

УДК 504.05/.06

ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЕ КАРАКОЛЬСКИХ ОЗЁР (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

К.С. Савенко¹, В.А. Ситникова¹, Р.В. Любимов¹, А.В. Кивацкая¹, М.В. Сушенцова²

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

²Московский государственный университет им. Ломоносова, Москва,

E-mail: kassiSav@yandex.ru, valya_90_well@mail.ru, geoeol04@mail.ru, vfhbif2001@yandex.ru

Комплекс высокогорных Каракольских озёр один из активно посещаемых туристами памятников природы Республики Алтай. Однако он не организован для целей рекреации, перемещение групп туристов, а также их подвоз автотранспортом не регламентируются. В ходе исследования территории, прилегающей к озёрам, установлены локальные очаги развивающейся дигрессии почвенно-растительного покрова. В первом приближении описаны закономерности дигрессии растительного покрова (стадии рекреационной дигрессии). Также проанализированы особенности изменения некоторых биогеохимических показателей (содержание гумуса, нитратов, фосфатов, калия и других биофильных элементов) в почвах в разных природных условиях и имеющих разный уровень рекреационной дигрессии.

Ключевые слова: Каракольские озёра; высокогорье; стадии рекреационной дигрессии; физико-химические свойства и химический состав почв.

DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18002

Дата поступления: 30.10.2025. Принята к печати: 25.11.2025

Оценка и контроль экологического состояния рекреационных территорий для Республики Алтай (РА) вопрос крайне актуальный. При общей численности населения менее 211 тыс. чел. и плотности 2.3 чел./км², регион сталкивается с постоянным ростом потока туристов. Так, по данным Министерства туризма РА в 2024 г. республику посетили около 2.7 млн. человек [Годовой доклад..., 2025].

Каракольские озёра находятся в высокогорной зоне на сравнительно небольшом расстоянии от туристского центра с. Чемал (около 40 км). Несмотря на труднодоступность, этот район достаточно активно посещают туристы (в будние дни

до 150–300 человек, в выходные – до 400). В последние несколько лет значительно вырос автопарк внедорожного транспорта, расширились возможности доставки туристов непосредственно к озёрам, тогда как ранее здесь преобладали пешие и конные маршруты.

Квадроциклы и другой внедорожный транспорт, перемещающиеся вне накатанных дорог, способствуют дорожной эрозии. Усиливающееся вытаптывание ведёт к расширению очагов дигрессии почвенно-растительного покрова в пределах тропической сети и неорганизованных стоянок туристов.

Дальнейшее ускорение процессов деградации высокогорных ландшафтов на прилегающей к озёрам территории ожидается на фоне строительства асфальтированной дороги к ним. Вопрос организации этой зоны для целей рекреации остаётся открытым.

На территории РА мониторинг состояния рекреационных территорий не ведется, актуальных данных о состоянии Каракольских озёр и прилегающих ландшафтов в открытых источниках нет. При этом подавляющее большинство работ [Казанская и др., 1977; Оборин, 2010; Кузнецов и др., 2019], связанных с рекреационной экологией, посвящены оценке стадий дигрессии лесных биогеоценозов пригородных лесов. Крайне мало сведений об отклике на рекреационное воздействие высокогорных ландшафтов, расположенных выше границы леса.

Целью настоящей работы являлось рекогносцировочное обследование территории, прилегающей к Каракольским озёрам, инвентаризация стоянок туристов с оценкой стадий рекреационной дигрессии почвенно-растительного покрова, а также качественная и количественная оценка изменений наземной растительности, физических свойств и химического состава почв, реагирующих на усиление рекреационного воздействия.

Этот район нами рассматривается в качестве модельного для разработки универсального подхода (алгоритма) оценки экологического состояния высокогорных ландшафтов, подверженных влиянию туризма и представляющих особую рекреационную и экологическую ценность.

Материалы и методы

Методической основой для оценки экологического состояния почвенно-растительного покрова, как основного реципиента рекреационного воздействия, послужили подходы, сложившиеся в области рекреационной экологии [Казанская и др.; ОСТ, 95; Оборин, 2010; Кузнецов и др., 2019] и апробированные методики в ранее проведенных исследованиях геоэкологических последствий массового неорганизованного отдыха в водоохранной зоне р. Катунь (2006–2020 гг.) [Савенко, Робертус, 2021].

В районе Каракольских озёр в 2023–2024 гг. были выбраны зоны с разным уровнем нарушенности почвенно-растительного покрова – 4 стоянки туристов (на рисунке 1 обозначены цифрами 2, 3, 5 и 7), находящиеся на разных стадиях рекреационной дигрессии и часть полевой автомобильной дороги (обозначена цифрой 4), где останавливается большая часть внедорожного транспорта. Также в непосредственной близости от стоянок туристов и дороги были заложены 5 пробных площадок для изучения фоновых условий (на расстоянии от 2 м без визуально проявленных следов вытаптывания).

Предварительная оценка уровня посещаемости Каракольских озёр, исходя из полевых исследований, в будний и выходной день, а также опроса местных предпринимателей, колеблется от нескольких десятков до трех сотен туристов в день, в зависимости от сезона года и погодных условий. Примерные подсчёты указывают на то, что Каракольские озёра за сезон посещают более 9.5 тыс. человек.

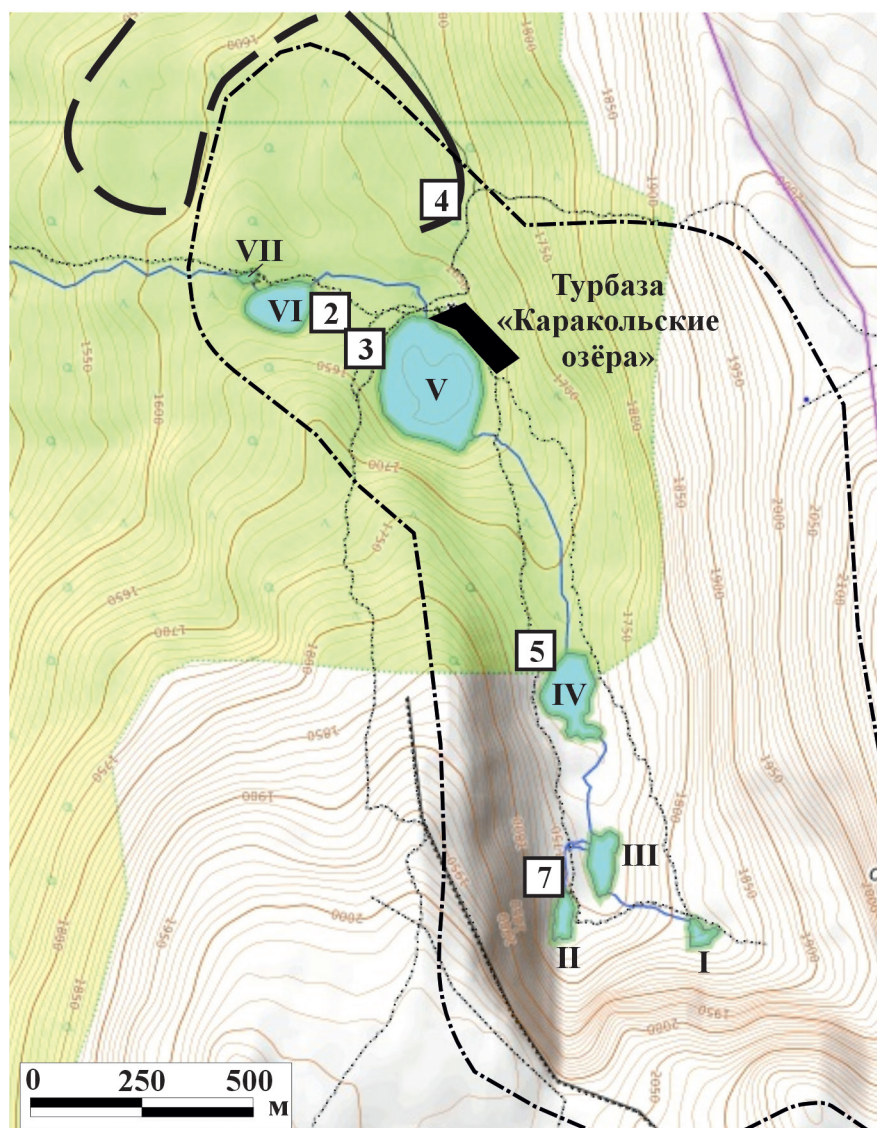


Рис. 1. Схема рекреационных объектов в районе Каракольских озер с обследованными в 2023 г. участками рекреационной дигрессии почвенно-растительного покрова.

2,3,4,5,7 – обследованные участки с визуально проявленной площадной дигрессией почвенно-растительного покрова; I–VII – Каракольские озера, соответственно от Первого до Седьмого; тонкие линии из точек – основные тропы; жирная сплошная линия сверху – полевая дорога для транспорта высокой проходимости; пунктирная линия с точкой – граница охранной зоны памятника природы «Каракольские озёра»; черный прямоугольник – действующая турбаза; жирная пунктирная линия сверху – запроектированная асфальтированная дорога

Fig. 1. Scheme of recreational facilities within Karakol Lakes and sites of recreational digression of soil and vegetation cover surveyed in 2023.

2,3,4,5,7 – surveyed areas with visually manifested areal digression of soil and vegetation cover; I–VII – Karakol lakes, respectively, from the First to the Seventh; thin lines of dots – main trails; a bold solid line at the top – field road for high-traffic transportation; dotted line with a dot – border of the protected area of the natural monument «Karakol Lakes»; black rectangle – active the campsite; a thick dotted line at the top – the projected paved road

Туристский сезон из-за условий значения с площадью охранной зоны в высокогорья ограничивается летними 530 га, соответственно рекреационные месяцами, т.е. составляет около 90 дней. нагрузки на этой территории составляют

Каракольские озёра являются около 17.9 чел./га в сезон и 0.2 чел./га памятником природы регионального в день. Однако, туристами посещается

преимущественно территория около озёр и ряд других природных объектов, поэтому реальные уровни рекреационных нагрузок на тропах значительно выше.

Состояние растительного покрова оценивалось визуально, сравнивались фоновые и вытопанные участки по проективному покрытию. В пределах участков со следами вытаптывания, в соответствии с рекомендациями ОСТ [1995], оценивались стадии дигрессии, через соотношение площади вытоптанной до минеральных горизонтов почвы и общей площади обследуемого участка рекреации.

Для оценки состояния почвенного покрова были изучены физические свойства и химический состав (табл. 1) верхней части гумусового горизонта (А) до глубины 7 см. Небольшая глубина исследования выбрана в связи с малой мощностью почв и проявлением при вытаптывании наиболее выраженных изменений в их верхнем горизонте.

Всего для лабораторных исследований было отобрано 32 пробы почв и в пределах исследованных участков проведено более 100 экспресс-измерений твердости почв.

Статистический анализ данных выполнялся в программе Excel.

Таблица 1

Изученные показатели состояния почв и методы их определения

Table 1

Studied indicators of soil condition and methods of their determination

Показатель	Метод определения
Твердость	Полевые экспресс-измерения на поверхности почвы твердомером TYD-1 согласно прилагаемой инструкции
Плотность	Метод режущего кольца
Плотность твердой фазы	Пикнометрический метод
Влажность	Весовой метод
Порозность	Расчетный через соотношение плотности сложения почвы и плотности ее твердой фазы
Воздухообеспеченность	Расчетный через разность порозности и влажности
Элементный состав	Валовое содержание элементов методом рентгенофлуоресцентного анализа (спектрометрии – РФА), с помощью портативного анализатора Delta Professional 542685, в режиме «почва» со стандартом Ag
pH водной вытяжки	Потенциометрический метод
pH солевой вытяжки	Метод ЦИНАО
Кальций и магний обменные (подвижные)	Метод ЦИНАО (комплексометрическое определение)
Нитраты (NO ₃) в водной вытяжке	Приближенная оценка в воздушно-сухих образцах, фотометрическим методом с салициловой кислотой
Фосфаты (P ₂ O ₅)	Определение подвижных соединений фосфора по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (экстрагирующий раствор соляной кислоты молярной концентрации с (HCl) = 0.2 моль/дм ³)
Органический углерод / гумус	Определение органического углерода (гумуса) в почвах по методу Тюрина (титриметрически)

Результаты и обсуждение

Состояние растительного покрова.

Каракольские озёра находятся в пределах Центрально-Алтайской физико-географической провинции на западном склоне хребта Иолго, водораздела рек Бия и Катунь у подножия перевала Багаташ. Здесь берёт начало р. Тура (бассейн р. Катунь). В пределах водораздела высота поверхности колеблется от 1200–1800 м на северо-западе и до 2300–2500 м над уровнем моря на востоке и юго-востоке.

В районе Каракольских озёр распространены высокогорные тундровые и луговые альпинотипные ландшафты. На криогенных и эрозионно-денудационных формах рельефа вокруг верхних озёр (Первое, Второе, Третье) распространены луговые осоково-дерновиннозлаковые и ерниковые тундры, произрастающие на горно-тундровых торфянисто-перегнойных и дерновых почвах, а также полидоминантные альпинотипные луга и нивальные луговины на горно-луговых дерновых грубогумусных почвах (альпийских ранкерах) [Черных, Самойлова, 2011].

Четвёртое озеро находится практически на границе распространения леса, здесь тундровая растительность сменяется лиственнично-кедровым ерnikово-бадановым редколесьем на горно-тундровых торфянисто-перегнойных и дерновых почвах с влажными лугами по долинам ручьев, травянистыми заболоченными тундрами на горно-тундровых торфянисто-перегнойных почвах (рис. 2).

У нижних озёр (Пятое, Шестое, Седьмое) из тундровой растительности фактически остаются лишь участки ерника

из ивы пушистой, формирующей подлесок лиственнично-кедрового редколесья, также на открытых участках, в том числе в поймах Шестого и Седьмого озёр лесная растительность сменяется высокотравными полидоминантными субальпинотипными лугами на горно-луговых почвах [Черных, Самойлова, 2011].

Массовая многолетняя неорганизованная рекреационная деятельность привела к формированию в охранной зоне памятника природы «Каракольские озёра» локальных участков с умеренной и значительной нарушенностью растительного покрова.

Как отмечалось выше, здесь сформировалась сеть необустроенных туристских троп и полевых дорог с сильно выраженной эрозией, в местах стоянок туристов в береговой зоне озёр образовались очаги развивающейся дигрессии почвенно-растительного покрова (рис. 3).

Скорость и характер изменений почвенно-растительного покрова зависят, как от интенсивности рекреационных нагрузок, так и от природно-климатических условий. Однако механизм трансформации биогеоценозов под воздействием вытаптывания будет сходным. Разные авторы [Казанская и др., 1977; ОСТ, 1995; Оборин, 2010; Кузнецов и др., 2019] выделяют от 3 до 5, иногда более стадий рекреационной дигрессии, отражающих постепенный процесс деградации и фрагментации исходного фитоценоза, за счет формирования сети троп. На конечных стадиях происходит замещение вторичными и сорными видами растений, устойчивыми к вытаптыванию или полное исчезновение растительности.

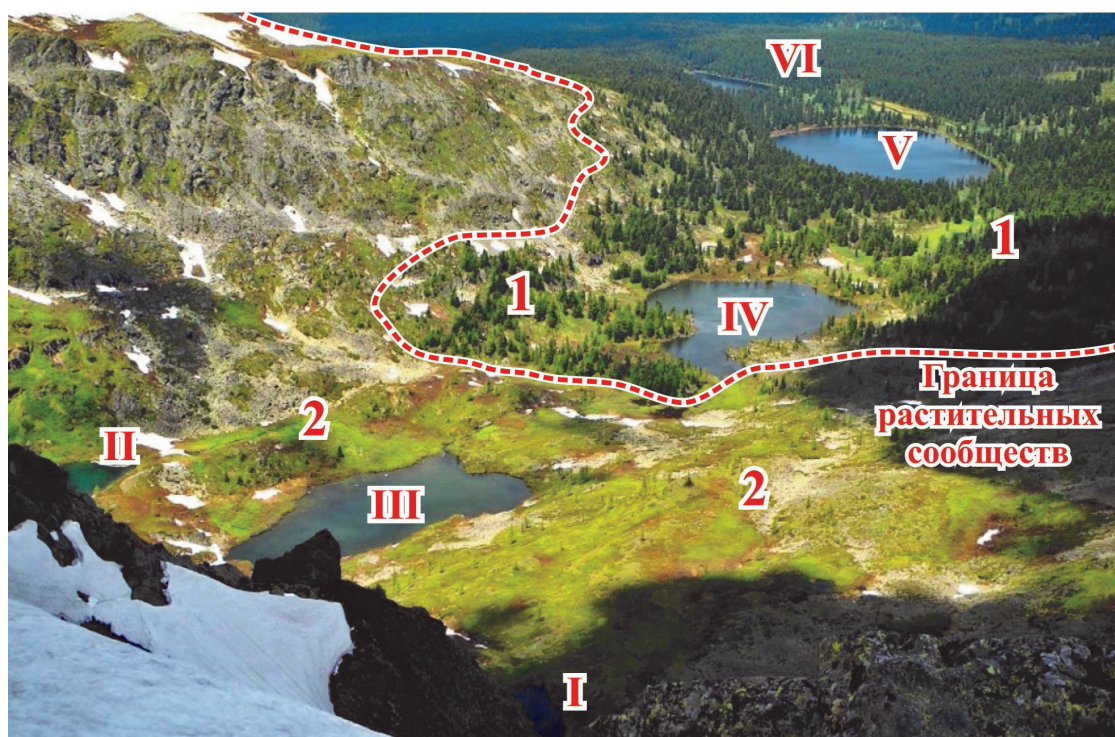


Рис. 2. Растительные сообщества в районе Каракольских озёр.

1 – лиственнично-кедровое редколесье с подлеском из ерника, на открытых участках сменяющееся высокотравными субальпийскими лугами; 2 – осоково-дерновиннозлаковые и ерниковые тундры с влажными лугами по долинам ручьев; пунктирная линия – граница леса, разделяющая две основные группы растительных сообществ; I–VI – Каракольские озёра, соответственно от Первого до Шестого

Fig. 2. Plant communities of Karakol Lakes.

1 – larch-cedar open woodlands with an undergrowth of dwarf birch thicket, in open areas replaced by tallgrass subalpine meadows; 2 – sedge-turf-slag and dwarf birch thicket tundra with moist meadows along stream valleys; dotted line – forest boundary separating two main groups of plant communities; I–VI – Karakol lakes, respectively, from the First to the Sixth



Рис. 3. Примеры линейных и площадных развивающихся очагов дигрессии почвенно-растительного покрова в районе Каракольских озёр

Fig. 3. Examples of linear and areal developing foci of soil and vegetation digression in the zone of Karakol lakes

В результате формируется специфический ценоз, названный Н.С. Казанской с соавторами [1977] «куртинно-полянным комплексом».

Например, на аэрофотоснимке береговой зоны Четвертого озера хорошо видны фрагментированные многочисленными тропами участки ерника и отдельно стоящие разновозрастные сосны, а также обширные вытопанные участки с разреженным травянистым покровом, в виде редких небольших островков мятликовых и единичных побегов бадана (рис. 4).

В первом приближении для изученных высокогорных ландшафтов можно описать следующий поэтапный процесс рекреационной дигрессии:

1 стадия характеризуется отсутствием видимых следов вытаптывания, выше границы леса распространены густые заросли ерника из ивы пушистой, чередующиеся со сплошным мохово-лишайниковым покровом, в зоне редколесья на открытых участках и по мере снижения высоты над уровнем моря заросли ерника чередуется с альпийскими лугами и лесными видами трав, а также разновозрастным лиственнично-кедровым подростом;

2 стадия дигрессии обусловлена намечающимися тропинками, занимающими не более 5% площади рекреационных участков, растительный покров соответствует природному ландшафту;

3 стадия дигрессии – тропинки и вытопанные поляны занимают уже до 10% от всей территории, подверженной рекреационному воздействию, на полянах

и около троп преобладают нехарактерные для естественных ландшафтов виды растительности, например, подорожник, манжетка, разнообразие луговых видов снижается, встречаются единичные экземпляры чемерицы, купальница и фиалки, близко и выше границы леса расширяются участки полностью лишенные растительного покрова, в лесной зоне появляются отдельные оголенные корни деревьев;

4 стадия дигрессии – формируется хорошо различимый фрагментированный рисунок рекреационного ландшафта, до 25% площади приходится на сильно выбитые участки бивуаков с островками мятликовых и на многочисленные тропинки, делящие ивовый ерник на куртины, в редколесье вблизи троп, дорог и вытопанных площадок разрастаются сорные виды трав, у многих деревьев корни выступают на поверхность, подрост внутри рекреационного ландшафта встречается единично;

5 стадия дигрессии – площадь выбитых, лишенных растительного покрова участков превышает 25% территории, прилегающие участки также имеют сильно разреженную многочисленными тропами растительность, состоящую преимущественно из мятликовых, подорожника, одуванчика и т.п., у значительной части взрослых деревьев корни обнажены и значительно выступают над поверхностью почвы, подрост внутри рекреационного ландшафта практически не встречается.



Рис. 4. Пример куртинно-полянного комплекса, сформировавшегося под воздействием вытаптывания в береговой зоне Четвертого Каракольского озера в результате его нерегламентируемого посещения.

Пунктирная линия – тропинопная сеть, разделяющая куртины с сохранившимся ерником из ивы пушистой. Справа показаны участки с полностью деградировавшим напочвенным покровом

Fig. 4. An example of a bush-meadow complex appeared because of trampling during unregulated visits to the coastal zone of the Fourth Karakol lake.

The dotted line – a path network separating the curtains from the preserved willow bushy hedge.

Areas with completely degraded ground cover are shown on the right

Границей устойчивости рекреационных участков, когда возможно естественное самовосстановление растительного покрова и сохранение изначального уровня рекреационной ценности территории, считается переход от 3 к 4 стадии дигрессии. Более ранние исследования в долине р. Катунь [Савенко, Робертус, 2021] показывают, что именно на этом уровне дигрессии наиболее ярко проявляются разного рода изменения почвенных условий.

Состояние почвенного покрова.

Биогеохимические особенности почв во многом обусловлены почвообразующими породами. В районе Каракольских озёр распространены эффузивы среднего, основного и кислого состава, песчаники и глинистые сланцы. На них в условиях значительного перепада высот, неоднородности рельефа, увлажненности и растительного покрова сформировались горно-тундровые торфянисто-перегнойные и

горно-тундровые дерновые почвы, а также горно-луговые дерновые грубогумусные почвы.

На данном этапе исследования почвы не разделялись по типам, поскольку целью был анализ общих тенденций изменения почвенного покрова под влиянием вытаптывания. Как уже отмечалось в методике, почвы рекреационных зон сравнивались с фоновыми участками, которые закладывались на расстоянии от 2 м в местах без видимых следов вытаптывания.

Первичные данные по уровням содержания ряда биофильных элементов в высокогорных почвах, подверженных вытаптыванию (рис. 5), свидетельствуют о довольно заметных изменениях, связанных в первую очередь с нарушением естественной структуры почвы и наземной растительности, способствующих в конечном счете перестройке в пределах локальных участков (тропы, стоянки) устоявшихся биогеохимических циклов.

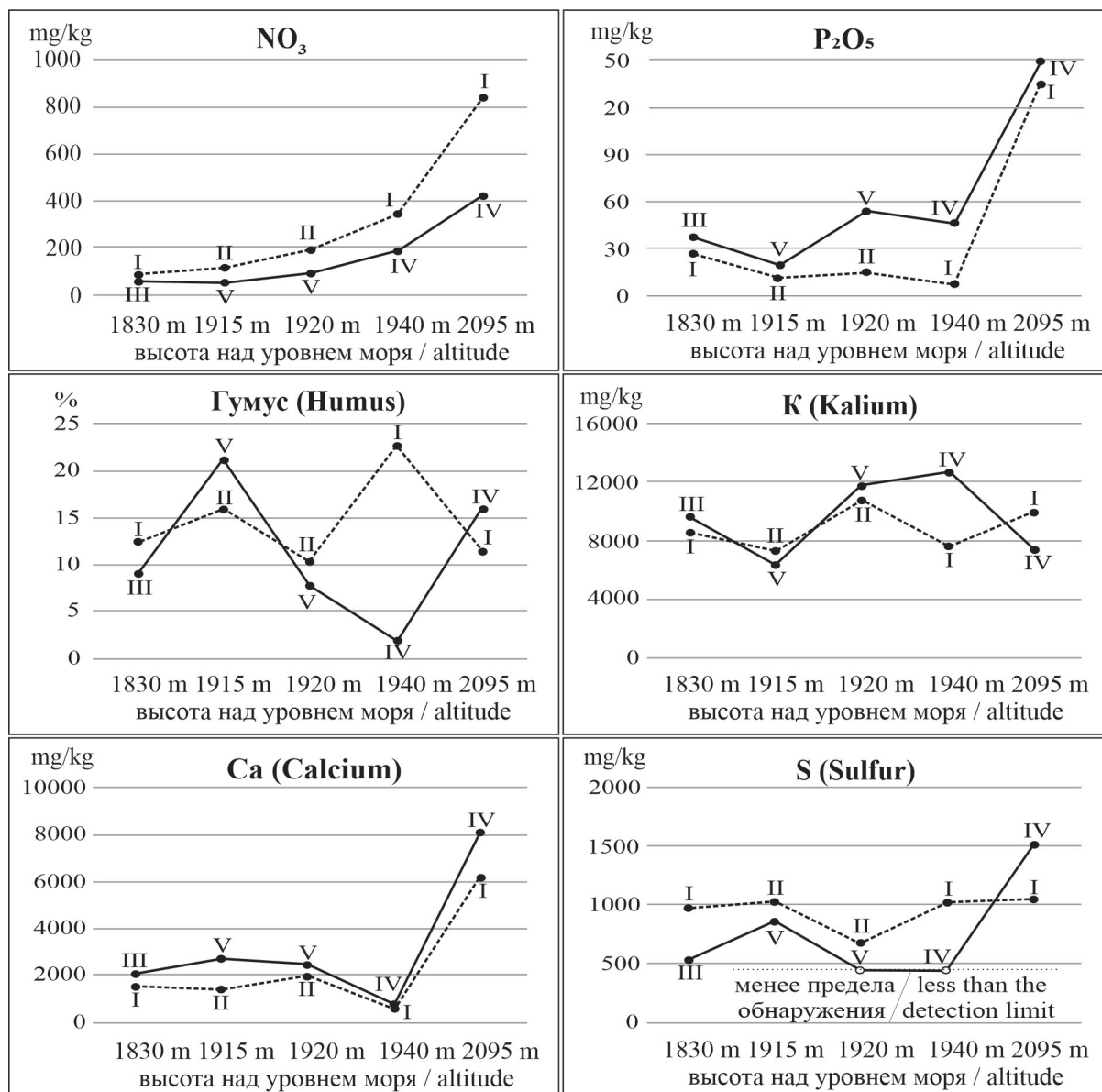


Рис. 5. Уровни содержания некоторых биофильных элементов и соединений в почвах в районе Каракольских озёр.

I–V – стадии дигрессии почвенно-растительного покрова; пунктирная линия – фоновые почвы; сплошная линия – почвы рекреационных зон

Fig. 5. Levels of certain biophilic elements and compounds in soils in the Karakol Lakes region.

I–V – stages of soil and vegetation cover digression; dotted line – background soils; solid line – soils of recreational areas

В исследованных почвах по мере увеличения высоты над уровнем моря ярко выражено постепенное накопление нитратов (NO_3), при этом в вытоптаных почвах их содержание снижено в 1.6–2.3 раза. Важно отметить, что нитраты определялись в воздушно-сухой навеске, вследствие чего можно говорить лишь о приблизительном

(завышенном) содержании нитратов в почве. Однако, в целом установленная тенденция накопления нитратов в условиях холодного климата высокогорий находит подтверждение и в других исследованиях. В частности, Н.А. Леошкина [2010] отмечает, что в альпийских экосистемах Кавказа низкая активность почвенной

биоты и процессов разложения органики способствуют аккумуляции в почве, так называемого «биологического» азота. Иными словами, слабо разложившиеся остатки растительности, ежегодно перекрывающиеся новыми порциями опада, являются источником для активного поступления нитратов в почву. При этом процессы денитрификации в холодном климате протекают в основном только в насыщенных водой почвах [Соколов и др., 1988; Попова, Шевчинская, 2009; Маслов, 2015].

Как и в случае нитратов в уплотненных почвах, в основном отмечается более низкое в сравнении с фоном валовое содержание серы, элемента по своему биогеохимическому значению, не уступающему основным макроэлементам почвы. При ее дефиците нарушается азотный обмен в растениях [Шеуджен и др., 2014; Якименко, Бойко, 2022].

До 80% серы, как правило, аккумулируется в гумусовом горизонте в виде слаборастворимых органических веществ, однако в условиях сильного их окисления (рН почв в районе исследования – 3.71–4.67) образуется SO_4^{2-} , который активно поглощается растениями и восстанавливается до S^{2-} . Процесс продолжается до определенного предела, пропорционального содержанию серы в почве, которая при этом в итоге обедняется элементом [Иванов, 1994]. Возможно, в условиях изреживания, а иногда полной деградации наземной растительности на участках рекреации этот биофильный элемент может удаляться из круговорота.

Тенденция к накоплению по мере

увеличения высоты местности, отмечается для подвижных соединений фосфора – минимальные значения на высотах 1830 м и 1915 м (8–13 мг/кг в фоновых и 21–38 мг/кг в вытоптаных почвах), а максимальные на высоте более 2000 м (соответственно 135 и 149 мг/кг). Содержание фосфатов в уплотненных почвах увеличивается (1.1–5.0 раз). Наиболее вероятными причинами может быть снижение проективного покрытия и соответственно фитомассы травянистой растительности, поглощающей доступные соединения фосфора [Акимова, 2023]. Таким образом, на фоновых участках подвижный фосфор активно поглощается растениями, а на вытоптаных участках, практически полностью лишенных напочвенного покрова, он остается. Так, например, на самом высокогорном участке пробная площадка закладывалась в пойме озера в профиле почвы присутствовал хорошо выраженный дерновый горизонт, напротив, на полевой автомобильной дороге (1920 м н.у.м.) дернина была практически полностью уничтожена (см. рис. 5).

Изменение содержания гумуса в почвах, подверженных вытаптыванию, наиболее неоднородно, может как уменьшаться, так и увеличиваться на разных стадиях дигрессии. Вероятно, что на определенном этапе в результате постоянного механического воздействия на поверхность почвы, истирания и перемешивания органогенного и гумусово-аккумулятивного горизонтов увеличивается, главным образом, содержание грубого гумуса. То есть, именно измельченные растительные

остатки, слабо разлагающиеся в условиях высокогорья, даже в сильно вытоптаных почвах могут давать высокое содержание органического углерода и соответственно завышенные содержания гумуса.

Интересно также отметить, что уровни валового содержания калия в изученных почвах имеют ярко выраженную обратную корреляционную связь с гумусом – -0.91 (табл. 2, 3).

Основным источником калия в почвах являются калийсодержащие минералы подстилающих пород [Середина, 2007]. Возможно, тесная отрицательная корреляционная связь между валовым содержанием калия и гумуса в почвах обусловлена изменением соотношения в вытоптаных почвах органической и минеральной части. Как уже отмечалось выше, выявленные повышенные значения гумуса связаны с накоплением

измельченных, но слабо разложившихся растительных остатков, которые буквально втаптываются в поверхностный горизонт почвы, соответственно в опробованном 0–7 см слое почвы калий, содержащийся преимущественно в составе прочных алюмосиликатных минералов, может механически смещаться в более глубокие слои почвы.

Наибольшее количество корреляционных связей установлено для кальция, как для его валовой формы, так и для подвижной. Этот элемент играет крайне важную роль в формировании плодородия почвы и обеспечении растительности необходимыми питательными элементами. Так, кальций участвует в формировании структуры почвы, скреплении почвенных частиц, влияющих на аэрацию и водопроницаемость [Лазарев, Трутаев, 2006; Шеуджен и др., 2015].

Таблица 2

Фактические значения физических, физико-химических свойств и химического состава почв в рекреационной зоне Каракольских озёр

Table 2

Actual values of physical, physical-chemical properties, and chemical composition of soils in the recreational area of the Karakol Lakes

п/п	T/SP, кг/ см ²	ПС/ DSC, г/см ³	ПТФ/ SFD, г/см ³	П/Р, %	В/М, %	ПА/ AP, %	pH _в , ед.	pH _к , ед.	Г, %	NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	S, мг/кг	K, мг/кг	Ca (вал.), мг/кг	Ca ²⁺ (KCl), мг/кг
1	25	0.70	2.25	68.72	74.4	16.4	4.52	4.48	9.14	66.92	38.1	534	9637	2103	2.13
2	17	0.55	2.07	73.47	87.4	25.5	4.31	4.41	12.42	87.36	27.45	976	8614	1525	1.38
3	38	0.93	2.27	58.86	45.4	16.4	4.39	3.42	21.19	49.31	20.51	857	6372	2728	5.0
4	20	0.56	2.03	72.38	63.7	36.7	3.74	2.97	16.01	115.66	12.64	1031	7306	1454	1.88
5	30	1.06	2.38	55.18	14.2	40.0	4.67	3.61	7.86	93.02	54.31	<500	11737	2486	1.88
6	20	0.74	2.09	64.49	61.5	18.9	4.3	3.3	10.37	189.6	15.88	674	10808	1972	1.25
7	23	0.73	2.33	68.46	15.3	57.2	4.01	3.32	1.91	186.73	46.44	<500	12671	809	1.95
8	14	0.50	2.04	75.55	77.4	36.8	3.71	2.87	22.73	343.33	8.47	1023	7645	660	0.88
9	21	0.72	2.29	68.59	67.8	19.8	4.62	4.06	16.01	423.21	149.21	1516	7408	8074	11.38
10	15	0.50	2.05	75.79	64.6	43.7	4.38	3.94	11.47	837.04	135.32	1053	9928	6203	9.13

Таблица 3

Корреляционные связи между уровнями содержания некоторых химических элементов в почвах в районе Каракольских озёр

Table 3

Correlations between the levels of certain chemical elements in the soils of the Karakol Lakes region

Свойства и состав	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Г/НС	NO ₃	P ₂ O ₅	S	K	Ca (вал.)	Ca ²⁺ (KCl)
T/SP	0.44	0.00	-0.01	<u>-0.56</u>	-0.18	-0.27	-0.04	-0.06	-0.02
ПС/DSC	<u>0.58</u>	-0.01	-0.22	-0.49	-0.06	-0.23	0.26	0.00	-0.05
ПТФ/SFD	<u>0.59</u>	0.21	-0.41	-0.33	0.23	0.06	0.36	0.15	0.15
П/Р	-0.55	0.06	0.17	0.52	0.14	0.30	-0.22	0.05	0.10
В/М	-0.16	0.32	0.52	0.19	-0.01	0.06	<u>-0.60</u>	0.13	0.10
ПА/АР	-0.43	-0.38	-0.44	0.32	0.10	0.31	0.54	-0.21	-0.13
pH _{H2O}	1.00	0.72	-0.28	0.02	0.53	0.01	0.19	<u>0.58</u>	0.46
pH _{KCl}		1.00	-0.30	0.05	0.45	-0.05	0.07	0.42	0.34
Г/НС			1.00	0.07	-0.15	0.38	-0.91	0.11	0.17
NO ₃				1.00	0.74	0.48	0.02	0.65	0.68
P ₂ O ₅		n=10			1.00	0.64	0.06	0.93	0.91
S		p=0.05				1.00	-0.49	0.66	0.69
K		<i>p=0.10</i>					1.00	0.21	-0.28
Ca (вал.)								1.00	0.97
Ca ²⁺ (KCl)									1.00

Примечания: жирным шрифтом выделены статистически значимые связи при уровне вероятности 95%, курсивом и подчеркнуты – 90%; Т – твёрдость; ПС – плотность сложения; ПТФ – плотность твёрдой фазы; П – пористость; ПА – пористость аэрации; В – влажность; Г – содержание гумуса.

В рассмотренном наборе корреляционных связей, закономерно наибольшее их количество и значимость (связи при вероятности 95%) проявлены между химическими свойствами и элементами. Однако следует также отметить опосредованное и возможно именно поэтому менее ярко выраженное (при вероятности 90%) влияние на элементный состав некоторых физических свойств. Т.е. фактически вытаптывание и уплотнение почвы меняет интенсивность и характер направленности протекающих в ней биогеохимических процессов.

Например, кальций имеет тенденцию

к накоплению в почвах рекреационных зон (рис. 5), что в свою очередь приводит к их подщелачиванию (в нашем случае рН_в повышается на 5–15%), отмечаемому во многих работах по рекреационной экологии [Бганцова и др., 1987; Оборин, 2010; Кузнецов и др., 2019; Савенко, Робертус, 2021]. Но имеются также менее выраженные связи рН_в с физическими свойствами. Степень и характер их вклада требует уточнения и дополнительных исследований.

В заключении интересно также отметить некоторые выявленные различия в уровнях содержания нормируемых

металлов. В сравнении с фоном в почвах, подверженных вытаптыванию отмечено накопление марганца и свинца. Эти элементы, как и другие представленные в таблице 4 нормируются в почвах населенных мест и сельскохозяйственных территорий. Превышение допустимых концентраций отмечается по мышьяку, никелю и имеет природный характер, т.е. связано с химическим составом почвообразующих пород.

Для большинства элементов в условиях рекреационного воздействия всё же наблюдается снижение концентрации этих элементов (табл. 3). Причинами является их миграция в верхние горизонты почв за счет растительности и соответственно при деградации напочвенного покрова элементы либо вымываются из верхних горизонтов, либо прекращают в них поступать.

В случае вымывания природо-обусловленных загрязнителей повышается риск их попадания в грунтовые и поверхностные воды. Учитывая нахождение рекреационных участков в береговой зоне Каракольских озёр, данный факт требует более детальных исследований.

Заключение

В настоящее время район высокогорных Каракольских озёр активно посещается туристами, однако природная территория остается не организованной для рекреационных целей. Отсутствуют оборудованные пешие и конные тропы, бесконтрольно перемещается внедорожный транспорт. В результате на маршрутах ведущих к озёрам и на их побережьях отмечаются активно развивающиеся локальные очаги дигрессии почвенно-растительного покрова.

Таблица 4

Сравнение валовых содержаний некоторых элементов в почвах в районе Каракольских озёр с предельно и ориентировочно допустимыми концентрациями (ПДК и ОДК)

Table 4

Comparison of the gross concentrations of certain elements in soils in the area of the Karakol lakes with the maximum and approximate permissible concentrations (MPC and APC)

Элементы	Место отбора проб										ПДК/ ОДК
	Озеро №2		Озеро №4		Озеро №5		Подъездная дорога		Озеро №6		
	p / r	ф / b	p / r	ф / b	p / r	ф / b	p / r	ф / b	p / r	ф / b	mg/kg
V, mg/kg	53	86	69	89	61	72	79	90	78	79	150/
Mn, mg/kg	838	602	369	119	207	192	682	322	407	386	1500/
Cd, mg/kg	н.д./ u.m.	31	н.д./ u.m.	н.д./ u.m.	н.д./ u.m.	н.д./ u.m.	28	25	н.д./ u.m.	н.д./ u.m.	/1.0
Cu, mg/kg	34	59	29	39	16	22	29	34	26	28	/66.0
As, mg/kg	4.6	7.6	10.3	8.1	5.5	9.6	10.8	10.3	7.7	9.5	/5.0
Ni, mg/kg	53	78	66	23	28	32	56	54	55	53	/40.0
Pb, mg/kg	25	18	22	18	36	18	28	24	19	14	/65.0
Zn, mg/kg	85	91	77	26	42	47	80	77	76	81	/110

Примечания: ПДК и ОДК для почв по СанПиН 1.2.3685-21. В столбце с буквой (ф) представлены значения в условно фоновых почвах, (p) – в почвах рекреационных зон. Символом н.д. показаны значения ниже предела обнаружения. Жирным шрифтом выделены значения превышающие ПДК или ОДК.

Негативные последствия вытаптывания, выражающиеся визуально в снижении проективного покрытия и составе растительности, распространяются и на почвенный покров, его физические свойства, а также химический состав. При этом, если интенсивность изменения отдельных свойств почв легко устанавливается посредством сравнения участков с разной степенью вытоптанности, то выяснение последовательности накопления изменений в почве, особенно в её химическом составе крайне сложно. В тоже время понимание биогеохимических процессов, происходящих в почвах под воздействием вытаптывания, позволит объективно оценивать уровень нарушенности почвенно-растительного покрова и его устойчивость к этому виду воздействия, а значит эффективно управлять и организовывать территорию для целей рекреации.

В районе высокогорных Каракольских озёр биогеохимические характеристики почвы на вытоптаных локальных участках дигрессии заметно изменяются. В частности уровень обеспеченности почвы элементами участвующими в питании растений (гумус, нитраты, фосфаты, сера, калий) на фоновых и рекреационных участках различаются.

В вытоптаных почвах содержание нитратов понижено относительно фона в 1.6–2.3 раза, также в основном снижено валовое содержание серы. Напротив, увеличено содержание фосфатов (1.1–5.0 раз), что связано вероятнее всего

со снижением фитомассы травянистой растительности, активно поглощающей подвижный фосфор из почвы.

Изменение содержания гумуса в почвах, подверженных вытаптыванию наиболее неоднородно, отмечено как его уменьшение, так и увеличение на участках с разной степенью вытоптанности. Вероятно, что на определенном этапе в результате постоянного механического воздействия на поверхность почвы, истирания и перемешивания органогенного и гумусово-аккумулятивного горизонтов увеличивается, главным образом, содержание органических остатков. Отчасти это объясняет и тесную обратную корреляционную зависимость между уровнями содержания гумуса и калия. Буквально втоптывающийся в поверхностный горизонт почвы измельченный и слаборазложившийся растительный опад «вытесняет» минерализованную часть почвы, содержащую, в том числе алюмосиликатные минералы с калием. Учитывая, что в ходе исследования опробовался слой почвы 0–7 см, соотношение органической и минеральной частей в нём на фоновых и рекреационных участках значительно отличалось.

Необходимо дальнейшее изучение рассмотренных особенностей изменения химического состава вытоптаных почв и совершенствование методических подходов к оценке эколого-биогеохимического состояния почвенно-растительного покрова, подверженного интенсивному вытаптыванию в условиях рекреации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН № FUFZ-2026-0002 (регистрационный номер 126012716037-8).

Список литературы

Акимова А.С. Круговорот соединений фосфора в почве // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. №8 (134). URL: <https://research-journal.org/archive/8-134-2023-august/10.23670/IRJ.2023.134.38> (дата обращения: 05.09.2025).

Бганцова В.А., Бганцов В.Н., Соколов А.А. Влияние рекреационного лесопользования на почву // Природные аспекты рекреационного использования лесов. М.: Наука, 1987. С. 70–95.

Годовой доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2024 году. Горно-Алтайск, 2025. 158 с.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Книга 1: s-элементы. М.: Недра, 1994. 304 с.

Казанская Н.С., Ланина В.В., Марфенин Н.Н. Рекреационные леса. М.: Лесная промышленность, 1977. 96 с.

Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Стома Г.В. Изменение лесных экосистем мегаполиса под влиянием рекреационного воздействия // Почвоведение. 2019. № 5. С. 633–642.

Лазарев В.И., Трутаева Н.Н. Влияние кальций содержащих соединений на микробиологическую активность и физико-химические свойства почвы // Достижения науки и техники АПК. 2006. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kaltsiysoderzhaschih-soedineniy-na-mikrobiologicheskuyu-aktivnost-i-fiziko-himicheskie-svoystva-pochvy> (дата обращения: 10.09.2025).

Леошкина Н.А. Азот в системе почва-растение в альпийских экосистемах Северо-Западного Кавказа: Автореф. дис...канд. биол. наук. М., 2010. 17 с.

Маслов М.Н. Углерод, азот и фосфор в тундровых экосистемах северной Финоскандии: Дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2015. 234 с.

ОСТ 56-100-95. Методы и единицы рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы. М. 1995. 14 с.

Оборин М.С. Особенности анализа рекреационной и антропогенной нагрузки вследствие санаторно-курортной и туристской деятельности // Географический вестник. 2010. № 2. С. 19–24.

Попова Л.Ф., Шевчинская Н.В. Особенности накопления нитратов в различных типах почв селитебного ландшафта Архангельска // Научный электронный архив. 2009. URL: <http://econfr.rae.ru/article/5493> (дата обращения: 28.10.2025).

Савенко К.С., Робертус Ю.В. Новые подходы к оценке экологического состояния

рекреационных ландшафтов Республики Алтай // География и природные ресурсы. 2021. № 2. С. 59–68. doi: 10.15372/GIPR20210207

Середина В.П. Геохимические особенности поведения калия в почвах // Вестник Том. гос. ун-та. Биология. 2007. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geohimicheskie-osobennosti-povedeniya-kaliya-v-pochvah> (дата обращения: 09.10.2025).

Соколов О.А., Семёнов В.М., Агаев В.А. Нитраты в окружающей среде. Пушино: ОНТИ НЦБН АН СССР. 1988. 303 с.

Черных Д.В., Самойлова Г.С. Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край). Карта. М – 1:500000. ФГУП Новосибирская картографическая фабрика. 2011.

Шеуджен А.Х., Слюсарев В.Н., Бондарева Т.Н., Гуторова О.А., Осипов М.А., Есипенко С.В. Валовое содержание серы и ее формы в черноземе, выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза // Плодородие. 2014. №4 (79). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/valovoe-soderzhanie-sery-i-ee-formy-v-chnozeme-vyschelochennom-zapadnogo-predkavkazya-v-usloviyah-agrogeneza> (дата обращения: 09.10.2025).

Шеуджен А.Х., Бочко Т.Ф., Онищенко Н.М., Бондарева Т.Н., Осипов М.А., Есипенко С.В. Содержание и формы соединений кальция в черноземе, выщелоченном западного Предкавказья в условиях агрогенеза // Научный журнал КубГАУ, 2015. №105(01). URL: <https://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/35.pdf> (дата обращения: 28.10.2025).

Якименко В.Н., Бойко В.С. Изменение содержания форм серы в почвах полевых опытов в Западной Сибири // Агрохимия, 2022. № 11. С. 3–12. doi: 10.31857/S0002188122110114

References

Akimova A.S. Krugovorot soedinenii fosfora v pochve [The circulation of phosphorus compounds in the soil] // Mezhdunarodnii nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2023. No. 8 (134). URL: <https://research-journal.org/archive/8-134-2023-august/10.23670/IRJ.2023.134.38> (accessed: 05.09.2025) (in Russian).

Bgantsova V.A., Bgantsov V.N., Sokolov A.A. Vliyanie rekreatsionnogo lesopolzovaniya na pochvu [The influence of recreational forestry on soil]. Natural aspects of recreational use of forests. M.: Nauka. 1987. P. 70–95 (in Russian).

Godovoi doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredi Respubliki Altai v 2024 godu [Annual report on the state and environmental protection of the Altai Republic in 2024]. Gorno-Altaysk, 2025. 158 p. (in Russian).

Ivanov V.V. Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Kn. 1: s-elementi [Ecological geochemistry of the elements. Book 1: s-elements]. M.: Nedra, 1994. 304 p. (in Russian).

Kazanskaya N.S., Lanina V.V., Marfenin N.N. Rekreatsionnie lesa [Recreational forests]. M.: Forest industry, 1977. 96 p. (in Russian).

Kuznetsov V.A., Ryzhova I.M., Stoma G.V. Izmenenie lesnikh ekosistem megapolisa

pod vliyaniem rekreatsionnogo vozdeistviya [Changes in forest ecosystems of the metropolis influenced by recreation]. Soil Science. 2019. No. 5. P. 633–642. (in Russian).

Lazarev V.I., Trutaeva N.N. Vliyanie kaltsii sodержashchikh soedinenii na mikrobiologicheskuyu aktivnost i fiziko-khimicheskie svoistva pochvi [The effect of calcium-containing compounds on the microbiological activity and physico-chemical properties of the soil] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2006. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kaltsiysoderzhaschih-soedineniy-na-mikrobiologicheskuyu-aktivnost-i-fiziko-himicheskie-svoystva-pochvy> (accessed: 10.09.2025).

Leoshkina N.A. Azot v sisteme pochva-rastenie v alpiiskikh ekosistemakh Severo-Zapadnogo Kavkaza [Nitrogen in the soil-plant system in alpine ecosystems of the North-West Caucasus]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow, 2010. 17 p. (in Russian).

Maslov M.N. Uglerod, azot i fosfor v tundrovikh ekosistemakh severnoi Finoskandii [Carbon, nitrogen, and phosphorus in tundra ecosystems of northern Finoscandia]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow, 2015. 234 p. (in Russian).

OST 56-100-95. Metodi i yedinitsti rekreatsionnikh nagruzok na lesnie prirodnie kompleksi [Methods and units of recreational loads on forest natural complexes]. M., 1995. 14 p. (in Russian).

Oborin M.S. Osobennosti analiza rekreatsionnoi i antropogennoi nagruzki vsledstvie sanatorno-kurortnoi i turistskoi deyatel'nosti [Features of the analysis of recreational and anthropogenic loads from sanatorium-resort and tourist activities] // Geographical Bulletin. 2010. No. 2. P. 19–24. (in Russian).

Popova L.F., Shevchinskaya N.V. Osobennosti nakopleniya nitratov v razlichnikh tipakh pochv selitebnogo landshafta Arkhangelska [Features of nitrate accumulation in various types of soils in the residential landscape of Arkhangelsk] // Nauchnii elektronnyi arkhiv. 2009. URL: <http://econfr.ae.ru/article/5493> (accessed: 28.10.2025). (in Russian).

Savenko K.S., Robertus Yu.V. Novie podkhodi k otsenke ekologicheskogo sostoyaniya rekreatsionnikh landshaftov Respubliki Altai [New approaches to the assessment of the ecological state of recreational landscapes of the Altai Republic] // Geography and Natural Resources. 2021. No. 2. P. 59–68. (in Russian). doi: 10.15372/GIPR20210207

Seredina V.P. Geokhimicheskie osobennosti povedeniya kaliya v pochvakh [Geochemical features of potassium behavior in soils] // Vestn. Tom. gos. un-ta. Biologiya. 2007. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geokhimicheskie-osobennosti-povedeniya-kaliya-v-pochvakh> (accessed: 09.10.2025) (in Russian).

Sokolov O.A., Semyonov V.M., Agaev V.A. Nitrati v okruzhayushchei srede. [Nitrates in the environment]. Pushchino: ONTI NTSBN AN SSSR, 1988. 303 p. (in Russian).

Chernykh D.V., Samoilova G.S. Landshafti Altaya (Respublika Altai i Altaiskii krai) [Landscapes of Altai (Republic of Altai and Altai Krai)]. Map. M – 1:500000. Federal State Unitary Enterprise «Novosibirsk Cartographic Factory». 2011. (in Russian).

Sheudzhen A.Kh., Slyusarev V.N., Bondareva T.N., Gutorova O.A., Osipov M.A., Yesipenko S.V. Valovoe sodержanie seri i yee formi v chernozeme vishchelochennom Zapadnogo Predkavkazya v usloviyakh agrogeneza [Total sulfur content and its forms in leached chernozem of the Western Ciscaucasia under conditions of agrogenesis] // Plodorodie. 2014. No. 4 (79). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/valovoe-soderzhanie-sery-i-ee-formy-v-chernozeme-vyshchelochennom-zapadnogo-predkavkazya-v-usloviyah-agrogeneza> (accessed: 09.10.2025). (in Russian).

Sheudzhen A.Kh., Bochko T.F., Onishchenko N.M., Bondareva T.N., Osipov M.A., Yesipenko S.V. Soderzhanie i formi soedinenii kaltsiya v chernozeme vishchelochennom zapadnogo Predkavkazya v usloviyakh agrogeneza [The content and forms of calcium compounds in leached chernozem of the Western Ciscaucasia under conditions of agrogenesis] // Nauchnii zhurnal KubGAU, 2015. No. 105 (01). URL: <https://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/35.pdf> (accessed: 28.10.2025). (in Russian).

Yakimenko V.N., Boiko V.S. Izmenenie sodержaniya form seri v pochvakh polevikh opitov v Zapadnoi Sibiri [Changes in the content of sulfur forms in the soils of field experiments in Western Siberia] // Agrokimiya, 2022. No. 11. P. 3–12. (in Russian). doi: 10.31857/S0002188122110114

ECOLOGICAL-BIOGEOCHEMICAL STATE OF SOIL AND VEGETATION COVER IN THE RECREATIONAL ZONE OF KARAKOL LAKES (REPUBLIC OF ALTAI)

K.S. Savenko¹, V.A. Sitnikova¹, R.V. Lyubimov¹, A.V. Kivatskaya¹, M.V. Sushentsova²

¹*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow,*

E-mail: kassiSav@yandex.ru, valya_90_well@mail.ru, geoekol04@mail.ru, vfhbif2001@yandex.ru

The complex of high-altitude Karakol lakes is one of the most popular tourist destinations in the Altai Republic. However, it is not organized for recreational purposes, and the movement of tourist groups and their transportation by vehicles are not regulated. During the study of the area surrounding the lakes, local areas of developing soil and vegetation degradation were identified. The patterns of vegetation degradation (stages of recreational degradation) were described in a first approximation. Additionally, the changes in certain biogeochemical indicators (humus content, nitrate content, phosphate content, potassium content, and other biophilic elements) in soils under different natural conditions and with varying levels of recreational degradation were analyzed.

Keywords. Karakol lakes; highlands; stages of recreational digression; physico-chemical properties and chemical composition of soils.

Received: October 30, 2025. Accepted: November 25, 2025

Сведения об авторах

Савенко Ксения Сергеевна – кандидат географических наук, научный сотрудник Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 649105, Республика Алтай, с. Кызыл-Озёк, пер. Мирный, 8. ORCID: 0009-0004-9903-7299. E-mail: kassiSav@yandex.ru.

Ситникова Валентина Александровна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 649105, Республика Алтай, с. Кызыл-Озёк, пер. Мирный, 8. ORCID: 0000-0002-4606-3766. E-mail: valya_90_well@mail.ru.

Любимов Роман Владимирович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 649105, Республика Алтай, с. Кызыл-Озёк, пер. Мирный, 8. ORCID: 0009-0006-6254-737X. E-mail: geokol04@mail.ru.

Кивацкая Анна Васильевна – кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 649105, Республика Алтай, с. Кызыл-Озёк, пер. Мирный, 8. ORCID: 0009-0006-2696-8126. E-mail: robertus22@mail.ru.

Сушенцова Марина Вячеславовна – аспирант географического факультета Московского государственного университета им. Ломоносова. Россия, 19991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1 ORCID: 0000-0002-8750-8602. E-mail: vfhbif2001@yandex.ru.

Information about the authors

Savenko Ksenia Sergeevna – PhD in Geography, researcher at the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 8, Mirny Lane, 649105 Kyzyl-Ozek, Altai Republic, Russia. ORCID: 0009-0004-9903-7299. E-mail: kassiSav@yandex.ru.

Sitnikova Valentina Aleksandrovna – PhD in Geology and Mineralogy, researcher at the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 8, Mirny Lane, 649105 Kyzyl-Ozek, Altai Republic, Russia. ORCID: 0000-0002-4606-3766. E-mail: valya_90_well@mail.ru.

Lyubimov Roman Vladimirovich – PhD in Geology and Mineralogy, senior researcher at the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 8, Mirny Lane, 649105 Kyzyl-Ozek, Altai Republic, Russia. ORCID: 0009-0006-6254-737X. E-mail: geokol04@mail.ru.

Kivatskaya Anna Vasilevna – PhD in Geology and Mineralogy, junior research assistant at the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 8, Mirny Lane, 649105 Kyzyl-Ozek, Altai Republic, Russia. ORCID: 0009-0006-2696-8126. E-mail: robertus22@mail.ru.

Sushentsova Marina Vyacheslavovna – Postgraduate student at the Faculty of Geography Lomonosov Moscow State University. 1, Leninskie gory, 19991 Moscow, Russia. ORCID: 0000-0002-8750-8602. E-mail: vfhbif2001@yandex.ru.