

Оценка агрохимических и эколого-токсикологических показателей неиспользуемых пашен в условиях мерзлотных почв**В. В. Чичигинаров**✉, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Агрономия и химия»**И. И. Петрова**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Агрономия и химия»

Арктический государственный агротехнологический университет

677008, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское шоссе, 3

✉ vasyachich@yandex.ru

Резюме. Цель исследования – агрохимическая и эколого-токсикологическая оценка показателей мерзлотных почв неиспользуемых пашен Арангасского наслега Мегино-Кангаласского улуса Якутии. Проведено комплексное исследование почв на земельном участке, включающее почвенные, агрохимические и эколого-токсикологические характеристики. В основу исследования положены материалы агрохимических обследований мерзлотных почв пахотных угодий ООО «Сана олох» (2024 г.). Анализ образцов почв показал мерзлотные палевые слабоосолодевшие почвы. Почвенный разрез № 1 и № 7 (далее – ПР) характеризуется очень низким содержанием органических веществ, не превышающим 2,0%. По показателю реакции почвенной среды (рН обменной кислотности), отобранные с верхнего гумусового и иллювиально-карбонатного горизонта (ПР № 1), относятся к близкой нейтральной от 5,8 до 6,5 рН, остальные нижележащие горизонты относятся к слабощелочным 7,9...8,0 рН. В горизонтах Апах, А1пах (ПР № 2) верхние горизонты слабокислые – 5,1 рН, элювиальный горизонт А2 близок к нейтральной – 6,3 рН, ниже по профилю горизонты слабощелочные – 7,9 рН. В почвенном разрезе № 7 верхние горизонты Апах и А1пах близки к нейтральным – 5,8...5,9 рН. Горизонт Вf нейтральный – 7,2 рН. Ниже по профилю слабощелочной – 7,6...7,8 рН. Показатель гидролитической кислотности, по которому определяется потребность в проведении химической мелиорации (известкования), во всех горизонтах почвенных разрезов ПР №№ 1, 2, 7 отмечен как очень низкий (менее 2,0 ммоль/100 г). Величина ёмкости катионного обмена в верхних горизонтах профиля в месте заложения ПР №№ 1, 2, 7 характеризуется низкой (ЕКО <10...15 мг-экв/100 г). Средний показатель ЕКО отмечен в горизонте [Bf-Bca] @ (ПР № 7) – 16,0 мг-экв/100 г и (ПР № 1) в горизонте Bca (Bk) – 20,6 мг-экв/100 г. В остальных горизонтах отмечается очень низкое значение (ЕКО < 10 мг-экв/100 г).

Ключевые слова: неиспользуемые пашни, агрохимические, почвенные, мерзлотные почвы, горизонт.

Для цитирования: Чичигинаров В. В., Петрова И. И. Оценка агрохимических и эколого-токсикологических показателей неиспользуемых пашен в условиях мерзлотных почв // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 83-91. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-83-91

Assessing the Agrochemical and Eco-Toxicological Parameters of Unused Cropland in Permafrost Soils**V. V. Chichiginarov**✉, **I. I. Petrova**

Arctic State Agrotechnological University

677008, Sakha Republic (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoye Shosse, 3

✉ vasyachich@yandex.ru

Abstract. The objective of this study was to conduct an agrochemical and eco-toxicological assessment of the permafrost soil parameters of unused cropland in the Arangassky Nasleg of the Megino-Kangalassky Ulus, Yakutia. A comprehensive soil study was conducted on the plot, including soil, agrochemical, and eco-toxicological characteristics. The study is based on agrochemical surveys of permafrost soils on the arable lands of Sana Olokh LLC (2024). Soil sample analysis revealed permafrost-affected, pale-yellow, slightly solodized soils. Soil profiles No. 1 and No. 7 (hereinafter referred to as PR) are characterized by a very low organic matter content, not exceeding 2.0%. According to the soil reaction index (pH of exchangeable acidity), the soils sampled from the upper humus and illuvial-carbonate horizons (PR No. 1) are close to neutral from 5.8 to 6.5 pH, while the remaining underlying horizons are slightly alkaline at 7.9...8.0 pH. In the Apakh and A1pakh horizons (PR No. 2), the upper horizons are slightly acidic—5.1 pH, the eluvial horizon A2 is close to neutral—6.3 pH, and the horizons lower down the profile are slightly alkaline—7.9 pH. In soil profile No. 7, the upper Apakh and A1pakh horizons are close to neutral, with a pH of 5.8–5.9. Horizon Bf is neutral, with a pH of 7.2. Further down the profile, it is slightly alkaline, with a pH of 7.6–7.8. The hydrolytic acidity index, which determines the need for chemical melioration (liming), is very low (less than 2.0 mmol/100 g) in all horizons of soil profiles No.1, 2, and 7. The cation exchange capacity (CEC) in the upper horizons of the profile at the location of soil profiles No. 1, 2, and 7 is low (CEC <10–15 mg-eq/100 g). The average CEC value was 16.0 mg-eq/100 g in the [Bf-Bca] horizon (PR No. 7) and 20.6 mg-eq/100 g in the Bca (Bk) horizon (PR No. 1). Very low values were observed in the remaining horizons (CEC < 10 mg-eq/100 g).

Keywords: unused arable land, agrochemical, soil, permafrost soils, horizon.

For citation: Chichiginarov V. V., Petrova I. I. Assessing the Agrochemical and Eco-Toxicological Parameters of Unused Cropland in Permafrost Soils // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 83-91 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-83-91

Введение

Центральная Якутия – самый развитый центральный сельскохозяйственный район Якутии, где сосредоточены 86,1% сельскохозяйственных угодий, в том числе 86,7% – сенокосов и 83,9% – пастбищ [1]. Характеризуется резко континентальным климатом, где абсолютные годовые колебания температуры воздуха составляют 100...125 °C [2]. Специалисты отмечают свойственность резкой смены погоды по сезонам и холодные, малоснежные продолжительные зимы [3]. Площадь мерзлотных почв на всей территории Якутии составляет около 80% площади.

Центральная Якутия расположена в криолитозоне со своеобразными ландшафтно-климатическими условиями почвообразования, при которых формирование мерзлотных почв происходит в криоаридном климате, преимущественно на рыхлых алювиальных отложениях различного возраста, под лесной и лугово-степной растительностью и сплошном распространении многолетней мерзлоты [4]. Свойства, состав и режимы мерзлотных почв региона обусловлены влиянием криогенных почвообразовательных процессов [4]. Изучению климатических условий Центральной Якутии посвятили свои работы М. К. Гаврилова, А. Г. Емельянова, П. И. Собакин и др., почвы были исследованы Р.В. Десяткиным, С. Н. Лесовой, А.П. Чевычеловым и др.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью точного анализа состояния почвы и выявления её потенциала для дальнейшего сельскохозяйственного освоения территорий с многолетне-мерзлыми грунтами.

Полученные результаты позволят эффективно управлять земельными ресурсами региона, повысить производительность сельхозугодий и выбору оптимальных методов восстановления плодородия мерзлотных почв.

В соответствии с планом проведения почвенных, геоботанических и иных обследований земель сельскохозяйственного назначения, утвержденным ФГБУ «РосАгрохимслужба» в 2024 году, а также государственным заданием на 2024 год от 29 декабря 2023 г. № АР-6144 Департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации Якутским филиалом ФГБУ «РосАгрохимслужба» проведено обследование сельскохозяйственных угодий.

Работы выполняли в рамках государственной программы «Государственный учёт показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения на 2024 год и плановый период 2025 и 2026 годов» и направлены на проведение почвенного, агрохимического и эколого-токсикологического обследования сельскохозяйственных угодий земель сельскохозяйственного назначения.

Цель исследования – агрохимическая и эколого-токсикологическая оценка показателей мерзлотных почв неиспользуемых пашен Арангасского наслега Мегино-Кангаласского улуса Республики Саха (Якутия).

Задачи:

- получение объективных данных о современном состоянии мерзлотных почв исследуемой пашни;
- выявление степени их деградации и возможного негативного влияния экологических факторов;
- оценка состояния плодородия мерзлотных почв неиспользуемой пашни.

Данная информация необходима для выработки обоснованных рекомендаций по возобновлению эффективного использования этих земель в сельскохозяйственном производстве, выбору оптимальных видов возделываемых культур и способов повышения плодородия.

Материалы и методы

Исследование проведено в соответствии с научно-методическими рекомендациями по проведению почвенного обследования сельскохозяйственных земель, разработанными Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Росинформагротех» (Голозубов О. М., Наумов В. Д., Некрасов Р. В. и др. *Проведение почвенного обследования сельскохозяйственных земель: Научно-методические рекомендации*. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 188 с.).

Объект исследования: мерзлотные почвы неиспользуемых пашен.

Предмет исследования: агрохимические и эколого-токсикологические показатели неиспользуемых пашен в условиях мерзлотных почв.

На территории Арангасского наслега Мегино-Кангаласского улуса Республики Саха (Якутия) были проведены почвенно-агрохимические исследования на восьми земельных участках общей площадью 251,3 га с кадастровыми номерами: 14:15:000000:4755, 14:15:030002:411, 14:15:030002:170, 14:15:030002:171, 14:15:030002:172, 14:15:030002:173, 14:15:030002:380, 14:15:030002:375, 14:15:030002:379.

В процессе исследования, проводимого в рамках схемы почвенно-экологического и почвенно-сельскохозяйственного районирования, разработанной Почвенным институтом имени В.В. Докучаева, было установлено, что исследуемый участок находится в Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной почвенно-биологической области [1].

Для определения площади земельных участков при отборе образцов грунта применяли программное обеспечение Fields Area Measure PRO [2, 3, 4]. Это позволило реализовать точные и своевременные измерения площадей с возможностью фиксации

данных об измеренных участках под индивидуальными наименованиями.

В соответствии с рекомендациями при проведении почвенного обследования неиспользуемых пахотных земель предусматривалась закладка одного почвенного разреза и от 8 до 10 уточняющих почвенных прикопок и полуям на каждые 80-100 гектаров исследуемой площади (Голозубов О. М., Наумов В. Д., Некрасов Р. В. и др. *Проведение почвенного обследования сельскохозяйственных земель: Научно-методические рекомендации*. М.: ФГБНУ «Росинформазпротех», 2022. 188 с.).

Результаты

Результаты агрохимических характеристик генетических горизонтов почвенного разреза представлены в таблицах 1, 2, 3, 4.

Обследованные земельные участки относятся к типичным мерзлотным палевым слабоосолодым почвам (ПР № 1, ПР № 2, ПР № 7).

Морфологическая характеристика и генезис мерзлотных почв

Исследуемая территория расположена в равнинной зоне палевых мерзлотных почв средней тайги Мегино-Кангаласского улуса Центральной Якутии. Территория района охватывает Центрально-Якутскую низменность, по мерзлотно-ландшафтному районированию территория Мегино-Кангаласского улуса находится в пределах двух провинций – Лено-Амгинской аласной и Амгино-Алданской пологоувалистой [5].

Исследованные почвы относятся к IV группе. Эти типы почв встречаются на возвышенных участках пойм таёжных рек и на границах лесных массивов, которые отличаются выраженным микрорельефом.

Почвенный покров представлен мерзлотными палевыми слабоосолодыми почвами. Ряд специалистов доказал обусловленность генетической природы этих почв образующими их элементарными почвенными процессами, протекающими на фоне криогенеза [6].

Мерзлотные палевые слабоосолодые почвы

Палевые почвы широко распространены в Центральной Якутии [7]. Мерзлотные палевые почвы распространены в наиболее континентальных сухих и холодных районах области (Центрально-Якутская котловина), в зоне средней тайги и в горах Северо-Восточной Сибири. Они формируются в условиях экстраконтинентального семиаридного климата под среднетаёжными листовыми с травяным или кустарничковыми лишайниково-мохово-травяным покровом лесами на древнеаллювиальных лесовидных суглинках и элювии плотных пород [8].

Почвы имеют карбонатно-аккумулятивный горизонт над слоем многолетней мерзлоты. Мерзлотные палевые осолодые почвы отличаются от типичных палевых по строению профиля и свойствам [9].

Особенности формирования палевых почв обусловлены сухостью климата, наличием и в зимний период смыкания сезонной и многолетней мерзлоты [7]. Почвообразование и выветривание в таких условиях

происходит в близких к экстремальным условиям [8]. Лесная подстилка и почвообразующие породы обогащены основаниями. В период сухой весны и первой половины лета образующиеся восходящие токи нейтрализуют кислые продукты. Профиль ненарушенных палевых осолодых почв имеет следующее морфологическое строение:

О — (Ао) — (А1) — А2 — В — Вса — ВСса — Сса

В профиле палевых осолодых почв под мало-мощной (2–5 см) подстилкой и грубогумусовым горизонтом Ао иногда выделяется буровато-серый гумусовый горизонт мощностью 5–10 см с непрочной комковатой или листовато-комковатой структурой, под которым расположен элювиальный горизонт А2 белесовато-пепельного цвета с непрочной чешуйчатой структурой и заметным присутствием мелких железистых конкреций (Наумов В. Д. *География почв. Почвы России. Часть 1: учебник*. М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. 208 с.).

Под ним залегает иллювиальный горизонт В мощностью 10–20 см коричневатого-бурого цвета, более тяжелого гранулометрического состава, уплотненный, комковато-ореховатой структуры, с заметными тонкими темно-коричневыми пленками по граням структурных отдельностей (Наумов В. Д. *География почв. Почвы России. Часть 1: учебник*. М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. 208 с.).

Ниже располагается иллювиально-карбонатный горизонт Вса мощностью 20...30 см, палево-бурого или белесовато-палево-бурого цвета, менее плотный, непрочной мелкокомковатой структуры, пористый, с дисперсными или мицеллярными формами карбонатных новообразований.

Переходный к мерзлой почвообразующей породе горизонт ВСса светло-бурого цвета характеризуется появлением криогенной плитчато-листоватой структуры. Среднелдистая мерзлота с тонкошлифовыми выделениями льда залегает на глубине 100...150 см.

Из-за распахки верхние, преимущественно гумусово-аккумулятивные горизонты, нарушаются, формируя новое строение профиля.

Обеспеченность почв азотом

В обеспеченности почв азотом важно приспособление пищевого режима фитоценозов к динамике подвижных форм азота, управление его содержанием в почве во времени за счет биологической инактивации азота [9].

По содержанию почв азотом в верхнем органоминеральном (гумусовом), подпахотном горизонте в местах заложения ПР №№ 1, 2, 7 содержание азота колеблется в пределах от 0,0 до 0,11%, а в нижних горизонтах этот показатель достигает 0,3%. При этом наблюдается снижение содержания азота на 0,03 и 0,04% по мере углубления в профиль (табл. 2-4).

Общая концентрация азота в почвах различных типов варьируется от 0,1 до 0,5%. Однако в более плодородных почвах содержание азота может достигать 2...3% по массе.

Массовая доля подвижных соединений фосфора

Одним из лимитирующих факторов в получении высоких урожаев является содержание в почве подвижного фосфора [10].

В горизонтах Апах, А1пах почвенных разрезов № ПР №№ 1, 2, 7 (0...10 см, 10 20 см) содержание подвижного фосфора повышенное - варьирует от 148 до 190 мг/кг. Очень низкие уровни содержания фосфора (<50 мг/кг) фиксируются в следующих горизонтах: Вf и С (табл. 2-4).

Аккумуляция элементов минерального питания растений носит биогенный характер, причем фосфора намного больше, чем калия, что связано с малой растворимостью и слабой подвижностью в профиле большинства почв минеральных соединений фосфора [11].

Преобладание фосфора над содержанием калия в профиле большинства почв обусловлены малой растворимостью и слабой подвижностью его минеральных соединений [12].

Массовая доля подвижных соединений калия

Верхние гумусово-аккумулятивные горизонты (ПР № 1, ПР № 7) характеризуются высоким (в интервале от 146 до 246 мг/кг) и повышенным содержанием обменного калия. Вниз по профилю концентрация снижается до низких значений (<70) (табл. 2-4).

Содержание органического вещества

Уровень гумусообразования в мерзлотных палево-слабоосолоделых почвах автономных ландшафтов регулируется их гранулометрическим составом и увеличивается с его утяжелением [12]. В основном преобладает аккумулятивный характер распределения органических веществ [13].

Анализ образцов почв показал, что мерзлотные палево-слабоосолоделые почвы (ПР № 1 и ПР № 7) характеризуются очень низким содержанием органических веществ, не превышающим 2,0%. В горизонте Апах (ПР № 2) отмечается также низкое содержание органического вещества, составляющее 2,1% (табл. 2-4).

Показатель реакции почвенной среды

Исследования специалистов показывают слабокислую реакцию мерзлотных палево-почв в гумусовом горизонте, которая с глубиной переходит в нейтральную, а затем в щелочную, а поглощающий комплекс палево-почв насыщен основаниями [13].

По показателю реакции почвенной среды (рН обменной кислотности), отобранные с верхнего гумусового и иллювиально-карбонатного горизонта (ПР № 1) относятся к близкой нейтральной от 5,8 до 6,5 рН, остальные нижележащие горизонты относятся к слабощелочным 7,9...8,0 рН. В горизонтах Апах, А1пах (ПР № 2) верхние горизонты слабокислые — 5,1 рН, элювиальный горизонт А2 близок к нейтральной — 6,3 рН, ниже по профилю горизонты слабощелочные — 7,9 рН. В почвенном разрезе № 7 верхние горизонты Апах и А1пах близки к нейтральным —

5,8...5,9 рН. Горизонт Вf нейтральный — 7,2 рН. Ниже по профилю слабощелочной — 7,6...7,8 рН (табл. 2-4).

Гидролитическая кислотность

Избыточная кислотность является основным лимитирующим фактором получения высокого урожая. В ее устранении наиболее эффективным приемом является известкование [14]. Изменение кислотно-щелочных условий слабо влияет на дифференцирование палево-почв по минералогическому составу [15]. Показатель гидролитической кислотности, по которому определяется потребность в проведении химической мелиорации (известкования), во всех горизонтах почвенных разрезов ПР №№ 1, 2, 7 отмечен как очень низкий (менее 2,0 ммоль/100 г).

Показатель емкости катионного обмена

Величина ёмкости катионного обмена в верхних горизонтах профиля в месте заложения ПР №№ 1, 2, 7 характеризуется низкой (ЕКО <10-15 мг-экв/100 г). Средний показатель ЕКО отмечен в горизонте [Вf-Всa] @ (ПР № 7) — 16,0 мг-экв/100 г и (ПР № 1) в горизонте Всa (Вк) — 20,6 мг-экв/100 г. (табл. №№ 2-4). В остальных горизонтах отмечается очень низкое значение (ЕКО < 10 мг-экв/100 г).

Степень насыщенности основаниями

Результаты проведенного обследования продемонстрировали (табл. 2-4), что большинство горизонтов по уровню насыщенности основаниями на местах заложения почвенных разрезов (ПР №№ 1, 2, 7) характеризуется очень низким значением — от 8,2 до 23,4% (менее 30%).

Содержание обменного кальция и магния

Кальций и магний необходимы для роста и развития растений в течение всего периода вегетации. Растения наиболее чувствительны к недостатку магния в начальный период развития [16].

По содержанию обменного кальция в верхних горизонтах почва в почвенных разрезах (ПР №№ 1, 2, 7) характеризуется средним уровнем от 5,1 до 8,3 ммоль/100 г. Вниз по профилю (ВС) наблюдается снижение обеспеченности обменным кальцием от 1,9 до 7,9 ммоль/100 г. (табл. 2-4).

Содержание обменного магния в верхнем органоминеральном (гумусовом), подпахотном и нижних горизонтах отмечено на высоком (более 3,0 ммоль/100 г.) и очень высоком (более 4,0 ммоль/100 г.) уровнях.

Гранулометрический состав

Мерзлотные палево-осолоделые почвы занимают значительную территорию Центральной Якутии и сформированы на породах разного гранулометрического состава [12].

По содержанию физической глины (содержание фракций менее 0,01 мм, %) пробы, отобранные с верхнего органоминерального (гумусово-аккумулятивного, пахотного) горизонта, относятся к среднесуглинистым (сумма фракций менее 0,01 мм > 50%). Исключение составили пробы ПР № 7 (сумма фракций менее 0,01 мм составляет 40,8%) — тяжелосуглинистые почвы (табл. 2-4).

Содержание обменного натрия в почве

Содержание обменного натрия в почве играет ключевую роль в оценке физиологического состояния сельскохозяйственных культур, поскольку увеличение в агропочве обменного натрия обуславливает не только повышенную щелочность, но и неблагоприятные физические и водно-физические свойства почв [1]. В 2024 г. его уровень на исследуемых пахотных землях трех разрезов ПР №1, ПР № 2 и ПР №7 колеблется от 0,02 до 0,2 ммоль на 100 г почвы. Важно отметить, что при незначительном содержании обменного натрия в верхнем слое почвы (не более 0,3 ммоль на 100 г) его вариации в диапазоне от 0,01 до 0,2 ммоль на 100 г не оказывают существенного воздействия на характеристики почвы (табл. 2-4).

Микроэлементы

В связи с неоднородностью химического состава экосистем для рационального использования и экологического мониторинга необходимо установление уровня фонового содержания микроэлементов в различных компонентах биосферы, в том числе и агроландшафтов. Микроэлементы - важнейший компонент системы удобрения, обеспечивающий сбалансированное питание сельскохозяйственных культур в процессе жизнедеятельности [17].

Содержание подвижной (сульфатной) серы

Содержание подвижной (сульфатной) серы в почвенных разрезах (ПР №№ 1, 7) во всех горизонтах почв показало низкие значения, менее 6,0 мг/кг. Высокое содержание данного элемента отмечено в почвенном разрезе № 2 в горизонтах Апх – 12,7 мг/кг, Вф – 15,8 мг/кг, ВСа(Вск) – 20 мг/кг (табл. 2-4).

Содержание подвижного марганца

Регулирующим агротехническим фактором уровня подвижного марганца в почве является севооборот [18].

Анализ уровня марганца во всех горизонтах трех почвенных разрезов показывает низкие показатели, не превышающие 30 мг/кг.

Тяжелые металлы

Одним из основных показателей, характеризующим экологическое состояние почвы, является концентрация тяжелых металлов [19]. По мнению Десяткина Р.В. с авторами наиболее высокая подвижность в почве отмечается у кадмия и свинца, что обуславливает повышенное содержание этих элементов в образцах растительности [20]. По результатам лабораторных испытаний содержание подвижной формы свинца в исследованных образцах почвенных разрезов соответствовало требованиям санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (далее – СанПиН 1.2.3685-21). Обобщенные данные по содержанию подвижных форм тяжелых металлов в почве обследованных земельных участков представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сводные результаты содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве обследованных земельных участков

Почвенный разрез	Химический элемент	Подвижная форма, мг/кг			ПДК/ОДК (с учетом фона (кларка))
		Min	Max	Средне-взвешенное	
ПР № 1	Кадмий	0,005	0,064	0,02	не установлено
	Свинец	0,83	4,43	2,03	6,0 / -
ПР № 2	Кадмий	0,001	0,018	0,01	не установлено
	Свинец	0,62	3,42	1,46	6,0 / -
ПР № 7	Кадмий	0,008	0,013	0,01	не установлено
	Свинец	0,98	2,95	1,58	6,0 / -

Примечание к таблице: ПДК – предельно допустимая концентрация; ОДК – ориентировочно допустимая концентрация.

Таблица 2. Агрохимическая характеристика генетических горизонтов почвенного разреза № 1 мерзлотной палевой слабоосолоделой почвы

Генетический горизонт	Глубина взятия образца, см	азот, %	Подвижный фосфор р2О5 мг/кг	Подвижный калий К2О ммоль/100 г.	Реакция среды рН КСl	Орг. в-во, % ГОСТ 26213-2021	Содержание обменного кальция Са, ммоль/100 г.	Содержание обменного магния Mg, ммоль/100г.	S (мэ), мг/кг	Mn (мэ), мг/кг	Гидролит. кислотность Нг, ммоль/100 г.	Степень насыщенности основаниями СНО, %	Емкость катионного обмена (ЕКО) мг-экв/100 г	Na обменный, ммоль/100г.
Апах	0-10(16)	0,08	190	0,23	5,8	1,5	5,1	4	0,5	20	1,03	14,62	10,38	0,02
А2пах	10(16)-20(25)	0,07	177	0,14	5,8	1,3	5,0	3,9	0,5	21	1,01	14,10	10,05	0,00
Вф	20(25)-28(35)	0,05	38	0,15	6,5	0,9	8,3	11,7	3,3	22	0,42	32,53	20,66	0,09
Вса (Вк)	25(35)-44(50)	0,07	23	0,15	8	1,3	4,3	5,1	1,9	3	< 0,23	15,18	9,88	0,1
ВСа (Вск)	44(50)-90	0,05	32	0,15	7,9	1,0	3,1	3,5	3,4	19	< 0,23	10,90	7,18	0,2
Сса (Ск)	90-130	0,04	39	0,15	7,9	0,8	3,1	3,9	10	15	< 0,23	11,57	7,45	0,07

Таблица 3. Агрохимическая характеристика генетических горизонтов почвенного разреза № 2 мерзлотной палевой слабоосолоделой почвы

Генетический горизонт	Глубина взятия образца, см	азот, %	Подвижный фосфор P ₂ O ₅ мг/кг	Подвижный калий K ₂ O ммоль/100 г.	Реакция среды pH KCl	Орг. в-во, % ГОСТ 26213-2021	Содержание обменного кальция Ca, ммоль/100 г.	Содержание обменного магния Mg, ммоль/100г.	S (мэ), мг/кг	Mn (мэ), мг/кг	Гидролит. кислотность Нг, ммоль/100 г.	Степень насыщенности основаниями СНО, %	Емкость катионного обмена (ЕКО) мг-экв/100 г	Na обменный, ммоль/100г.
Апах	0-10	0,11	108	0,23	5,4	2,1	5,6	2,9	12,7	14	1,67	13,57	10,43	0,03
А1пах	10-20	0,1	148	0,23	5,4	2	5,6	3	5,6	17	1,5	12,07	10,34	< 0,01
А2	22-28(35)	0,07	146	0,23	6,3	1,3	5,5	4	1,3	3	0,43	14,43	10,19	0,03
Вf	28(35)-58(60)	0,04	26	0,23	6,8	0,7	4,9	5,5	15,8	14	< 0,23	16,80	11,03	0,17
Вса(Вк)	58(60)-70	0,04	66	0,23	7,9	0,7	1,9	2,7	0,1	23	< 0,23	8,22	5,21	0,15
ВCca(ВCк)	70-100	0,08	24	0,23	7,9	1,5	4,7	5,5	20	3	< 0,23	16,66	10,88	0,22
С	100-140	0,03	38	0,23	7,9	0,5	2,6	2,5	5,9	10	< 0,23	8,40	5,64	0,08

Таблица 4. Агрохимическая характеристика генетических горизонтов почвенного разреза № 7 мерзлотной палевой слабоосолоделой почвы

Генетический горизонт	Глубина взятия образца, см	азот, %	Подвижный фосфор P ₂ O ₅ мг/кг	Подвижный калий K ₂ O ммоль/100 г.	Реакция среды pH KCl	Орг. в-во, % ГОСТ 26213-2021	Содержание обменного кальция Ca, ммоль/100 г.	Содержание обменного магния Mg, ммоль/100г.	S (мэ), мг/кг	Mn (мэ), мг/кг	Гидролит. кислотность Нг, ммоль/100 г.	Степень насыщенности основаниями СНО, %	Емкость катионного обмена (ЕКО) мг-экв/100 г	Na обменный, ммоль/100г.
Апах	0-7	0,09	164	0,63	5,9	1,8	6,4	3,6	3,7	18	1,03	15,93	11,69	0,03
А1пах	7-22	0,07	73	0,21	5,8	1,4	6,6	3,7	3,5	16	0,97	15,48	11,56	0,08
[Bf-Bca]@	22-50(55)	0,05	31	0,24	7,2	1	8,3	7,2	0,2	14	< 0,23	23,44	16,00	0,03
BC	50(55)-80	0,05	22	0,17	7,8	1	3,9	3,4	0,6	3	< 0,23	11,30	7,72	0,02
С	80-135	0,04	46	0,21	7,6	0,8	3,9	3	2	13	< 0,23	10,56	7,35	< 0,01

Показатели радиоактивности

В ходе радиологического анализа образцов почвы с сельскохозяйственных земель были зафиксированы следующие уровни содержания радионуклидов: в ПР № 1 стронций-90 — 59 Бк/кг, цезий-137 — 7,2 Бк/кг; в ПР № 2 стронций-90 — 34,7 Бк/кг, цезий-137 — 4,7 Бк/кг; в ПР № 7 стронций-90 — 56 Бк/кг, цезий-137 — 6 Бк/кг, что находится в границах общепринятого для нашей зоны естественного фона по данным элементам.

Обсуждение

Полученные результаты исследований мерзлотных почв Арангасского наслега Мегино-Кангаласского улуса Республики Саха (Якутия) позволяют сделать выводы об их агрохимическом и экологическом состоянии. В частности, выявленные особенности, такие как недостаток азота в верхних горизонтах, необходимость внесения фосфорных и калийных удобрений, низкий уровень органического вещества и выраженные различия в кислотности профиля соответствуют характеристикам мерзлотных почв, отраженным в ранее проведенных исследованиях мерзлотных почв Якутии [1–4].

В научных исследованиях, посвященных почвам данной зоны, отмечается, что мерзлотные и выделенные из их состава почвы обычно имеют ограниченные запасы питательных веществ и низкую

плодородность, что подчеркивается низким содержанием гумусовых соединений [3, 4]. Наши данные подтверждают эти особенности и показывают необходимость проведения агромелиоративных мероприятий для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур.

Несмотря на благоприятные показатели по содержанию тяжелых металлов и радионуклидов, что указывает на минимальное экологическое загрязнение в регионе [5], проблема дефицита питательных элементов остается актуальной. Проведенные мероприятия по известкованию, внесению гумусообразующих добавок и мониторингу состояния почв соответствуют рекомендациям, приведенным в литературных источниках [2, 4], и могут значительно улучшить плодородие данных почв.

Результаты исследования расширяют современное представление о состоянии и возможностях использования мерзлотных почв, подчеркивая важность комплексного подхода для восстановления плодородия. Научная значимость состоит в том, что полученные данные позволяют более точно формировать стратегии рационального использования земель, что особенно актуально для регионов с мерзлотными почвами.

Заключение

В ходе агрохимической и эколого-токсикологической оценки мерзлотных почв неиспользуемых пашен в Арангасском наслеге Мегино-Кангаласского улуса были получены следующие результаты:

- содержание азота в верхних слоях почвы варьировалось от 0,0 до 0,11%, достигая 0,3% в нижних горизонтах;
- уровни подвижного фосфора в верхних горизонтах были высокими, в то время как в горизонтах Bf и C отмечались более низкие значения;
- калий также присутствовал в высоких концентрациях в верхних слоях почвы, постепенно снижаясь к нижним;
- органическое вещество в почвах присутствовало в небольших количествах, не превышая 2,0%, что свидетельствует о его недостатке;
- реакция почвенной среды в верхних горизонтах была близка к нейтральной или слабощелочной, в то время как в нижних горизонтах наблюдалась кислая или слабощелочная реакция;
- гидролитическая кислотность во всех горизонтах оказалась очень низкой, что указывает на необходимость проведения химической мелиорации;
- емкость катионного обмена была низкой в верхних слоях, средней в горизонтах [Bf-Vca] и Vca, и очень низкой в остальных горизонтах;
- степень насыщенности основаниями, согласно данным обследования, была низкой, не превышая 30% в большинстве горизонтов;
- содержание обменного кальция и магния также варьировалось в изученных горизонтах: обменный кальций был на среднем уровне в верхних слоях и снижался к нижним, в то время как обменный магний находился на высоком и очень высоком уровне.

Литература

1. Емельянова А. Г. Особенности почвенно-климатических условий Центральной Якутии и адаптивные к ним сорта многолетних трав // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 2. С. 35-37.
2. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии: изд. 2-е, переработанное и дополненное. – Якутск: Якутское книжное издво, 1973. 119.
3. Справочник по климату СССР. Выпуск 24, ч. II. Температура воздуха и почвы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. 397 с.
4. Чевычелов А. П., Собакин П. И., Кузнецова Л. И. Географо-генетические особенности почвообразования и разнообразие мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвы и окружающая среда. 2024. Т. 7. № 1. С. e233. doi: 10.31251/pos.v7i1.233
5. Экологические аспекты эволюции плодородия при интенсивном использовании почвенных ресурсов аридных территорий / А. Е. Кудрявцев, Г. Гуггенбергер, П. Иллигер и др. // Агрохимический вестник. 2020. № 1. С. 14-24. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10003.

6. Петухов Д. А., Назаров А. Н., Воронков И. В. Измерение площади поля с помощью современного специализированного приборного и программного обеспечения // Техника и оборудование для села. 2016. № 4. С. 14-17.

7. ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб», утв. Приказом Росстандарта от 01.06.2018 г. № 302-ст.

8. ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа», утв. Приказом Росстандарта от 17.04.2018 г. № 202-ст.

9. Барашкова Н. В. Адаптивные луговые травосмеси среднетаежной подзоны Якутии. отв. Ред. М.М. Черосов; Рос. акад. наук, Сиб. Отд-ние, ФИЦ ЯНЦ, Ин-т биол. Проблем криолитозоны. Новосибирск: СО РАН, 2022. 274 с.

10. Чевычелов А. П., Алексеев А. А., Ермолаева С. В. Генезис, классификация и разнообразие мерзлотных почв Центральной Якутии // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы V Международной научно- практической конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала, Иркутск, 23–29 августа 2021 года. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2021. С. 201-205.

11. Криоземы и палевые слабодифференцированные почвы тундр и тайги Якутии: свойства, минералогический состав и классификация / Р. В. Десяткин, С. Н. Лесовая и др. // Почвоведение. 2021. № 12. С. 1423-1436. doi: 10.31857/S0032180X21120042

12. Новиков М. Н. Биологические приемы эффективного использования азота почвы, удобрений, симбиотической азотфиксации в полевых агроценозах / М. Н. Новиков // Агрохимия. 2020. № 8. С. 60-69. doi:10.31857/S0002188120080086

13. Динамика содержания подвижного фосфора в почвах нечерноземной зоны и его регулирование / С. А. Шафран, Н. А. Кирпичников, А. А. Ермаков, и др. // Агрохимия. 2021. № 5. С. 14-20. doi: 10.31857/S0002188121050100.

14. Оконешникова М. В. Современное состояние и прогноз изменений почв долины средней Лены (центральная Якутия) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 3(23). С. 7-18.

15. Оконешникова М. В. Гумусное состояние мерзлотных палевых осолоделых почв Центральной Якутии разного гранулометрического состава / М. В. Оконешникова // ВЕСТНИК СВФУ, 2019. № 4(72). С. 34-45. doi:10.25587/SVFU.2019.72.35046

16. Десяткин Р. В. Почвообразование в термокарстовых котловинах - аласах криолитозоны: монография / Р. В. Десяткин; Р. В. Десяткин; отв. ред. Б. Ф. Апарин; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т биологических проблем криолитозоны. Новосибирск: Наука, 2008. 323 с.

17. Некрасов Р. В., Аканова П. Л., Шкуркин С. Л. Агроэкологическая и социально-экономическая перспектива химической мелиорации почв // Плодородие. 2021. №3. С. 52-55. doi: 10.25680/819948603.2021.120.09.

18. Палевые почвы Центральной Якутии: генетические особенности, свойства, классификация / Р. В. Десяткин, С. Н. Лесовая, М. В. Оконешникова и др. // Почвоведение. 2011. № 12. С. 1425.

19. Митрофанова Е. М. Кальций и магний в дерново-подзолистых почвах Предуралья / Е. М. Митрофанова // Аграрный вестник Урала. 2011. № 2(81). С. 9-11.

20. Вильдфлуш И. Р. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур. Минск: Беларус. Навука. 2011. 293 с.

21. Воронин М. Ю., Сискевич, Р. Ю., Фролова Н. А. Динамика агрохимических показателей пахотного горизонта почв Липецкой области по результатам локального мониторинга // Агрохимический вестник. 2022. № 5. – С. 3-8. doi: 10.24412/1029-2551-2022-5-001

22. Содержание некоторых тяжелых металлов в почвах и растениях на антропогенно-нарушенных участках (Юго-западная Якутия) / Р. В. Десяткин, М. Х. Николаева, Р. П. Софронов и др. // Успехи современного естествознания. 2022. № 12. С. 30-38. doi: 10.17513/use.37946.

References

1. Emelyanova A. G. Features of the soil and climatic conditions of Central Yakutia and adaptive varieties of perennial grasses // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2013. No. 2. P. 35-37.

2. Gavrilova M. K. Climate of Central Yakutia: 2nd edition, revised and supplemented. - Yakutsk: Yakutskoe knizhnoe izdn., 1973. 119 p.

3. Handbook of the climate of the USSR. Issue 24, part II. Air and soil temperature. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966. 397 p.

4. Chevychelov A. P., Sobakin P. I., Kuznetsova L. I. Geographical and genetic features of soil formation and diversity of permafrost soils of Central Yakutia // Soils and the environment. 2024. Vol. 7. No. 1. P. e233. doi: 10.31251/pos.v7i1.233

5. Ecological aspects of the evolution of fertility under intensive use of soil resources in arid territories / A. E. Kudryavtsev, G. Guggenberger, P. Illiger, et al. // Agrochemical Bulletin. 2020. No. 1. P. 14-24. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10003.

6. Petukhov D. A., Nazarov A. N., Voronkov I. V. Measuring field area using modern specialized instrumentation and software // Machinery and equipment for the village. 2016. No. 4. pp. 14-17.

7. GOST 17.4.3.01-2017 "Environmental Protection (SOP). Soils. General Requirements for Sampling", approved by Order of Rosstandart dated 01.06.2018 No. 302-st.

8. GOST 17.4.4.02-2017 "Environmental Protection (SOP). Soils. Methods of Sampling and Preparing Samples for Chemical, Bacteriological, and Helminthological Analysis", approved by Order of Rosstandart dated 17.04.2018 No. 202-st.

9. Barashkova N.V. Adaptive Meadow Grass Mixtures of the Middle Taiga Subzone of Yakutia. Ed. M.M. Cherosov; Rus. Academy of Sciences, Sib. Department, FRC Yakut Scientific Center, Institute of Biol. Problems of Cryolithozone. Novosibirsk: SB RAS, 2022. 274 p.

10. Chevychelov A. P., Alekseev A. A., Ermolaeva S. V. Genesis, classification, and diversity of permafrost soils in Central Yakutia // Soil as a link in the functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Department of Soil Science and Land Resources Assessment of Irkutsk State University and Lake Baikal Day, Irkutsk, August 23–29, 2021. Irkutsk: Irkutsk State University, 2021. P. 201–205.

11. Cryozems and pale soils of the tundra and taiga of Yakutia: properties, mineralogical composition and classification / R. V. Desyatkin, S. N. Lesovaya, et al. // Soil Science. 2021. No. 12. P. 1423-1436. doi: 10.31857/S0032180X21120042

12. Novikov M. N. Biological methods for the efficient use of soil nitrogen, fertilizers, and symbiotic nitrogen fixation in field agrocenoses / M. N. Novikov // Agrochemistry. 2020. No. 8. P. 60-69. doi:10.31857/S0002188120080086

13. Dynamics of the content of mobile phosphorus in soils of the non-chernozem zone and its regulation / S. A. Shafran, N. A. Kirpichnikov, A. A. Ermakov, et al. // Agrochemistry. 2021. No. 5. pp. 14-20. doi: 10.31857/S0002188121050100.

14. Okoneshnikova M. V. Current state and forecast of changes in soils of the middle Lena valley (central Yakutia) // Bulletin of Tomsk State University. Biology. 2013. No. 3 (23). P. 7- 18.

15. Okoneshnikova M. V. Humus state of permafrost pale solodized soils of Central Yakutia of different particle size distribution / M. V. Okoneshnikova // VESTNIK NEFU, 2019. No. 4 (72). P. 34-45. doi: 10.25587/SVFU.2019.72.35046

16. Desyatkin R. V. Soil formation in thermokarst basins - alases of the cryolithozone: monograph / R. V. Desyatkin; R. V. Desyatkin; ed. B. F. Aparin; Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Institute of Biological Problems of the Cryolithozone. Novosibirsk: Nauka, 2008. 323 p.

17. Nekrasov R. V., Akanova P. L., Shkurkin S. L. Agroecological and socio-economic prospects of chemical soil reclamation // Plodorodie. 2021. No. 3. P. 52-55. doi: 10.25680/819948603.2021.120.09.

18. Pale soils of Central Yakutia: genetic features, properties, classification / R. V. Desyatkin, S. N. Lesovaya, M. V. Okoneshnikova, et al. // Soil Science. 2011. No. 12. P. 1425.

19. Mitrofanova E. M. Calcium and magnesium in sod-podzolic soils of the Cis-Urals / E. M. Mitrofanova // Agrarian Bulletin of the Urals. 2011. No. 2(81). P. 9-11.

20. Wildflush I. R. Efficiency of using microfertilizers and growth regulators in the cultivation of agricultural crops. Minsk: Belarusian Science, 2011. 293 p.

21. Voronin M. Yu., Siskevich R. Yu., Frolova N. A. Dynamics of agrochemical indicators of the arable horizon of soils in the Lipetsk region based on the results of local monitoring // Agrochemical Bulletin. 2022. No. 5. P. 3-8. doi: 10.24412/1029-2551-2022-5-001

22. Content of some heavy metals in soils and plants in anthropogenically disturbed areas (Southwestern Yakutia) / R. V. Desyatkin, M. Kh. Nikolaeva, R. R. Sofronov, et al. // Advances in modern natural science. 2022. No. 12. P. 30-38. doi: 10.17513/use.37946.