно официальной справке от добывающей организации на участке добыто около 913 тыс. м³ нерудных строительных материалов (НСМ), что составляет 114 тыс. м³ /год. Суммарный объем путевых дноуглубительных работ составил 237,4 тыс. м³. За период 2021–2024 гг. суммарно добыто 537 тыс. м³ ПГМ (134 тыс. м³/год). Суммарный объем дноуглубления – 52,4 тыс. м³. Как видим, ежегодные объемы безвозвратного изъятия руслообразующего материала в процессе добычных работ за рассматриваемые периоды имели достаточно близкие значения.

Трансформация русла исследована путем компьютерного анализа цифровых моделей руслового рельефа (ЦМР), построенных по данным русловых съемок 2013, 2021 и 2024 гг. Во всех случаях рассматривался участок реки в закрепленных границах протяженностью 17 км при проектном уровне воды.

Установлено, что в течение рассматриваемых периодов на участке протекали как отрицательные (понижение), так и положительные (повышение) вертикальные деформации. Они состояли в глубинной эрозии на перемычках между карьерами, отложении руслообразующих наносов в днище старых карьеров и на прирусловых отмелях, а также в трансформации подводных склонов под воздействием гравитационных процессов.

За период 2013–2021 гг. на всем участке месторождения преобладало понижение отметок дна, в результате чего общий объем русла увеличился на 1 453 тыс. м³ (17,5%), из которых не менее 913 тыс. м³ удалено в результате добычи НСМ. Средняя глубина возросла на 0,6 м. При этом объем аккумуляции составил 320 тыс. м³. Следствием общего углубления русла явилась посадка уровней со средней величиной 0,1 м (около 2 см/год).

В период 2021–2024 гг. в отличие от предшествующего на рассматриваемом участке происходила мощная аккумуляция наносов в отработанных карьерах, вследствие которой объем русла в закрепленных границах уменьшился на 883 тыс. м³ (6,8%), а средняя глубина – на 0,3 м. Объем аккумуляции составил 1 325 тыс. м³. Незначительная глубинная эрозия по-прежнему наблюдалась на перемычках между карьерами. Изменения продольного профиля меженной водной поверхности за последний период имели весьма незначительную величину (+/- 2 см) и разнонаправленный характер, что говорит об его относительной стабильности.

Анализ многолетних деформаций технопlesa на примере верхней Оки показал, что в многоводный период имеет место активное занесение русловых карьеров и стабилизация меженных уровней водной поверхности, несмотря на продолжающуюся добычу НСМ. Напротив, в маловодный период отложение наносов в карьерах технопlesa происходит в незначительном объеме, что не препятствует постепенному понижению меженных уровней воды.

Таким образом, режим русловых переформирований технопlesa имеет особенности, характерные для большинства перекатов, а именно – аккумуляция наносов происходит преимущественно при большой водности потока. Это можно объяснить унаследованностью формы русла технопlesa от существовавшего на его месте перекатного участка.

* Статья подготовлена по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (проект 121051200166-4).

А.Б. Умарова, Л.И. Аракелова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ПРОЧНОСТЬ ПОЧВЕННОЙ СТРУКТУРЫ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ПРИРЕЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Большинство городов России располагается на территориях приречных ландшафтов. Почвенный покров данных территорий зачастую подстилается древними и современными аллювиальными отложениями, с одной стороны, а с другой является в сильной степени измененным в результате антропогенной деятельности. Вопрос устойчивости городских почв к антропогенной нагрузке является весьма актуальным и комплексным, т.к. связан с задачами использования почв как при проведении строительных работ и озеленении, так и для анализа экологической ситуации урбанизированной среды, в том числе, оценки рисков миграции тонких почвенных фракций водными и воздушными потоками. В условиях приречных террас и пойм конвективно переносимые частицы почвы, зачастую загрязненные различными поллютантами, проходят короткий путь к водосбору. Отметим и то, что на территориях городов ведется активная и регулярная работа коммунальных служб, включающая, в том числе, механическое воздействие на почву и растительный покров, периодически обнажающее поверхность почв и тем самым увеличивающее вероятность смыва почвы и возникновения эрозионных процессов. Известно, что противоэрозионная устойчивость почвы определяется размером слагающих ее агрегатов и зависит от их микроструктурности. Одним из современных методов анализа устойчивости микроструктуры почв к механическому воздействию является ее реологическое поведение. Реологические параметры, по мнению многих авторов, позволяют исследовать трансформацию структуры почв, анализировать ее устойчивость в разных условиях и состояниях.

Объектами нашего исследования явились почвы городов Сыктывкар, Москва, Краснодар, Сочи, расположенные на террасах рек Вычегда, Москва, Кубань, Шахе, соответственно. Были исследованы парковые почвы под древесной растительностью и урбаноземы под травянистой, расположенные в каждом городе на близком расстоянии друг от друга. В почвенных образцах был определен ряд физических, химических и реологических свойств. Содержание общего углерода почв – на экспресс-анализаторе АН-7529, гранулометрический состав – на приборе Mastersizer 3000e (Malvern, UK) с предварительной ультразвуковой диспергацией. Реологические параметры просеянных через сито 1 мм образцов почв после суточного капиллярного увлажнения определялись методом амплитудной развертки на модульном компактном реометре MCR-302 (Anton Paar, Австрия) в трехкратной повторности. Определены: начальный модуль накопления (модуль упругости), G' (Па); диапазон линейного вязкоупругого состояния – LVE-range (%); точка пересечения модулей накопления (упругости) и потерь (вязкости) – точка начала области вязкого течения Crossover и коэффициент потерь $\tan \delta$, количественно классифицирующий деградацию жесткости образца. Анализ данных вели по средним величинам.

По начальному модулю упругости образцы урбаноземов показали большую прочность и стабильность, нежели парковые. Диапазон вязкоупругого состояния оказался самым высоким в обоих вариантах почв г. Краснодара. Самый высокий процент деформации перед переходом в вязкое течение имел образец урбанозема г. Сочи. Парковые почвы всех исследуемых городов обнаружили слабую дифференцированность по этому признаку. Отметим и то, что почвы г. Краснодара независимо от типа землепользования имели наименьшие показатели по данному признаку, свидетельствующие о хрупкости межчастичных связей, а значит, наиболее уязвимые к механическому воздействию. Наибольшей устойчивостью микроструктуры отличился урбанозем г. Сочи.

А.Г. Федоренко, Н.П. Черникова, В.Р. Попов

Южный федеральный университет

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И УЛЬТРАСТРУКТУРНЫЕ АДАПТАЦИИ КОРНЕЙ И ЛИСТЬЕВ ТЫСЯЧЕЛИСТНИКА (*ACHILLEAMILLEFOLIUM*), ПИЖМЫ (*TANACETUM* L) И ПОЛЫНИ (*ARTEMISIA* L) К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ*

Проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами приобретает все большую значимость в условиях индустриализации и антропогенного давления, оказывая негативное воздействие на рост и развитие. Особое значение имеют исследования морфологических и клеточных реакций у видов растений, обладающих лекарственными свойствами. Тысячелистник (*Achillea millefolium*), пижма (*Tanacetum* L) и полынь (*Artemisia* L) являются широко используемыми в медицине и фармакологии лекарственными растениями. Изучение их адаптации к загрязненной среде важно не только для оценки экологической устойчивости этих видов, но и для предсказания изменений их фармакологической ценности и потенциальных рисков для здоровья при сборе сырья с загрязненных территорий. Выявленные адаптивные механизмы имеют значение не только для биологии и экологии, но и для прикладной фитотерапии и фармакогнозии, ориентированной на получение качественного лекарственного растительного материала.

Целью работы являлось: методами световой и электронной микроскопии оценить и сопоставить морфологические и ультраструктурные изменения корней и листьев у *Achillea millefolium*, *Tanacetum* L и *Artemisia* L под действием загрязнения тяжелыми металлами с последующей оценкой их вклада в формирование адаптационного потенциала и поддержание жизнеспособности растений в стрессовых условиях.

Отбор растительных образцов проводили на наиболее загрязненной тяжелыми металлами (Zn, Pb, Cd, Ni) площадке мониторинга, расположенной в зоне воздействия теплоэнергетической промышленности – Новочеркасской ГРЭС. Контрольные образцы отбирали на особо охраняемой природной территории «Персиановская заповедная степь».

Для микроскопических исследований использовалось оборудование ЦКП «Современная микроскопия» ЮФУ: ультрамикротом LeicaEMUC6 (Leica, Австрия), светооптический микроскоп (МИКМЕД6, ЛОМО, Россия), трансмиссионный электронный микроскоп TecnaiG2 SpiritBioTween (FEI, Netherlands). Гистологическая обработка растительных материалов производилась по традиционным методикам.

Исследование показало, что корни и листья полыни (*Artemisia* L), тысячелистника (*Achillea millefolium*) и пижмы (*Tanacetum* L), произрастающих на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, претерпевали характерные адаптивные изменения. У всех видов отмечалось увеличение площади сечения корней, утолщение клеточных стенок в разных слоях (эпиблема, паренхима, эндодерма), а также менее упорядоченное размещение клеток ксилемы и флоэмы. В листьях у диких растений наблюдалось уменьшение количества клеток в ассимиляционной паренхиме, дезорганизация их расположения и ухудшение состояния кутикулы, что в целом способствовало лучшему газообмену и устойчивости к стрессу. Дополнительно у части видов в проводящих тканях листа увеличивался диаметр сосудов, что способствовало более эффективно-му транспорту воды и питательных веществ, а в склеренхиме утолщались стенки, повышая механическую прочность.

На субклеточном уровне клетки исследованных растений сохраняли в целом нормальную структуру: ядра, митохондрии, вакуоли и цитоплазма оставались функционально полноценными, однако появлялись отдельные признаки стресса. К ним относились: небольшая деформация ядер, фрагментация хроматина, уменьшение крупных центральных вакуолей и появление дополнительных вакуолей, что связано с активацией детоксикационных процессов; также встречались электронноплотные либо хлопьевидные включения. Митохондрии были слегка изменены, но сохраняли работоспособность, а лизированные остатки в вакуолях свидетельствовали об усилении процессов утилизации метаболитов.

Полученные данные свидетельствуют о высокой пластичности и адаптационном потенциале полыни, пижмы и тысячелистника при воздействии загрязнения тяжелыми металлами. В большинстве случаев морфо-анатомические изменения и незначительные ультраструктурные перестройки органелл позволяют этим видам сохранять жизнеспособность и основные физиологические функции. Особый интерес представляет устойчивость лекарственных растений к стрессу, поскольку сохранение целостности органелл, стабильности физиологических процессов и компенсаторная перестройка тканей служат гарантией дальнейшего использования этих видов в фармакогнозии. Тем не менее зафиксированные изменения могут влиять на содержание биологически активных веществ, что требует дальнейшего изучения. Важно, что даже в условиях загрязнения полынь, пижма и тысячелистник продолжают демонстрировать способность к эффективному

* Проект Министерства науки и высшего образования РФ НОЦ Юга России (FENW-2024-0001).

адаптивному ответу, что подтверждает их перспективность для выращивания на проблемных территориях и возможности использования в фиторемедиации.

Исследование показывает, что полынь, пижма и тысячелистник способны адаптироваться к загрязнению тяжелыми металлами, отраженному в комплексе морфологических и ультраструктурных изменений тканей и клеток. Важнейшие физиологические и структурные показатели сохраняются на уровне, обеспечивающем жизнеспособность растений и их потенциальную фармакологическую ценность. Эти свойства делают полынь, пижму и тысячелистник перспективными для фитотерапии и биорекультивации, однако для гарантии безопасности сырья требуется дальнейший химический мониторинг и оценка влияния загрязнения на накопление активных компонентов.

Е.А. Фингерт

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

СЕТЕВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ МУТНОСТИ В БАССЕЙНЕ Р. ЛЕНЫ*

Бассейн Лены в гидрологическом плане изучается уже более ста лет. Сетевые наблюдения за уровнем воды начаты с 1913 г. на нескольких постах, однако единичные измерения высотно не увязаны с измерениями, публикуемыми в гидрологических ежегодниках. Измерение взвешенных наносов начинается с 1936 г. в бассейне Лены на постах Лена-Грузновка и Лена-Змеиново. В 1937 г. открыты Лена-Качуг, Тутура-Грехова, Киренга-Шорохово, Илга-Половинное. В 1938–1939 гг. открылось еще 7 постов, измеряющих сток взвешенных наносов. В 1940 г. происходит смена метода обработки расхода взвешенных наносов с аналитического на графо-механический метод. В первое десятилетие несколько раз происходила смена измерительных приборов – использовались разные виды батометров. В годы Великой Отечественной войны произошло сокращение пунктов наблюдения до 5. Начиная с 1950 г. гидрометрическая сеть неуклонно росла, достигнув 58 гидрометрических постов в 1987 г. Существенное сокращение сети наблюдений произошло после распада СССР, ежегодники перестали публиковаться. Современные данные о стоке наносов доступны на сервисе АИС ГМВО с 2008 г. По состоянию на 2022 г. расход взвешенных наносов определяется на 33 гидрометрических постах. На рис. 1 приведены данные о продолжительности измерений расходов взвешенных наносов по постам в бассейне Лены на 2020 г.

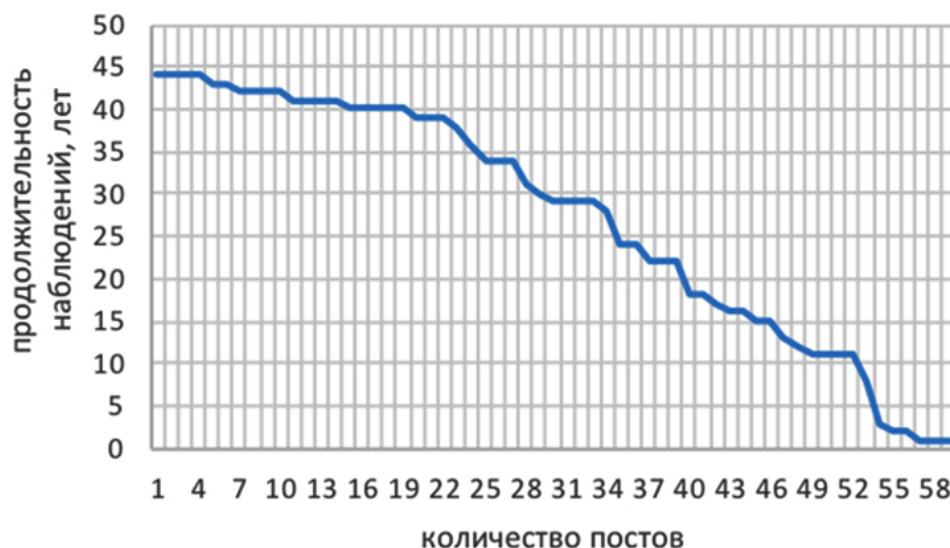


Рис. 1. Продолжительность рядов наблюдений за стоком наносов на постах в бассейне р. Лены

Бассейн Лены характеризуется невысокой мутностью. Среднегодовые ее значения не превышают 50–60 г/м³. Однако горнодобывающая деятельность в ее бассейне, а также климатические изменения, связанные с влиянием на эрозию распространения многолетнемерзлых пород, сделали бассейн Лены уникальным полигоном для изучения изменений мутности. Установлено, что начиная с середины 1980-х гг. резко уменьшился расход взвешенных наносов в бассейне Алдана (в 1,5–5 раз), при небольшом увеличении стока воды. Объясняется такая тенденция сокращением горнодобывающей деятельности в 90-е гг., а с ее возрождением в 2000-х гг. изменилась степень ее влияния ввиду более строгих природоохранных ограничений. Бассейн Вилуя характеризовался низким стоком наносов, ввиду распространения в бассейне трудноразмываемых вулканических базальтов, туфов и известняков, многолетнемерзлых пород, малого количества осадков в летне-осенний период, залесенности водосбора. После строительства в бассейне Вилуя Вилуйского и Светлинского водохранилищ сток наносов сократился до менее 10–15 г/м³. Более пестрое распределение мутности на Верхней Лене, что возможно связано с большим количеством постов (около половины). Фоновое значение мутности, около 20 г/м³, объясняется более благоприятной эрозионной обстановкой в бассейне – больше уклоны склонов, мерзлота островная или отсутствует, большее количество среднегодовых осадков. Существенно выделяется мутность в бассейне Витима и Чары (40–60 г/м³) с активной горнодобывающей деятельностью и повсеместным переформированием русел.

В гидрологических ежегодниках точность измерения мутности воды оценивается в 10–30%. Основываясь на описании гидрологических постов и пояснениях к разделам «Мутность воды» и «Расходы взвешен-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 23-17-00065).

ных наносов» в ежегодниках, был составлен перечень причин увеличения погрешности измерений. Одной из часто упоминающихся причин является нарушение методики отбора пробы – отбор у берега. Бассейн Лены характеризуется невысокими значениями мутности, поэтому часто встречается проблема малого навеска или недостаточного объема пробы. С увеличением количества проб уточняются графики связи расхода воды и взвешенных наносов, в связи с чем происходит изменение переходных коэффициентов от единичной пробы к средней. В ежегодниках также встречается «нарушение стока наносов хозяйственной деятельностью» в такой формулировке или с уточнением – размыв грунта у береговых насыпей и устоев автомобильного моста (Алдан-Томмот, 1983–93 гг.), попуски ГЭС (Вилуй-Сюльдюкар, 1987 г.), эксплуатация угольного карьера (Верхняя Нерюнга-Нерюнгри, 1987–88 гг.), землечерпание. До 1967 г. в ежегодниках публиковали измеренные расходы взвешенных наносов с указанием доли органического вещества, которая в отдельных измерениях достигала более половины пробы. С 1967 г. публикуются только осредненные по декадам мутность и расход взвешенных наносов. Большая дискретность измеренных расходов наносов вносит свою погрешность – пропускаются пики, отбор ведется зачастую только в период открытого русла, что ведет к неосвещенности всей амплитуды изменения мутности измерениями. Также в бассейне Лены зафиксированы случаи переноса поста и влияние на мутность русловых переформирований, когда произошло рассредоточение стока между протоками (Лена-Табага, 1945 г.).

Сокращение сети наблюдений, а также недостатки методики делают перспективным привлечение других способов измерения стока взвешенных наносов (например, ADCP), а также применение статистических и спутниковых методов для экстраполяции средней мутности на неизученные районы бассейна.

Е.С. Фруль, А.Н. Червань

Белорусский государственный университет

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ СМЫВА ПОЧВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА РАЗЛИЧНЫХ РАЗРЕШЕНИЙ

Рациональное использование почвенно-земельных ресурсов – приоритетное направление устойчивого развития и обеспечения продовольственной и экологической безопасности. Проявление эрозионных процессов приводит к ежегодной потере 35,9 млрд т почвенного мелкозема. В Республике Беларусь водной эрозии подвержено 473,3 тыс. га, из них 268,3 тыс. га (57%) составляют слабосмытые почвы, 120,0 тыс. га (25%) – среднесмытые почвы, 20,2 тыс. га (4%) – сильносмытые почвы и 64,7 тыс. га (14%) – намытые почвы.

Для моделирования пространственной картины темпов водной эрозии был выбран ключевой участок пашни в Барановичском районе Брестской области площадью 93,9 га. На участке представлены ключевые особенности рельефа Новогрудской возвышенности.

Моделирование темпов ливневой эрозии с чистой почвы выполняли по модели семейства USLE.

$$W = R \times K \times LS \times C \times P, \quad (1)$$

R – Эрозионный потенциал осадков. Согласно схематической карте эрозионного потенциала дождей осадков имеет значения, близкие к 8.

C – Эрозионный индекс культур или севооборота был принят за 1 для голой почвы.

K – Фактор эродированности почв.

LS – это совокупный коэффициент, учитывающий влияние рельефа на эрозию почвы.

Из всех представленных эрозионных факторов самым разнообразным по источникам открытых данных является рельеф. При расчете LS -фактора использовались различные источники данных:

- глобальная ЦМР FABDEM пространственное разрешение 30 м.
- ЦМР, созданная на основе радиолокационных снимков с аппарата Sentinel-1c пространственным разрешением 10 м.
- данные лидарной съемки, выполненные на участке с использованием лазерного сканера DJI Zenmuse L1, разрешение 1 м.

Для получения растровых моделей параметров рельефа для расчета использовали модуль Spatial Analyst программы ArcGIS Pro, в частности пакеты инструментов наборы Surface, Hydrology, MapAlgebra (табл. 1).

Таблица 1. Средневзвешенные значения эрозионных факторов

Осадки: R -фактор	8
Почвы: K -фактор	3,54
Растительность: C -фактор	1
Рельеф: LS -фактор	
FABDEM	0,92
Sentinel-1	0,89
LiDAR	0,76
Среднегодовые темпы почвенных потерь W , т/га/год	
FABDEM	32,4
Sentinel-1	31,1
LiDAR	26,6

Сравнение результатов расчета с данными лидарной съемки показывает схожее распределение ошибок как у FABDEM, так и Sentinel-1. У обеих моделей наблюдаются завышенные значения на участках склона ниже массивов древесно-кустарниковой растительности. Средневзвешенные значения эрозионных факторов приведены в таблице. Расчетные темпы ливневой эрозии для ключевого участка представлены на рис. 1.

Интеграция данных различных цифровых моделей рельефа позволяет не только оперативно оценивать пространственную динамику водной эрозии, но и значительно повышать точность прогнозов при условии калибровки и коррекции ошибок, возникающих при использовании данных с разным разрешением. Такой подход открывает перспективы для создания надежных систем мониторинга эрозионных процессов, что является важным элементом в разработке управленческих решений по адаптивно-ландшафтному земледелию и устойчивому использованию почвенно-земельных ресурсов.

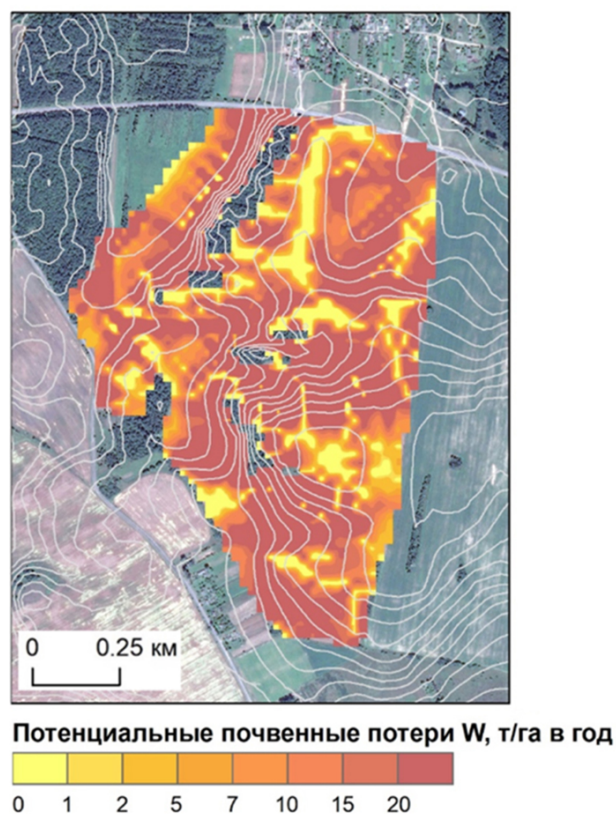


Рис. 1. Пространственная модель среднегодовых почвенных потерь от ливневой эрозии с чистой почвы (на основе ЦМР FABDEM)

Разработка алгоритмов для автоматической интеграции данных с разных сенсоров на региональном уровне, а также оценка влияния сезонных и климатических изменений на динамику эрозии позволит не только улучшить точность моделирования, но и создать эффективные инструменты для предупреждения деградации земель в агроландшафте.

Е.М. Хакунова

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, г. Нальчик

ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПАХОТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Горные черноземы залегают на отрогах Лесистого и Скалистого хребтов, а также на склонах различной крутизны и экспозиции Мелового хребта, в границах Кабардино-Балкарской Республики они занимают площадь 845 км². Эти уникальные высокопродуктивные почвы активно используют под пашню, т.к. сельское хозяйство – важнейшая отрасль экономики Кабардино-Балкарии. Многолетняя обработка стала причиной формирования пахотного горизонта (0–20 см), свойства которого изменились в наибольшей степени.

Для оценки влияния пахотной нагрузки на горные черноземы изучили показатели биологической активности: содержание гумуса, каталитическую деятельность окислительно-восстановительных (дегидрогеназа, каталаза) и гидролитических (инвертаза, фосфатаза, уреазы) ферментов, скорости базального и субстрат-индуцированного дыхания. Сопоставление и статистический анализ данных, характеризующих верхние горизонты (0–20 см) всех подтипов целинных и обрабатываемых горных черноземов, позволяют учесть пространственную динамику контролируемых показателей, с помощью которых можно проследить основные закономерности и тенденции изменения почвенных свойств, вызванных многолетним пахотным воздействием.

Таблица 1. Средние показатели БА естественных и пахотных ГЧ (0–20 см) исследуемых территорий

Показатели	Горные черноземы обыкновенные (15/16)	Горные черноземы типичные (18/18)	Горные черноземы выщелоченные (18/18)
pH (H ₂ O)	<u>8,2±0,07</u> 8,1±0,06	<u>7,9±0,13</u> 7,8±0,14	<u>7,9±0,11</u> 7,7±0,15
Содержание гумуса, %	<u>5,9±0,37</u> 8,1±0,33	<u>6,8±0,34</u> 9,5±0,52	<u>6,5±0,53</u> 10,2±0,69
Дегидрогеназа, мг ТФФ10г/24ч	<u>7,0±0,7</u> 12,7±1,4	<u>4,8±0,6</u> 9,3±0,7	<u>7,3±1,3</u> 10,6±0,9
Каталаза, O ₂ /1г/1мин	<u>3,9±0,4</u> 6,3±0,5	<u>4,7±0,3</u> 7,6±0,6	<u>4,8±0,4</u> 6,3±0,3
Инвертаза, мг глюкоз/1г/24ч	<u>5,8±0,5</u> 18,6±3,3	<u>5,9±0,6</u> 15,2±2,2	<u>8,3±1,1</u> 23,4±3,7
Уреазы, мг NH ₃ 10г/24ч	<u>17,8±1,5</u> 47,9±4,2	<u>17,4±3,3</u> 38,7±5,6	<u>16,5±2,0</u> 55,2±8,8
Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ /100г/1ч	<u>10,5±0,5</u> 22,4±0,9	<u>11,8±0,6</u> 25,1±1,6	<u>11,4±0,6</u> 26,5±1,7
Скорость БД, мкг CO ₂ /1г/ч	8,5±0,9 16,1±1,5	7,0±0,6 17,3±1,9	7,1±0,6 16,5±2,1
Скорость СИД, мкг CO ₂ /1г/ч	54,8±2,8 99,6±9,1	55,2±3,3 86,8±7,3	58,3±4,4 93,2±6,7

Примечание: над чертой показатели пахотных почв, под чертой естественных.

Согласно данным (табл. 1), слабощелочные условия являются наиболее типичными для всех подтипов горных черноземов исследуемых территорий. Сравнение кислотно-щелочных условий в верхних горизонтах обрабатываемых и естественных почв свидетельствует, что статистически значимых различий в значениях pH(H₂O) между генетическими аналогами не обнаружено (t>1,23; p<0,92). Имеет место некоторая тенденция к повышению значений pH(H₂O) в пахотных горизонтах для всех подтипов горных агрочерноземов. Снижение содержания гумуса в пахотных горизонтах на 27–36%, по сравнению с их целинными аналогами, является статистически значимым для всех подтипов (t>4,25; p<0,0001). Анализ деятельности контролируемых ферментов указывает, что определенное снижение активности биохимических процессов в пахотных горизонтах наблюдается для всех сравниваемых значений. Для каталазы наблюдается одинаковый – средний уровень активности в целинных и пахотных аналогах, но при обработке

происходит снижение ее активности на 24–38%, установленные различия статистически значимы ($t>3,6$; $p<0,0001$). Деятельность дегидрогеназы ослабляется в результате пахотного воздействия более заметно, на 31–48%, а в обыкновенных агрочерноземах активность изменяется от средней градации – до слабой. Установленные различия каталитической функции дегидрогеназы также достоверны для всех изученных подтипов горных черноземов ($t>2,6$; $p<0,04$). Активность инвертазы снижается от средней до слабой (на 61–69%), уреазы – от высокой до средней (на 55–70%), фосфатазы – от средней до слабой (на 53–57%). Выявленные различия статистически значимы для всех гидролитических ферментов ($t>2,08$; $p<0,01$). Уменьшение респираторной активности почвенной микробной биомассы – индикатор нарушения состояния микробоценозов антропогенно нарушенных почв. Анализ полученных данных доказывает, что в результате пахотного использования горных черноземов происходит снижение всех представленных микробных характеристик. Выявлено ослабление интенсивности БД на 47–60%, которое является статистически значимым для всех изученных подтипов горных черноземов ($t>4,33$; $p<0,0001$). Это свидетельствует о том, что происходит ухудшение состояния почвенных микробных сообществ и снижение численности микроорганизмов в агрогенных почвах. Показатели скорости СИД, характеризующие физиологический потенциал микробной биомассы, уменьшаются в пахотных почвах на 35–45%. Обнаруженные различия статистически значимы для всех подтипов горных черноземов ($t>4,44$; $p<0,00007$). Таким образом, многолетняя обработка горных черноземов привела к формированию пахотных горизонтов, параметры биологической активности которых существенно ниже, чем в целинных почвах.

Р.Ф. Хасанова^{1,2}, Н.Р. Сулейманов¹, Я.Т. Суюндуков¹

¹Уфимский университет науки и технологий

²Опытная станция «Уфимская» УФИЦ РАН

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКИ ТАНАЛЫК В ЧЕРТЕ ГОРОДА БАЙМАК (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

Шлаковые отходы, сформированные в результате деятельности предприятий цветной металлургии, являются техногенными объектами, оказывающими негативное влияние на окружающую среду. Они представляют собой источники экотоксикантов, которые попадают в атмосферу, водные объекты и почвенный покров.

Зауралье Республики Башкортостан относится к зоне с низкой обеспеченностью водными ресурсами. На территории развита горнорудная промышленность, деятельность которой привела к загрязнению различных компонентов окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ). Техногенному загрязнению в Баймакском районе подвергается и р. Таналык, являющаяся правым притоком р. Урал. По данным ряда авторов, основными загрязнителями р. Таналык являются ионы меди, железа, цинка, марганца, концентрация которых на всем протяжении реки многократно превышает значение допустимых уровней. Экологическое состояние реки на территории республики в значительной степени определяется влиянием отработанного карьера Куль-Юрт-Тау, действующих предприятий г. Баймак, ЗАО «Бурибаевский ГОК», ОАО «Хайбуллинская горная компания», ОАО «Башкирское шахтопроходческое управление». На состояние реки в условиях г. Баймак оказывают влияние деятельность предприятий ОАО «Баймакский литейно-механический завод», Баймакское ДРСУ филиал ОАО «Башкиравтодор», НАО «Башкирское шахтопроходческое управление», сбросы коммунальных хозяйств; забор воды на орошение. Поэтому проведение исследований по содержанию токсичных элементов в воде р. Таналык является актуальной проблемой.

Баймакский литейно-механический завод является градообразующим предприятием, занимающимся литьем чугуна и цветных металлов, изготавливает запасные части и оборудование для горной промышленности. Образованные в ходе деятельности завода более 1 млн т отходов в виде шлака расположены в центре города на территории завода и непосредственно соприкасаются с водой р. Таналык.

Целью исследований явилось исследование пространственной изменчивости содержания ТМ в воде р. Таналык в черте г. Баймак.

Объектом исследования был выбран участок реки в г. Баймак протяженностью 2500 м. Для этого были заложены пять пробных площадок (ПП): ПП1 расположена на уровне улицы Пименова (городской парк); ПП2 – район шлаковых отвалов, где вода непосредственно соприкасается с отходами; ПП3 – на уровне улицы Ленина у шлюзов реки рядом с Баймакским литейно-механическим заводом; ПП4 – на уровне улицы Набережная, д. 47; ПП5 – на уровне улицы Куйбышева, д. 58 (водосток Баймакского дорожно-строительного управления).

Отбор проб воды осуществлялся согласно государственным стандартам Российской Федерации ГОСТ Р 51592–2000. Определение содержания ТМ проводилось методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Оценка загрязнения воды осуществлялась путем сравнения с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) и СанПиН 1.2.3685–21.

Результаты химического анализа показали, что вода р. Таналык на исследуемой территории загрязнена медью, цинком, железом и марганцем во всех точках отбора (рис. 1).

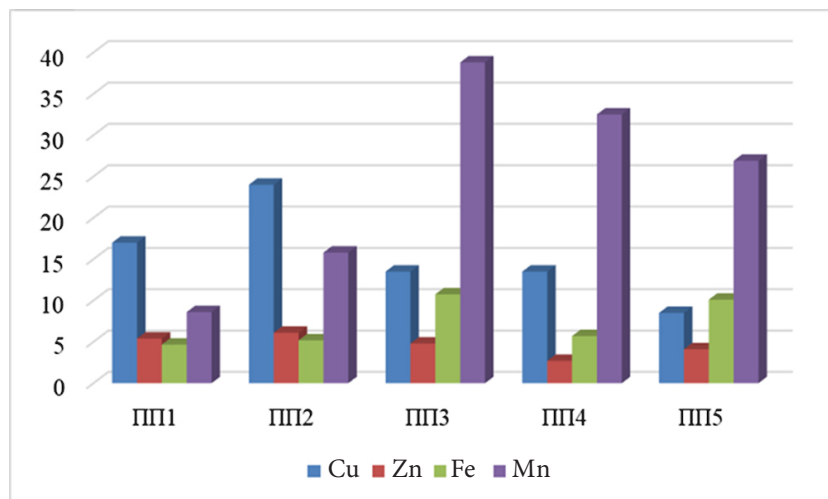


Рис. 1. Кратность превышения нормативов (ПДК_{рыб.хоз}) по содержанию ТМ в р. Таналык в черте г. Баймак Республики Башкортостан

Содержание Си в воде в исследуемых пробах реки варьировало в пределах от 0,01 до 0,032 мг/дм³, превышая ПДКрыб/хоз от 8,5 до 24 раз. Наибольшее значение было отмечено в ПП2, где превышение норматива составило 24 раза. Содержание Zn было также высоким на всех пробных площадках, превышение ПДКрыб/хоз составило от 2,7 до 6,1 раза, наибольшая концентрация зафиксирована в ПП2. Превышение ПДКрыб/хоз по железу и марганцу составило 4,6÷10,7, Mn – 8,6÷38,8 раза соответственно с наибольшим содержанием элементов в ПП3.

Сравнение полученных данных с нормативами воды хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования показало, что во всех пробных площадках отмечено превышение нормативов по железу и марганцу: концентрации Fe превышают уровень ПДКкуль.быт (0,03 мг/дм³) в 1,9÷4,3 раза, по Mn (ПДКкуль.быт 0,01 мг/дм³) – в 2,6÷3,8 раза.

Таким образом, вода р. Таналык в черте г. Баймак загрязнена медью, цинком, железом и марганцем. Наибольшее загрязнение отмечено на участке реки в непосредственной близости от отвалов Баймакского литейно-механического завода.

Н.И. Цепина, С.И. Колесников

Южный федеральный университет

ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЧНОСТИ ГЕРМАНИЯ ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ*

Германий (Ge) является ценным химическим элементом для технологической сферы. За последние годы Ge все чаще применяется в различных отраслях высокотехнологичной промышленности: при создании волоконной и инфракрасной оптики, а также в качестве катализаторов полимеризации при производстве полиэтилентерефталата (ПЭТ). В почвах, загрязненных отходами горнодобывающей промышленности, содержание Ge от 1,45 до 7,91 мг/кг. Поскольку предельно допустимые концентрации (ПДК) Ge в почве не разработаны, то актуальным представляется проведение комплексной оценки экотоксичности Ge по биологическим показателям состояния почв и установление экологически безопасной концентрации Ge в почве. В качестве объекта исследования были выбраны черноземы обыкновенные, поскольку они играют огромную роль в производстве сельскохозяйственной продукции, поэтому снижение их плодородия в результате загрязнения крайне нежелательно. В лабораторном эксперименте при помощи методов биодиагностики была оценена экотоксичность 3, 30 и 300 фоновых концентраций Ge на 10, 30 и 90 сутки. Все исследуемые показатели были включены в расчет интегрального показателя биологического состояния почвы (ИПБС).

При загрязнении Ge диагностировали очередность нарушения экосистемных функций почвы по степени снижения ИПБС. Доза элемента, под влиянием которой происходит нарушение целостных функций почвы, характеризующих степень плодородия почвы, определена как экологически безопасная концентрация Ge в данной почве.

С увеличением дозы Ge в почве экотоксический эффект влияния усиливался на следующие показатели: активность каталазы и дегидрогеназ, обилие бактерий рода *Azotobacter*, целлюлозолитическую активность, всхожесть и длину корней редиса. После загрязнения Ge почвы выявлена максимальная токсичность для показателей, исследуемых на 10 и 30 сутки. Показатель длины корней редиса проявил наибольшую чувствительность к загрязнению почвы Ge по сравнению с показателем активности дегидрогеназ. Наиболее сильная корреляция отмечена между содержанием Ge в почве и активностью каталазы. Установлена экологически безопасная концентрация Ge в почве – 6,5 мг/кг. Полученные результаты по оценке экотоксичности почв, загрязненных Ge, возможно использовать для диагностики экологического состояния почв.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности; проект № FENW-2023-0008.

В.С. Цицуашвили, М.В. Киричков, В.А. Шуваева, М.А. Кобцева

Южный федеральный университет

СТРУКТУРНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-МЕТАЛЛ-СОРБЕНТ» В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ*

Химическое загрязнение почв представляет собой глобальную мировую проблему, поскольку от этого зависит продовольственная и экологическая безопасность населения. В настоящее время актуальным становится нахождение способов очистки почв от опасных поллютантов. Для решения этого вопроса все большее внимание привлекает использование синтезированных сорбентов нового класса соединений (металл-органические каркасные структуры). В настоящем исследовании для разработки способов ремедиации техногенно загрязненных почв (хемоземов) был использован синтезированный композит MIL-100@NiFe₂O₄ с высокими сорбционными свойствами. Цель работы – установление параметров локального окружения и электронной структуры активных центров в системе «почва-металл-сорбент» с использованием синхротронных методов.

Эффективность сорбентов изучалась на техногенно загрязненных почвах. Для оценки влияния синтезированного сорбента на хемозем, отобранный на территории высохшего озера Атаманское, служащего шламонакопителем химического комбината (площадка № 57), и импактной территории комбината «Карабашмедь» (площадка № 2К), внесен композит MIL-100@NiFe₂O₄ в дозе 2% от общего объема почвы. Срок инкубации почв с сорбентом составил 90 дней при поддержании влажности почвы на уровне 60±2% от полной влагоемкости. Рентгеноструктурные и дифракционные исследования образцов почв и сорбентов проводились на станции КИСИ «Белок / XSA» Курчатовского источника синхротронного излучения (НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва).

Методом рентгеновской дифракции были проанализированы образцы хемоземов без и с добавлением сорбента. Образец хемозема (Карабаш) помимо типичной для всех образцов группы терригенных минеральных фаз (кварц, пироксен), имеет в своем составе легко растворимые серосодержащие фазы: вюрцит (ZnS) и сульфат цинка (ZnSO₄). Образец хемозема (Атаманское) отличается присутствием в своем составе вюрцита и оксида цинка (ZnO), а также сульфита, что согласуется с данными, полученными методом рентгеновской спектроскопии поглощения (рис. 1). Образцы данных почв, содержащие сорбент, имеют сходный состав и отличаются наличием фаз, характерных для самого сорбента (феррит никеля и MIL-100), и присутствием вкладов от нерастворимого оксида цинка и силиката цинка (Zn₂SiO₄).

Уширение и высокая интенсивность пиков в образце почвы бывшего озера Атаманское с сорбентом свидетельствует о повышенной концентрации минеральной фазы Zn₂SiO₄ и наноразмерности кристаллитов исследуемого образца.

На фоне внесения сорбента определены рентгеноспектральные и рентгеноструктурные параметры взаимодействия в системе «почва-сорбент-металл», а также параметры локального окружения и электронной структуры металлов в процессе активации с почвенными фазами и активными центрами сорбента.

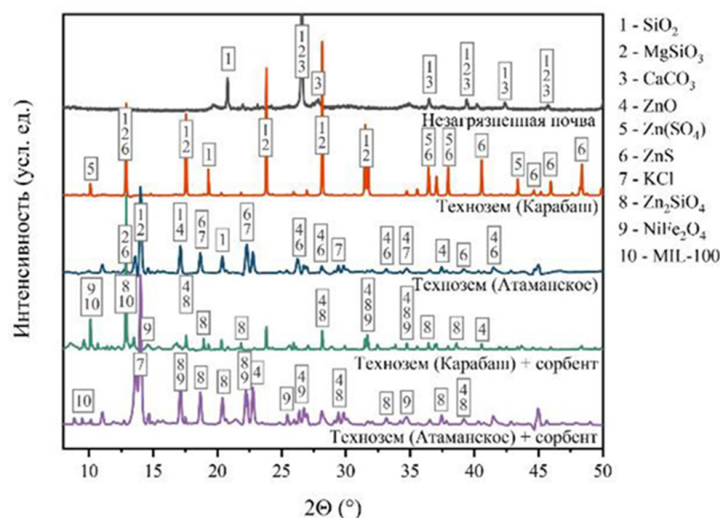


Рис. 1. Дифрактограммы незагрязненной почвы, а также различных образцов хемоземов без и с добавлением сорбента

* Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-77-20089-П в Южном федеральном университете.

Р.С. Чалов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ: ЕСТЕСТВЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ И СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ НИМИ*

Деформации речных русел, как морфодинамические проявления русловых процессов, сопровождаются постоянным изменением параметров их форм, конфигурации, продольным и поперечным смещением излучин, развитием, обмелением и отмиранием рукавов, после чего происходит формирование новых излучин и разветвлений. Они являются периодическими, хотя продолжительность этапов от нескольких лет до столетий в зависимости от устойчивости русел; на реках с врезанным руслом являются направленными, не изменяющимися на протяжении тысячелетий и геологических эпох. При определенных условиях они приобретают направленный характер на реках с широкопойменным руслом (например, при его расположении вдоль ведущего коренного берега). Но эти условия возникают в ходе русловых деформаций и, сопровождаясь изменением структуры потока, влекут преобразование морфодинамического типа русла или его параметров, приобретая не свойственные ранее ему значения. На морфологии и динамике русел сказываются как естественное изменение факторов (стока воды и наносов), так и антропогенные воздействия непосредственно на русла рек (техногенные) и факторы русловых процессов, что приводит к трансформации русловых процессов и их проявлений в морфологии и динамике русел, смене морфодинамического типа русла. При этом возникают сложные взаимоотношения между естественными русловыми деформациями и их последствиями, трансформацией в связи с гидроклиматическими изменениями факторов русловых процессов и разнообразными антропогенными воздействиями на реки.

Трансформации речных русел определяются: 1) естественными их перестроениями, приводящими не только к изменению параметров и гидравлики потока, но и в ряде случаев к смене или усложнению типа русла; 2) изменениями водности рек при изменениях природно-климатических условий; 3) техногенными воздействиями на реки и их русла – возведением гидроузлов с водохранилищами, выправительными и дноуглубительными работами на водных путях, массовой разработкой русловых карьеров и т.д.; 4) антропогенными воздействиями на водосборы, приводящими к изменениям водности рек, особенно малых, и стока наносов. Во многих случаях одни причины трансформации сказываются на фоне других, и выделение ведущих, определяющих изменения русел, весьма затруднительно.

Трансформации русел в связи с естественными деформациями происходят: при спрямлении излучин (или их серий), развитии рукавов вдоль коренных берегов и превращении русла в относительно прямолинейное или с односторонними разветвлениями; при появлении мощного источника поступления наносов при смещении русла к песчаному легкоразмываемому берегу (таково развитие Паячно-Рубежских разветвлений на Северной Двине, возникших в связи с начавшимся размывом в XX в. песчаной Толоконной горы); при зарастании осередков и образовании островов в маловодные годы.

Изменения водности рек в голоцене и преобразование излучин русла и характера меандрирования освещены в работах А.Ю. Сидорчука и А.В. Панина. Но они сказываются в трансформации русел любого типа, находя отражение в рельефе пойм, который не соответствует современному поймообразованию. Со 2-й половины XX в. увеличение стока и изменение водного режима на Лене, Печоре, Северной Двине проявляются в усложнении морфодинамики разветвлений, причем чем больше река и сложнее разветвление, тем труднее его выявление (на Лене при ширине русла 10–28 км превращение сложных сопряженных разветвлений в параллельно-рукавные установлено благодаря современным технологиям определения скоростных полей).

Техногенные изменения русел изначально фиксировались в нижних бьефах гидроузлов; на другие воздействия как на факторы трансформации русел внимание было обращено только уже в конце XX в. На судорожных реках с массовым выполнением выправительных работ трансформация русел произошла в сторону упрощения их морфодинамики и стабилизации русла (Обь выше устья Томи, Северная Двина). Разработка русловых карьеров привела к превращению относительно простых односторонних разветвлений в параллельно-рукавные с одинаковыми по водности рукавами (Иртыш выше г. Омска), восстановлению сопряженных разветвлений (Обь) или полному изменению облика русла, с понижением отметок дна и уклонов реки (Томь ниже Томска). К смене типа русла часто приводит искусственное спрямление излучин, разработка ранее маловодных рукавов, в том числе для отвода реки от размываемых берегов с расположенными на них поселениями (Вычегда).

Влияние техногенных воздействий часто столь велико, что приводит как к завуалированию последствий естественных деформаций и связанных с изменениями водности, так и к противоположным им изменени-

* Выполнено по проекту РНФ № 23-17-00065 с использованием материалов исследований по планам НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

ям. На Северной Двине при увеличении годового стока, снижении водности половодья и ее повышении в межень во 2-й половине XX в. сплошное выправление и дноуглубление (его объемы – до 20 млн м³ в год на участке длиной 300 км) и увеличение глубин на перекатах с ~1 м до 1,7 м привели к снижению меженных уровней воды и, как следствие, зарастанию побочней и осередков, увеличению степени разветвленности. Такие же работы, наложившись на врезание русла и регулирование стока в нижнем бьефе гидроузла, привели к трансформации русла Оби ниже г. Новосибирска, и гидроклиматические изменения на русле здесь никак не сказываются.

На реках с врезанным руслом трансформации русла возможны при возведении гидроузлов или проявляются только на уровне руслового рельефа (верхняя Лена) при дноуглублении, стеснении русла дамбами, перекрытии ими рукавов.

С.Р. Чалов, Е.А. Крастынь

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СТОКА КРУПНЕЙШИХ РЕК РОССИИ: УСТАНОВЛЕНИЕ СЕТИ МОНИТОРИНГА*

Химический сток – один из компонентов (наряду с водным, твердым и биологическим стоком) речного стока, а также составляющая круговорота воды. С одной стороны, исследования химического стока крупных рек необходимы для оценки их экологического состояния: выявления источников и объемов загрязнения, оценки антропогенного воздействия и управления водными ресурсами. С другой стороны, они позволяют оценить вклад рек в глобальный обмен вещества между сушей и океаном.

Для территории России обобщения по крупнейшим рекам с периодами пробоотбора, приходящимися на различные фазы водного режима, достаточно широко представлены для бассейнов крупных арктических рек, в особенности для бассейнов Оби и Енисея. Особенно выделяются многочисленные исследования в бассейне р. Волги и Дона. Однако несмотря на значительную актуальность, современное состояние таких исследований не позволяет в полной мере оценить химический состав речных вод. Во-первых, в большей части литературных источников рассмотрены растворенные формы транспорта химических веществ, а информация о химическом составе речных наносов остается неполной. Хотя в анализ обычно включаются основные гидрохимические показатели, главные ионы, биогенные элементы и наиболее токсичные металлы и металлоиды, значительная часть веществ, которые могут встречаться в малых концентрациях, но могут поступать в результате антропогенной деятельности, в исследованиях не рассматриваются.

Другая проблема заключается в том, что для характеристики химического стока большинство исследователей описывают эпизодические наблюдения, характеризующие одну конкретную фазу водного режима. Базы гидрохимических данных позволяют сделать заключение об объемах химического стока, однако дискретность наблюдений за характеристиками химического состава составляет 2–3 измерения в месяц, что затрудняет учет таких событий, как, например, прохождения паводков или залповые сбросы сточных вод. Материалы крупных обобщений, таких как ArcticGRO, BESTSiberian, «Качество поверхностных вод Российской Федерации», предоставляют более подробную информацию о химическом составе речных вод, однако химический состав вод в них чаще всего характеризуется значениями кратности превышения ПДК или индексами, что затрудняет анализ и расчет стока химических веществ. Информация о фактических концентрациях химических веществ доступна лишь по запросу и отсутствует в широком доступе.

В 2024 г. была проведена разработка системы наблюдений для оценки современного стока и форм транспорта микроэлементов, биогенных и органических веществ. Программа представляет собой уникальную по частоте (в период межени – раз в 7–14 дней, в половодье и паводки – до 1 раза в 2 дня) и пространственному охвату (бассейны 6 крупнейших рек России, в том числе непосредственные измерения в нижнем течении) систему измерений химического стока рек РФ. Программа включает в себя гидрологические наблюдения, исследование физико-химических свойств воды и взвешенных наносов, растворенных и взвешенных форм веществ, ионного состава, содержания органического вещества и радиоактивности. Состав наблюдений зависит от назначения станции исследования и различается для замыкающих (устьевых) створов и створов в верхнем течении, а также створов особого назначения (например, для створов, назначенных для оценки трансформации стока водохранилищами). По итогам работ в 2024 г. система наблюдений была запущена на 9 станциях, расположенных на 7 реках: Обь, Енисей, Лена, Ока, Дон (в верхнем и нижнем течении), Северная Двина, Москва (выше и ниже Можайского водохранилища). В 2025 г. запланирован запуск наблюдений в нижнем течении р. Волги. Большая часть постов расположена в замыкающих створах крупных рек (рис. 1).

Возможность реализации программы связана с коллаборацией с научными организациями, расположенными в населенных пунктах в непосредственной близости от створов ведения мониторинга. Учитывая большое число участников ведения мониторинга, важной его составляющей является информационная система сбора и обработки обширной информации, получаемой в рамках проекта.

* Результаты получены при финансовой поддержке исследования Правительством Российской Федерации, реализуемой в рамках Соглашения № 075-15-2025-008 от 27.02.2025.

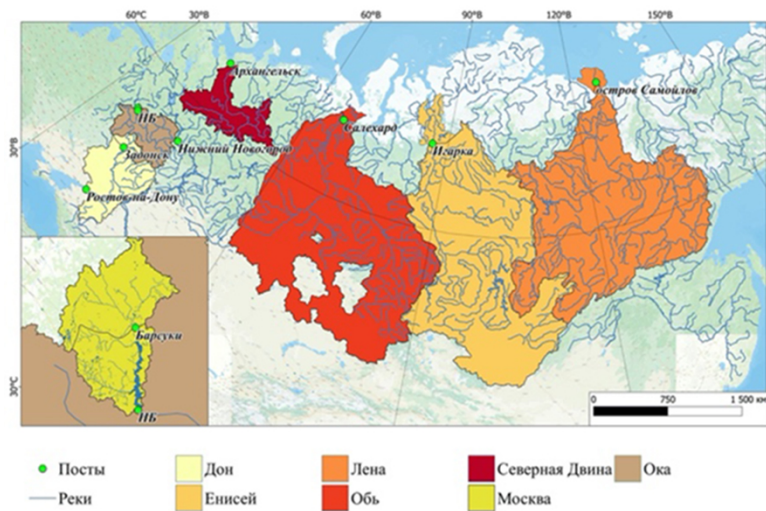


Рис. 1. Схема расположения станций мониторинга и исследуемых речных бассейнов

С.Р. Чалов^{1,2}, Д.И. Школьный¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

²Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЙ РУСЛА Р. КАМЧАТКА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

В пределах Камчатского края в условиях горной местности основным природным фактором воздействия на объекты хозяйственной инфраструктуры являются русловые деформации. Специфика распространения факторов русловых процессов предопределяет преобладание слабоустойчивых типов русел. Их расположение в непосредственной близости от русел рек создает потенциальную угрозу дорожному полотну при перераспределении стока между системами проток и развитию (иногда стремительном) боковых проток. Активизация переформирований речных русел и перестройка речной сети регулярно, раз в несколько лет, приводят к опасным воздействиям на прибрежную инфраструктуру. Другим аспектом, определяющим интерес к комплексным оценкам русловых переформирований рек Камчатки, является влияние меняющегося положения русла на условия нереста лососевых рыб за счет разрушения нерестилищ, наблюдающегося при переформированиях русла.

В работе выполнена количественная оценка плановых переформирований 600-километрового участка крупнейшей водной артерии Камчатского края – р. Камчатка. На основе полуавтоматического ГИС-дешифрирования космических снимков (архив снимков с 1965 г. по настоящее время) столь протяженного участка крупной реки установлено, что протяженность берега, подверженного размыву, составляет 37% длины левого и 44% длины правого. Выявлено, что объем поступающего в результате русловых деформаций материала значительно превосходит сток наносов. Доля бассейновой составляющей оценивается в 45%, русловой – в 55%.

Вниз по течению по мере снижения уклонов русла наблюдается снижение темпов размыва берегов, при этом смена типов русла отражается в изменении плановых переформирований и их интенсивности. При выходе из горной области происходит массовая аккумуляция поступающего материала и соответствующее увеличение неустойчивости русла, что определяет максимальные размывы берегов на этом участке (до 16 м/год). Аккумуляция существенно снижается ниже по течению. Отдельные прорывы излучин могут существенно увеличивать сток наносов в отдельные годы. Так, после произошедшего в 1993 г. прорыва излучины, приведшего к полному исчезновению покинутого поселка Машура, в русло р. Камчатки одновременно поступило до 1.03 млн т материала, что составляет около 46% годового стока наносов. Это привело к обширной аккумуляции материала ниже на участке, проявляющейся в подъеме уровня дна, формировании обширных аккумулятивных форм, и в итоге к ускорению размыва берегов, ниже прорыва, сохраняющемуся до настоящего времени в диапазоне до 21 м/год (15% от ширины реки на участке). Подобные явления оказывают одновременно импактное воздействие на состояние популяции лососевых рыб.

Сделан вывод о том, что количественный анализ и прогноз плановых переформирований участка реки требуют дифференцированной оценки для разных морфодинамических типов русла, с учетом особенностей русловых процессов на вышележащих участках.

Е.Ю. Чебыкина, Е.В. Абакумов

Санкт-Петербургский государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СУБАКВАЛЬНЫХ ПОЧВ УСТЬЯ РЕКИ НЕВЫ И НЕВСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА*

Побережье Невской губы Финского залива отличается значительным развитием макрофитной растительности. Общая площадь основных массивов водных зарослей в Невской губе в настоящее время составляет 1214 га. Сообщества зарослей высшей водной растительности Невской губы отличаются высоким биоразнообразием и играют важнейшую, многоплановую экологическую роль.

Комплексная оценка воздействия гидротехнических работ на зарослевые экосистемы, на субстраты, их свойства и характеристики, на которых произрастают эти ценные заросли высшей водной растительности и происходит нерест и нагул молоди многих видов рыб, возможна только при учете процессов их пространственно-временной динамики в масштабе всей Невской губы и прилегающей акватории. В данном случае речь идет о субаквальных почвах побережья Невской губы Финского залива, которые являются благоприятным субстратом для роста и развития зарослевых сообществ, периодически затопляемых.

Гидроморфные и полугидроморфные ландшафты, такие как прибрежные полосы и территории водных объектов, водохранилищ, являются областями повышенной биогеохимической активности. В результате индустриализации и активной антропогенной нагрузки данные территории являются местом гипераккумуляции различных биогенных и загрязняющих веществ. Поскольку экологические условия побережья гораздо более динамичны, чем материковые, обнаруживается не только направленное изменение общих параметров по градиенту от моря к суше, но и постоянная смена условий в каждой точке. Данный процесс представляет важную экологическую проблему для региона, т.к. приводит к эвтрофикации водоема, которая наблюдается на акватории Невской губы каждый сезон. В результате эвтрофикации и цветения водорослей происходит снижение качества вод в водохранилищах, что приводит к ухудшению качества жизни местного населения и качества и количества сельскохозяйственной продукции. Это требует реакции современной науки и обоснования принятия эффективных решений.

Субаквальные почвы с их растительностью обнаруживают себя в качестве одного из секторов глобального биогеохимического круговорота с присущими ему соотношениями химических элементов. Располагаясь на границе суши и моря, такие почвы играют роль своеобразного природного фильтра, задерживающего некоторые минеральные компоненты и избирательно поглощающего определенные химические элементы.

Большая часть территории обследования располагается на намытой территории в береговой зоне Финского залива и, следовательно, техногенно преобразована. В береговой зоне Финского залива на аллювиальных песчаных отложениях фрагментарно могут встречаться псаммоземы, которые относятся к отделу слабо развитых почв и представляют собой подстильно-торфяной горизонт, залегающий непосредственно на песчаной почвообразующей породе. Также в части береговой линии могут быть распространены ареалы незакрепленных песков.

На побережье Финского залива лес редко подступает вплотную к литорали, очень часто между ней и лесом образуется полоса приморских лугов. В местах, где имеются защищенные от ветров берега, приморские луга занимают значительные площади, углубляясь на некоторое расстояние до моря. Во время нагонных ветров или приливных вод данные участки на непродолжительное время заливаются морской водой и в значительной мере подтапливаются. Здесь под растительными сообществами околотовных фитоценозов, в непосредственной близости к морю формируются маршевые почвы.

Биоценозы морских побережий испытывают в основном высокую антропогенную нагрузку. Среди различных экосистем прибрежная и морская подвержены действию антропогенных факторов среды, в число которых входят туристические посещения, мелиорация и освоение сельскохозяйственных угодий.

В условиях усиливающегося антропогенного давления на ландшафты необходима защита почв, выполняющих функции сохранения генофонда естественных растений, микроорганизмов, насекомых и животных, типичных для области экосистем.

Почвы морских побережий испытывают двойное влияние, с одной стороны – суши, с другой стороны – воды. Это проявляется как в специфике геоморфологических процессов, так и в геохимических потоках веществ, которые поступают и с суши, и из морской воды. Благодаря этому почвы, находящиеся в приливно-отливной зоне, отличаются сложным генезисом и динамичностью развития.

Поэтому очевидно, что для комплексной оценки состояния очень ценных с точки зрения биологического разнообразия зарослевых экосистем прибрежных ландшафтов, а также дальнейшей адекватной оценки вреда от воздействия гидротехнических работ на экосистемы зарослей высшей водной растительности и выбора компенсационных природоохранных мероприятий необходимо знать и учитывать свойства и экотоксикологическое состояние прибрежных почв изучаемых ландшафтов, а также особенности динамики зарослевых сообществ в Невской губе в зависимости от уровня воздействия антропогенного фактора.

Работа посвящена 300-летию Санкт-Петербургского государственного университета.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 23-16-20003.

А.В. Чернов*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

ТРАНСФОРМАЦИЯ РУСЕЛ ПРИ ГЛОБАЛЬНЫХ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ*

Практически на всей территории России особенности русловых процессов определялись в послеледниковье и голоцене, когда последняя ледниковая эпоха окончательно закончилась и наступила эпоха межледниковья – голоцен, которая продолжается и поныне. Именно в этот период в связи с изменениями климата менялись типы горизонтальных русловых деформаций и направленность вертикальных русловых деформаций. На равнинах наиболее заметные изменения происходили в регионах, последовательно освобождающихся от ледниковых покровов.

Обобщая реакцию речных русел на климатические изменения в послеледниковье и голоцене, можно сделать вывод, что изменения характера горизонтальных русловых деформаций происходили в следующих направлениях: 1) изменения параметров излучин на меандрирующих реках без изменения самого процесса меандрирования; 2) изменение самого типа русловых переформатирований. В первом случае чаще всего происходило резкое уменьшение параметров излучин. В рельефе пойм рек, на которых отмечена подобная трансформация, хорошо сохранились следы извилистых русел, размеры излучин которых на порядок превышают размеры современных излучин. Такие следы получили название «макроизлучин». Превышение размеров древних макроизлучин по сравнению с современными достигает 6–7 раз, радиусов кривизны – в 3,3 раза. Стрелы прогиба современных излучин также в 6–7 раз меньше аналогичного показателя для макроизлучин.

Возраст большинства макроизлучин датируется позднеледниковьем, т.е. 12–14 тысячами лет. Широкое распространение макроизлучин на реках приледникового умеренного пояса может быть связано с эпохой повышенной водности этих рек, что, в свою очередь, объясняется перестройкой атмосферной циркуляции после исчезновения устойчивых очагов высокого атмосферного давления, которые формировались над ледником. Другой причиной формирования макроизлучин может служить высокий коэффициент стока в бассейнах, скованных вечной мерзлотой. По мере ее оттаивания часть стока переходила в подземный, сокращая тем самым ее поверхностную составляющую, особенно во время половодий и паводков.

В ряде случаев, на поймах широкопойменных рек можно увидеть следы обратного процесса – заметного увеличения водности после этапа маловодья в прошлом. На поймах целого ряда рек, расположенных в тех же палеоклиматических зонах, что и реки со следами макроизлучин, наблюдаются следы микроизлучин, т.е. излучин, размеры которых явно были меньше современных. Следы микроизлучин, указывающих на последующее увеличение водности реки, можно увидеть на ряде рек, разбросанных по разным равнинным регионам России, на пойме р. Сысолы и на пойме р. Москвы ниже одноименного города. Ни на одной из названных здесь рек в настоящее время пойменной многорукавности нет. На р. Сыsole современное русло образует свободные излучины со следующими параметрами: шаг – 1 км, радиус кривизны – 0,5 км, средняя стрела прогиба – 0,8–1,3 км. Но на пойме Сысолы часто встречаются пойменные сегменты, образованные когда-то излучинами меньшего размера, – шаг стариц микроизлучин и стрела их прогиба едва достигают 0,5 км, а радиус кривизны – 0,2 км. Современной пойменной многорукавности, как и пойменных староречий, на пойме Сысолы нет.

Микроизлучины встречаются и на широкой пойме нижнего течения р. Москвы; их сохранность на осваиваемой на протяжении более 800 лет пойме невысока – сохранились лишь единичные микростарички с шагом в среднем 0,2 км, радиусом кривизны – 0,1 км, стрелой прогиба – 0,19 км (при параметрах современных излучин, соответственно, шаг 0,4–0,6 км и радиусы кривизны – 0,3 км, но никаких следов староречий, которые могли бы сказать о наличии здесь во время формирования микроизлучин пойменной многорукавности, здесь нет. Полученный радиоуглеродным методом возраст образования микроизлучин датируется от 1 до 2,5 тысячи лет назад.

Причины существования целой маловодной эпохи, проявившейся в морфологии и деформациях некоторых рек этого периода, пока не до конца ясны, но наиболее вероятным можно считать существование в конце суббореальной климатической стадии относительно сухих условий, которые вполне могли вызвать снижение руслоформирующих расходов воды в реках и, как следствие, отразившихся в формах руслового рельефа.

* Работа выполнена по плану темы госзадания НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем», и при финансовой поддержке РФФИ (проект РФФИ № 23-17-00065).

А.Л. Чикин

Южный научный центр РАН

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ В ДЕЛЬТЕ ДОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕТРОВОЙ СИТУАЦИИ НАД АЗОВСКИМ МОРЕМ*

При расчете течений в рукавах Дона в качестве входных данных используются уровни воды в принимающем водоеме – Таганрогском заливе, а также расход поступающей в основное русло воды. Эти данные берутся, как правило, из наблюдений. Однако снять наблюдения в нужных точках (устьях основных рукавов Дона) часто не представляется возможным. Для преодоления этой проблемы было предложено использовать модель гидродинамики Азовского моря для получения значений уровня воды в нужных точках при заданной ветровой ситуации. Таким образом происходит своего рода объединение модели гидродинамики Азовского моря и модели гидродинамики устьев участка р. Дон.

Принцип работы предлагаемой модели следующий. Для заданной ветровой ситуации на каждом временном шаге рассчитываются скорости течения и величина уровня воды. Расчет проводится для всего Азовского моря в целом, а не только для Таганрогского залива. Это объясняется тем, что гидродинамика Таганрогского залива определяется гидродинамикой Азовского моря. Кроме того, с вычислительной точки зрения такой подход существенно облегчает решение задачи, так как нет необходимости ставить граничные условия на открытой границе Таганрогского залива. Затем значения уровня воды, соответствующие точкам устьев основных рукавов Дона, передаются в модель руслового потока и производится расчет параметров течения в русле. Таким образом, имеется возможность наблюдать расчетные значения как в основных рукавах Дона, так и в точках принимающего водоема – Таганрогского залива.

Движение воды в Азовском море основывается на решении системы уравнений для длинных волн в однородной несжимаемой жидкости в поле силы Кориолиса с учетом атмосферного давления.

Движение воды в открытом русле без распределенного бокового притока задается системой дифференциальных уравнений, при этом учитывается действие ветра на поверхность русла.

Дельту Дона представим в виде графа (рис. 1), состоящего из пяти ребер, соответствующих участкам открытых русел, и шести вершин, четыре из которых соответствуют концевым узлам (1, 3, 5, 6), а две – узлам разветвлений (2, 4). В качестве граничных условий в начальной точке (узел 1) задается расход поступающей воды $Q_0(0, t)$, в конечных точках X_k (узлы 3, 5, 6) задается уровень в принимающем водоеме $z_k(X_k, t)$. В узлах ветвления граничные условия задаются следующим образом: сумма притоков-оттоков равна нулю $\sum Q_*^i = 0$ (i – число рукавов, приходящих в узел разветвления), а уровни водной поверхности равны между собой $z_i = z_*$.

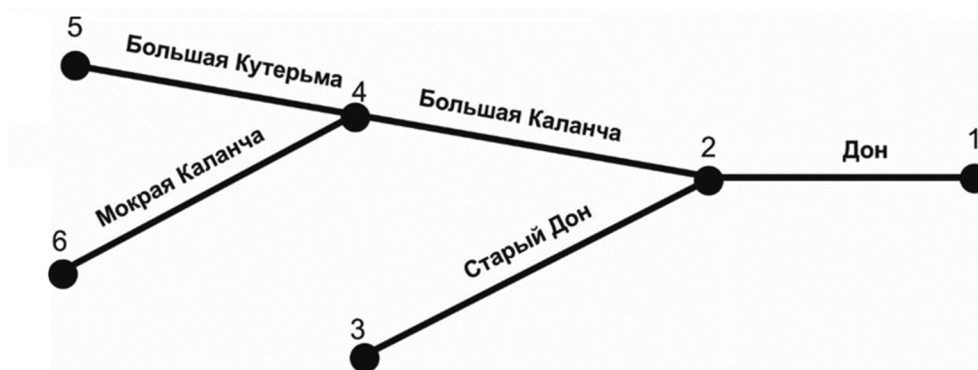


Рис. 1. Схема дельты Дона (основные рукава)

В период с 11.05.2017 по 18.05.2017 наблюдались ветра и восточных, и западных направлений. Это приводило как к нагонам воды, так и к ее сгонам в Таганрогском заливе. С 11.05.2017 по 14.05.2017 наблюдался ветер восточных направлений силой 4–5 м/с, а 15 мая усилился до 6–7 м/с. По наблюдаемым данным это привело к некоторому сгону воды на гидропосту Донской с 0.57 м до –0.89 м. Ветра западных направлений наблюдались 11.05.2017 и 16.05.2017–17.05.2017, скорость была 1–3 м/с, что привело к последующему небольшому нагону до 0.43 м на Донском.

* Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН на 2025 г., № гос. рег. 125012100503-4. Расчеты выполнены на кластере ЦКП Южного федерального университета «Высокопроизводительные вычисления».

Такая ветровая ситуация хорошо соответствует динамике изменения уровня воды во всех четырех точках наблюдения. Усреднение расчетных значений проводилось по восьми значениям уровня, и эти значения повторяют динамику колебаний уровня воды на станциях наблюдения, а также хорошо с ними согласуются (рис. 2).

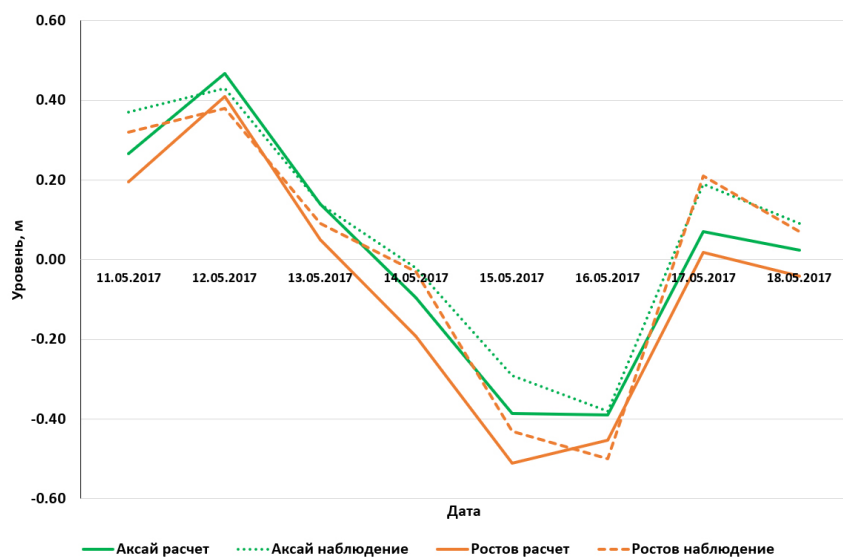


Рис. 2. Наблюдаемые и расчетные колебания уровня воды (период с 11.05.2017 по 18.05.2017)

Е.Н. Шамшурина, В.Н. Голосов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ДИНАМИКА ПОЧВОЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЫСЕВАЕМЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ АГРОЦЕНОЗОВ РЯДА РЕГИОНОВ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ*

Высеваемые сельскохозяйственные культуры оказывают значительное влияние на поверхностный смыл почвы. Помимо положительного влияния за счет задержания осадков на поверхностных частях растений и снижения скорости стекания потока, а также разрыхления корнеобитаемого слоя и увеличения водопроницаемости почвы, наблюдается и негативное влияние. Уборка пожнивных остатков и обработка почвы после лишает почву источника минеральных и органических элементов, а также естественной защиты в период осенних ливневых дождей и весеннего талого стока. Для расчетов по эмпирическим моделям на основе уравнения USLE для оценки темпов эрозии почвы используют C_d -фактор – агроэрозионный индекс сельскохозяйственной культуры. Он представляет собой отношение стока наносов с поля, занятого сельскохозяйственной культурой, к стоку наносов с поля под черным паром, вспаханного отвальным плугом вдоль склона. C_d -фактор может изменяться от 0,001 до 1, где 1 – нет защитного эффекта от культурной растительности, 0,001 – растительность обеспечивает практически 100% защиту от эрозии. C_d -фактор учитывает влияние всех элементов используемой системы земледелия на смыл почвы (особенностей посевной культуры и тип обработки). Агроэрозионные индексы основных групп сельскохозяйственных культур получены экспериментально в США и адаптированы для севера Евразии. Все сельскохозяйственные культуры сгруппированы в зависимости от степени воздействия на эрозию почв на: 1) густопокровные (озимые и яровые зерновые, зернобобовые культуры, а также однолетние травы); 2) пропашные высокостебельные (кукуруза, подсолнечник и др.); 3) пропашные низкостебельные (картофель, свекла и др.); 4) многолетние травы (второй, третий годы пользования). Региональные различия в почвозащитной эффективности культур были учтены в результате агроэрозионного районирования всей территории бывшего СССР. Для каждого района были рассчитаны годовые индексы основных групп полевых культур, при сложившейся системе земледелия. В дальнейшем речь пойдет об агроэрозионном индексе ценозов для всего севооборота, который рассчитывается как средневзвешенная величина эрозионных индексов основных групп культур и пара в структуре посевов административной единицы.

Проведенный анализ структуры посевов (<https://www.fedstat.ru/indicator/31328>) на территории областей, расположенных в пределах Среднерусской возвышенности, в постсоветское время показал, что наблюдается резкое сокращение посевных площадей вплоть до 2006–2007 гг. После 2007 г. наблюдается рост площади пашни, но советских уровней достигнуть пока не удалось. Структура посевов в постсоветский период претерпела значительные изменения: при достаточно стабильных уровнях площадей, занятых картофелем и овощебахчевыми культурами, происходит уменьшение площади, занятой кормовыми культурами, и увеличение площади, занятой техническими культурами, за счет увеличения посевов сои и подсолнечника. Сою начали сеять в данном регионе с 2005 г. В 2021 г. в Курской и Белгородской области посевы данной культуры занимали уже около 300 тыс. га. Была рассчитана динамика изменения C_d -фактора по областям с 1996 г. (так как именно с этого момента имеется наиболее полная информация о посевных площадях в открытых источниках). Наблюдается постепенно повышение данного показателя с 1996 г. по настоящее время. Максимальные значения C_d -фактора наблюдаются в Белгородской и Курской областях (рис. 1). Максимальные

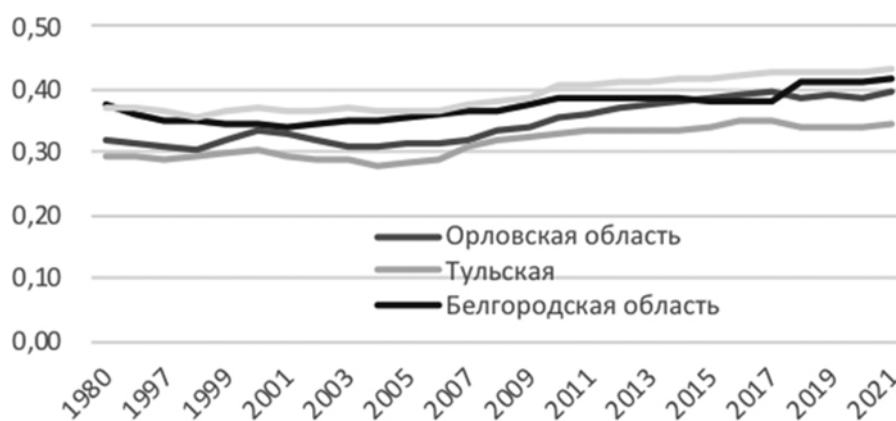


Рис. 1. Динамика изменения C_d

*Исследование выполнено по планам НИР (ГЗ) Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ им. М.В. Ломоносова (№ 121051100166-4).

темпы увеличения С-фактора, а следовательно, снижения почвозащитной эффективности высеваемых на территории области культур, выявлены в Орловской области. По сравнению с С-фактором, рассчитанным для 1980 г., с расчетным периодом (1996–2006 гг.) данный показатель слабо варьировал, а в дальнейшем показал свой рост. Это можно связать с внедрением высокодоходных пропашных культур в севообороты исследуемых областей. Также существенные различия между собой показывают более южные области (Курская и Белгородская), где в севооборотах выше вклад пропашных культур, по сравнению с областями, расположенными в северной части возвышенности (Орловская и Тульская)

А.Г. Шарифуллин¹, А.В. Гусаров¹, Д.В. Иванов²

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет

² Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан

БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БОБРОВЫХ ПРУДОВ МАЛЫХ РЕК ПРЕДВОЛЖЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН*

Загрязнение большинства рек, озер и водохранилищ из рассеянных источников представляет большую угрозу для здоровья людей и водных экосистем. Естественным барьером в снижении уровня загрязняющих веществ в малых реках может стать деятельность бобров. В данной работе были исследованы особенности распределения биогенных элементов (N и P) и восьми потенциально токсичных тяжелых металлов (Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Zn, Cr и Mn) в донных отложениях бобровых прудов двух малых рек крайнего севера Приволжской возвышенности. Донные отложения отбирались в верхнем, среднем и нижнем течении рек в 27 бобровых прудах, различающихся рядом своих морфометрических характеристик. Также определялось содержание тяжелых металлов и биогенных элементов в воде. Результаты исследования показывают, что в донных отложениях концентрация подвижных форм Co, Cu, Ni и Mn значительно превышает их концентрации в приводораздельных почвах и в участках русла без плотин. При этом содержание валовых Cd, Zn и Mn, а также N и P, в отложениях верхних участков течения рек в среднем незначительно выше, чем в нижних участках. Наблюдается слабая тенденция к уменьшению содержания азота от верхних к нижним слоям наносов; схожая тенденция отмечена и для металлов в зоне выклинивания подпора прудов. На распределение валовых форм тяжелых металлов значимое влияние оказывает гранулометрический состав донных отложений и содержание в них органического вещества. Статистически значимыми факторами для подвижных форм являются расстояние от устья, длина плотин и прудов, а также содержание органического вещества в отложениях. Распределение биогенных элементов хорошо коррелирует с высотой и длиной плотин, расстоянием от устья и содержанием органического вещества. При этом донные отложения как по валовым, так и по подвижным формам являются незагрязненными. Для подвижных форм Pb, Co и Ni выявлено умеренное обогащение. Из всех анализируемых металлов в отложениях бобровых прудов, по сравнению с участками русла, незатронутыми бобровой деятельностью, превышение выявлено лишь для Co, Cu, Ni и Mn.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-10087, <https://rscf.ru/project/22-77-10087/>

Д.С. Шеванюк

Южный федеральный университет

ВЛИЯНИЕ «НАНОКРЕМНИЯ» НА СИЛУ РОСТА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

В условиях увеличения населения планеты необходимо совершенствовать устойчивые методы ведения сельского хозяйства, которые позволяют получать более высокие урожаи, чтобы удовлетворить растущий спрос на продовольствие. Применение наноудобрений – один из таких современных методов. Наноудобрения позволяют доставлять необходимые питательные вещества эффективнее, чем обычные удобрения, за счет небольшого размера частиц, повышают биодоступность элементов для растений, снижают их вымывание в водные системы. Для исследования эффективности наноудобрений было выбрано уникальное удобрение в жидкой форме «НаноКремний» на основе биологически активного кристаллического кремния.

Целью исследовательской работы являлось изучение влияния «НаноКремния» на силу роста озимой пшеницы. В качестве объекта исследования выступали семена озимой пшеницы сорта Агрофак. В работе были использованы: вегетационный метод, метод сравнения, математические методы для обработки результатов. Для определения силы роста по двум показателям – количеству пробившихся сквозь слой почвы ростков (в %) и массе проростков на 10-е сутки (в пересчете на 100 шт.) – был заложен вегетационный опыт с предпосевной обработкой семян «НаноКремнием» в трех дозах. Схема опыта включала в себя 4 варианта: 1) контроль (б/у); 2) «НаноКремний» 300 г/т; 3) «НаноКремний» 450 г/т; 4) «НаноКремний» 600 г/т. Повторность трехкратная. Длительность опыта составила 10 суток, количество семян на один вегетационный сосуд – 20 шт. По завершении опыта было подсчитано количество проростков в каждом сосуде, а также учтены их сырая и сухая биомассы путем взвешивания на аналитических весах.

Согласно результатам исследования, сырая масса проростков в варианте 300 г/т была на 10% выше, чем в контрольном опыте; в варианте с промежуточной дозой больше на 5%, а в варианте с двойной – меньше на 7%. Соотношение сырой надземной и подземной массы оказалось неравномерным: масса подземной части была значительно меньше (в 30 раз в среднем по опыту). Анализ данных по сухой массе показал, что надземная масса превышает подземную вполнину во всех четырех вариантах, однако различия между значениями по вариантам незначительны (рис. 1).

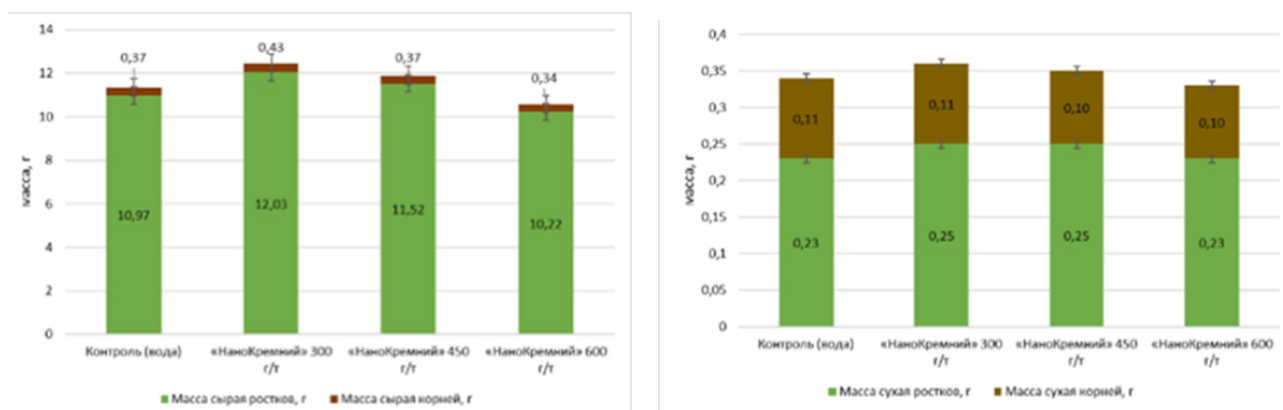


Рис. 1. Распределение сырой и сухой биомассы озимой пшеницы Агрофак

Показатели силы роста по количеству пробившихся сквозь слой почвы ростков закономерно расположились в следующем порядке: «НаноКремний» 600 г/т < Контроль (б/у) < «НаноКремний» 450 г/т < «НаноКремний» 300 г/т. Обработка рекомендуемой дозой (300 г/т) повысила количество взошедших семян на 8%, при обработке дозой 600 г/т наблюдаются тенденции к снижению данного показателя (табл. 1).

Таблица 1. Сила роста озимой пшеницы Агрофак, % (по количеству пробившихся через слой почвы ростков)

№	Вариант обработки	Сила роста, %
1	Контроль (б/у)	85
2	«НаноКремний» 300 г/т	92
3	«НаноКремний» 450 г/т	87
4	«НаноКремний» 600 г/т	83

Таким образом, было отмечено положительное влияние «НаноКремния» на оба показателя силы роста озимой пшеницы сорта Агрофак: наблюдалось повышение посевных качеств семян при использовании данного удобрения в некоторых дозах.

А.К. Шерстнев, В.Э. Болдырева, И.В. Морозов

Южный федеральный университет

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛОВОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПО ПРОФИЛЮ ЧЕРНОЗЕМОВ МИГРАЦИОННО-СЕГРЕГАЦИОННЫХ РАЗЛИЧНОЙ СТЫТОСТИ

Изучение распределения валового химического состава по профилю почв важно для понимания процессов почвообразования и их трансформации под влиянием эрозии. Смытость почв приводит к изменению морфологических и химических свойств, что влияет на их плодородие и экологические функции.

С целью изучения влияния степени эродированности на черноземы миграционно-сегрегационные было заложено 5 почвенных разрезов на территории учебно-опытного хозяйства Южного федерального университета «Недвиговка» (рис. 1). Разрезы закладывались от водораздела к нижним частям склонов юго-западной и северо-восточной экспозиции на расстоянии 100–150 м друг от друга. В табл. 1 представлены данные профильного распределения основных показателей валового химического состава черноземов миграционно-сегрегационных различной степени смытости.

Таблица 1. Валовой химический состав черноземов миграционно-сегрегационных разной степени смытости

№ разреза	Генетический горизонт и глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅
1	Ап 0 – 15	67,05	11,76	4,69	0,08	1,32	1,92	1,11	0,12
	Ап/п 15 – 40	67,80	11,88	4,72	0,08	1,25	1,91	1,14	0,11
	В 40 – 55	66,82	11,92	4,74	0,07	1,21	1,93	1,20	0,10
	ВСса 55 – 70	52,38	9,32	3,37	0,05	10,88	1,67	2,37	0,15
2	АВп 0 – 15	64,84	11,07	4,21	0,07	3,01	1,93	1,35	0,14
	АВп/п 15 – 40	63,10	10,79	4,15	0,06	4,52	1,82	1,51	0,13
	ВСса 40 – 55	49,30	9,26	3,43	0,04	13,57	1,51	2,71	0,14
3	Ап 0 – 15	62,44	11,31	4,42	0,07	4,58	1,82	1,61	0,15
	Ап/п 20 – 30	62,36	11,46	4,46	0,07	4,53	1,80	1,56	0,14
	В1 50 – 60	53,73	10,84	4,13	0,06	10,01	1,64	2,27	0,14
	В2 70 – 80	55,04	11,08	4,25	0,07	9,60	1,66	2,20	0,13
	ВС 85 – 95	54,20	10,99	4,22	0,07	10,33	1,63	2,36	0,12
4	Ап 0 – 16	67,92	10,58	4,05	0,07	1,39	1,80	1,07	0,13
	Ап/п 16 – 54	69,00	10,46	3,94	0,07	1,32	1,74	0,99	0,11
	АВ 54 – 115	67,93	9,52	3,77	0,06	1,11	1,67	0,86	0,11
	В1 115 – 150	71,00	9,86	3,37	0,05	0,94	1,67	0,92	0,10
	ВС 180 – 230	75,87	6,98	2,01	0,03	0,60	1,22	0,64	0,07
5	АВп 0 – 12	69,61	9,70	3,58	0,07	1,18	1,92	0,94	0,14
	АВп/п 15 – 25	70,00	9,77	3,44	0,06	1,20	1,83	0,94	0,13
	В1 40 – 50	69,60	10,64	3,76	0,05	1,11	1,89	1,10	0,11
	В2 60 – 70	67,33	9,75	3,46	0,05	7,00	1,70	1,82	0,14
	ВС 75 – 85	59,25	9,64	3,44	0,05	7,87	1,70	1,93	0,14

Полученные данные свидетельствуют о том, что чернозем миграционно-сегрегационный разной степени смытости не однороден по профилю в отношении даже таких устойчивых в черноземах компонентов валового состава, как оксиды кремния, железа, алюминия. Причем данные свидетельствуют о накоплении SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃ в почвенном профиле, по сравнению с материнской породой, в то время как содержание оксида кальция увеличивается вниз по профилю, достигая максимума в материнской породе. Оксиды кальция, калия и фосфора проявляют некоторую тенденцию к биогенному накоплению в поверхностном слое.

Расчет молекулярных отношений показал, что во всех почвах идет выветривание по сиаллитному типу. Расчет коэффициента выноса-накопления по Ковде показал отсутствие процессов выноса кремнезема и полуторных окислов в разрезах средне- и сильносмытых черноземов и накопление в разрезе сверхмощного чернозема, заложенном на третьей надпойменной террасе. Здесь же наблюдается аккумуляция оксидов кальция и магния, о чем свидетельствует коэффициент миграции. В то же время в разрезах, заложенных на склоне, коэффициент миграции значительно меньше единицы, что говорит о наличии процессов выщелачивания, причем чем выше по склону, тем процессы выщелачивания выражены сильнее.

В пахотных черноземах влияние эрозионных процессов приводит к значительным изменениям в распределении валовых форм практически всех исследуемых элементов, вплоть до смены направленности накопления в намывных аналогах.

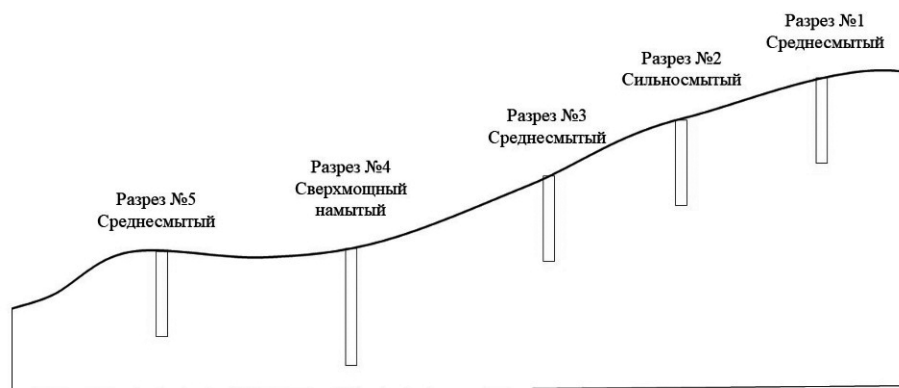


Рис. 1. Схема заложения почвенных разрезов

Д.И. Школьный, А.А. Кочнев, А.И. Иннокентьев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ КАРТЫ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ РЕК РОССИИ*

В ходе развития отечественного русловедения было накоплено значительное количество материалов, связанных с комплексным, региональным или специальным картографированием русловых процессов или отдельных аспектов их проявления. Созданы обзорные карты морфодинамических типов русел и типов руслового процесса, опасности, руслоформирующих расходов воды, устойчивости, распространения разных видов русел и многие другие. Параллельно, развитие дистанционных методов, цифровых моделей рельефа и методик анализа пространственных данных позволяет полуавтоматическим образом получать и обобщать различные морфологические и гидрологические характеристики для отдельных участков русел. В рамках данной работы была поставлена задача начать оцифровку наиболее современных версий карт и создать базу данных параметров, соответствующих каждому типу русла. Подобное обобщение в перспективе может стать как ценным справочным материалом, так и с помощью геостатистики подойти к анализу морфодинамических связей между параметрами для русел разных типов.

В качестве основы для работы использовалась информация с обновленных карт русловых процессов на реках России – морфодинамический тип русла и каждого конкретного однородного участка, тип руслообразующих наносов, тип поймы – полученные для крупных рек бассейнов Анадыря, Охотского побережья, Лены, Оби.

Были проанализированы современные глобальные базы данных и произведен контроль качества получаемых с них параметров. Для привошки представленного на картах генерализованного положения русел к их реальному местоположению использовалась база центральных линий рек SWORD, построенная на основании автоматической классификации водной поверхности по снимкам Landsat. На ней же основана и база данных REAL, из которой взяты значения размыва берегов и аккумуляция побочней, полученные по разновременным классификациям водной поверхности. Для определения водности использовалась база данных Hydromaps, в которой содержатся рассчитанные на основании глобального ландшафтно-гидрологического моделирования стока среднегодовые расходы воды, откалиброванные по измеренным значениям из базы данных GRDC. Также в этих базах данных содержится дополнительная информация (например, об уклонах и ширинах русел), однако из-за большой длины участков осреднения они оказались нерепрезентативными. В связи с этим для определения уклонов использовались данные об отметках на топографических картах, для определения ширины – база данных GSWE, ранжирование которой позволило получить маски воды отдельно для половодья и межени.

Все вышеперечисленные данные имеют различную дискретность, будучи осредненными на бесприточные участки рек различной протяженности. Для максимально детальной параметризации была принята следующая последовательность: 1) исходные центральные линии GRDC разрезались по границам изменений исходных данных с карты русловых процессов (морфодинамического типа или других параметров); 2) на основании специального алгоритма осуществлялась пространственная привошка значений расходов Hydromaps по основной реке и ее притокам, после чего отбирались значимые притоки и в узлах их впадения производилось дополнительное дробление центральной линии; 3) имеющиеся значения характеристик с помощью маршрутизации интерполировались на центральные линии русла, после чего производилось осреднение значений для каждого отрезка; 4) полигоны маски обрезались по границам участков, после чего определялась их средняя ширина.

Результатом данной работы стало создание прообраза электронного ГИС-атласа русловых процессов для выбранных регионов, наполнение которых позволяет как строить тематические карты, так и считать статистику по типам русел и для их параметров в зависимости от типов (рис. 1). Дальнейшее развитие карты и добавление типов исходных данных позволит получить наборы связей для каждого типа русла и выполнять полуавтоматическую параметризацию водотоков, неохваченных традиционным картированием.

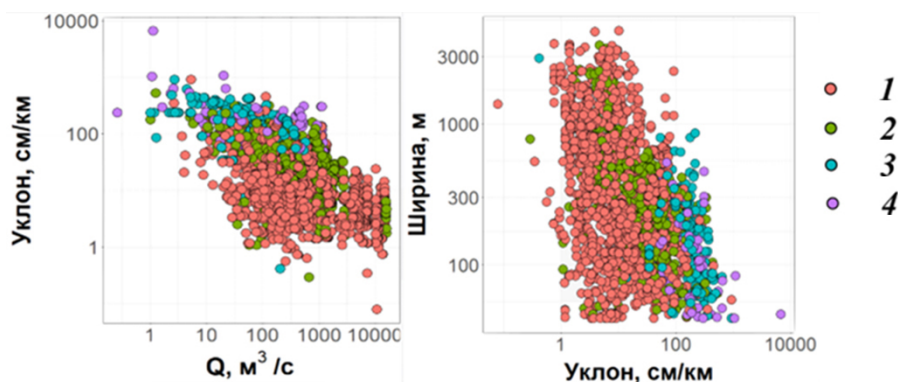


Рис. 1. Примеры графиков связи между параметрами для различных типов русла (1 – широкопойменные и адаптированные, 2 – врезанные, 3 – полугорные, 4 – горные)

* Работа выполняется в рамках гранта РФФИ № 23-17-00065.

М.В. Шмакова

ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН

АЛГОРИТМЫ УЧЕТА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В МОДЕЛИ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ

Содержание широко распространенных в природных водах тяжелых металлов (ТМ) является одним из важных показателей качества воды. Участвуя в процессах метаболизма, ТМ в высоких концентрациях могут выступать в качестве токсикантов. Основной причиной антропогенного поступления ТМ в водные объекты является нерегулируемая хозяйственная деятельность на территории водосбора и в пределах водного объекта. При этом значительный вклад в повышенную концентрацию тяжелых металлов в водной массе водного объекта привносит вторичное загрязнение, источником которого являются донные отложения (ДО), аккумулирующие различные формы ТМ. Одним из важнейших механизмов массопереноса из донных отложений в водную массу является конвективный перенос, возникающий при ветровом и антропогенном взмучивании верхнего слоя донных отложений. В приложении к расчетам внутренней нагрузки акватории водоема тяжелыми металлами алгоритмы гидродинамической модели могут быть дополнены схемой учета разнофракционности донных отложений, участвующих в процессах взмучивания, и зависимостями содержания адсорбированного вещества на поверхности донных отложений от крупности частиц в исследуемом водоеме. При этом валовое содержание ТМ в водных массах $C(x, y, t)$ рассчитывается как сумма фоновой концентрации $C_{\text{фон}}$, мг/л, концентрации вещества, поступившего из поровых вод $C_{\text{пор}}$ и концентрации вещества, адсорбированного на транспортируемых частицах наносов $C_{\text{адсорб}}$

$$C(x, y, t) = C_{\text{фон}} + C_{\text{пор}} + C_{\text{адсорб}},$$

$$C_{\text{пор}} = f_1(\Delta_{\text{пор}}),$$

$$C_{\text{адсорб}} = f_2(M_{\text{ТМ}}),$$

где $\Delta_{\text{пор}}$ – активный придонный слой, из которого осуществляется водообмен поровых вод с основной водной массой, м. Эта величина является функцией толщины размытого донного грунта и придонной части, активно участвующей в водообмене.

Общая масса загрязняющего вещества $M_{\text{ТМ}}$, кг/с, адсорбированного на поверхности транспортируемых частиц в расчетной ячейке, вычисляется в соответствии с распределением крупности движущихся наносов $d_{\text{гр}} = f_3(p)$:

$$M_{\text{ТМ}}(x, y, t) = G(x, y, t) \frac{\int_0^1 m_{\text{ТМ}}(d_{\text{гр}}(p)) dp}{\int_0^1 m_{\text{гр}}(p) dp},$$

$$m_{\text{гр}} = \frac{\rho_{\text{гр}}}{6} \pi d_{\text{гр}}^3,$$

где $m_{\text{ТМ}}$ – масса вещества, адсорбированного на частице крупностью $d_{\text{гр}}$, кг/кг; $m_{\text{гр}}$ – масса частицы крупностью $d_{\text{гр}}$, кг; $d_{\text{гр}}$ – крупность частицы, м; p – вероятность, б/р.

Следует заметить, что гетерофазный массообмен между поровыми водами и донными отложениями, а именно процессы адсорбции и десорбции, в модели не рассматривается, то есть система «поровые воды – донные отложения – водная масса» полагается равновесной. При этом, в отличие от принятых алгоритмов оценки нагрузки тяжелыми металлами донных отложений эффективной крупности, в этих алгоритмах учитывается кривая гранулометрического состава донных отложений. Последнее позволяет избежать смещения в оценке общего содержания адсорбированных на поверхности частиц ТМ за счет погрешностей в определении эффективной крупности.

V. Anand, V.D. Rajput , T.M. Minkina, S.S. Mandzhieva

Southern Federal University

MACHINE LEARNING (ML) BASED PREDICATION OF HEAVY METALS IMMOBILIZATION EFFICIENCY OF BIOCHARS IN DIFFERENT SOIL CONDITIONS*

Heavy metal (HM) contamination in soils poses significant environmental and health risks, necessitating effective remediation strategies. Biochar is a promising sustainable solution for immobilizing heavy metals from contaminated soils. Its effectiveness relies on interactions between biochar properties, soil characteristics and environmental conditions. Experimental evaluation of biochar and soil HM remediation can be time consuming, costly, and labor intensive particularly in the diverse environmental conditions.

To overcome these limitations and efficiently capture the nonlinear relationships, this study employs machine learning (ML) models like Random Forest (RF) and Neural Networks (NN) to predict the efficiency of immobilization heavy metals from soils and determine the key affecting factors. A dataset of 131 experimental data points generated from incubation studies was compiled, including 43 soil properties and 74 biochar data. The dataset was preprocessed using imputation techniques to handle missing data. Feature ranking revealed that electrical conductivity (EC), biochar dosage and cation exchange capacity (CEC) were the most influential predictors with pyrolysis temperature and pH playing secondary but critical roles in non-linear interactions. The RF model achieved an R-squared value of 0.94, whereas the NN model achieved an R-squared value of 0.55 suggest that the RF model outperformed the NN model. The biochar produced at ~500°C with high CEC >30 cmol/kg maximize the HM adsorption especially in acidic soils.

The RF-based modeling offers a reliable framework for optimizing biochar formulations, enables tailored soil remediation strategies under diverse conditions. These insights can guide the synthesis and application of biochar for sustainable HM immobilization in contaminated soils.

* The research was supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University («Priority 2030»).

S. Banerjee, V. D. Rajput*Southern Federal University***RHIZOSPHERIC NANO-REMEDIATION SALVAGES ARSENIC GENOTOXICITY:
ZINC-OXIDE NANOPARTICLES ARTICULATE BETTER OXIDATIVE STRESS
MANAGEMENT, REDUCE ARSENIC UPTAKE, AND INCREASE YIELD
IN *PISUM SATIVUM* (L.)***

Pea (*Pisum sativum* L.), a legume, has a high nutritional content, but arsenic (As) in the agro-ecosystem poses a significant bottleneck to its yield, especially in South East Asia, by severely hampering ontogeny. The present study proposes a rhizospheric nano-remediation strategy to evade As-genotoxicity and improve crop yield using biogenic zinc-oxide nanoparticles (ZnONPs). Similar to any other source of environmental stress, As-toxicity caused rapid oxidative bursts with deterioration in morpho-physiological attributes (germination rate, shoot length, and root length decreased by 62 %, 16 %, and 14.9 % respectively in the negative control, over normal control). Reactive oxygen species (ROS) accumulation (12.8 and 9-fold increase in leaves and roots) overburdened antioxidative defense, and loss of cellular homeostasis resulted in membrane damage (82.75 % increase) and electrolyte-leakage (2.6-fold increase) in negative control. The study also reveals a significant increase in nuclear area, nuclear fragmentation, and micronuclei formation in root tip cells under As-stress, indicating severe genomic instability and increased programmed cell death (3.3-fold increase in early apoptotic cells) due to leaky plasma membrane and unrepaired DNA damage. Application of ZnONPs significantly reduced As-toxicity in peas due to its adsorption in the rhizosphere, causing diminished As-uptake and better antioxidant response. Improved phytochelatin synthesis enhanced vacuolar sequestration of arsenic, which reduced As-interference. Comparatively better flowering time (7.74–19.36 % reduction in flowering delay) with greater transcript abundance of GIGANTIA (GI), CONSTANS (CO), and FLOWERING LOCUS T (FT) genes; better photosynthetic activity (1.3–1.9-fold increased chlorophyll autofluorescence); increased pollen viability; lesser genotoxicity (decreased tail DNA in comet assay) was noticed. A maximum increase of 37.5 % in pod number and seed zinc content (1.67-fold) was observed while seed arsenic content decreased under ZnONPs treatment. However, the highest dose of ZnONPs (400 mg L⁻¹) induced NP-toxicity in pea plants under our experimental conditions, while optimum stress-alleviation was observed up to 300 mg L⁻¹.

* The research was supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University («Priority 2030»)

S.J. Hanuman*Sri Karan Narendra Agriculture University*

UNLOCKING CROP POTENTIAL THROUGH MICRONUTRIENT MANAGEMENT

Micronutrients, though required in small quantities, are essential for the healthy growth and development of plants. Together with macronutrients, they are fundamental in completing the life cycle of plants. Their role in balanced plant nutrition is well established, as they contribute significantly to both soil health and crop productivity. Key micronutrients such as zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), iron (Fe), and boron (B) are vital for the rapid growth and physiological functions of plants. Micronutrients play indispensable roles in numerous metabolic and physiological processes. These include the biosynthesis of proteins and nucleic acids, gene expression, production of growth substances, metabolism of carbohydrates and lipids, stress tolerance, chlorophyll synthesis, and the formation of secondary metabolites. These functions are carried out through their interactions with various enzymes and physiologically active molecules, making micronutrient availability critical for optimal plant development. The concentration of micronutrients in soil is influenced by geological substrate and pedogenic processes, while their bioavailability depends on several factors such as soil pH, organic matter content, adsorption capacity, and various biological, chemical, and physical properties of the soil environment. Often, plants may not exhibit visible symptoms of deficiency because micronutrient availability is governed by complex soil-plant interactions. Soil plays a fundamental role in defining the agro-ecosystem and determining sustainable productivity. Sustainable soil fertility relies heavily on the soil's ability to continuously supply essential nutrients to growing crops. Micronutrient deficiencies pose a major challenge to productivity, stability, and the long-term sustainability of soils. These deficiencies may arise due to inherently low micronutrient concentrations or adverse soil conditions that limit their availability. In India, poor nutrient management practices including imbalanced fertilization, continued neglect of micronutrient supplementation, and the decreasing use of organic manures are primary contributors to widespread micronutrient deficiencies. These issues often lead to complex, multi-nutrient deficiencies that hinder plant growth.

To address these challenges, it is critical to adopt a systematic approach to identify nutrient deficiencies and implement effective management strategies. A summary of recommended strategies is presented in Figure 1.

Conclusion: Micronutrients have a significant impact on both plant health and soil quality. Even a slight deficiency can greatly affect the quality of agricultural produce, including its nutritional value and shelf life. In soils, micronutrient deficiencies hinder the activity of various enzymes and disrupt essential biochemical processes, ultimately impairing soil fertility and plant productivity. Given their critical role, the precise and efficient use of micronutrients is essential to maximize their benefits. Despite being required in minute quantities, micronutrients can exert a macro-level impact when managed effectively. Therefore, integrated and well-informed strategies for micronutrient application are vital for enhancing crop quality, soil health, and sustainable agricultural productivity.

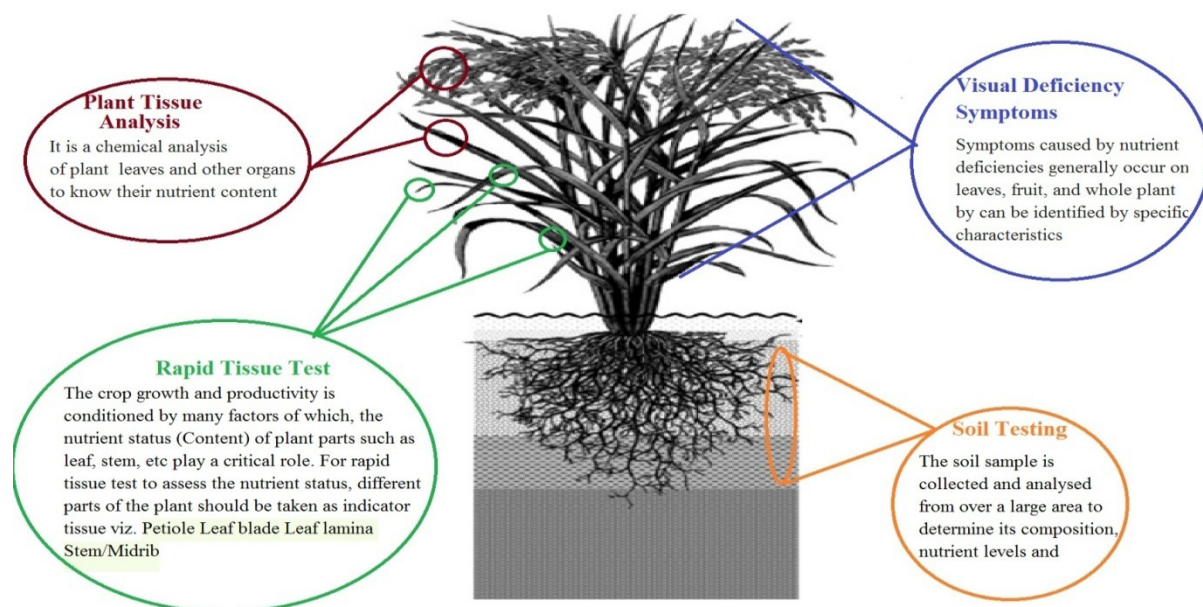


Figure 1. Possible Steps to identify the nutrient deficiency (Jatav et al., 2020)

**V.P. Kalinitchenko^{1,2}, V.P. Meshalkin³, M.G. Baryshev²,
 M.A. Sevostyanov², D.V. Demin², M.R. Overcash⁴, A.V. Swidsinski⁵,
 S.V. Gudkov⁶, M.A. Kobtseva⁷, L.Yu. Goncharova⁷, V.E. Boldyreva⁷,
 V.D. Rajput⁷, L.R. Valiullin², D.A. Makarenkov⁸, L.P. Ilyina⁹,
 V.V. Chernenko¹, G.S. Larin¹**

¹*Institute of Fertility of Soils of South Russia, Persianovka, Russia*

²*All-Russian Phytopathology Research Institute, Big Vyazyomy, Russia*

³*D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia*

⁴*Environmental Genome Initiative, Raleigh, North Carolina, USA*

⁵*Charite, University Medicine, Berlin, Germany*

⁶*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

⁷*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

⁸*Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemical Substances of National Research Centre "Kurchatov Institute", Moscow, Russia*

⁹*Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia*

BIOGEOSYSTEM TECHNIQUE METHODOLOGY AND CHEMICAL-SOIL-BIOLOGICAL ENGINEERING IN SOIL SUSTAINABILITY*

Current "Ecosphere – technology" conflict stems from an environmental, agricultural and chemical management outdated technological platform based on a simplified attempt to imitate natural phenomena in technology root case. A standard chemical-technological system hierarchy determines the own technological waste and ecosphere chemical-technological load. Badly controlled soil geophysical system reduces a soil productivity.

A critical reassessing of the land and water use, waste recycling technologies, environment and agronomy practice is needed to eliminate shortcomings and configure a future sustainable environmentally sound chemical-soil-biological engineering.

Standard soil and environmental technologies have shortcomings that need for elimination. For solving the problem, it should be useful to apply an apparatus of Priming actions and Priming effects. Priming is an idea that an exposure to a stimulus influences a direct response of the system and also generates a new subsequent stimulus, not directly caused by an initial priming action. Priming action can cause a positive or a negative effect in relationship between priming and target stimuli. An outdated chemical technology, agriculture, irrigation and waste management priming action ensures a rather low level and short-term direct soil priming effect. Moreover, an improper priming action leads to multiple uncontrolled direct and secondary adverse priming effects in the ecosphere (soil, in particular).

Using a heuristic approach to understand an origin of an environmentally sound technological development niche, we configured the Biogeosystem Technique (BGT*) methodology and chemical-soil-biological engineering (CSBE) methodology as a system of the non-standard technical means and technologies for a long-term optimization of the main product chemical technology, soil geophysical, chemical, water, biological properties and productivity.

A standard chemical-technological system hierarchy determines the own technological waste and ecosphere chemical-technological load of technology. A scientific and technical direction BGT*-CSBE is capable in providing: a main chemical product completely waste-free technology; a dispersed by-products recycling within the synthesized fine-aggregate architecture of the soil inner layer for a plants favorable development; and a food, fodder and row material economic use of the biological production obtained on the synthesized soil.

The BGT*-CSBE objects are: main product chemical-technological system; devices for improving the geophysical and geochemical properties of soil by synthesizing the structure and architecture of its illuvial layer for the biological-soil recycling of bulk or granular by-product; pulsed intra-soil sequential-discrete devices for recycling of liquid by-product and/or soil moistening and plant nutrition; and an environmentally friendly biological production.

BGT* applies nature phenomena creating a nature-friendly technical means and technologies for a long-term soil geophysical, chemical, water and biological properties optimization. The BGT* based one time 20–50 cm layer intra-soil milling provides a stable soil fine multilevel aggregate system improving a soil biome function for up to 40 years. The BGT* based intra-soil pulse continuous-discrete watering reduces a plant water consumption circa 5–20 times compared to the standard irrigation. BGT* based municipal, industrial waste and gasification byproduct intra-soil dispersed recycling in a course of the 20–50 cm soil layer milling provides the soil solution equilibria control, heavy metals passivation, stimulants and nanoparticles application, environmental safety and plant nutrition. Using BGT* methodology, the yield becomes higher circa 50–80% compared to standard technology. BGT* methodology

* The research was supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University («Priority 2030»)

promotes the soil system continuity, reinforces soil biogeochemical turnover, ensures a reversible carbon intra-soil and aboveground biological sequestration, provides biosphere health and climate system sustainability. There is a strong need to use a BGT*-CSBE and in their chemical-biological engineering theory and practice. The BGT*-CSBE helps to understand a new world chemical engineering development niche. The BGT*-CSBE expands the environment, soil science, agronomy, irrigation, waste recycling fields corresponding new technical equipment design and manufacturing. The BGT*-CSBE provides a practical solution in a friendly environmental synthesis design. The BGT*-CSBE provide new information to assist in an ecosphere stability solution problem. This research could be used in the fields of environment, soil science, agronomy, irrigation, waste recycling and in the fields of corresponding new technical chemical and exosphere equipment design and manufacturing. The BGT*-CSBE is focused on the new and more efficient developments is an environment friendly waste free circular green chemistry and a platform of ecosphere transformation to the high quality and productive soil and biosphere sustainable development.

P. Kumar, V. D. Rajput, T.M. Minkina, S.S. Mandzhieva

Southern Federal University

SENSING OF MERCURY ION USING LIGHT INDUCED AQUEOUS LEAF EXTRACT MEDIATED GREEN SYNTHESIZED SILVER NANOPARTICLES OF *CESTRUM NOCTURNUM* L*

In this study, a simple, one-pot, and eco-friendly biosynthesis of silver nanoparticles (AgNPs) was accomplished with the use of aqueous leaves extract of *Cestrum nocturnum* L. (AECN). Different techniques like ultraviolet-visible (UV-Vis) spectrophotometry, Fourier transform infrared (FTIR), X-ray diffraction (XRD), transmission electron microscopy (TEM), and scanning area electron diffraction were used to investigate the optical, operational, and physical properties of the green synthesized AECN-AgNPs. The AECN-AgNPs were further used for the detection of Hg^{2+} by UV-Vis and electrochemical methods. The disintegration of the AECN-AgNPs solution caused the formation of an Ag-Hg amalgam, which caused discoloration of the solution. Sensing performance for a variety of metals such as Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , As^{3+} , and Mn^{2+} at 10-mM concentrations was measured in order to determine the selectivity of the sensor towards the Hg^{2+} . For the electrochemical determination of $2 + Hg^{2+}$, AECN-AgNPs were immobilized on a glassy carbon (GC) electrode, and the resulting modified electrode (GC/AECN-AgNPs) was characterized by cyclic voltammetry. This phenomenon is advantageously used for the sensitive determination of trace level Hg^{2+} . GC/AECN-AgNPs demonstrated a linear calibration range of 100 nM to 10 μ M and a limit of detection of 21 nM for Hg^{2+} determination.

* The research was supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University («Priority 2030»)

G.H. Margaryan, H.S. Movsesyan, A.R. Singh, K.A. Ghazaryan

Yerevan State University

ASSESSMENT OF SOIL SALINIZATION DEGREE OF AGRICULTURAL LANDS: CASE STUDY OF ETCHMIADZIN REGION*

Soil resources, being one of the most important components of the biosphere, are subject to various negative natural and anthropogenic impacts. Currently, soil salinization processes have clearly reached a global scale, resulting in decreased soil fertility, reduced biodiversity, land degradation, and desertification. As a serious global process of soil degradation, salinization not only causes significant damage to the ecological environment but also severely limits the sustainable development of agriculture. Soil salinization is caused by the accumulation of inorganic soluble salts (mainly salts of alkaline and alkaline earth metals such as sodium and calcium, and associated anions like chloride, sulfate, bicarbonate, and carbonate).

Due to the fact that large areas of agricultural lands are affected by salinization, increasing attention is being paid to this issue, particularly in scientific circles. This problem also exists in the Republic of Armenia, especially in the Ararat Valley. Considering this, the main objective of our research was to assess the degree of salinization of agricultural lands in the Etchmiadzin region, which could serve as a valuable tool for the management and improvement of agricultural lands in arid and semi-arid regions.

Materials and Methods. Sampling was carried out in 58 agricultural land plots using a special device designed for soil sampling (AMS Basic Soil Sampling Kit) from four soil horizons (0–10 cm, 10–30 cm, 30–60 cm, and 60–100 cm). Soil water extract (1:5 ratio) was prepared, and its electrical conductivity (EC1:5) was measured using a MARK 603 conductometer. The degree of soil salinization was assessed using the ECe index.

Results and Discussion. According to Figure 1, the average values of EC1:5 in the studied soil layers decreased with depth down to 60 cm, after which a slight increase in the average values of EC1:5 was observed. That is, the maximum average EC1:5 value (0.518 dS/m) was found in the 0–10 cm soil layer, and the minimum average value (0.277 dS/m) was found in the 30–60 cm layer. Such variations in EC1:5 values in the soil layers may be due to the following factors:

- the level of groundwater (a low groundwater level promotes the desalination process of the soil layer, whereas with a high level, capillary forces cause groundwater to rise, simultaneously bringing soluble salts upward),
- the chemical composition of groundwater used for irrigation (a high content of soluble salts in irrigation water promotes their accumulation in the upper horizons of the soil),
- soil structure and precipitation (which can cause leaching of soluble salts from the upper to the lower soil layers).

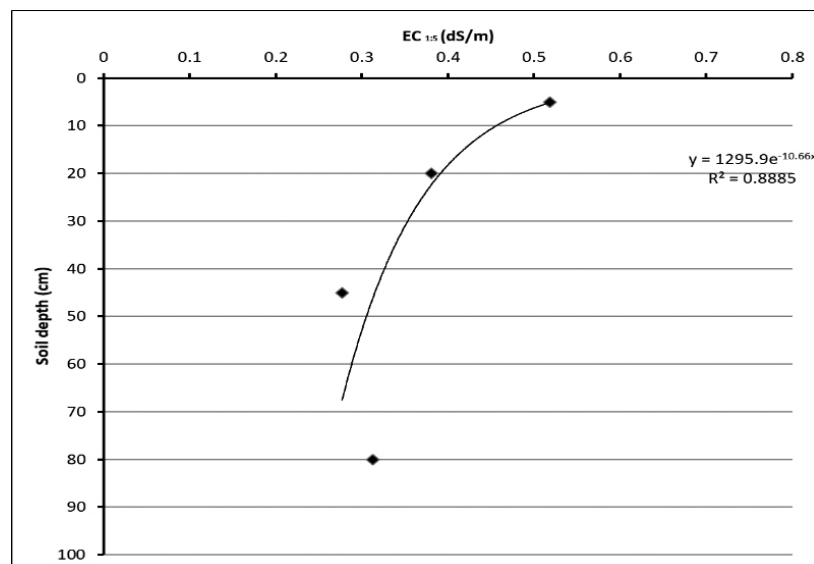


Figure 1. Average values of EC1:5 in the studied soil layers

Summarizing the research results, we can conclude that the continuous use of groundwater with poor irrigation properties in the Etchmiadzin region may lead to the salinization of agricultural lands, consequently causing a decline in productivity and, ultimately, soil degradation.

* The work was supported by the Science Committee of the Republic of Armenia, in the frames of the research project № 21AG-4C075.

G. Mohammed, T. Minkina

Southern Federal University, Department of Soil Science and Land Resources Evaluation, Academy of Biology and Biotechnology

OPTIMAL ALLOCATION OF WATER RESOURCES UNDER IRRIGATION EXPANSION AND CLIMATE CHANGE SCENARIO IN AWASH RIVER BASIN

Rational allocation of water resources is very essential to cope with water scarcity. The optimal allocation of limited water resources is required for various purposes to achieve sustainable development. Awash river basin is currently faced with scarcity of water due to increasing of demands, urbanization, irrigation expansion and variability of climates. Excessive abstraction of water resources in the basin without proper assessing of the available water resources contributed to water scarcity. This paper aimed to develop water evaluation and planning (WEAP) model to allocate the water supplies to demanding sectors based on economic parameter to maximize the economic benefits. The water demands, water shortages, and supply alternatives were analyzed under different scenarios. Three scenarios were development namely reference (1981–2016), medium term development (2017–2030) and long-term development (2031–2050) future scenarios with the baseline period (1980). The results of this study showed that the total quantity of water needed to meet the irrigation demands of all the stations was 306.96 MCM from 1980 to 2016. Seasonally, March, April, May and June require maximum irrigation water demand. However, July, August and September require minimum demand of water because of rainy season. The seasonal unmet demand is observed in all months which is ranged from $6 \times 10^6 \text{ m}^3$ to $35.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ in August and May respectively. The trend of streamflow in Melka Kuntre was statistically significant increasing trend after 2008 ($Z = 5.33$) whereas the trends in other gauge stations showed relatively decreasing trend. The results also showed that future water consumption will greatly increase in the Awash River Basin. The prevention of future water shortages requires the implementation of water-saving measures and the use of new water supply technologies. The findings of this study will serve as a reference for water resources managers, policy and decision makers.

P. Rajput, S.S. Mandzhieva, V.Y. Malieva

Southern Federal University

DEGRADATION AND REMEDIATION OF MICROPLASTICS IN SOIL*

Rising presence of microplastics (MPs) in lakes and rivers, urban settings, and isolated wild locations are becoming global concern. MPs are non-biodegradable and remain in soils for decades, continuously accumulating due to ongoing plastic production and poor waste management. Soils are becoming a largest sink for MPs, with estimates suggesting it contain 4 to 23 times more than aquatic systems. It can alter the soil porosity, water retention, and aeration, negatively affecting soil health. MPs in the soil adversely affecting growth of crops, and variety of soil microbes, thereby compromising the sustainability of agriculture. Exposure to MPs lead oxidative stress in plants, resulting in reduced productivity, and disturb microbial diversity. Reduced microbial diversity leads to an imbalance in carbon, nitrogen, and phosphorus cycles, potentially exacerbating climate change and reducing ecosystem productivity. Considering an alarming threat imposed by MPs on soil microbial community, crop and human health, the present work aimed to address the contamination level, toxicity, degradation and remediation in soils. Addressing the MPs problem in soil is scientifically important due to its toxicity that affecting physical, chemical, biological properties of soils, plant growth and human health.

Accumulation of MPs occurs in different plant species, affecting different tissues, causing physiological effects and damaging the biochemical processes. Thus, the various sizes of MPs are synthesized and incubated (spiking) in soils under controlled conditions for toxicity evaluation. Role of microbes (special microbes/tolerant) for MPs degradation in soil explored. Emerging sorbents such as biochar, nanobiochar, integrated biochar with microbes/ nanoparticles examined to alleviate MPs toxicity in soil and on plant indices in model experiment and field-testing system. The results helped to understand the state of soil microbes and plant responses under MPs pollution. The effectiveness of emerging sorbents opens new avenue in remediation of emerging contaminants. Therefore, this combined approach is significant, ecofriendly, sustainable, low-cost, adaptable and could be effective to eliminate contaminants.

* This research is supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University ("Priority 2030").

T. Patel^{1,2}, S. Tanwar¹, R. Gupta¹, E.V. Melnik³, A.N. Samoylov³, A.V. Kozlovskiy³

¹*Institute of Technology, Nirma University, Ahmedabad, Gujarat, India*

²*Dept. of Computer Science, LDRP-ITR, Gandhinagar, Gujarat, India*

³*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

**FEDERATED LEARNING AND BLOCKCHAIN-ENABLED PRIVACY PRESERVING
FRAMEWORK FOR SOIL CROP FORECASTING***

Crop yield plays a vital role in the agriculture growth and sustainable economy of any country. In the world of Artificial Intelligence (AI) enabled technology, it becomes feasible to precisely predict the crop yield using the information on various impactful parameters. Many researchers explored the usage of AI to predict crop yields based on soil and weather data. They used classical Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL) algorithms to predict multi-impact features like soil properties, environmental factors and crop management. Data quality, availability and privacy seems to be great challenge. Also, the integration of data from different regions for efficient soil crop forecasting is computationally expensive.

The possible solution to the aforementioned challenges in the traditional ML and DL algorithms is Federated Learning (FL). It uses the concept of distributed machine learning where the entire framework is divided into clients and global model. The data is equi-distributed between clients for better prediction. In recent times, the authors have used FL framework for smart agriculture and agricultural IoT. It resolved the burning issue of the traditional system including wide geo-distribution, heterogeneous data distribution, and high device risks. FL setup provides efficient and reliable knowledge transfer in agricultural IoT systems. At client levels, the authors have used various ML/DL models, such as multilayer perceptron, convolutional neural network, and stochastic gradient descent with diverse datasets, like CIFAR10 and MNIST dataset. There is still a gap to refine algorithms to enhance efficiency and achieve high accuracy. The limitations of state-of-the-art FL-based crop prediction are limited number of clients, explored only the dataset collected from same region, and no work talked about the secure weight sharing between multi-region clients and global model.

Motivated by this, in this paper, we introduce the amalgamation of FL and blockchain for secure and privacy-preserving effective crop yield prediction over the soil health data. We used the soil health data of 21 different states of India, which contains Nitrogen, Phosphorous, Potassium, pH, Organic Carbon (OC), Electric Conductivity (EC) values in percentage for each state. This data demonstrates the diversity of different elements in the soil according to the state, hence there are different crop yield probabilities for different states. This gap provides a strong reason to explore this area for research.

In the proposed FL-based framework (as shown in Figure 1) is divided into four different layers, such as (i) data collection layer, (ii) model layer, (iii) trust and audit layer, and (iv) data processing layer. In the proposed framework, we create 21 different clients (one belongs to each state) associated with their own soil health data as depicted in the data collection layer. Each client performs model training at their own place and generates model weights, bias and gradient values after every training iteration. We use Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Unit (GRU), and 1D Convolutional Neural Network (1D CNN) for model training. These model parameters are passed to the data aggregator through a highly secure trust and audit layer. Blockchain provides smart contracts to uniquely track every transaction of weight, bias, and gradient exchange between clients and data aggregators. The Global AI model consists of the FedAvg function, it combines all the updates received from various states (clients) into a global model. That global model gets trained and updated parameters are sent back to the clients through smart contracts. Each client uses these updated parameter values to train their local model in the next iteration. This way, each model gets trained with global parameters without sharing their raw data directly to any centralized server. This achieves the data privacy preserving and reduce communication overhead.

Table 1. Sample Federate Clients of different Regions with applicable AI models

Client No.	Region	Model
Client 1	Andhra Pradesh	LSTM/GRU/CNN1D
Client 2	Arunachal Pradesh	LSTM/GRU/CNN1D
Client 3	Bihar	LSTM/GRU/CNN1D
Client 4 21	Chhattisgarh	LSTM/GRU/CNN1D

Table 1 provides some of the sample clients from 21 participating clients in the proposed blockchain enabled FL framework

* The research was supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University («Priority 2030»)

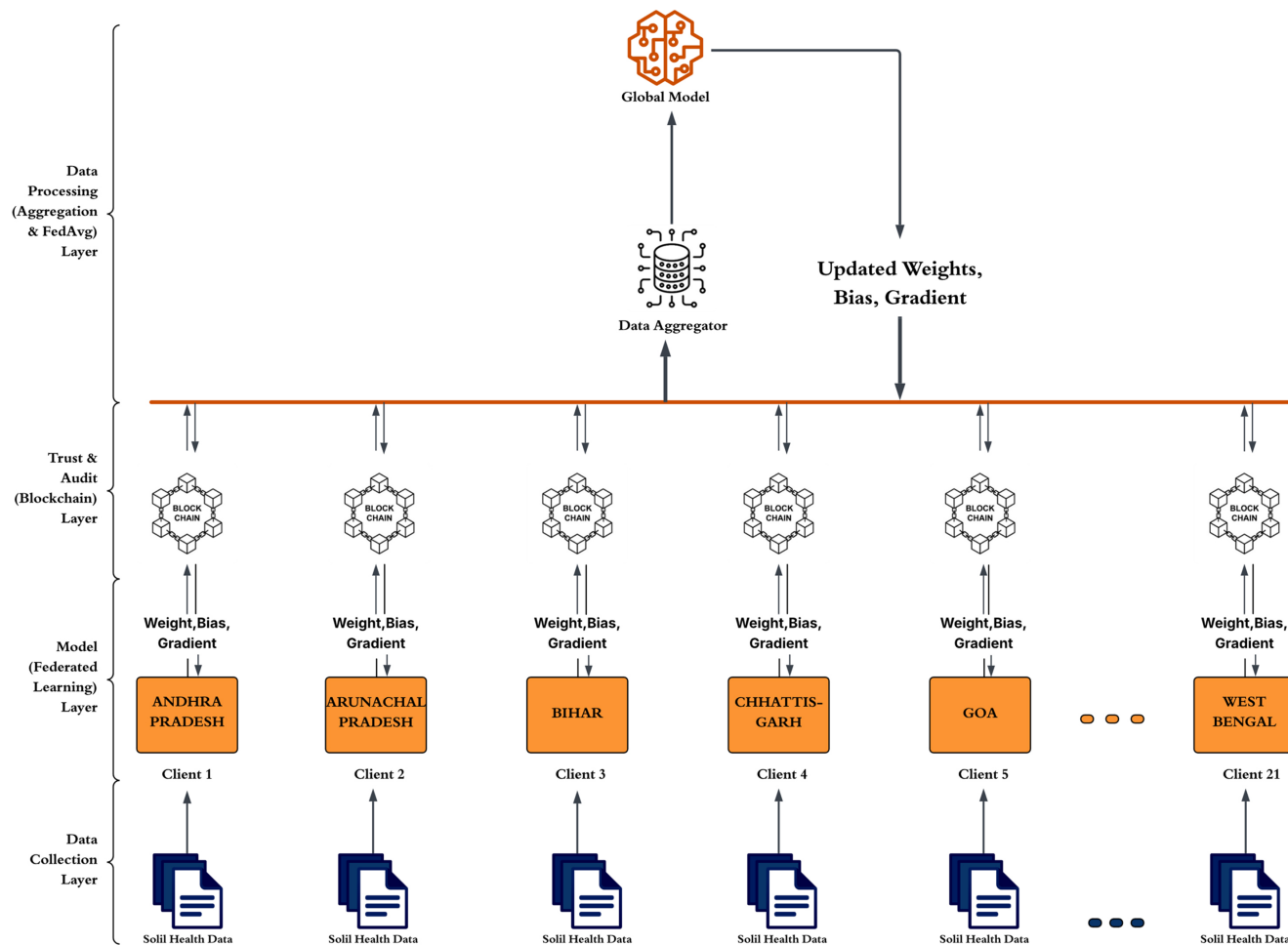


Figure 1. Blockchain Enabled Federated Learning based Crop Yield Prediction from Soil Health Data

We assure that after successful implementation of this framework, it will deliver secure and traceable model parameter communication with a high number of participating clients with huge vibrancy in their soil health data but still with comparable accuracy and notable model loss values.

S. Tarigholizadeh, V. D. Rajput, S.N. Sushkova, S.S. Mandzhieva,
 T.V. Bauer, T.M. Minkina

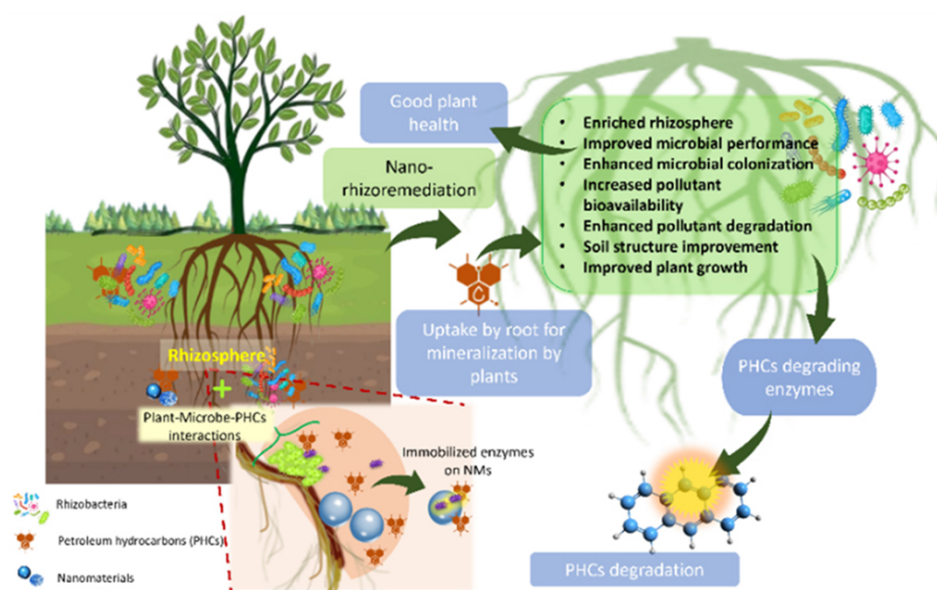
Southern Federal University

ADVANCES IN NANOMATERIAL-ENHANCED RHIZOREMEDIATION FOR PETROLEUM-CONTAMINATED SOILS*

Soil contamination by petroleum hydrocarbons (PHCs), largely due to industrial and agricultural activities, poses a severe threat to environmental and agricultural sustainability. Traditional remediation methods often face challenges related to cost, efficiency, and ecological impact. Rhizoremediation – a plant-assisted, microbe-driven cleanup strategy—has shown promise but remains limited in scope and speed. Recent advances in nanotechnology offer a compelling solution by enhancing biological remediation processes.

This paper explores the synergistic potential of nanomaterials (NMs) and rhizoremediation in addressing PHC-contaminated soils. Specifically, it discusses how NMs improve pollutant bioavailability, stimulate microbial activity, and enhance plant-microbe interactions within the rhizosphere. The paper also examines the mechanisms through which nano-assisted strategies accelerate PHC degradation, improve soil health indicators, and reduce pollutant toxicity. By evaluating current research and practical applications, this work highlights nanomaterial-enhanced rhizoremediation as a sustainable, scalable approach for restoring petroleum-impacted soils.

Figure 1 shows the following schematic representation of nanomaterial-enhanced rhizoremediation in petroleum-contaminated soils. The conceptual framework illustrates the interaction between plant roots, rhizospheric microorganisms, and nanomaterials (NMs), highlighting their combined role in enhancing the degradation, uptake, and stabilization of petroleum hydrocarbons (PHCs) while promoting soil health and ecosystem recovery.



Picture 1. Schematic representation of rhizoremediation

* The research was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (no. FENW-2023-0008) and the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University («Priority 2030»)

V.D. Rajput, T.M. Minkina, D. Bren

Southern Federal University

INSIGHT INTO EMERGING MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN RHIZOSPHERE BIOENGINEERING AND PLANT GROWTH MANAGEMENT*

Past few decades, due to intensive agriculture cultivation, the soils are getting huge amount of chemical-based fertilizers/pesticides, which is directly/indirectly affecting the soil microbiota; especially rhizospheric microbiome. These soil microbes are playing significant role to help plants to uptake nutrient, make unavailable elements to available form, and responsible for decomposition to enhance soil fertility. Soils are not only suffering with agro-chemical inputs, but it also facing various abiotic-abiotic stresses, including heavy metals and emerging contaminants accumulation such as nanoparticles, microplastics, pharmaceuticals and personal care products. The organic matter is continuously decreasing, and soil are losing its fertility and productivity. Due to the population explosion under this climate change era, to achieve the “Zero Hunger” goal in sustainable way is a challenging issue. It is necessary to solve the fundamental tasks that are of frontier importance for soil science today.

The recent research developments, and combination of various emerging technologies such as nanotechnology, carbon or biochar materials, genomic, synchrotron, neutron, microbiome and metabolome, and genome editing tools open new avenue to restore soil health via soil engineering; especially rhizospheric microbiome. Thus, our focus on research is to edit soil rhizospheric microbiome and study its responses, determine dynamics, nature and features of interactions in the soil-microbe-plants system.

The aim of the study, to analysis of the processes occurring in rhizosphere in presence of nanoparticles, nanofertilizers and nanocarbon materials using synchrotron-neutron methods and NBIC (Nano-, Bio-, Information, and Cognitive) technologies to improve the soil fertility, to restore degraded soils, artificial soil system. Analyzed the processes and mechanisms of interphase interactions between the surface of soil particles, plant roots and microbes with the participation of nanoparticles. The structure and functions of the rhizosphere, and the possibilities for optimize its condition is critical to design the artificial ecosystem. Thus, the advanced technologies that is capable to decode the biological and ecological processes, and interactions in rhizosphere system were used such as genomic, synchrotron, neutron tomography methods and computer modeling with microscopic methods. The neutron computed tomography helped to construct a 3D combined image of the rhizosphere structure at the micro-level, whereas, omics technologies characterized the microbiome and metabolome of the rhizosphere.

* This research is supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University (“Priority 2030”) and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (no. FENW-2023-0008)

S.V. Venevsky^{1,2}, S.V. Berdnikov¹, A.V. Kleshchenkov¹, V.V. Kulygin¹, S.A. Misirov¹,
 I.V. Sheverdyayev¹, V.V. Sorokina¹, Hui Lu², Butawan Bidorn³

¹Southern Scientific Centre of Russian Academy of Sciences

²Tsinghua University, Beijing, China

³Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

ERODIBILITY FACTOR OF BQART SEDIMENT-RUNOFF RELATIONSHIP AT A RIVER BASIN SCALE AS A POSSIBLE RECORD OF CLIMATE CHANGES AND RIVER ENGINEERING (ON EXAMPLE OF EUROPEAN PART OF RUSSIA)

Observed scaling relationships between runoff from a river basin and suspended sediment load carried by this river became a base of popular BQART model (Syvitski and Milliman, 2007). This model relates catchment's erodibility (B – unitless), annual water discharge (Q – km³/year) or river runoff (RR), area (A – km), relief or difference between maximum and minimum heights (R – km) and annual temperature (T-grad C) with annual fluvial sediment delivery (FSD-Mt/year):

$$FSD = k_B(RR)^{0.31} A^{0.5} RT, \quad (1)$$

where k_B is a dimensionless coefficient equal to 0.0006 and a catchment erodibility B is calculated as $B = I * L * (1 - CE) * Er$, where I is a glacial erosion, L is average lithology, Er a human land use disturbance factor, CE (between 0 and 1) is a sediment capture efficiency due to dam construction and other river engineering.

Application of BQART model is as a rule done for long term periods (both for now days and in for geological past), so both the runoff and sediment delivery are considered to be long term averages, while other variable of the model (including catchment erodibility B) considered to be constants.

One can assume, however, that BQART sediment-runoff relationship can be valid also in its dynamic representation, so that

$$FSD(t) = k * I * L * VRE(t) * (RR(t))^{0.31} A^{0.5} RT, \quad (2)$$

where VRE (t) is a variable part of erodibility factor.

Variable part of erodibility factor VRE(t) depends on human land use disturbance factor and sediment capture efficiency due to dam construction and other river engineering according to the concept of BQART model.

We, however, made an assumption that VRE(t) as well depends on climate (or weather) variations.

This hypothesis was studied by comparison of observed VRE(t) for the River Don Basin and River Kuban Basin between each other for the period 1933–2013 (see Fig. 1)

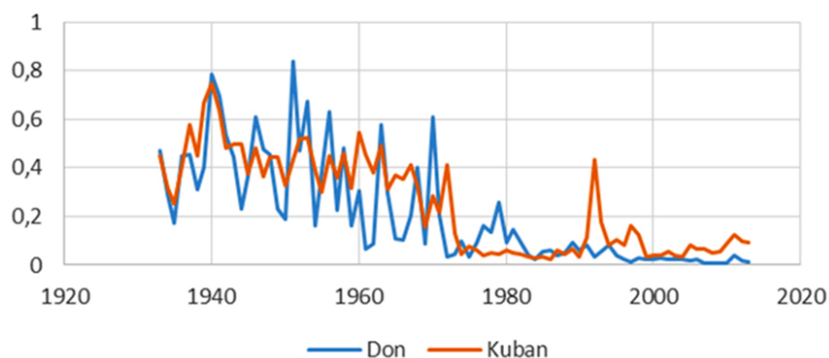


Figure 1. Dynamics of variable part of erodibility factor VRE(t) for the River Don Basin and River Kuban Basin for the period 1933–2013

Statistical analysis confirms existence of three main periods of VRE(t) dynamics for the basins 1) 1933–1952 coefficient of determination for linear regression between VREDon and VREKuban is $R^2 = 0.77$, p-value = 0.000001; 2) for 1953–1973 R^2 is equal to 0.39 and 3) 1974–2013 – no correlation between VREDon and VREKuban.

These three periods have clear interpretation. So, there were no large engineering projects at the River Don and the River Kuban at the first period till 1952. Neither, no large scale land use changes were happening in this period. The only plausible explanation is the existence of joint for the two basins climate drivers, which were affecting VRE(t) in rather similar way. On the contrary, the period 1953–1973 is characterized by construction of large dams for Tsimlyansk reservoir at the River Don and for Krasnodar reservoir at the River Kuban. These human activities slightly obscured impact of the large-scale climate driving seen at the previous period. The third period from 1974 till presumably now did not have river engineering similar scales as in the period 1953–1973. Large land use changes were observed only during relatively short period of transition of agriculture from Soviet to Russian (1985–1995). Thus,

the only explanation can be posed is that the large scale climate driving of VRE (t) common to the both basins was disrupted and got spatially localized. Indeed, large scale changes of atmospheric circulation have started from mid-70th of the last century in the southern part of European Russia (Mescherskaia et al, 2014) most likely due to ongoing climate change. This can be a reason for discrepancy in VRE(t) dynamics for the River Don basin and the River Kuban basin after 1974.

Further on we are going to find explanatory climate variables and human activities parameters affecting variable part of erodibility factor VRE(t) for dynamic version of BQART sediment-runoff relationship as for the River Don basin and the River Kuban basin, so for basins from the other parts of the world.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕЗИСЫ ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ

- 4** А.Т. Барабанов. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ, КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НА ВОДОСБОРЕ
- 5** В.В. Беликов, Н.М. Борисова, Е.С. Васильева, А.В. Глотко. ЧИСЛЕННАЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НИЖНЕГО ДОНА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
- 6** С.В. Бердников, А.В. Клещенко, И.В. Шевердяев, С.В. Вeneвский, В.В. Кулыгин, В.В. Сорокина, Н.В. Лихтанская, С.А. Мисиров. ВЛИЯНИЕ СОКРАЩЕНИЯ СТОКА, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И МОРСКИХ ФАКТОРОВ НА БАЛАНС НАНОСОВ В ДЕЛЬТЕ ДОНА
- 7** Е.В. Полуэктов. КЛИМАТ И ЭРОЗИЯ НА ЮГЕ РФ
- 8** С.Р. Чалов. ВОЗМОЖНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОКА НАНОСОВ РУСЛОВЫХ И УСТЬЕВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

- 11** Д.В. Анощенков, Е.А. Бураева, Р.А. Кравцов. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАММА-ФОНА В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ДОН
- 12** Г.Т. Балакай, Е.В. Полуэктов, А.К. Картунова. РОЛЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОСБОРАХ В СНИЖЕНИИ МАССЫ СМЫТОЙ ПОЧВЫ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ
- 13** А.И. Барбашев, Т.С. Дудникова, А.А. Немцева, Е.Г. Шуваев, С.Н. Сушкова. ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА И МИКРООРГАНИЗМОВ НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯЧМЕНЯ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО НА ХЕМОЗЕМЕ
- 14** С.А. Барсукова. ДЕГИДРОГЕНАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ УГЛЕОТВАЛОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ИХ РЕМЕДИАЦИИ
- 16** С.Г. Барышников, Г.Я. Барышников. ОСОБЕННОСТИ РУСЛОВЫХ И ПОЙМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ВЕРХНЕЙ ОБИ КАК ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ПОЙМЫ
- 18** О.С. Безуглова, Л.Ю. Гончарова. СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ЗАХАРОВ – ОРГАНИЗАТОР НАУКИ И ОСНОВАТЕЛЬ КАФЕДРЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ В РОСТОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
- 19** В.В. Беликов, Е.С. Васильева, Н.Р. Малюгин. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИЙ РЕЧНОГО РУСЛА В МНОГОФРАКЦИОННЫХ СЛОИСТЫХ ГРУНТАХ И ЕЕ ТЕСТИРОВАНИЕ
- 20** В.В. Беликов, Е.С. Васильева, П.П. Головлев, И.Н. Крыленко, А.С. Завадский. ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ВОЛЖСКОЙ ГЭС В РЕЗУЛЬТАТЕ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ
- 21** А.Б. Биарсланов, Д.С. Азиева, А.З. Шихалиев. ДИНАМИКА ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ В МНОГОЛЕТНЕМ АСПЕКТЕ
- 22** Ю.И. Бик, М.А. Бучельников, В.Н. Кофеева. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РЕЛЬЕФА ДНА ДЛЯ УЧАСТКОВ ОБИ
- 23** О.А. Бирюкова, Я.И. Ильченко, В.А. Ерин. ФОСФАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ
- 24** В.Э. Болдырева, А.К. Шерстнев, И.В. Морозов. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧЕРНОЗЕМОВ СЕВЕРНОГО ПРИАЗОВЬЯ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ СМЫТОСТИ ПО МАТЕРИАЛАМ ПОЧВЕННЫХ ДАТА-ЦЕНТРОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
- 26** Д.В. Большаков, А.С. Завадский. РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ РУСЛОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ ВОЛГИ
- 27** А.Л. Варенов. ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ МАЛЫХ РЕК В ГРАНИЦАХ ОДНОГО ЦИКЛА ВОДНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. КУДЬМЫ)
- 28** Г.К. Васильева, В.Н. Башкин, Т.М. Минкина. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФИТОРЕКУЛЬТИВАЦИИ УГЛЕОТВАЛОВ ДОНБАССА
- 30** Г.К. Васильева, С.А. Дроздов, В.Н. Башкин, Л.И. Ахметов, Л. Херрера, Т.М. Минкина. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ОТ МАЗУТА ПЕСКОГРУНТА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ 2024 г.

- 32** В.А. Волосухин, М.А. Бандурин, И.А. Приходько, М.М. Мордвинцев. О ЗАИЛЕНИИ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ СЕВЕРНОГО КAVKAZA
- 33** Я.В. Волосухин. ПРОБЛЕМЫ ЗАИЛЕНИЯ ЭШКАКОНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА МАЛОЙ ГОРНОЙ РЕКЕ
- 34** А.Ю. Воробьев. ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ НА РЕЧНЫХ БЕРЕГАХ
- 35** А.М. Гареев. ЭРОЗИОННЫЕ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. УРАЛ В ПРЕДЕЛАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ)
- 37** А.М. Гафуров. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОЙ ЭРОЗИИ МЕТОДОМ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ
- 38** Е.М. Гирло. ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОЦЕНКИ ВКЛАДА ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА МЕТОДОМ «ОТПЕЧАТКА ПАЛЫЦА» В ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК
- 39** Г.Л. Гладков. ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И СУДОХОДНЫЕ УСЛОВИЯ НА НИЖНЕМ ДОНУ
- 41** Г.Л. Гладков, П.В. Беяков, П.С. Ржаковская, С.В. Конопацкий. ОБЕСПЕЧЕНИЕ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ
- 42** П.П. Головлев, Е.Д. Панченко. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ГИДРОГРАФА НА РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ Р. ВЯТКИ В РАЙОНЕ Г. КИРОВА)
- 43** В.Н. Голосов, Е.Н. Шамшурина, А.П. Жидкин. ТЕМПЫ АККУМУЛЯЦИИ НАНОСОВ В ДНИЩАХ СУХИХ ДОЛИН КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ТРЕНДОВ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ НА ПАШНЕ
- 45** Г.Б. Голубцов, Р.С. Чалов, А.А. Куракова, Е.Д. Панченко, В.А. Семаков. НОВЫЕ ДАННЫЕ О МОРФОЛОГИИ И ДИНАМИКЕ РУСЛА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ
- 46** К.Г. Гончарова, Л.Ю. Гончарова. СОДОУСТОЙЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
- 47** Л.Ю. Гончарова. СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ КАФЕДРЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА: ВАСИЛЬКО ВАСИЛЬЕВИЧ АКИМЦЕВ
- 48** С.Н. Горбов, С.С. Тагивердиев, Е.М. Романюта. ОПТИМИЗАЦИЯ НОРМ ПОЛИВА ГАЗОННЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ
- 49** Н.С. Горбунова, А.И. Громовик. МИГРАЦИЯ ^{137}Cs В ЭРОЗИОННО-СКЛОНОВОЙ КАТЕНЕ ХОХОЛЬСКОГО РАЙОНА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ
- 51** А.В. Горобец, С.Ф. Краснов, О.Г. Бушуева. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СМЫВА МОДЕЛЬНЫХ ПОЧВ
- 52** О.Н. Горобцова. МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПАХОТНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА (ЗА ПЕРИОД 2012–2022 гг.)
- 54** И.И. Григорьев, И.И. Рысин, В.В. Конев. ДИНАМИКА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В УДМУРТИИ ПО КОСМОСНИМКАМ LANDSAT И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ
- 55** А.И. Громовик, Н.С. Горбунова. ИЗМЕНЕНИЕ ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ПРИ РАЗВИТИИ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
- 56** Е.В. Даденко, А.М. Грищенко, С.Н. Горбов, С.С. Тагивердиев, П.Н. Скрипников. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКТОЗЕМОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ
- 58** Р.З. Дибирова, И.Р. Гаджиев. ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПОЧВ ВЫСОКОГОРНОЙ ЧАСТИ ДАГЕСТАНА НА ПРИМЕРЕ ОКРЕСТНОСТЕЙ С. ЦОВКРА-2
- 59** Т.С. Дудникова, Т.М. Минкина, С.Н. Сушкова, Е.М. Антоненко, Е.Г. Шуваев, А.А. Немцева. СОДЕРЖАНИЕ ПАУ В РЕЧНЫХ НАНОСАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ ЛЕНЫ
- 60** Е.И. Ергина, М.Л. Новицкий, Е.А. Артемова. ПОСТИРРИГАЦИОННЫЕ ПОЧВЫ РАВНИННОГО КРЫМА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОЦЕНКА

- 62** **Е.И. Ергина, З.В. Тимченко.** КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕК РАВНИННОГО КРЫМА НА ПРИМЕРЕ ДЖАНКОЙСКОГО РАЙОНА
- 63** **В.А. Ерин, Н.Д. Калашников, А.Г. Мокрикова.** СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТНОГО АЗОТА В ПОЧВЕ ПОД НУТОМ ПРИ ВНЕСЕНИИ ЖКУ И КАС С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL
- 64** **Д.А. Ерко, А.В. Лысенкова, И.С. Казначеева, М.А. Кобцева, Н.П. Черникова, А.В. Барахов.** ВЛИЯНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
- 65** **А.П. Жидкин, А.В. Хирк, Д.В. Фомичева.** ПРОБЛЕМА РАЙОНИРОВАНИЯ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПО СТЕПЕНИ ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ РАСТРА ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ
- 67** **И.А. Жуков, Д.Н. Айбулатов.** ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНОВ ВОЛГИ И УРАЛА
- 69** **А.С. Завадский, Д.В. Ботавин, П.П. Головлев.** СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В ПРЕДЕЛАХ СУДОХОДНОЙ БАРОВОЙ БОРОЗДИНЫ РЕКИ ЯНЫ
- 71** **А.С. Завадский, Ю.С. Ляхин, К.М. Беркович, Д.В. Ботавин, П.П. Головлев, И.В. Крыленко, И.Н. Крыленко, М.А. Самохин, В.В. Сурков.** СОВРЕМЕННАЯ МОРФОДИНАМИКА РУСЛА РЕКИ ВЯТКИ В РАЙОНЕ Г. КИРОВА И ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ СУДОХОДСТВА
- 72** **И.В. Замулина, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, М.В. Бурачевская, Е.С. Лацынник, А.В. Барахов, Л.Ю. Гончарова.** СОДЕРЖАНИЕ ЦИНКА В ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЯХ ПОЧВ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
- 73** **А.М. Зейлигер, О.С. Ермолаева.** ОЦЕНКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СТОКА С ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ В Р. ВОЛГУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ
- 75** **Т.В. Иванкова, Я.В. Волосухин, Ю.Я. Потапенко.** ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ВОДООХРАННЫХ ЗОН МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕК ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ
- 77** **М.М. Иванов, Н.Н. Иванова, П.И. Фоминых.** ИЗМЕНЕНИЯ БАЛАНСА НАНОСОВ МАЛЫХ ВОДОСБОРОВ НА СЕВЕРЕ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ
- 78** **Н.Н. Иванова, В.В. Беляев.** ФОРМИРОВАНИЕ СМЫТО-НАМЫТЫХ ПОЧВ В БАССЕЙНЕ Р. ЛОКНЫ
- 79** **И.С. Казначеева, А.В. Лысенкова, Д.А. Ерко, В.Р. Попов, П.С. Манджиев, Е.А. Кравченко.** ВЛИЯНИЕ ГИДРОУГЛЯ НА ФИТОТОКСИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ЯРОВЫМ ЯЧМЕНЕМ
- 80** **Н.Д. Калашников, В.А. Ерин, А.Г. Мокрикова.** ВЛИЯНИЕ ЖКУ И КАС НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА В ПОЧВЕ ПОД НУТОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL
- 81** **А.А. Камышев.** МОРФОДИНАМИКА РУСЛА Р. ОБИ В РАЙОНЕ СУРГУТСКОГО УЗЛА
- 82** **В.М. Католиков, Н.И. Католикова.** ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ РУСЛОФОРМИРОВАНИЯ НА МНОГОРУКАВНОМ УЧАСТКЕ РЕКИ ХОР
- 83** **М.В. Киричков, Т.В. Бауэр, В.А. Поляков.** СИНТЕЗ БИОЧАРА ИЗ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД: ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТА, СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, ЭКОРИСКИ
- 85** **А.В. Клещенок.** ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ДЕЛЬТЕ ДОНА ПРИ СГОНАХ
- 86** **Ю.Ю. Клиндухова, Н.А. Черникова.** ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИОЧАРА НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
- 87** **А.А. Коваленко, О.С. Решетняк.** О ВЗАИМОСВЯЗЯХ ТРЕНДОВ МОДУЛЯ ИОННОГО СТОКА И ХИМИЧЕСКОЙ ДЕНУДАЦИИ НА ВОДОСБОРЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ
- 89** **Р.С. Комаров, О.С. Решетняк.** ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОДУЛЕЙ ИОННОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ Р. КУБАНЬ
- 91** **Е.Ю. Константинова, Т.М. Минкина, Е.С. Лацынник.** ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ОТЛОЖЕНИЙ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ДОН
- 93** **С.Е. Коркин.** ЭРОЗИОННО-РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИРОДНОГО ПАРКА «СИБИРСКИЕ УВАЛЫ»

- 94** В.Н. Коротаев. АТЛАС «ЭСТУАРИИ РЕК МИРА»
- 95** А.Г. Косицкий, Д.С. Первых, Е.В. Белозеров. ОСОБЕННОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ ПАВОДКОВ НА РЕКАХ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ
- 96** А.С. Куанова, Т.С. Ершова, Н.Г. Шаболянц. УЧАСТИЕ МАКРОФИТОВ В МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭКОСИСТЕМЕ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ
- 97** А.А. Куракова. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОБЪИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА
- 98** А.А. Кузина, В.Г. Гайворонский, С.И. Колесников. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ БЕНЗИНА НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО
- 99** М.В. Кумани, В.С. Потапенкова. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКЕ СЕЙМ НИЖЕ ГОРОДА КУРСКА НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ
- 100** Е.В. Кучменко, А.А. Меженков, Ю.А. Литвинов. ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ЭРОЗИОННО ОПАСНЫХ ЗЕМЕЛЬ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ РАЗНОМАСШТАБНЫХ ПОЧВЕННЫХ ДАННЫХ
- 101** Ф.Н. Лисецкий. ОЦЕНКА ВКЛАДА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ФОРМИРОВАНИЕ ВОДОУСТОЙЧИВОСТИ АГРЕГАТОВ И ЭРОЗИОННОЙ ВОДОПРОЧНОСТИ ПОЧВ
- 103** Г.В. Лобанов. О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ФРОНТОВ РАЗМЫВА ИЗЛУЧИН ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ДЕСНА
- 104** А.В. Лысенкова, И.С. Казначеева, Д.А. Ерко, Э.В. Ларина, Н.П. Черникова, И.В. Замулина, Т.М. Минкина. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ УГЛЕОТВАЛОВ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОЧАРА В УСЛОВИЯХ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА
- 105** А.А. Магаева. РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВ БАССЕЙНА НИЖНЕГО ДОНА
- 106** С.С. Манджиева, М.В. Бурачевская, А.В. Барахов, Е.С. Богомаз (Лацынник), В.А. Чаплыгин. НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ИМПАКТНОЙ ЗОНЫ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС
- 107** А.Н. Махинов, В.И. Ким. СТРОЕНИЕ ГАЛЕЧНО-ВАЛУННЫХ АККУМУЛЯТИВНЫХ ФОРМ В РУСЛЕ РЕКИ БУРЕЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ДОБЫЧИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
- 109** Р.А. Медведева, О.П. Ермолаев. ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ОБРАЖНЫХ ФОРМ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ
- 111** Е.А. Минакова, А.П. Шлычков, С.А. Кондратьев. ОЦЕНКА ВКЛАДА ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИЕ ДИФфуЗНОЙ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДОСБОРАХ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ (НА ПРИМЕРЕ КУЙБЫШЕВСКОГО И НИЖНЕКАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ В ГРАНИЦАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)
- 112** А.З. Миндубаев, Э.В. Бабынин. БЕЛЫЙ ФОСФОР: НЕ ТОЛЬКО ТОКСИЧНЫЙ, НО И ГЕНОТОКСИЧНЫЙ
- 113** Т.М. Минкина, Д.Г. Невидомская, Т.Н. Польшина, Н.П. Черникова, Т.С. Дудникова. ПРОЯВЛЕНИЕ АДАПТАЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ У ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ДОН В ОТВЕТ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
- 115** Т.М. Минкина, С.Н. Сушкова, А.Н. Самойлов, Э.В. Мельник, А.В. Козловский, Ю.А. Литвинов, А.А. Меженков. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПОЧВ ЮГА РОССИИ
- 116** Т.В. Минникова. СРАВНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПРОТЕАЗЫ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ ПОСЛЕ РЕМЕДИАЦИИ
- 117** Н.М. Михайлова, О.В. Овчинникова, Л.А. Турыкин, А.М. Тарбеева, В.Р. Беляев, И.В. Крыленко, В.В. Сурков. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА НАНОСОВ Р. ЧЕРТАНОВКИ
- 119** А.Г. Мокрикова, В.А. Ерин, Н.Д. Калашников. ВЛИЯНИЕ ЖКУ НА СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТНОГО АЗОТА В ПОЧВЕ ПОД ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL
- 120** Н.Н. Назаров, И.В. Назарова. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. РАЗДОЛЬНАЯ, ЮЖНОЕ ПРИМОРЬЕ

- 121** И.В. Никонорова, В.Н. Ильин, А.А. Ильина, А.А. Никитин. РОДНИКИ КАК НАЧАЛЬНЫЕ ЗВЕНЬЯ РЕЧНОЙ СЕТИ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
- 122** Т.В. Пилипенко, А.Ю. Кудряшов, А.А. Калашников. ИССЛЕДОВАНИЯ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА РЕКАХ НОРИЛО-ПЯСИНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ
- 123** Н.Р. Поваляев, А.Н. Кондратьев, Н.И. Гордеева, А.О. Стрюцкая. СПОСОБ ОЦЕНКИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РЕЧНЫХ РУСЕЛ ПРИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ
- 124** В.А. Поляков, Т.В. Бауэр, В.В. Бутова, М.А. Грицай, Т.М. Минкина. НАНОПЛАТФОРМА MIL-100(FE)/БИОЧАР ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ДОСТАВКИ АУКСИНОВ: ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ КОМПОЗИТА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ 2,4-Д В ОРГАНАХ HORDEUM SATIVUM
- 125** А.Р. Полякова, О.П. Ермолаев. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ (1979–2024 гг.) ДИНАМИКА ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ В АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ
- 127** А.М. Прокашев, С.А. Стяжкина. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ФЛЮВИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ДОЛИНЫ РЕКИ ВЯТКИ
- 129** С.С. Псардиян, Е.П. Пуликова, А.В. Горовцов, Т.М. Минкина. СРАВНЕНИЕ АКТИВНОСТИ АВТОТРОФНОЙ И ГЕТЕРОТРОФНОЙ НИТРИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ
- 130** Е.П. Пуликова, А.В. Горовцов, Т.М. Минкина. АКТИВНОСТЬ НИТРИФИКАЦИИ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ БЫВШЕГО ШЛАМОНАКОПИТЕЛЯ
- 131** О.С. Решетняк, К.А. Шумилин, М.В. Альпин. КАЧЕСТВО ВОДЫ В БАСЕЙНАХ РЕК АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РФ В КОНТЕКСТЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
- 133** Н.А. Римский-Корсаков, В.Н. Коротаев, Н.Ф. Тихонова. АТЛАС «ГЕОМОРФОЛОГИЯ МОРСКИХ БЕРЕГОВ И УСТЬЕВЫХ СИСТЕМ РЕК ЧУКОТКИ И КОРЯКСКОГО НАГОРЬЯ»
- 134** И.И. Рысин, И.И. Григорьев, М.А. Пермяков. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ
- 136** И.И. Рысин, И.И. Григорьев, И.К. Соловьев. ОСОБЕННОСТИ РАЗМЫВОВ ИЗЛУЧИН НА РЕКАХ УДМУРТИИ
- 138** В.А. Семаков, Г.Б. Голубцов, А.А. Куракова. ОСОБЕННОСТИ РАССРЕДОТОЧЕНИЯ СТОКА В РАЗВЕТВЛЕННОМ РУСЛЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ
- 140** А.Ю. Сидорчук. БОЛЬШИЕ ДРЕВНИЕ РЕКИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
- 142** А.А. Скляренко, Л.Ю. Гончарова. ПОКАЗАТЕЛИ ЭРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ЮФУ
- 143** Н.А. Скокова, А.Г. Нарожняя, А.А. Бочарова. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СМЫВА ПОЧВ НА ЗАИЛЕНИЕ ПРУДОВ
- 144** П.Н. Скрипников, С.С. Тагивердиев, С.Н. Горбов, Н.В. Сальник, Г.Н. Носов. УГЛЕРОД КАК МАРКЕР АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ГОРОДСКИХ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ
- 145** А.А. Соколов, В.А. Фоменко. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА РЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА
- 146** В.В. Сурков, А.С. Завадский. ПРЕКРАЩЕНИЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОЙМЫ Р. ИРТЫШ В Г. ОМСКЕ И ЕЕ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ТЕХНОГЕННУЮ ТЕРРАСУ
- 147** К.С. Сушко. ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПРИАЗОВЬЯ И ДЕЛЬТЫ ДОНА В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕГО МАЛОВОДЬЯ
- 148** С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Т.С. Дудникова, Ал.И. Барбашев, В.Р. Попов. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВАХ ПОБЕРЕЖЬЯ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА
- 150** Д.В. Сыщиков, И.В. Агурова, А.С. Березовский. ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТАВА И ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ ДЕГРАДИРОВАННЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
- 151** Р.Б. Табакаев, И.К. Калинин, К.О. Пономарев. СВЧ-ПЕРЕРАБОТКА КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ПОЧВЕННОГО МЕЛИОРАНТА
- 152** С.С. Тагивердиев. СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В АГРЕГАТНЫХ ФРАКЦИЯХ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

- 153** А.М. Тарбеева, В.С. Ефремов, Л.С. Лебедева, В.В. Шамов, И.В. Крыленко. ПЕРЕМЕРЗАНИЕ МАЛЫХ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ
- 154** А.М. Тарбеева, В.В. Шамов. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОХОЖДЕНИЕМ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В ОБРАТЕ ВБЛИЗИ П. ТИКСИ (СЕВЕР ЯКУТИИ)
- 156** Р.Х. Темботов, Е.В. Абакумов. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ИНТЕРАКТИВНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОЧВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
- 158** Л.Н. Трофимец, Е.А. Паниди, А.О. Баркалов, Н.В. Туманов. РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ СМЫВА ПОЧВЫ В ТАЛЬВЕГАХ РУЧЬЕВ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ ВЕСНОЙ ПОСЛЕ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ НА СЛАБО- И СИЛЬНОУПАХАННЫХ ПОЧВАХ: КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ, МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЛЬЕФА, ДИАГРАММЫ ПОСЛОЙНОГО ПО ГЛУБИНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137 (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)
- 160** Т.В. Турутина. К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНОГО ВИДА ЛАЗЕРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРОБ РЕЧНЫХ НАНОСОВ
- 161** Л.А. Турыкин, Н.М. Михайлова, К.М. Беркович. МНОГОЛЕТНИЕ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОПЛЕСОВ В ПЕРИОДЫ С РАЗЛИЧНОЙ ВОДНОСТЬЮ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЙ ОКИ)
- 162** А.Б. Умарова, Л.И. Аракелова. ПРОЧНОСТЬ ПОЧВЕННОЙ СТРУКТУРЫ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ПРИРЕЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ
- 163** А.Г. Федоренко, Н.П. Черникова, В.Р. Попов. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И УЛЬТРАСТРУКТУРНЫЕ АДАПТАЦИИ КОРНЕЙ И ЛИСТЬЕВ ТЫСЯЧЕЛИСТНИКА (*ACHILLEA MILLEFOLIUM*), ПИЖМЫ (*TANACETUM* L) И ПОЛЫНИ (*ARTEMISIA* L) К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
- 165** Е.А. Фингерг. СЕТЕВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ МУТНОСТИ В БАССЕЙНЕ Р. ЛЕНЫ
- 167** Е.С. Фруль, А.Н. Червань. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ СМЫВА ПОЧВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА РАЗЛИЧНЫХ РАЗРЕШЕНИЙ
- 169** Е.М. Хакунова. ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПАХОТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
- 171** Р.Ф. Хасанова, Н.Р. Сулейманов, Я.Т. Суюндуков. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКИ ТАНАЛЫК В ЧЕРТЕ ГОРОДА БАЙМАК (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)
- 173** Н.И. Цепина, С.И. Колесников. ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЧНОСТИ ГЕРМАНИЯ ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ
- 174** В.С. Цицуашвили, М.В. Киричков, В.А. Шуваева, М.А. Кобцева. СТРУКТУРНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-МЕТАЛЛ-СОРБЕНТ» В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ
- 175** Р.С. Чалов. ВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ: ЕСТЕСТВЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ И СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ НИМИ
- 177** С.Р. Чалов, Е.А. Крастынь. ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СТОКА КРУПНЕЙШИХ РЕК РОССИИ: УСТАНОВЛЕНИЕ СЕТИ МОНИТОРИНГА
- 179** С.Р. Чалов, Д.И. Школьный. КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЙ РУСЛА Р. КАМЧАТКА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ
- 180** Е.Ю. Чебыкина, Е.В. Абакумов. ИССЛЕДОВАНИЕ СУБАКВАЛЬНЫХ ПОЧВ УСТЬЯ РЕКИ НЕВЫ И НЕВСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА
- 181** А.В. Чернов. ТРАНСФОРМАЦИЯ РУСЕЛ ПРИ ГЛОБАЛЬНЫХ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ
- 182** А.Л. Чикин. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ В ДЕЛЬТЕ ДОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕТРОВОЙ СИТУАЦИИ НАД АЗОВСКИМ МОРЕМ
- 184** Е.Н. Шамшурина, В.Н. Голосов. ДИНАМИКА ПОЧВОЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЫСЕВАЕМЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ АГРОЦЕНОЗОВ РЯДА РЕГИОНОВ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ
- 186** А.Г. Шарифуллин, А.В. Гусаров, Д.В. Иванов. БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БОБРОВЫХ ПРУДОВ МАЛЫХ РЕК ПРЕДВОЛЖЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
- 187** Д.С. Шеванюк. ВЛИЯНИЕ «НАНОКРЕМНИЯ» НА СИЛУ РОСТА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

- 188** А.К. Шерстнев, В.Э. Болдырева, И.В. Морозов. РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛОВОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПО ПРОФИЛЮ ЧЕРНОЗЕМОВ МИГРАЦИОННО-СЕГРЕГАЦИОННЫХ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ СМЫТОСТИ
- 190** Д.И. Школьный, А.А. Кочнев, А.И. Иннокентьев. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ КАРТЫ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ РЕК РОССИИ
- 191** М.В. Шмакова. АЛГОРИТМЫ УЧЕТА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В МОДЕЛИ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ
- 192** V. Anand, V.D. Rajput, T.M. Minkina, S.S. Mandzhieva. MACHINE LEARNING (ML) BASED PREDICATION OF HEAVY METALS IMMOBILIZATION EFFICIENCY OF BIOCHARS IN DIFFERENT SOIL CONDITIONS
- 193** S. Banerjee, V. D. Rajput. RHIZOSPHERIC NANO-REMEDICATION SALVAGES ARSENIC GENOTOXICITY: ZINC-OXIDE NANOPARTICLES ARTICULATE BETTER OXIDATIVE STRESS MANAGEMENT, REDUCE ARSENIC UPTAKE, AND INCREASE YIELD IN *PISUM SATIVUM* (L.)
- 194** S.J. Hanuman. UNLOCKING CROP POTENTIAL THROUGH MICRONUTRIENT MANAGEMENT
- 196** V.P. Kalinitchenko, V.P. Meshalkin, M.G. Baryshev, M.A. Sevostyanov, D.V. Demin, M.R. Overcash, A.V. Swidsinski, S.V. Gudkov, M.A. Kobtseva, L.Yu. Goncharova, V.E. Boldyreva, V.D. Rajput, L.R. Valiullin, D.A. Makarenkov, L.P. Ilyina, V.V. Chernenko, G.S. Larin. BIOGEOSYSTEM TECHNIQUE METHODOLOGY AND CHEMICAL-SOIL-BIOLOGICAL ENGINEERING IN SOIL SUSTAINABILITY
- 198** P. Kumar, V. D. Rajput, T.M. Minkina, S.S. Mandzhieva. SENSING OF MERCURY ION USING LIGHT INDUCED AQUEOUS LEAF EXTRACT MEDIATED GREEN SYNTHESIZED SILVER NA-NOPARTICLES OF *CESTRUM NOCTURNUM* L
- 199** G.H. Margaryan, H.S. Movsesyan, A.R. Singh, K.A. Ghazaryan. ASSESSMENT OF SOIL SALINIZATION DEGREE OF AGRICULTURAL LANDS: CASE STUDY OF ETCHMIADZIN REGION
- 200** G. Mohammed, T. Minkina. OPTIMAL ALLOCATION OF WATER RESOURCES UNDER IRRIGATION EXPANSION AND CLIMATE CHANGE SCENARIO IN AWASH RIVER BASIN
- 201** P. Rajput, S.S. Mandzhieva, V.Y. Malieva. DEGRADATION AND REMEDIATION OF MICROPLASTICS IN SOIL
- 202** T. Patel, S. Tanwar, R. Gupta, E.V. Melnik, A.N. Samoylov, A.V. Kozlovskiy. FEDERATED LEARNING AND BLOCKCHAIN-ENABLED PRIVACY PRESERVING FRAMEWORK FOR SOIL CROP FORECASTING
- 204** S. Tarigholizadeh, V. D. Rajput, S.N. Sushkova, S.S. Mandzhieva, T.V. Bauer, T.M. Minkina. ADVANCES IN NANOMATERIAL-ENHANCED RHIZOREMEDIATION FOR PETROLEUM-CONTAMINATED SOILS
- 205** V.D. Rajput, T.M. Minkina, D. Bren. INSIGHT INTO EMERGING MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN RHIZOSPHERE BIOENGINEERING AND PLANT GROWTH MANAGEMENT
- 206** S.V. Venevsky, S.V. Berdnikov, A.V. Kleshchenkov, V.V. Kulygin, S.A. Misirov, I.V. Sheverdyayev, V.V. Sorokina, Hui Lu, Butawan Bidorn. ERODIBILITY FACTOR OF BQART SEDIMENT-RUNOFF RELATIONSHIP AT A RIVER BASIN SCALE AS A POSSIBLE RECORD OF CLIMATE CHANGES AND RIVER ENGINEERING (ON EXAMPLE OF EUROPEAN PART OF RUSSIA)