

УДК 631.48.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРИОГЕННЫХ ПОЧВ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

Е. В. АБАКУМОВ

Санкт-Петербургский государственный университет,

E-mail: e_abakumov@mail.ru

Аннотация: Обсуждаются современные вызовы и тенденции в развитии физики почв Арктики и Антарктики. Рассматривается специфика криогенных почв как объектов исследования. Описываются ключевые отличия физической организации почв двух полярных биомов. Приводится обзор ключевых почвенных процессов, связанных с криогенезом минеральной массы.

Ключевые слова: почвы, Арктика, Антарктика, физические параметры.

PHYSICAL PARAMETERS OF CRYOGENIC SOILS OF THE ARCTIC AND ANTARCTIC

Е. В. АБАКУМОВ

Saint-Petersburg State University

E-mail: e_abakumov@mail.ru

Abstrat: The current challenges and trends in the development of soil physics in the Arctic and Antarctic discussed. The specificity of cryogenic soils as objects of research is considered. Key differences of physical organization of soils of two polar biomes are described. An overview of key soil processes associated with the cryogenesis of mineral mass is provided.

Keywords: soils, Arctic, Antarctic, physical parameters.

Введение

Криолитозона занимает до 54 до 60% территории России, хотя это не означает, что все почвы, находящиеся в пределах криолитозоны подвержены непосредственному влиянию мерзлоты или криогенных процессов в течение всего года. При этом, почвы криолитозоны являются в своем большинстве длительно-сезонно-промерзающими. Влияние многолетнемерзлых пород на функционирование почв, почвенного покрова и экосистем криобиосферы до сих пор изучено недостаточно.

Связано это с удаленностью объектов исследования от ведущих научных центров и целым рядом инфраструктурных проблем, а также со сложностями организации температурного и гидрологического мониторинга в местах расположения объектов исследования.

Оценка физических параметров криогенных почв необходима для научного сопровождения многих аспектов практической деятельности в области тепло- и гидрофизики и реологии почв, инженерно-строительных изысканий и мероприятий, балансовых и модельных оценок криогенных экосистем. В последнее время обострилась ситуация с деформацией несущих конструкций зданий и сооружений в Арктике. Не нова она и в Антарктике. В связи с этим, целью данного исследования был анализ ключевых вызовов в области физики криогенных почв.

Результаты и обсуждение

Гидрология криогенных почв изучена крайне недостаточно. Существуют единичные данные о почвенно-гидрологических константах криогенных почв, часто данные носят отрывочный характер. Не оценены в достаточной степени проблемы трансформации вертикальной миграции в вертикально-латеральную под влиянием криогенного массообмена. Не решена проблема обратной вертикальной миграции воды и тепла в ходе криогенных процессов. Не решен вопрос о роли надмерзлотных органо-аккумулятивных горизонтов в формировании сезонного влагозапаса и развитии процессов надмерзлотного оглеения. В связи с широко распространенным снижением глубины верхней кровли мерзлоты, минеральная и органоминеральная масса почвы, пребывавшая в мерзлом состоянии, входит в состав деятельного слоя, не ясно, как при этом изменяются физические параметры почв. Встает вопрос об изменении общего объем почвы, ее плотности и порозности, что сильно влияет на рассчитанные запасы биогенных элементов, а последнее крайне важно для климатических проектов.

Традиционно используемые педотрансферные функции и соответствующие имитационные модели почвенных режимов должны быть адаптированы к расчету и визуализации почвенных термических и гидрофизических режимов в условиях действия криопедогенеза и криогенного массообмена.

Физика криогенных почв тесно связана с тематикой стабилизации органического вещества и климатическими проектами. Криогенный массообмен влияет на перераспределение органического вещества в почве, что усложняет методики пробоотбора и заставляет исследователей двигаться «глубже», а также увеличивать количество пространственных повторностей. Нами показано, что криогенный массообмен является ведущим фактором гумусообразования в почвах криолитозоны, поскольку он приводит к вертикальному и латеральному перераспределению органического вещества. Криогенное перемещение вещества внутри профиля почвы под воздействием физических сил не учитывается в современных стандартах пробоотбора, что приводит к существенным ошибкам и погрешностям в оценке запасов биогенных элементов.

Криогенный массообмен оказывает влияние на накопление и перераспределение приоритетных органических и неорганических токсикантов в почвах и криогенных ландшафтах. Криогенный массообмен приводит к кажущемуся снижению количества токсикантов в верхней части профиля, происходит перераспределение токсикантов сверху вниз и накопление их в средней или надмерзлотной части профиля. Это необходимо учитывать при гармонизации нормативов загрязнения почв.

Биофизика криогенных экосистем и криогенные почвы. Не до конца ясно, на сколько ослабляется ли резистентность неорганических и органических конструкций к микробиологическому воздействию в условиях криогенеза и отрицательных температур.

Термический мониторинг и наблюдение за мощностью деятельного слоя организовано в РФ на считанных площадках. Огромные сектора остаются неохваченными наблюдениями. В особенности это касается Восточной Сибири и островных территорий Северного Ледовитого океана. В итоге, имеющиеся данные сильно кластеризованы, их не хватает для адекватного моделирования.

В Антарктике физические параметры почв изучаются в единичных случаях, хотя имеется несколько скважин, где проводится термический мониторинг. Наибольшее количество почвенно-физических данных получено для Южных Шетландских островов в Западной Антарктике. В частности, нами впервые получены данные о длительности ПБА, годовом ходе температур в различных горизонтах почв, определены параметры почвенной влагоемкости и параметры полидисперсности почв, а также изучена вертикальная неоднородность почв методами полевой электрофизики.

Выводы

Почвенно-физические исследования в полярных регионах (Арктика, Антарктика) развиваются чрезвычайно медленно, что приводит к неадекватной оценке геокриологических рисков для инфраструктуры, зданий, сооружений, а также приводит к формированию огромного числа ошибок в оценках запасов биогенных элементов и параметризации компонентов углеродного цикла. В связи с этим, необходима срочная активизация почвенно-физических исследований в указанных регионах, тем более что большая часть многолетнемерзлых почв Северного полушария находится на территории РФ. Что касается Антарктики, то российская сеть полярных станций охватывает максимальное разнообразие природных экоклиматических районов региона и может стать наиболее информативной при организации соответствующего мониторинга.

Финансирование: работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 24-44-00006.

**СЕКЦИЯ «УПРАВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ, АГРОМЕЛИОРАТИВНЫМ,
ФИТОСАНИТАРНЫМ СОСТОЯНИЕМ И ПРОДУКТИВНОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА»**

УДК 631.4

**СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК В
СВЯЗИ С ИНТЕНСИВНЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ОСУШЕННЫХ ПАХОТНЫХ
ПОЧВАХ**

О. А. АНЦИФЕРОВА¹, А. А. БАСАРГИНА²

¹*ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
г. Калининград;*

²*Калининградский филиал ФГБУ «РосАгрохимслужба», г. Калининград,
E-mail: anciferova@inbox.ru*

Аннотация: Установлены пределы сезонных колебаний значений удельной электропроводности водных вытяжек (1:5) из пахотных осушенных оглеенных буроземов при интенсивном применении азотных удобрений. Изучена корреляционная связь электропроводности с концентрацией нитратов в профиле почв (0–100 см) и верховодках.

Ключевые слова: оглеенные осушенные буроземы, удельная электропроводность, нитраты, верховодка.

**SEASONAL DYNAMICS OF SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF WATER EXTRACTS DUE TO
THE INTENSIVE USE OF NITROGEN FERTILIZERS IN DRAINED ARABLE SOILS**

О. А. АНЦИФЕРОВА¹, А. А. БАСАРГИНА²

¹*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad;*

²*Kaliningrad branch of the Federal State Institution Russian Agrochemical Service, Kaliningrad;
E-mail: anciferova@inbox.ru*

Abstract: The limits of seasonal fluctuations in the specific electrical conductivity of aqueous extracts (1:5) from arable drained gleyic forest brown soils under intensive nitrogen fertilizer application have been established. The correlation between electrical conductivity and the concentration of nitrates in the soil profile (0-100 cm) and perched water has been studied.

Keywords: gleyic drained forest brown soils, specific electrical conductivity, nitrates, perched water.

Введение

Основную роль в интенсивных системах удобрения озимых культур играют азотные подкормки, число которых в ведущих сельскохозяйственных предприятиях Калининградской области составляет 3–4 (Удобрения, технологии..., 2018). Суммарная доза минерального азота, вносимого с подкормками N₁₉₀₋₂₁₀ д.в. Столь интенсивный минеральный пресс неизбежно приводит к изменению геохимии почв в пахотных агроландшафтах. Поэтому актуальной задачей является агроэкологический мониторинг распределения форм минерального азота в почвах (Окорков и др., 2023; Bauwe, Lennartz, 2024) и влияние их на электрофизические показатели (Макаров, 2016). Вместе с тем отмечается недостаточная изученность данной проблемы в условиях производственных полей для регионов с гумидным климатом. Цель работы: выявление отклика величины удельной электропроводности водных вытяжек на внесение азотных удобрений в условиях возделывания озимых культур (рапса, пшеницы) на осушенных почвах.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены на производственном поле в Зеленоградском муниципальном округе Калининградской области. В режиме ежемесячного мониторинга изучался комплекс динамичных показателей: минеральные формы азота (аммонийного и нитратного), полевая влажность, pH (KCl), электропроводность (водная вытяжка 1:5). Пробы почв отбирались послойно каждые 10 см до глубины 1 м. Мониторинг проведен на восьми ареалах осушенных глееватых буровоземов супесчаного и легкосуглинистого состава. Параллельно анализировались пробы верховодки и дренажных вод. Представлены данные за 2024–2025 гг. Статистическая и графическая обработка данных выполнена в программе Excel.

Результаты и обсуждение

Интенсивное промывание профиля почв в позднеосенний и зимний периоды приводит к выносу большей части подвижных ионов из остаточных количеств агрохимикатов в дренажные воды. Поэтому фоновые величины удельной электропроводности (УЭП) характеризуются очень низкими значениями: в пахотных горизонтах буровоземов составляют в феврале-начале марта $26,5 \pm 2,4$ мкСм/см (при содержании гумуса 2,0–2,5% и pH (KCl) в интервале 4,6–5,2), а в подпахотных иллювиальных горизонтах (20–100 см) $17,0 \pm 0,8$ мкСм/см (при сильнощелочной реакции среды, pH 4,3–4,5). Первые подкормки даются в виде гранулированного сульфата аммония, который в условиях низкого количества осадков и прохладной погоды более выгоден для питания озимых культур, чем аммонийная селитра. По этой причине колебания УЭП в пахотном горизонте (слой 0–20 см) в марте-апреле связаны с частичным влиянием сульфат-иона. Не обнаружено устойчивой и достоверной корреляции в этот отрезок времени УЭП с концентрацией нитратов. Такая связь появляется в мае при сочетании условий: внесение аммонийной селитры или KAC32, нитрификация аммонийного азота, снижение влажности в пахотном слое до величин в интервале ВРК-НВ. При этом по причине крайне высокой пространственной вариабельности содержания нитратного азота связь носит неустойчивый характер. Тем не менее средние значения УЭП в пахотном слое возросли в 1,6 раза (43,6 мкСм/см) в 2024 г. под озимой пшеницей. В 2025 г. под озимым рапсом такие значения наблюдались уже в апреле при сходной схеме внесения удобрений.

Сезонный пик нитратного азота в пахотных почвах характерен для октября-ноября. В это период идет интенсивная нитрификация азота из растительных остатков, миграция по профилю неизрасходованных выращиваемой культурой количества удобрений. На фоне влажности, превышающей НВ, колебания УЭП в профиле буровоземов практически полностью связаны с концентрацией нитрат-иона (коэффициент корреляции 0,85–0,93, а коэффициент детерминации 0,72–0,86).

В ходе исследований выявлена локализация испарительного геохимического барьера в слое 0–1(2) см, на котором концентрация солей минерального азота из удобрений и электропроводность почвенных вытяжек в десятки и сотни раз превышает значения в пахотном горизонте (2–20 см) в период минеральных подкормок с марта по май. В летние месяцы при условии чередования влажных и засушливых декад барьер продолжает функционировать вплоть до конца сентября. Аккумуляция солей на испарительном барьере вносит вклад в осеннюю миграцию нитратного азота при переходе влажности выше НВ.

Для глееватых и глеевых осушенных буровоземов в условиях частичной блокировки стока дренажных вод характерно формирование верховодок в период с ноября по март. Исследования показали, что концентрация нитратов в верховодке сильно варьирует от 23 до 186 мг/л, что подтверждает высокую пространственную неоднородность состава почвенных вод в условиях холмисто-моренных пахотных агроландшафтов. Проверка гипотезы о связи

электропроводности верховодки с концентрацией в ней нитрат-иона полностью подтвердилась ($r = 0,95\text{--}99$) только при условии анализа выборок проб, отобранных в один день в разных ареалах почв. Приложение корреляционного анализа к общей выборке проб с декабря 2024 г. по март 2025 г. дало сильное снижение связи ($r = 0,58$). Этот факт указывает на непостоянство концентрации солей в воде, которая зависит от обилия осадков в зимний период и скорости их фильтрации. Соответственно сильно варьирует и показатель УЭП. Помимо этого, выявлен факт повышенной кислотности верховодки (рН в среднем 4,9 при варьировании от 4,4 до 6,0). В отдельных партиях проб наблюдается очень тесная обратная зависимость ($r = -0,85\text{--}0,92$) показателя рН от содержания нитратов в воде.

Выводы

1. Связь электропроводности с концентрацией нитратов в пахотных почвах носит сезонный характер и наиболее выражена в октябре-ноябре, когда наблюдается интенсивная внутрипрофильная миграция.

2. В условиях пульсирующего режима влажности пахотного слоя в осушенных глееватых буроземах формируется испарительный барьер, на котором концентрация солей азота и величины удельной электропроводности в десятки и сотни раз превышают значения в нижележащих горизонтах.

3. Возрастание значений электропроводности воды из слоев верховодки в ноябре-марте напрямую связано с поступлением в нее нитратов. Для корректного выявления корреляционной связи необходимо изучать выборку проб из почв со сходной геохимией (например, группа глубоковыщелоченных оглеенных буроземов супесчаного и легкосуглинистого состава), отобранных в короткий период времени ввиду высокой пространственно-временной динамики концентрации солей в верховодке.

Благодарности

Работа выполнена в рамках инициативно-поисковой госбюджетной научно-исследовательской темы кафедры агрономии и агроэкологии ИАПС ФГБОУ ВО «КГТУ» «Почвенные ресурсы Калининградской области: оценка, использование, продуктивность, управление» (Рег. № 13.16.022.2).

Список литературы

- Макаров, В.И. Влияние азотных удобрений на кислотность дерново-подзолистой супесчаной почвы и химический состав лизиметрических вод / В. И. Макаров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4. – С. 89–95.
- Окорков, В.В. Изменение содержания подвижных форм азота в серых лесных почвах Ополья под влиянием ландшафтных особенностей агротехнологий / В.В. Окорков, И. М. Щукин, Л. А. Окоркова, В. И. Щукина, А. А. Козлов // Агрохимия. – 2023. – № 1. – С. 13–24.
- Удобрение, технологии, урожай: справочник агронома по химизации земледелия / В. И. Панасин, Л. М. Григорович, Т. А. Шогенов и др. – Калининград, 2018. – 315 с. – ISBN 978-5-9971-0475-7.
- Bauwe A., Lennartz B. Insights gained from two decades of intensive monitoring: hydrology and nitrate export in a tile-drained agricultural catchment. Front. Water. – 2024. – Vol. 6:1369552.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
и высшего образования
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Материалы
Международной научной конференции
**«ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АГРОФИЗИКИ:
ОТ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И
РАСТЕНИЕВОДСТВА К ТЕХНОЛОГИЯМ БУДУЩЕГО»**
Санкт-Петербург
17–19 сентября 2025 года

Санкт-Петербург
2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»



Материалы

Международной научной конференции
**«ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АГРОФИЗИКИ:
ОТ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И
РАСТЕНИЕВОДСТВА К ТЕХНОЛОГИЯМ БУДУЩЕГО»**

Санкт-Петербург
17–19 сентября 2025 года

Санкт-Петербург
2025

Материалы Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» Санкт-Петербург, 17–19 сентября 2025 года, ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2025.

— с.

Сборник содержит материалы V Международной научной конференции "Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего", которая прошла в ФГБНУ АФИ с 17 по 19 сентября 2025 г. и была организована совместно с Минобрнауки РФ и Санкт-Петербургским отделением РАН. В материалах представлены результаты исследований из 40 научных и образовательных учреждений 23 городов по четырем основным направлениям работы конференции: (1) Управление производственным процессом растений: физиология, генетика, биофизика, селекция, био- и нанотехнологии; (2) Достижения в агрофизических исследованиях почв. Эмиссия N_2O и CO_2 из сельскохозяйственных почв. Применение биоугля в сельском хозяйстве; (3) Управление плодородием почв, агромелиоративным, фитосанитарным состоянием и продуктивностью земель в условиях изменяющегося климата; (4) Математическое моделирование, информационные технологии, точное земледелие.

Материалы даны в авторской редакции

Ответственные за выпуск:

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
и высшего образования
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Материалы
Международной научной конференции
**«ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АГРОФИЗИКИ:
ОТ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И
РАСТЕНИЕВОДСТВА К ТЕХНОЛОГИЯМ БУДУЩЕГО»**
Санкт-Петербург
17–19 сентября 2025 года

Санкт-Петербург
2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»



Материалы

Международной научной конференции
**«ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АГРОФИЗИКИ:
ОТ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И
РАСТЕНИЕВОДСТВА К ТЕХНОЛОГИЯМ БУДУЩЕГО»**

Санкт-Петербург
17–19 сентября 2025 года

Санкт-Петербург
2025

Материалы Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» Санкт-Петербург, 17–19 сентября 2025 года, ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2025.

— с.

Сборник содержит материалы V Международной научной конференции "Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего", которая прошла в ФГБНУ АФИ с 17 по 19 сентября 2025 г. и была организована совместно с Минобрнауки РФ и Санкт-Петербургским отделением РАН. В материалах представлены результаты исследований из 40 научных и образовательных учреждений 23 городов по четырем основным направлениям работы конференции: (1) Управление производственным процессом растений: физиология, генетика, биофизика, селекция, био- и нанотехнологии; (2) Достижения в агрофизических исследованиях почв. Эмиссия N_2O и CO_2 из сельскохозяйственных почв. Применение биоугля в сельском хозяйстве; (3) Управление плодородием почв, агромелиоративным, фитосанитарным состоянием и продуктивностью земель в условиях изменяющегося климата; (4) Математическое моделирование, информационные технологии, точное земледелие.

Материалы даны в авторской редакции

Ответственные за выпуск:

УДК 631.48.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРИОГЕННЫХ ПОЧВ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

Е. В. АБАКУМОВ

Санкт-Петербургский государственный университет,

E-mail: e_abakumov@mail.ru

Аннотация: Обсуждаются современные вызовы и тенденции в развитии физики почв Арктики и Антарктики. Рассматривается специфика криогенных почв как объектов исследования. Описываются ключевые отличия физической организации почв двух полярных биомов. Приводится обзор ключевых почвенных процессов, связанных с криогенезом минеральной массы.

Ключевые слова: почвы, Арктика, Антарктика, физические параметры.

PHYSICAL PARAMETERS OF CRYOGENIC SOILS OF THE ARCTIC AND ANTARCTIC

Е. В. АБАКУМОВ

Saint-Petersburg State University

E-mail: e_abakumov@mail.ru

Abstrat: The current challenges and trends in the development of soil physics in the Arctic and Antarctic discussed. The specificity of cryogenic soils as objects of research is considered. Key differences of physical organization of soils of two polar biomes are described. An overview of key soil processes associated with the cryogenesis of mineral mass is provided.

Keywords: soils, Arctic, Antarctic, physical parameters.

Введение

Криолитозона занимает до 54 до 60% территории России, хотя это не означает, что все почвы, находящиеся в пределах криолитозоны подвержены непосредственному влиянию мерзлоты или криогенных процессов в течение всего года. При этом, почвы криолитозоны являются в своем большинстве длительно-сезонно-промерзающими. Влияние многолетнемерзлых пород на функционирование почв, почвенного покрова и экосистем криобиосферы до сих пор изучено недостаточно.

Связано это с удаленностью объектов исследования от ведущих научных центров и целым рядом инфраструктурных проблем, а также со сложностями организации температурного и гидрологического мониторинга в местах расположения объектов исследования.

Оценка физических параметров криогенных почв необходима для научного сопровождения многих аспектов практической деятельности в области тепло- и гидрофизики и реологии почв, инженерно-строительных изысканий и мероприятий, балансовых и модельных оценок криогенных экосистем. В последнее время обострилась ситуация с деформацией несущих конструкций зданий и сооружений в Арктике. Не нова она и в Антарктике. В связи с этим, целью данного исследования был анализ ключевых вызовов в области физики криогенных почв.

Результаты и обсуждение

Гидрология криогенных почв изучена крайне недостаточно. Существуют единичные данные о почвенно-гидрологических константах криогенных почв, часто данные носят отрывочный характер. Не оценены в достаточной степени проблемы трансформации вертикальной миграции в вертикально-латеральную под влиянием криогенного массообмена. Не решена проблема обратной вертикальной миграции воды и тепла в ходе криогенных процессов. Не решен вопрос о роли надмерзлотных органо-аккумулятивных горизонтов в формировании сезонного влагозапаса и развитии процессов надмерзлотного оглеения. В связи с широко распространенным снижением глубины верхней кровли мерзлоты, минеральная и органоминеральная масса почвы, пребывавшая в мерзлом состоянии, входит в состав деятельного слоя, не ясно, как при этом изменяются физические параметры почв. Встает вопрос об изменении общего объем почвы, ее плотности и порозности, что сильно влияет на рассчитанные запасы биогенных элементов, а последнее крайне важно для климатических проектов.

Традиционно используемые педотрансферные функции и соответствующие имитационные модели почвенных режимов должны быть адаптированы к расчету и визуализации почвенных термических и гидрофизических режимов в условиях действия криопедогенеза и криогенного массообмена.

Физика криогенных почв тесно связана с тематикой стабилизации органического вещества и климатическими проектами. Криогенный массообмен влияет на перераспределение органического вещества в почве, что усложняет методики пробоотбора и заставляет исследователей двигаться «глубже», а также увеличивать количество пространственных повторностей. Нами показано, что криогенный массообмен является ведущим фактором гумусообразования в почвах криолитозоны, поскольку он приводит к вертикальному и латеральному перераспределению органического вещества. Криогенное перемещение вещества внутри профиля почвы под воздействием физических сил не учитывается в современных стандартах пробоотбора, что приводит к существенным ошибкам и погрешностям в оценке запасов биогенных элементов.

Криогенный массообмен оказывает влияние на накопление и перераспределение приоритетных органических и неорганических токсикантов в почвах и криогенных ландшафтах. Криогенный массообмен приводит к кажущемуся снижению количества токсикантов в верхней части профиля, происходит перераспределение токсикантов сверху вниз и накопление их в средней или надмерзлотной части профиля. Это необходимо учитывать при гармонизации нормативов загрязнения почв.

Биофизика криогенных экосистем и криогенные почвы. Не до конца ясно, на сколько ослабляется ли резистентность неорганических и органических конструкций к микробиологическому воздействию в условиях криогенеза и отрицательных температур.

Термический мониторинг и наблюдение за мощностью деятельного слоя организовано в РФ на считанных площадках. Огромные сектора остаются неохваченными наблюдениями. В особенности это касается Восточной Сибири и островных территорий Северного Ледовитого океана. В итоге, имеющиеся данные сильно кластеризованы, их не хватает для адекватного моделирования.

В Антарктике физические параметры почв изучаются в единичных случаях, хотя имеется несколько скважин, где проводится термический мониторинг. Наибольшее количество почвенно-физических данных получено для Южных Шетландских островов в Западной Антарктике. В частности, нами впервые получены данные о длительности ПБА, годовом ходе температур в различных горизонтах почв, определены параметры почвенной влагоемкости и параметры полидисперсности почв, а также изучена вертикальная неоднородность почв методами полевой электрофизики.

Выводы

Почвенно-физические исследования в полярных регионах (Арктика, Антарктика) развиваются чрезвычайно медленно, что приводит к неадекватной оценке геокриологических рисков для инфраструктуры, зданий, сооружений, а также приводит к формированию огромного числа ошибок в оценках запасов биогенных элементов и параметризации компонентов углеродного цикла. В связи с этим, необходима срочная активизация почвенно-физических исследований в указанных регионах, тем более что большая часть многолетнемерзлых почв Северного полушария находится на территории РФ. Что касается Антарктики, то российская сеть полярных станций охватывает максимальное разнообразие природных экоклиматических районов региона и может стать наиболее информативной при организации соответствующего мониторинга.

Финансирование: работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 24-44-00006.

**СЕКЦИЯ «УПРАВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ, АГРОМЕЛИОРАТИВНЫМ,
ФИТОСАНИТАРНЫМ СОСТОЯНИЕМ И ПРОДУКТИВНОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА»**

УДК 631.4

**СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК В
СВЯЗИ С ИНТЕНСИВНЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ОСУШЕННЫХ ПАХОТНЫХ
ПОЧВАХ**

О. А. АНЦИФЕРОВА¹, А. А. БАСАРГИНА²

¹*ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
г. Калининград;*

²*Калининградский филиал ФГБУ «РосАгрохимслужба», г. Калининград,
E-mail: anciferova@inbox.ru*

Аннотация: Установлены пределы сезонных колебаний значений удельной электропроводности водных вытяжек (1:5) из пахотных осушенных оглеенных буроземов при интенсивном применении азотных удобрений. Изучена корреляционная связь электропроводности с концентрацией нитратов в профиле почв (0–100 см) и верховодках.

Ключевые слова: оглеенные осушенные буроземы, удельная электропроводность, нитраты, верховодка.

**SEASONAL DYNAMICS OF SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF WATER EXTRACTS DUE TO
THE INTENSIVE USE OF NITROGEN FERTILIZERS IN DRAINED ARABLE SOILS**

О. А. АНЦИФЕРОВА¹, А. А. БАСАРГИНА²

¹*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad;*

²*Kaliningrad branch of the Federal State Institution Russian Agrochemical Service, Kaliningrad;
E-mail: anciferova@inbox.ru*

Abstract: The limits of seasonal fluctuations in the specific electrical conductivity of aqueous extracts (1:5) from arable drained gleyic forest brown soils under intensive nitrogen fertilizer application have been established. The correlation between electrical conductivity and the concentration of nitrates in the soil profile (0-100 cm) and perched water has been studied.

Keywords: gleyic drained forest brown soils, specific electrical conductivity, nitrates, perched water.

Введение

Основную роль в интенсивных системах удобрения озимых культур играют азотные подкормки, число которых в ведущих сельскохозяйственных предприятиях Калининградской области составляет 3–4 (Удобрения, технологии..., 2018). Суммарная доза минерального азота, вносимого с подкормками N₁₉₀₋₂₁₀ д.в. Столь интенсивный минеральный пресс неизбежно приводит к изменению геохимии почв в пахотных агроландшафтах. Поэтому актуальной задачей является агроэкологический мониторинг распределения форм минерального азота в почвах (Окорков и др., 2023; Bauwe, Lennartz, 2024) и влияние их на электрофизические показатели (Макаров, 2016). Вместе с тем отмечается недостаточная изученность данной проблемы в условиях производственных полей для регионов с гумидным климатом. Цель работы: выявление отклика величины удельной электропроводности водных вытяжек на внесение азотных удобрений в условиях возделывания озимых культур (рапса, пшеницы) на осушенных почвах.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены на производственном поле в Зеленоградском муниципальном округе Калининградской области. В режиме ежемесячного мониторинга изучался комплекс динамичных показателей: минеральные формы азота (аммонийного и нитратного), полевая влажность, pH (KCl), электропроводность (водная вытяжка 1:5). Пробы почв отбирались послойно каждые 10 см до глубины 1 м. Мониторинг проведен на восьми ареалах осушенных глееватых буровоземов супесчаного и легкосуглинистого состава. Параллельно анализировались пробы верховодки и дренажных вод. Представлены данные за 2024–2025 гг. Статистическая и графическая обработка данных выполнена в программе Excel.

Результаты и обсуждение

Интенсивное промывание профиля почв в позднеосенний и зимний периоды приводит к выносу большей части подвижных ионов из остаточных количеств агрохимикатов в дренажные воды. Поэтому фоновые величины удельной электропроводности (УЭП) характеризуются очень низкими значениями: в пахотных горизонтах буровоземов составляют в феврале-начале марта $26,5 \pm 2,4$ мкСм/см (при содержании гумуса 2,0–2,5% и pH (KCl) в интервале 4,6–5,2), а в подпахотных иллювиальных горизонтах (20–100 см) $17,0 \pm 0,8$ мкСм/см (при сильнощелочной реакции среды, pH 4,3–4,5). Первые подкормки даются в виде гранулированного сульфата аммония, который в условиях низкого количества осадков и прохладной погоды более выгоден для питания озимых культур, чем аммонийная селитра. По этой причине колебания УЭП в пахотном горизонте (слой 0–20 см) в марте-апреле связаны с частичным влиянием сульфат-иона. Не обнаружено устойчивой и достоверной корреляции в этот отрезок времени УЭП с концентрацией нитратов. Такая связь появляется в мае при сочетании условий: внесение аммонийной селитры или KAC32, нитрификация аммонийного азота, снижение влажности в пахотном слое до величин в интервале ВРК-НВ. При этом по причине крайне высокой пространственной вариабельности содержания нитратного азота связь носит неустойчивый характер. Тем не менее средние значения УЭП в пахотном слое возросли в 1,6 раза (43,6 мкСм/см) в 2024 г. под озимой пшеницей. В 2025 г. под озимым рапсом такие значения наблюдались уже в апреле при сходной схеме внесения удобрений.

Сезонный пик нитратного азота в пахотных почвах характерен для октября-ноября. В это период идет интенсивная нитрификация азота из растительных остатков, миграция по профилю неизрасходованных выращиваемой культурой количества удобрений. На фоне влажности, превышающей НВ, колебания УЭП в профиле буровоземов практически полностью связаны с концентрацией нитрат-иона (коэффициент корреляции 0,85–0,93, а коэффициент детерминации 0,72–0,86).

В ходе исследований выявлена локализация испарительного геохимического барьера в слое 0–1(2) см, на котором концентрация солей минерального азота из удобрений и электропроводность почвенных вытяжек в десятки и сотни раз превышает значения в пахотном горизонте (2–20 см) в период минеральных подкормок с марта по май. В летние месяцы при условии чередования влажных и засушливых декад барьер продолжает функционировать вплоть до конца сентября. Аккумуляция солей на испарительном барьере вносит вклад в осеннюю миграцию нитратного азота при переходе влажности выше НВ.

Для глееватых и глеевых осушенных буровоземов в условиях частичной блокировки стока дренажных вод характерно формирование верховодок в период с ноября по март. Исследования показали, что концентрация нитратов в верховодке сильно варьирует от 23 до 186 мг/л, что подтверждает высокую пространственную неоднородность состава почвенных вод в условиях холмисто-моренных пахотных агроландшафтов. Проверка гипотезы о связи

электропроводности верховодки с концентрацией в ней нитрат-иона полностью подтвердилась ($r = 0,95\text{--}99$) только при условии анализа выборок проб, отобранных в один день в разных ареалах почв. Приложение корреляционного анализа к общей выборке проб с декабря 2024 г. по март 2025 г. дало сильное снижение связи ($r = 0,58$). Этот факт указывает на непостоянство концентрации солей в воде, которая зависит от обилия осадков в зимний период и скорости их фильтрации. Соответственно сильно варьирует и показатель УЭП. Помимо этого, выявлен факт повышенной кислотности верховодки (рН в среднем 4,9 при варьировании от 4,4 до 6,0). В отдельных партиях проб наблюдается очень тесная обратная зависимость ($r = -0,85\text{--}0,92$) показателя рН от содержания нитратов в воде.

Выводы

1. Связь электропроводности с концентрацией нитратов в пахотных почвах носит сезонный характер и наиболее выражена в октябре-ноябре, когда наблюдается интенсивная внутрипрофильная миграция.

2. В условиях пульсирующего режима влажности пахотного слоя в осушенных глееватых буроземах формируется испарительный барьер, на котором концентрация солей азота и величины удельной электропроводности в десятки и сотни раз превышают значения в нижележащих горизонтах.

3. Возрастание значений электропроводности воды из слоев верховодки в ноябре-марте напрямую связано с поступлением в нее нитратов. Для корректного выявления корреляционной связи необходимо изучать выборку проб из почв со сходной геохимией (например, группа глубоковыщелоченных оглеенных буроземов супесчаного и легкосуглинистого состава), отобранных в короткий период времени ввиду высокой пространственно-временной динамики концентрации солей в верховодке.

Благодарности

Работа выполнена в рамках инициативно-поисковой госбюджетной научно-исследовательской темы кафедры агрономии и агроэкологии ИАПС ФГБОУ ВО «КГТУ» «Почвенные ресурсы Калининградской области: оценка, использование, продуктивность, управление» (Рег. № 13.16.022.2).

Список литературы

- Макаров, В.И. Влияние азотных удобрений на кислотность дерново-подзолистой супесчаной почвы и химический состав лизиметрических вод / В. И. Макаров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4. – С. 89–95.
- Окорков, В.В. Изменение содержания подвижных форм азота в серых лесных почвах Ополья под влиянием ландшафтных особенностей агротехнологий / В.В. Окорков, И. М. Щукин, Л. А. Окоркова, В. И. Щукина, А. А. Козлов // Агрохимия. – 2023. – № 1. – С. 13–24.
- Удобрение, технологии, урожай: справочник агронома по химизации земледелия / В. И. Панасин, Л. М. Григорович, Т. А. Шогенов и др. – Калининград, 2018. – 315 с. – ISBN 978-5-9971-0475-7.
- Bauwe A., Lennartz B. Insights gained from two decades of intensive monitoring: hydrology and nitrate export in a tile-drained agricultural catchment. Front. Water. – 2024. – Vol. 6:1369552.