

УДК 502/504
DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4654
Шифр специальности ВАК: 1.5.15

Влияние туристско-рекреационной деятельности на показатели почвенно-экологического мониторинга прилегающей территории Телецкого озера (Горный Алтай)

О.А. Ельчинова[✉]

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Россия, г. Барнаул

[✉]eoas59@mail.ru

Аннотация. Актуальность. Обусловлена возрастающей рекреационной нагрузкой на экосистемы бассейна Телецкого озера, сопровождающейся явным ущербом для них и возникающей необходимостью количественной оценки происходящих изменений. **Цель.** Оценка современного состояния почвенного покрова прилегающей территории Телецкого озера, формирующегося под влиянием туристско-рекреационной деятельности. **Методы.** Сравнительно-географический, химический. Изучаемые показатели почвенно-экологического мониторинга ранней, кратко- и долгосрочной диагностики. **Результаты и выводы.** Следствием влияния туризма в прибрежной зоне горно-лесного пояса Телецкого озера является развитая тропиная сеть, приводящая к трансформации естественных экосистем. Установлено существенное различие по ряду параметров свойств и состава почвы на тропе и на участках, неподверженных влиянию вытаптывания. Анализ водной вытяжки показал уменьшение кислотности, снижение содержания аммонийного и нитратного азота, фосфатов, изменение концентрации катионов кальция, калия и магния верхнего слоя почвы на тропе по сравнению с ненарушенной почвой. Следствием вытаптывания стало нарушение подстилки, уменьшение её мощности или полное уничтожение в зоне троп. Запасы подстилки на средневывраженных тропинках снизились более чем в 2,7–4,0 раза. При этом на хорошо выраженных тропинках, распространенных на территории Алтайского государственного биосферного заповедника, где нет бессистемного передвижения по территории, подстилка на немногочисленных или даже единственных тропинках отсутствует вообще. На слабовывраженных (свежих) тропинках запасы подстилки даже выше, чем на незатронутой территории или на тропках, расположенных рядом с тропой, отсыпанной щебнем. Влияние рекреационных нагрузок привело к увеличению плотности почвы верхнего (0–5 см) слоя почвы в 1,2–1,7 раз. Увеличение плотности сопровождалось снижением пористости и воздухообеспеченности почвы. Твердость почвы была на тропе выше, чем возле тропы, в 1,3–1,5 раза. Последствия влияния пешего туризма на общие физические свойства прослеживалось до глубины 20–30 см, но наибольшие изменения были отмечены в верхнем (0–5 см) слое. Рекреационная нагрузка не оказала существенного влияния на агрегатный состав. Не обнаружено значительных изменений в элементном химическом составе почв, обусловленных влиянием туристско-рекреационной деятельности. Содержания биогенных элементов и свинца находятся в пределах фоновых значений и не превышают нормируемых значений. Обнаруженные высокие концентрации мышьяка не связаны с влиянием туристско-рекреационной деятельности.

Ключевые слова: туристско-рекреационная деятельность, почвенный покров, тропиная сеть, показатели ранней, кратко- и долгосрочной диагностики

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Институт водных и экологических проблем СО РАН (номер гос. регистрации 121031200177-1).

Для цитирования: Ельчинова О.А. Влияние туристско-рекреационной деятельности на показатели почвенно-экологического мониторинга прилегающей территории Телецкого озера (Горный Алтай) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 336. – № 1. – С. 18–35. DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4654

UDC 502/504
DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4654

Impact of tourist and recreational activities on the indicators of soil-ecological monitoring of the adjacent territory of Lake Teletskoe (Altai Mountains)

O.A. Elchinina✉

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russian Federation

✉ eoa59@mail.ru

Abstract. Relevance. The increasing recreational load on the ecosystems of the Lake Teletskoe basin, its related obvious damage and the necessity to quantify the ongoing transformations. **Aim.** To assess the current state of a soil cover of the adjacent territory of Lake Teletskoe in terms of tourism and recreation impact. **Methods.** Comparative geographical and chemical as well as soil-ecological monitoring of studied indicators of early, short- and long-term diagnostics. **Results and conclusions.** Because of the tourist activities in the coastal zone of the mountain-forest belt of Lake Teletskoe, a developed path network transforming its natural ecosystems appeared. Some parameters of soil properties and composition on this path and in the sites not affected by recreation differed significantly. The analysis of water extract showed the decrease in acidity, the reduced content of ammonium and nitrate nitrogen, phosphates, a change in the concentration of calcium cations, potassium and magnesium in the top soil layer on the path, as compared to the undisturbed places. Soil trampling by recreants has damaged litter, decreased its thickness or completely destructed the promenade area. Reduction in litter reserves on the moderately developed paths exceeded by more than 2.7–4.0 times, whereas on the well-defined ones (as in the Altai State Biosphere Reserve with the established systemized movement across the territory), litter was absent at all on a few or even single paths. On weakly developed (fresh) paths, litter reserves turned out to be even higher than on the undisturbed areas or on the paths located next to a gravel site. Recreational loads were responsible for the 1.2–1.7 times increase in soil density of the upper (0–5 cm) layer, accompanied by a decrease in soil porosity and air supply. The hardness of soil was 1.3–1.5 times higher on the path than around it. The tourist effect on general physical properties of soil was traced to a depth of 20–30 cm, but maximum changes were noted in its upper (0–5 cm) layer. Recreational loads did not impact essentially on the aggregate soil composition. No significant changes, caused by tourist and recreational activities, were found in the elemental chemical composition of soils. The content of nutrients and lead were within the background and did not exceed the standardized values. The detected high concentrations of arsenic were not associated with the influence of tourist and recreational activities.

Keywords: tourist and recreational activities, soil cover, path network, indicators of early, short- and long-term diagnostics

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (state registration number 121031200177-1)

For citation: Elchinina O.A. Impact of tourist and recreational activities on the indicators of soil-ecological monitoring of the adjacent territory of Lake Teletskoe (Altai Mountains). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336, no. 1, pp. 18–35. DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4654

Введение

В настоящее время туристская отрасль является одной из наиболее значимых в экономике многих регионов Российской Федерации. Одним из главных компонентов развития отдыха и туризма являются природные ресурсы и экологическая обстановка территории. Большинство публикаций посвящено изучению положительного влияния туристско-рекреационной деятельности на социально-экономическое развитие регионов, активного стимулирования сопутствующих отраслей экономики.

Вместе с тем в литературе наблюдается дефицит исследований по изучению влияния туризма и рекреации на природные экосистемы, а в имеющихся

в основном дается качественная оценка изменений. При этом отрицательные последствия рекреационной деятельности, в частности вытаптывания, вполне очевидны и выражаются, в первую очередь, в изменении растительно-почвенного покрова. Последнее подтверждается исследованиями как отечественных [1, 2], так и зарубежных ученых [3–9].

Оценка степени непосредственного влияния туризма на окружающую среду имеет ряд сложностей методологии. По мнению Т.М. Кривошеевой [10], если рассматривать туризм как совокупность видов деятельности, становится практически невозможным измерить влияние туризма на окружающую среду.

Нами для количественной оценки влияния туристско-рекреационной деятельности на почвенный покров прилегающей территории Телецкого озера были взяты за основу показатели почвенно-экологического мониторинга, предложенные в [11].

Телецкое озеро находится под пристальным вниманием научного сообщества как уникальный природный объект мирового значения, выполняющий особую рекреационную роль на Алтае и нуждающийся во всестороннем исследовании. Проводимые исследования разнообразны и многоплановы. Они касаются изучения влияния туристско-рекреационной деятельности на отдельные компоненты окружающей среды, но носят также комплексный характер. Значительная часть Телецкого озера и прилегающей территории (восточная и северо-восточная) относится к Алтайскому государственному природному биосферному заповеднику. Граница заповедника проходит ориентировочно по середине озера, поэтому остальная часть открыта для широкого посещения туристами. Также в соответствии с Положением об Алтайском заповеднике можно посетить эколого-просветительские маршруты, расположенные в селе Яйлю (центральная усадьба Алтайского заповедника), на кордонах «Байгазан» и «Беле», водопаде Корбу.

В последние десятилетия сеть особоохраняемых природных территорий в Российской Федерации активно развивается, в большинстве из них осуществляются различные виды туризма и проводятся научные исследования [12–17].

В настоящее время возрастающая рекреационная нагрузка на окружающую среду сопровождается явным ущербом для неё. Наиболее наглядно этот процесс прослеживается в лесных массивах и береговых зонах водоемов. Опасность деградации лесных биоеценозов, обеднения флористического разнообразия и разрушения почвенного покрова вызывает необходимость всестороннего изучения последствий рекреационного нарушения лесных земель.

Цель работы – оценка современного состояния почвенного покрова прилегающей территории Телецкого озера, формирующегося под влиянием возрастающих рекреационных нагрузок от туристско-рекреационной деятельности.

Объекты и методика исследования

Телецкое озеро находится в Кыга-Камгинском физико-географическом районе Северо-Восточной Алтайской провинции на территории Турочакского и Улаганского районов Республики Алтай.

Котловина озера лежит на абсолютной высоте 434,8 м, площадь 223 км², средняя ширина 2,9 км, максимальная 5,2 км, длина 77 км. Максимальная глубина озера 325 м. Длина береговой линии более

180 км. Высота окружающих ее хребтов достигает 2100–2200 м. Озерная котловина имеет руслообразную форму с удлиненной меридиональной (50 км) и укороченной субширотной (28 км) частями, представляет собой узкую глубоко врезанную межгорную впадину с крутыми осыпными склонами, поросшими в северной части черневой тайгой, в центральной и южной частях – кедровыми и парковыми лиственничными лесами. На прилегающих к озеру горных склонах преобладают серые и бурые лесные почвы, реже маломощные горные черноземы [18].

Телецкое озеро проточное, в него впадают более 70 рек и речек, среди которых наиболее крупный приток – р. Чулышман, вносящая 67 % воды. Вытекает из озера только р. Бия. Озеро и его окрестности обладают исключительным многообразием растительного и животного мира, включая виды, занесенные в Красные книги России и Республики Алтай [19].

В ходе проведения исследований были использованы как традиционные подходы (ландшафтно-геохимический и биогеохимический), так и подходы, учитывающие специфику исследуемого объекта (бассейновый), методы исследований – сравнительно-географический и химический.

Точки опробования были выбраны на 12 притоках Телецкого озера (рис. 1). Номера точек опробования, обозначенные на картосхеме, также приведены по тексту статьи и указаны в таблицах и рисунках.

Следствием рекреационного влияния в горно-лесном поясе является развитая тропиновая сеть, приводящая к трансформации естественных экосистем (рекреационная дигрессия). Отбор проб проводили на типичных для исследуемой территории тропах с одновременным отбором на незатронутой рекреационной деятельностью территории.

Отбор проб почв осуществляли по ГОСТ 17.4.3.01-83.

Подстилку отбирали в местах, сопряженных с местом отбора почвенных проб с площадью 0,25 м². Одновременно определяли её мощность.

Изучаемые показатели почвенно-экологического мониторинга были разделены на показатели ранней, кратко- и долгосрочной диагностики [11]:

1. Показатели ранней диагностики антропогенных изменений свойств почв: характеристики кислотно-основного и ионно-солевого режимов почв на основе анализа водных вытяжек, в которых определяли pH потенциометрическим методом и содержание анионов: CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , и катионов: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ методом капиллярного электрофореза на системе Капель 105М.

2. Показатели средней устойчивости: мощность и запасы подстилки – методами биогеоценологических исследований, содержание гумуса – методом мокрого сжигания по И.В. Тюрину.
3. Показатели долгосрочной диагностики нарушений почвообразования при рекреационном воздействии: плотность – методом режущего кольца, плотность твердой фазы – пикнометрически, порозность – через соотношение плотности сложения почвы и плотности ее твердой фазы, воздухообеспеченность – расчетным методом, структурное (агрегатное) состояние – по Н.И. Савинову. Твердость почвы определяли в полевых условиях твердомером TYD-1 согласно прилагаемой инструкции.

Для оценки изменений свойств почв тропинок, подверженных разной нагрузке, за основу была взята классификация, предложенная в [1], – слабо-, средне- и хорошо выраженные, которая учитывает ширину, проективное покрытие живого напочвенного покрова и глубину уплотнения.

Валовое содержание биогенных и токсичных элементов в почве определяли методом РФА СИ (рентгено-флуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения) [20], в ИЯФ СО РАН.

Валовое содержание биогенных и токсичных элементов в почве определяли методом РФА СИ (рентгено-флуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения) [20], в ИЯФ СО РАН.

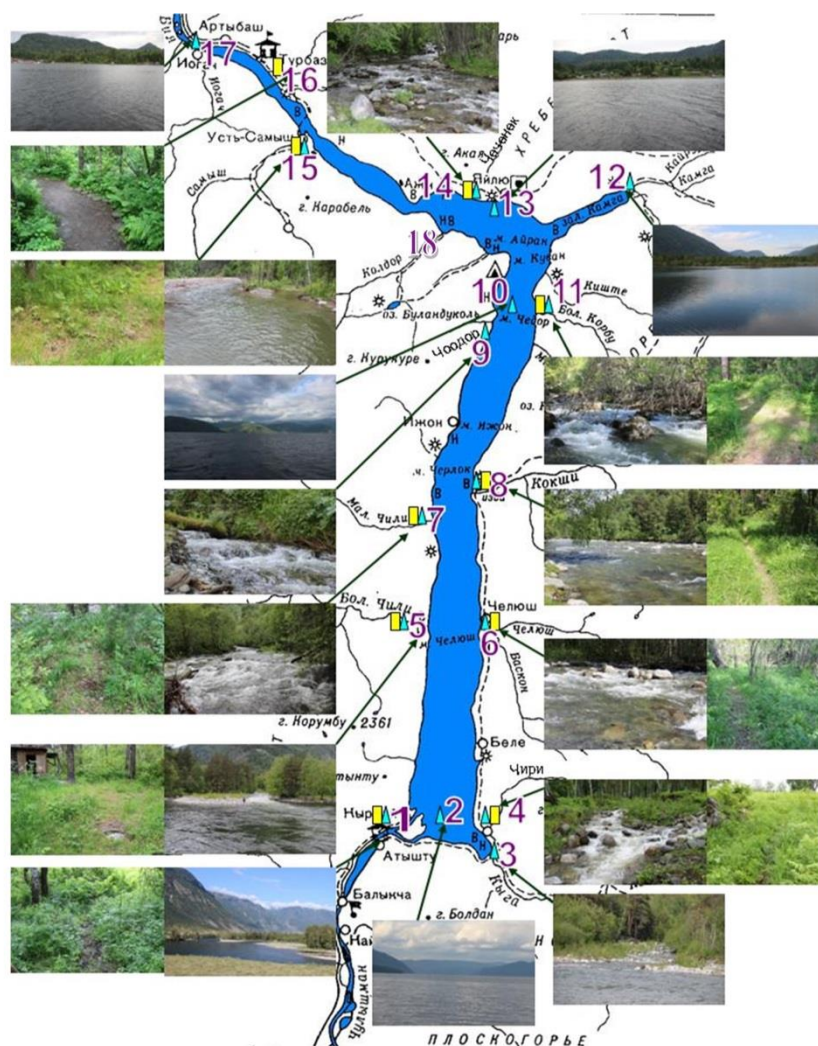


Рис. 1. Карта-схема точек опробования (здесь и далее): 1 – устье р. Чулышман; 2 – юж. часть оз. Телецкое; 3 – устье р. Кыга; 4 – устье р. Чирь; 5 – устье р. Большие Чили; 6 – устье р. Челюш; 7 – устье р. Малые Чили; 8 – устье р. Кокши; 9 – устье р. Чоодор; 10 – сред. часть оз. Телецкое; 11 – устье р. Большой Корбу; 12 – устье р. Камга; 13 – сев. часть оз. Телецкое; 14 – устье р. Чеченек; 15 – устье р. Самыш; 16 – устье р. Тевенек; 17 – сев.-зап. часть оз. Телецкое; 18 – устье р. Колдор; ▲ – отбор проб воды; ■ – отбор проб почвы

Fig. 1. Map of sampling sites: 1 – Chulyshman river mouth; 2 – southern part of Lake Teletskoye; 3 – Kyga river mouth; 4 – Chiry river mouth; 5 – B. Chily river mouth; 6 – Chelyush river mouth; 7 – M. Chily river mouth; 8 – Koksha river mouth; 9 – Choodor river mouth; 10 – mid part of Lake Teletskoye; 11 – B. Corbu river mouth; 12 – Kamga river mouth; 13 – northern part of Lake Teletskoye; 14 – Chechenek river mouth; 15 – Samysh river mouth; 16 – Teyvenek river mouth; 17 – northwestern part of Lake Teletskoye; 18 – Koldor river mouth; ▲ – water sampling; ■ – soil sampling

Результаты исследования и их обсуждение

Одной из важнейших составляющих любой экосистемы является почва как центральное звено обмена вещества и энергии, поэтому при исследовании воздействия вытаптывания необходимо отдельно изучать изменения, происходящие в ней [21]. В большинстве работ зарубежных исследователей рассматривается влияние туристско-рекреационной деятельности на почвы и растительность [22–34].

Влияние туристско-рекреационной деятельности на показатели ранней диагностики антропогенных изменений свойств почв: реакцию и состав водной вытяжки почв. Реакция и состав водной вытяжки относятся к показателям ранней диагностики антропогенных изменений свойств почв, позволяющим обнаружить неблагоприятные процессы на начальных стадиях их развития.

Водная вытяжка представляет собой фильтрат, приготовленный из анализируемой почвы, после трехминутного взбалтывания взятой навески с пятикратным количеством воды. Анализ водной вытяжки показал некоторое уменьшение кислотности верхнего слоя почвы на тропе по сравнению с ненарушенной почвой (рис. 2). Подщелачивание почв в результате рекреационного воздействия также отмечается в литературе [35, 36]. Основной причиной этого считается снижение поступления опада на поверхность почвы, отсутствие лесной подстилки и прекращение воздействия на почву органических кислот при её разложении.

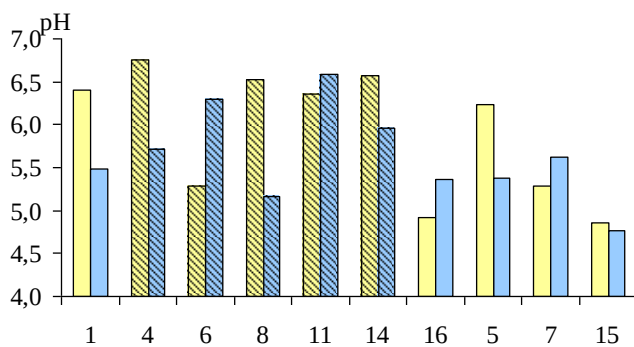


Рис. 2. Реакция среды почвенного раствора: ■ – тропа, ■ – возле тропы, ▨ – территория заповедника

Fig. 2. Reaction of soil solution medium: ■ – trail, ■ – near the trail, ▨ – territory of the reserve

С другой стороны, выявлено снижение содержания кальция в водной вытяжке в почве под тропой в большинстве исследованных точек. Одной из наиболее объективных причин этого А.Б. Лысенков [36] называет более слабое проявление кислотного

гидролиза и, соответственно, ослабление выщелачивания кальция из поглощающего комплекса.

Существенное влияние вытаптывание оказывает на катионный (рис. 3) и анионный (рис. 4) состав водной вытяжки. Практически во всех точках опробования содержание аммонийного азота в почве под тропой ниже, чем на участках, незатронутых деятельностью рекреантов, что обусловлено более низкими запасами подстилки или полным её отсутствием. Несколько отличается картина по катионам калия, натрия и магния. Оценка содержания последних в почве показала, что на тропе концентрация калия в 70 %, натрия в 60 % и магния в 50 % исследованных точек была выше по сравнению с ненарушенными участками, что объясняется более высоким потреблением этих элементов растениями из почвы на незатронутой туристско-рекреационной деятельностью территории по сравнению с уплотненной почвой тропы.

Низкое содержание нитрат-ионов или их отсутствие связано с количеством подстилки, выносом минерального азота корнями и с атмосферными осадками. Отсутствие анионов фосфорной кислоты обусловлено низкой подвижностью последних в почве. На более низкое содержание нитратов и фосфатов в почвах рекреационных участков Катунского района Республики Алтай относительно фона указывают К.С. Павлова, Ю.В. Робертус, А.В. Кивацкая [37].

В 40 % исследованных точек туристско-рекреационная деятельность не оказала влияния на содержание гидрокарбонатов и сульфат-ионов в водной вытяжке. Низкое содержание или отсутствие хлорид-ионов связано с высокой подвижностью их в почве, обуславливающей вымывание атмосферными осадками и с поверхностным стоком.

Влияние туристско-рекреационной деятельности на показатели средней устойчивости. Среди почвенных горизонтов наибольшие изменения претерпевает подстилка. На начальных стадиях дигрессии в ходе вытаптывания происходит нарушение подстилки и с увеличением интенсивности рекреационного воздействия – её уничтожение. Подстилка играет значительную роль в функционировании экосистемы. Она является источником питательных элементов для растений и микроорганизмов, поддерживает благоприятный микроклимат почвы, сглаживая температурные колебания и испарение с поверхности, предохраняет почву от эрозии, а в зимний период – от глубокого промерзания. В условиях уплотненных почв происходят морфологические изменения, мешающие выполнению данных функций [38].

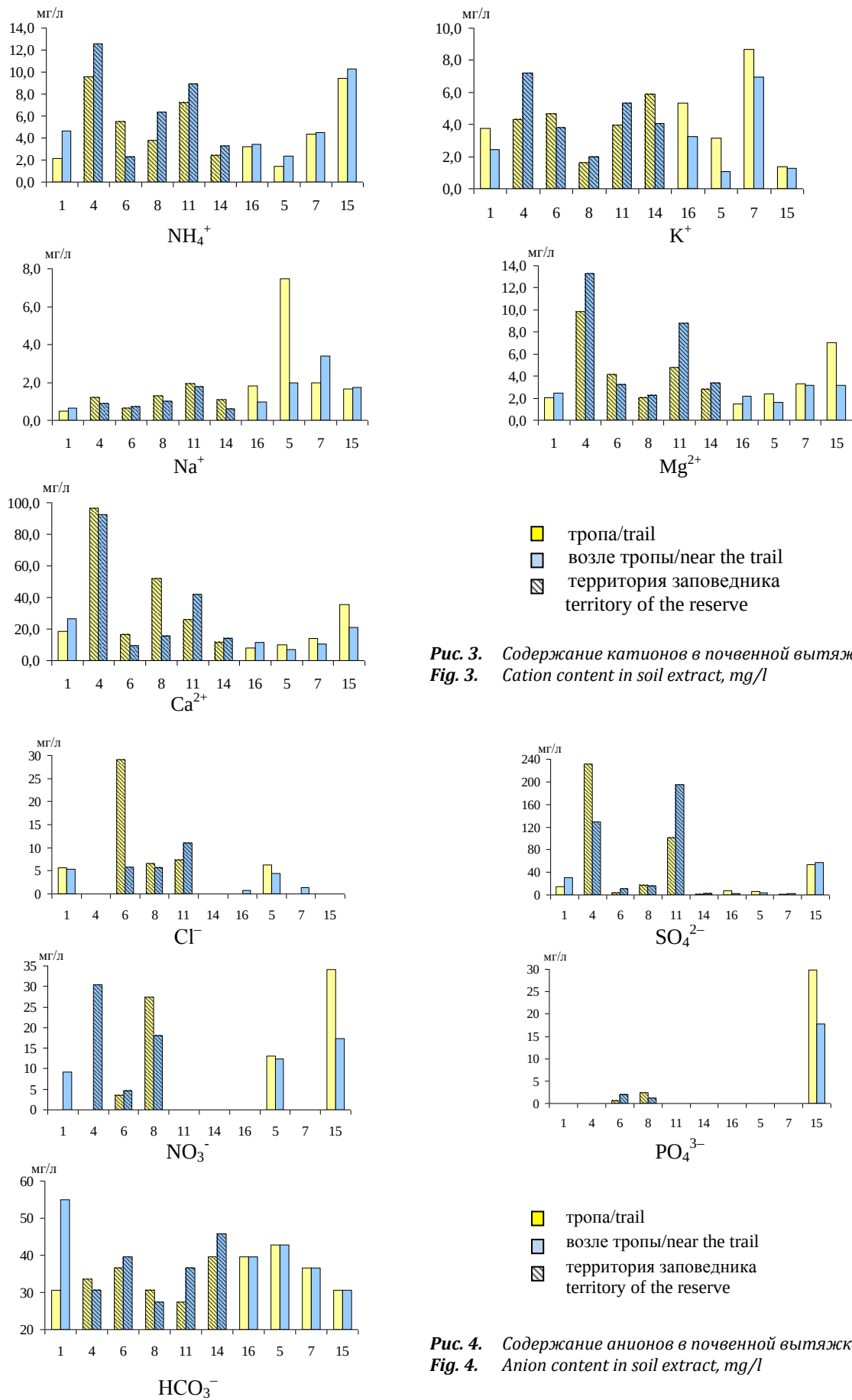


Рис. 3. Содержание катионов в почвенной вытяжке, мг/л
 Fig. 3. Cation content in soil extract, mg/l

Рис. 4. Содержание анионов в почвенной вытяжке, мг/л
 Fig. 4. Anion content in soil extract, mg/l

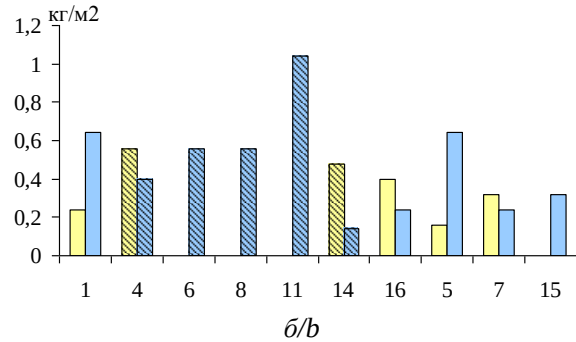
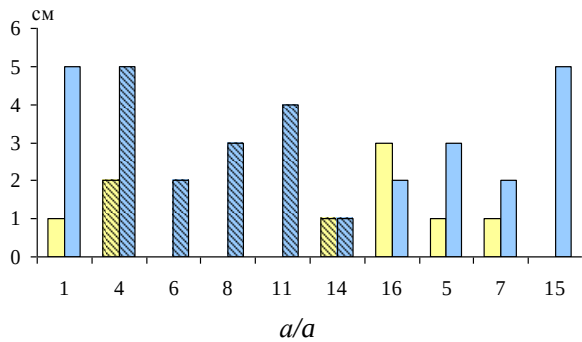


Рис. 5. Мощность и запасы подстилки: ■ – тропа, ■ – возле тропы, ■ – территория заповедника; а) мощность подстилки, см; б) запасы подстилки, кг/м²

Fig. 5. Capacity and reserves of litter: ■ – trail, ■ – near the trail, ■ – territory of the reserve; а) litter capacity, cm; б) reserves of litter, kg/m²

Вытаптывающее действие рекреантов вызывает нарушение подстилки, уменьшение её мощности и полное уничтожение в зоне троп. Под влиянием вытаптывания она уплотняется, перетирается и измельчается. Измельченная подстилка выдувается ветром и легко смывается водами поверхностного стока. Крупная фракция перемещается пешеходами, в результате чего вдоль тропинок образуются «валики» подстилки. Подстилка на тропинках характеризуется высокой фрагментарностью и неоднородностью состава. Мощность её варьирует от 1 до 2 см. В то время как на участках, неподверженных вытаптыванию, этот показатель изменяется от 2 до 5 см (рис. 5, а). Интегральным показателем, характеризующим состояние подстилки, является её запас. Изменения запасов подстилки на тропинках по сравнению с фоном представлены на рис. 5, б.

По полученным данным запасы подстилки на средневыраженных тропинках снижаются более чем в 2,7 (устье р. Чулышман) – 4 (устье р. Б. Чили) раза. При этом на хорошо выраженных тропинках, распространенных на территории Алтайского государственного биосферного заповедника, где нет бессистемного хождения по территории, подстилка отсутствует вообще. На слабовыраженных тропинках запасы подстилки даже выше, чем на незатронутой территории (р. Чеченек) или на тропках, расположенных рядом с тропой, отсыпанной щебнем (р. Тевенек). О.Е. Марфениной [39] было показано, что уменьшение запасов подстилки на рекреационно используемых территориях связано не только с ее вытаптыванием или перераспределением, но и с активизацией в ней процессов микробной, в том числе и грибной, деструкции. Деятельность деструкторов стимулируется предварительным измельчением подстилки в результате рекреационного воздействия и перемешиванием измельченных фрагментов с почвой. Усиление процессов микробной деструкции было зафиксировано аппликацион-

ным методом уже на следующий год после одного сезона рекреационной нагрузки. Авторы [40] указывают на воздействие антропогенного вытаптывания на органическое вещество почвы и почвенные микробиологические процессы в пригородных буковых лесах.

Представленные на рис. 6 данные свидетельствуют о неоднозначном влиянии туристско-рекреационной деятельности на содержание гумуса в почве. В одном случае оно не изменилось (точки 1 и 14), в другом – снизилось (точки 7, 11, 16), в третьем – увеличилось (точки 4, 6, 8, 15, 18).

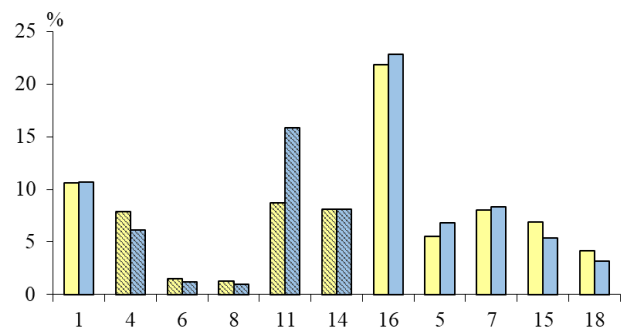


Рис. 6. Содержание гумуса: ■ – тропа, ■ – возле тропы, ■ – территория заповедника

Fig. 6. Humus content: ■ – trail, ■ – near the trail, ■ – territory of the reserve

Причинами снижения содержания гумуса при воздействии вытаптывания являются уменьшение поступления количества органических остатков и эрозия верхних гумусово-аккумулятивных горизонтов. Увеличение содержания гумуса обусловливается внедрением в верхний слой почвы фрагментов опада и усилением процесса биохимической деструкции подстилки при ее постоянном перемешивании [1].

Влияние туристско-рекреационной деятельности на показатели долгосрочной диагностики нарушений почвообразования при рекреационном воздействии. Плотность почвы – это важнейшее ее свойство, от которого зависит газообмен, поступление и передвижение воды, ее запасы в корнеобитаемом слое. Увеличение плотности приводит к переорганизации естественного сложения почвенного материала поверхностных горизонтов. Вытаптывание приводит к изменению плотности поверхностного слоя почвы в результате как прямого, так и косвенного уплотнения. Опосредованное влияние рекреационной деятельности связано с изменениями в растительном покрове. Неконтролируемые

высокие рекреационные нагрузки могут приводить к уменьшению сомкнутости крон, разрежению древостоя, исчезновению подлеска и подроста. Это приводит к увеличению освещенности и смене подполовой травянистой растительности на светолюбивую злаково-разнотравную, которая способствует «естественному» косвенному уплотнению почвы на $0,3\text{--}0,4\text{ г/см}^3$ [21]. Прямое уплотнение, в отличие от косвенного, на начальных стадиях дигрессии может нивелироваться упругостью напочвенного покрова и естественным восстановлением свойств почв в результате циклов промораживания–оттаивания [41].

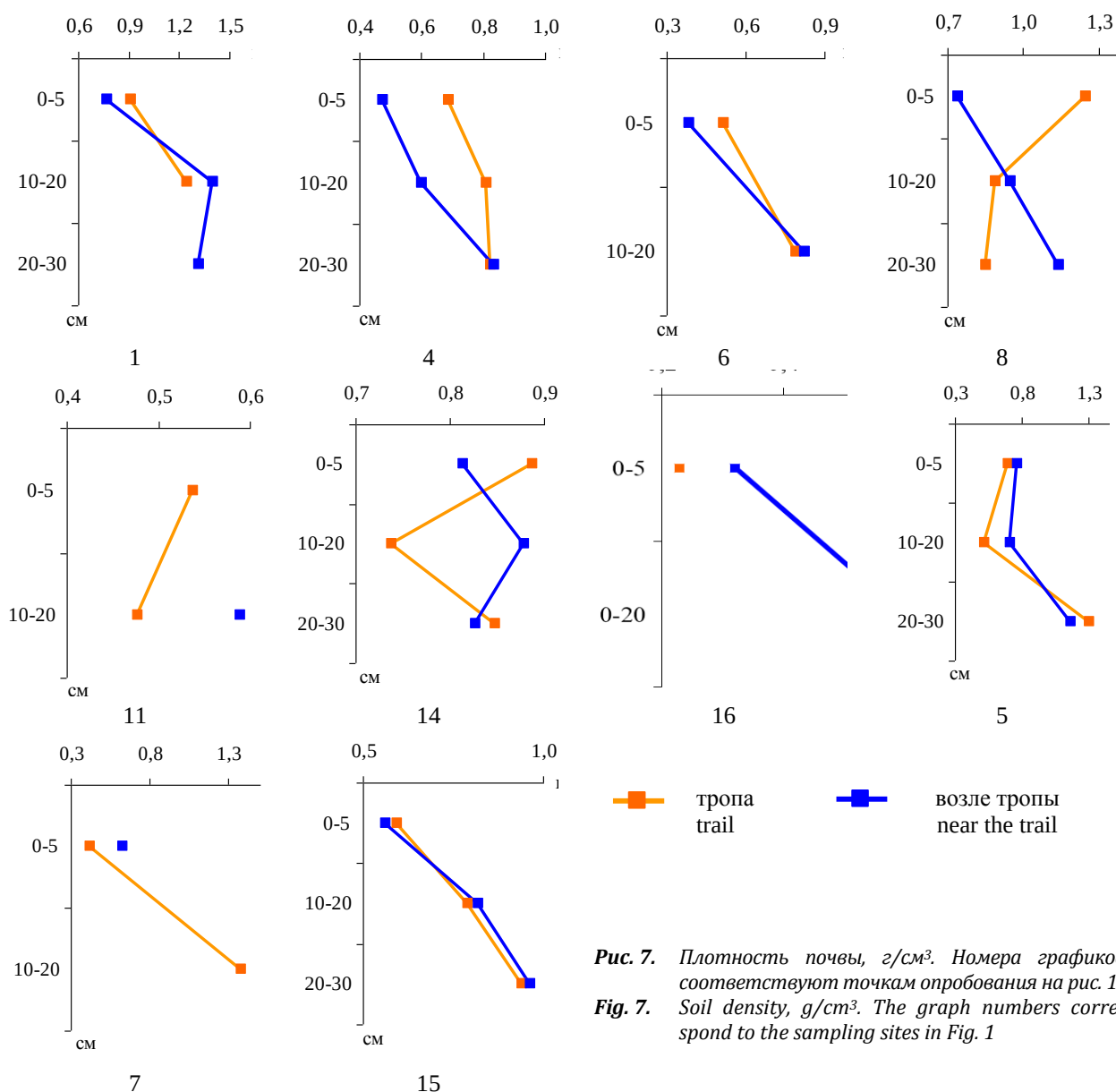


Рис. 7. Плотность почвы, г/см^3 . Номера графиков соответствуют точкам опробования на рис. 1
Fig. 7. Soil density, g/cm^3 . The graph numbers correspond to the sampling sites in Fig. 1

Влияние выптапывания прослеживается до глубины 20–30 см, но наибольшие изменения отмечаются в верхнем (0–5 см) слое. Исследования показали, что влияние рекреационных нагрузок привело к увеличению плотности верхнего (0–5 см) слоя почвы в 1,2–1,7 раза (рис. 7), но абсолютные значения не превышают $1,24 \text{ г/см}^3$. Оптимальной плотностью почв для древесной растительности являются значения от 0,9 до $1,45 \text{ г/см}^3$ [42]. Выпадение лесных видов травяных растений происходит при плотности почв $1,2\text{--}1,3 \text{ г/см}^3$ [43].

На глубине 10–20 см плотность почвы на тропе возрастала не более чем в 1,1–1,4 раза, а иногда была даже ниже, чем на участках, незатронутых рекреационной деятельностью. На глубине 20–30 см эти различия практически стирались.

На влияние выптапывания на плотность почвы указывает D.N. Cole [44].

Плотность твердой фазы – более стабильный показатель по сравнению с плотностью почвы. Ве-

личина плотности твердой фазы почвы зависит от ее химического и минералогического составов и определяется средней величиной плотности вещества, составляющего данную почву.

В состав минеральной части почвы в качестве основных минералов входят кварц, полевой шпат, глинистые минералы, плотность которых варьирует в пределах от 2,4 до $2,8 \text{ г/см}^3$. В то же время в почве содержится гумус с плотностью около $1,4 \text{ г/см}^3$. Поэтому в малогумусированных почвах плотность твердой фазы колеблется в пределах $2,6\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$, а в богатых гумусом – $2,4\text{--}2,5 \text{ г/см}^3$. Этим и вызваны различия значений плотности твердой фазы почвы на тропе и на участках, незатронутых рекреационной деятельностью, в слое 0–5 см (рис. 8). С глубиной эти различия нивелируются. В нижележащих горизонтах этот показатель выше и соответствует плотности твердой фазы для минеральных почв – от 2,4 до $2,8 \text{ г/см}^3$.

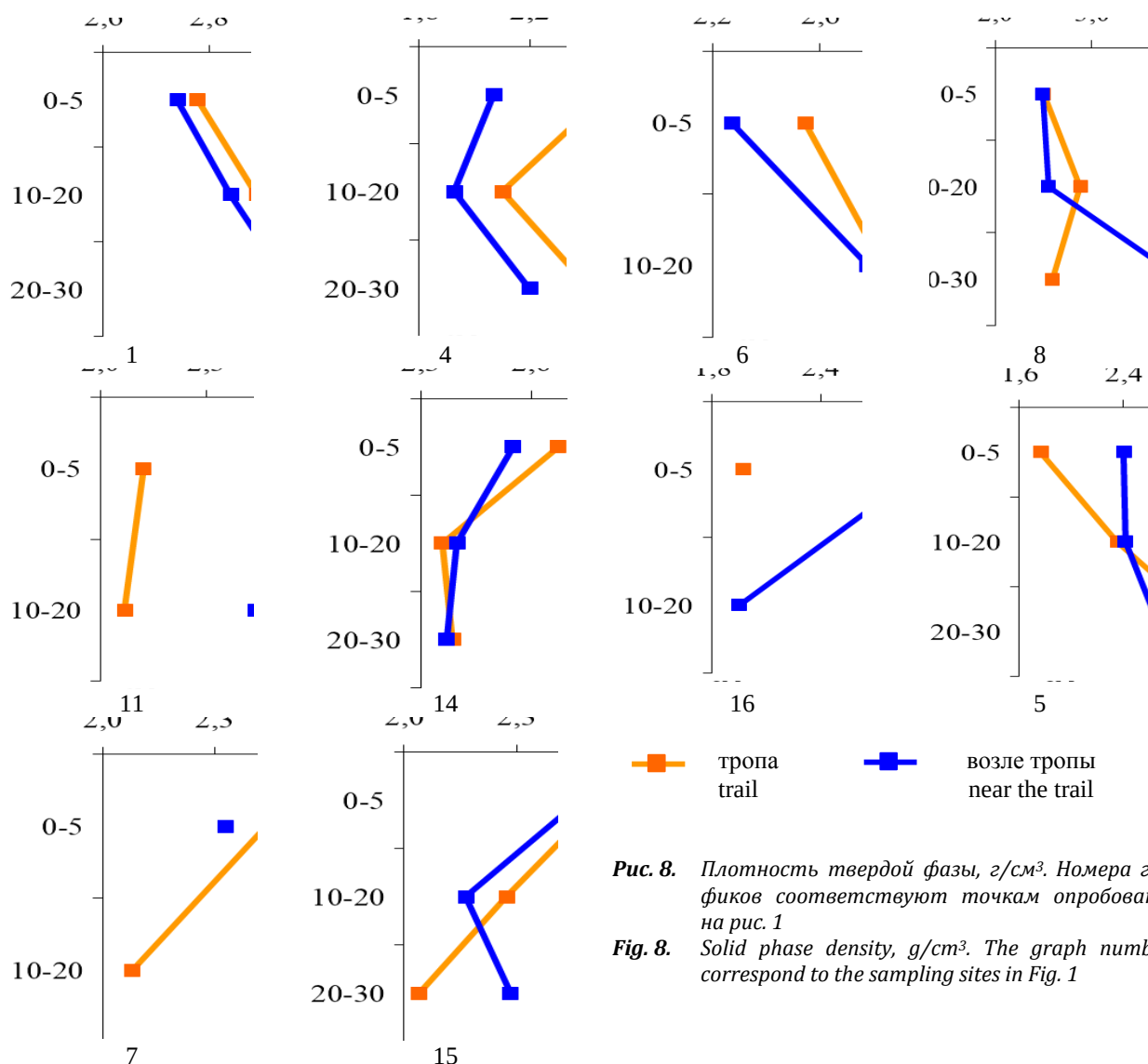


Рис. 8. Плотность твердой фазы, г/см^3 . Номера графиков соответствуют точкам опробования на рис. 1

Fig. 8. Solid phase density, g/cm^3 . The graph numbers correspond to the sampling sites in Fig. 1

Отдельные гранулометрические (механические) элементы и агрегаты обычно неплотно прилегают друг к другу. Поэтому между ними образуются промежутки, различные по величине и форме, которые называются порами. Совокупность этих пор составляет пористость (порозность, скважность) почвы. С общей пористостью связаны водо- и воздухопроницаемость, влагоемкость и некоторые другие важные характеристики почв. Пористость, размер и форма пор зависят от гранулометрического состава (величины и формы гранулометрических элементов), структуры почвы – количества, величины и формы агрегатов, а также от расположения их относительно друг друга. Поэтому пористость различных почв и даже разных горизонтов одной и той же почвы неодинаковая.

Пористость исследуемых почв находится в обратной зависимости от плотности, т. е. с глубиной

снижается (рис. 9). Согласно качественной оценке общей пористости Н.А. Качинского пористость в слое 0–5 см варьирует от неудовлетворительной до избыточно пористой на тропе и от удовлетворительной до отличной – на участках, незатронутых вытаптыванием. В нижележащих горизонтах пористость снижается, достигая величин, соответствующих чрезмерно низкой, характерной для иллювиальных горизонтов.

Степень аэрации (воздухообеспеченности) почвы характеризуется объемом, занятым почвенным воздухом в 100 см^3 . Степень аэрации является важным показателем состояния почв и зависит от заполненности пор почвы водой. Когда вода заполняет все поры, развиваются восстановительные процессы, угнетающие развитие растений и многих представителей микронаселения почв.

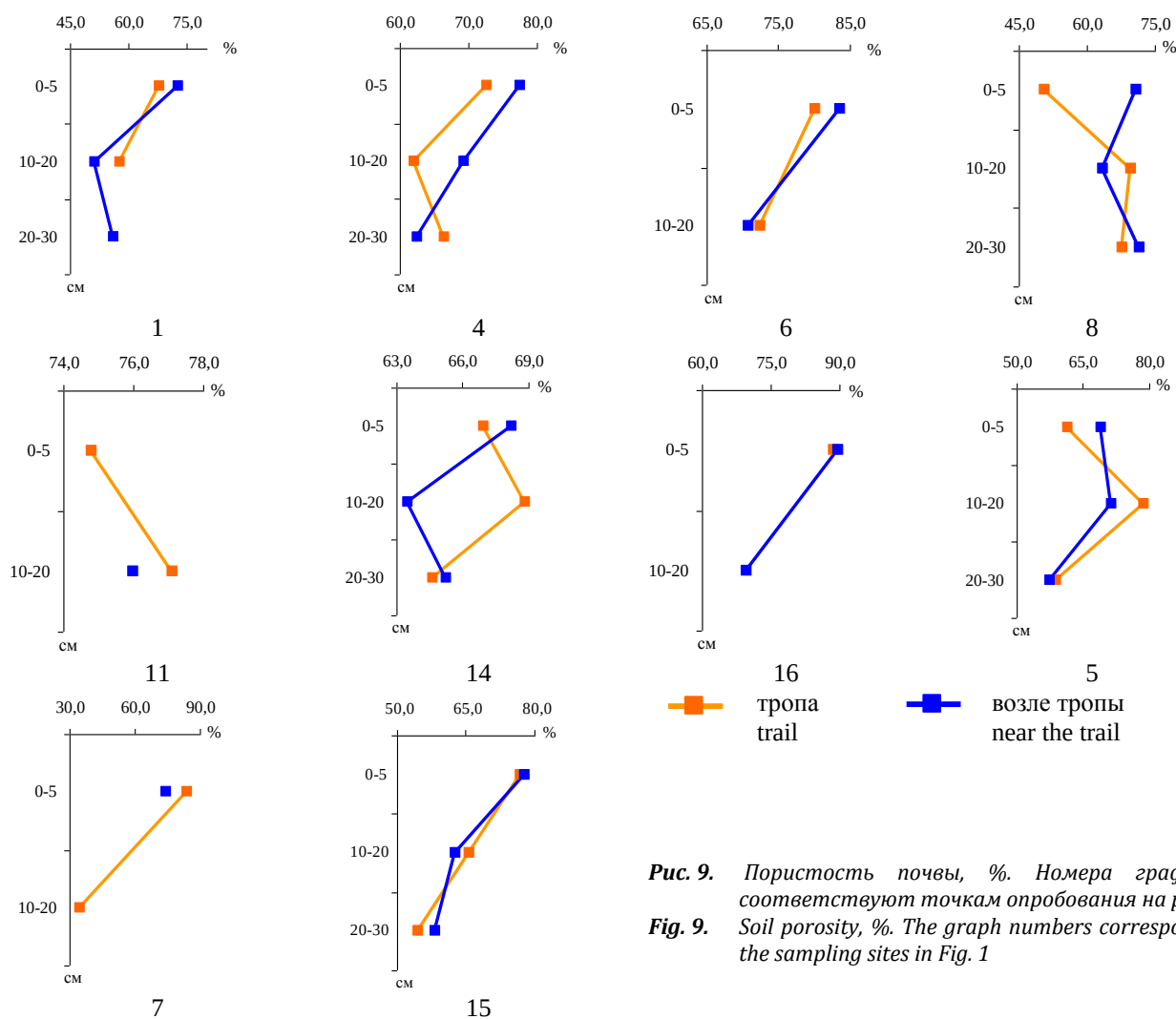


Рис. 9. Пористость почвы, %. Номера графиков соответствуют точкам опробования на рис. 1
Fig. 9. Soil porosity, %. The graph numbers correspond to the sampling sites in Fig. 1

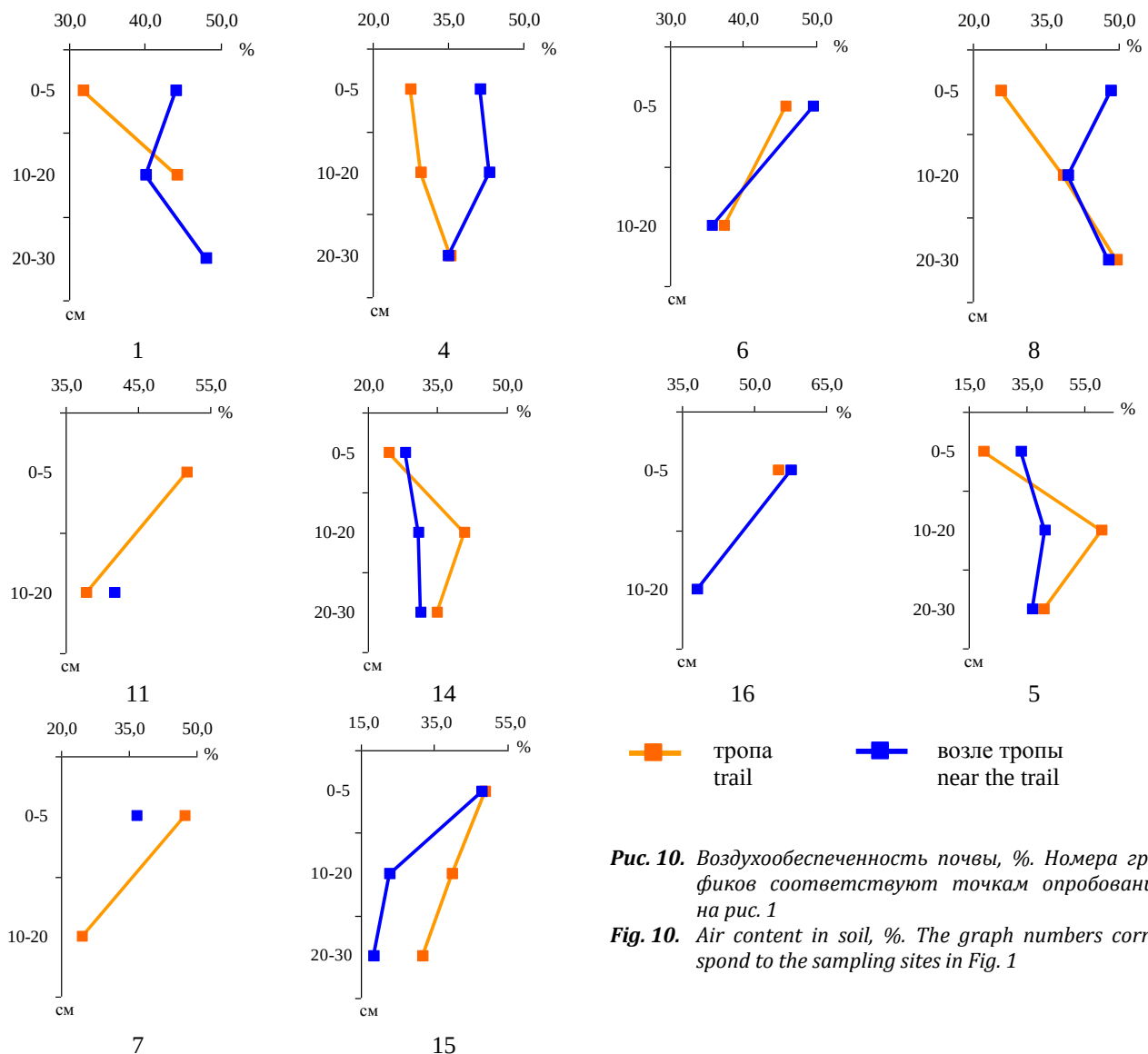


Рис. 10. Воздухообеспеченность почвы, %. Номера графиков соответствуют точкам опробования на рис. 1

Fig. 10. Air content in soil, %. The graph numbers correspond to the sampling sites in Fig. 1

Показатель воздухообеспеченности исследуемых почв тропы ниже, чем на участках, незатронутых выпасыванием рекреантами (рис. 10). В обычных условиях воздухообеспеченность верхних горизонтов выше, чем нижележащих. В наших исследованиях в период экспедиционных работ были дни с осадками, поэтому часть пор была занята просочившимися атмосферными осадками.

Наиболее объективным показателем для определения рекреационного влияния на почву является твердость почвы. Твердость – это сопротивление почвы проникновению в нее тела (металлического плунжера) определенной формы, мера механической проницаемости почв.

Результаты определения твердости почвы представлены на рис. 11.

Твердость почвы была на тропе выше, чем возле тропы, в 1,3–1,5 раза. На увеличение твердости почвы под влиянием рекреационных нагрузок указывают и другие исследователи [45].

Структура, или агрегатный состав, почв относится к показателям долгосрочной диагностики нарушений почвообразования при рекреационном воздействии. Показатели долгосрочной диагностики нарушений формируются в результате относительно длительных однонаправленных процессов и поэтому требуют измерений через 10 лет и более. Под структурой почвы понимают совокупность агрегатов, или структурных отдельностей, различной величины, формы, пористости механической прочности и водопрочности. Агрегаты диаметром больше 0,25 мм называются макроагрегатами, мельче 0,25 мм – микроагрегатами. Ценными являются агрегаты с размером от 0,25 до 10 мм, обладающие пористостью и водопрочностью, такая структура обуславливает наиболее благоприятный водно-воздушный режим почвы.

В наших исследованиях рекреационная нагрузка не оказала влияния на агрегатный состав почвы (табл. 1).

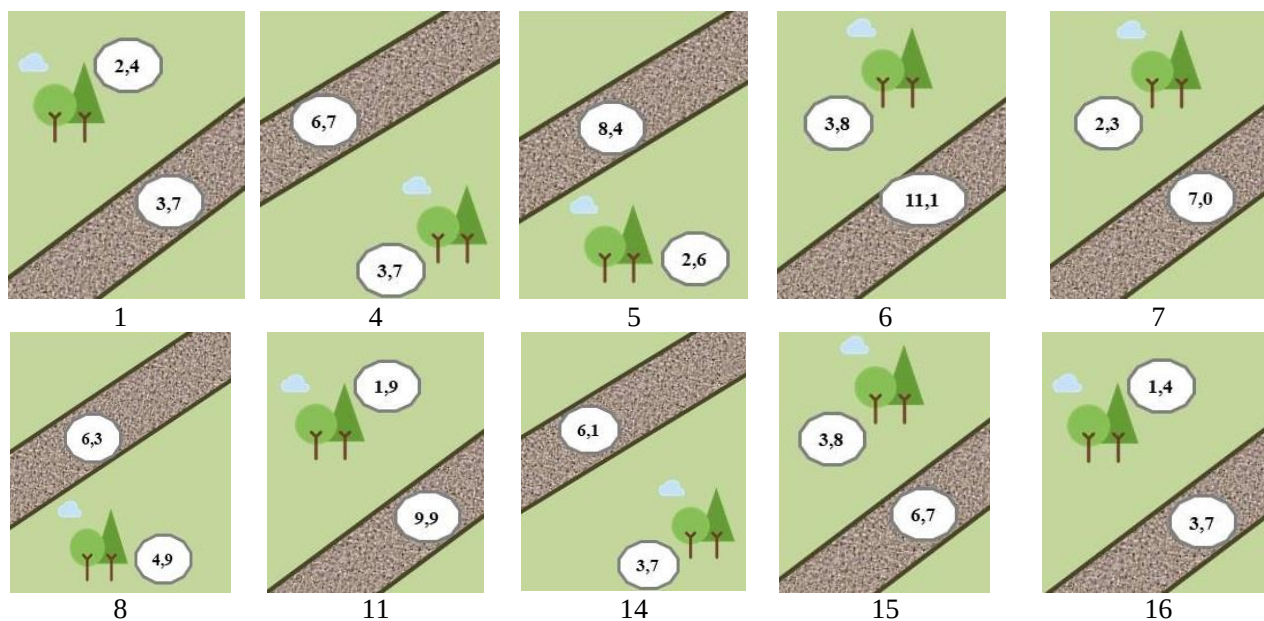


Рис. 11. Твердость почвы, кг/см²: тропы, незатронутый туристско-рекреационной деятельностью участок. Номера графиков соответствуют точкам опробования на рис. 1

Fig. 11. Soil hardness, kg/cm²: trail, undisturbed area. The graph numbers correspond to the sampling sites in Fig. 1

Таблица 1. Агрегатный состав почвы

Table 1. Aggregate composition of soil

№ точки отбора (рис. 1) Sampling site no. (Fig. 1)	Место отбора Sampling site	Фракции частиц Particle fractions, %			Состояние Condition	Коэффициент структурности Structural coefficient	Состояние Condition
		<0,25	0,25–10	>10			
15	тропа/trail	10	81	9	отличное excellent	4,26	отличное excellent
	возле тропы near the trail	7	83	10		4,88	
11	тропа/trail	8	83	9		4,88	
	возле тропы near the trail	10	82	8		4,56	
8	тропа/trail	13	77	20		2,33	
	возле тропы near the trail	30	67	7		1,81	
6	тропа/trail	15	79	6		3,76	
	возле тропы near the trail	25	70	5		2,33	
4	тропа/trail	17	56	27	хорошее good	1,27	хорошее good
	возле тропы near the trail	23	59	18		1,44	
1	тропа/trail	5	90	5	отличное excellent	9,00	отличное excellent
	возле тропы near the trail	7	86	7		6,14	
5	тропа/trail	5	87	8		6,69	
	возле тропы near the trail	21	71	8		2,45	
7	тропа/trail	5	94	1		15,67	
	возле тропы near the trail	24	63	13		1,70	
14	тропа/trail	3	77	20		3,35	
	возле тропы near the trail	3	75	22		3,00	
16	тропа/trail	8	83	9		4,88	
	возле тропы near the trail	6	87	7		6,69	

По содержанию наиболее ценных частиц (0,25–10 мм) в 80 % исследованных точек агрегатное состояние почвы оценивалось как отличное и в 20 % – как хорошее. При этом различия данного показателя на тропе и возле неё были незначительными. В половине точек опробования содержание частиц размером от 0,25 до 10 мм на тропе было чуть выше, чем рядом с тропой. Аналогичная картина наблюдалась при оценке агрегатного состояния почвы и по величине коэффициента структур-

ности (0,25–10/(<0,25+>10)). Снижение содержания ценных частиц в почвах в местах, неподверженных вытаптыванию, обусловлено, вероятно, повышением содержания микроагрегатов (ила) за счет приноса их во время паводков. На тропях же эти частицы удаляются при передвижении туристов.

Если о вышеуказанных показателях в литературе имеются данные, хоть в небольшом количестве, то по элементному химическому составу почв они крайне ограничены [46].

Таблица 2. Содержание биогенных и токсичных элементов, мг/кг

Table 2. Content of biogenic and toxic elements, mg/kg

№ точки отбора (рис. 1) Sampling site no. (Fig.1)	Глубина отбора, см Sampling depth, cm	Место отбора Sampling site	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo	As	Pb
15	0–5	тропа/trail	7700	8400	680	37100	10,9	71	2,6	18,0	16,3
	5–30		9700	11200	560	38800	17,2	50,4	1,3	11,3	18,2
	0–5	возле тропы near the trail	6600	7400	430	36500	8,0	56	2,7	14,6	13,7
	5–30		9100	10700	510	37900	12,6	47,2	2,3	11,2	14,7
18	0–5	тропа/trail	9100	7900	340	40500	13,6	51,1	2,7	6,6	11,3
	5–10		9400	8500	420	38000	9,8	49	2,1	8,0	8,1
	0–5	возле тропы near the trail	9500	9200	370	35000	13,9	51	2,7	7,3	10,2
	5–10		12200	9500	490	44600	15,5	56	2,3	11,5	7,9
11	0–5	тропа/trail	12300	16000	770	32000	13,6	88	2,1	2,5	17,4
	5–30		10200	11500	670	37100	14,6	47,2	1,0	2,9	19,4
	0–5	возле тропы near the trail	11300	11500	770	42300	9,1	60	1,8	n/o	18,0
	5–30		9200	9600	600	27500	15,9	46,7	1,1	2,8	23,2
12	0–5		13400	8700	620	43900	24,0	40,6	2,2	9,8	14,2
8	0–5	тропа/trail	8600	12600	810	50100	9,1	57	2,0	n/o	12,3
	5–30		9100	14500	830	34000	16,8	60,0	1,4	3,3	15,7
	0–5	возле тропы near the trail	10000	14100	830	41300	11,5	62	3,5	n/o	12,4
	5–30		8900	12500	770	32400	15,0	54,0	0,8	1,5	14,0
6	0–5	тропа/trail	11200	13600	800	44000	11,5	69	1,8	n/o	12,9
	5–30		10800	11500	820	32700	21,2	57,0	1,1	2,5	13,6
	0–5	возле тропы near the trail	9100	10100	540	28900	8,0	56	1,5	n/o	9,6
	5–30		10700	12000	670	30800	17,7	52,2	0,9	3,4	12,4
3	0–5		12500	14800	1000	39300	30,2	71	1,8	15,0	10,5
4	0–5	тропа/trail	13100	11900	750	37100	14,8	73	1,5	3,5	11,0
	5–30		10500	11400	820	35200	25,9	64,0	1,4	4,7	17,7
	0–5	возле тропы near the trail	11800	11800	750	34800	15,9	70	1,8	3,3	12,2
	5–30		16800	16000	1050	43400	27,1	78,0	1,5	10,6	13,5
1	0–5	тропа/trail	7900	20700	810	38600	24,4	60	2,2	7,2	13,6
	5–30		9900	12500	600	32800	11,1	48,1	1,3	9,4	9,3
	0–5	возле тропы near the trail	9100	12700	520	30300	9,3	54,4	1,6	6,6	8,7
	5–30		8300	14900	730	37900	16,0	49,6	1,2	10,7	11,4
5	0–5	тропа/trail	12500	12500	790	41500	27,8	167	1,4	n/o	12,2
	5–30		9100	14500	1240	30800	27,5	113,0	1,1	4,2	47,0
	0–5	возле тропы near the trail	9200	14000	1210	37700	32,4	562	1,6	n/o	100,0
	5–30		12200	16600	750	47200	20,9	50,7	1,2	3,8	11,8
7	0–5	тропа/trail	10300	21100	710	64100	17,7	55	1,6	n/o	11,3
	5–30		11600	22300	850	48600	35,5	45,0	1,2	3,4	20,3
	0–5	возле тропы near the trail	12000	19800	820	68300	25,0	51,9	1,5	n/o	8,3
	5–30		10700	19200	560	40800	33,3	41,0	1,2	4,2	10,2
14	0–5	тропа/trail	11900	10400	1060	39700	10,6	78	1,4	4,4	14,0
	5–30		10400	10500	900	37700	12,3	64,0	1,1	7,2	17,0
	0–5	возле тропы near the trail	9900	10400	680	40200	12,8	70	1,4	4,8	13,5
	5–30		11000	12400	1330	38800	20,1	70,0	1,1	9,7	13,0
16	0–5	тропа/trail	10900	9500	800	35100	8,8	65	1,2	8,4	14,3
	5–30		8800	11300	780	30100	20,3	56,0	0,8	8,7	26,1
	0–5	возле тропы near the trail	13100	11200	1270	43300	16,0	67	n/o	10,2	17,9
	5–30		9000	11000	730	33600	15,2	62,0	1,1	9,0	18,6
ОДК/Approximate permissible concentration (UEC)			нет	нет	1500	нет	33	55	нет	2	32

n/o – не обнаружено (<0,5 мг/кг)/not detected (<0,5 mg/kg); жирным шрифтом выделены значения, превышающие ОДК/values in bold are those exceeding UEC concentrations.

В настоящее время нами не обнаружено значительных изменений в элементном химическом составе почв, обусловленных влиянием туристско-рекреационной деятельности (табл. 2). Содержания биогенных элементов (Mn, Cu, Zn) не превышают нормируемых значений для почв легкого гранулометрического состава (ОДК, 2009). Содержание остальных биогенных элементов находится в пределах фоновых значений. Благоприятная обстановка складывается по содержанию свинца, за исключением устья р. Большие Чили. Обнаружены высокие содержания другого токсичного элемента – мышьяка. Уровень этот не выходит за пределы фоновых концентраций мышьяка для незагрязненных почв мира ($<1-95$ мг/кг) [47], но превышает ОДК в 1,2–9 раз. Высокие концентрации мышьяка не связаны с влиянием туристско-рекреационной деятельности, а обусловлены, вероятно, геохимическим сродством элемента к фосфору и фосфоритоносностью отложений Алтае-Саянской горной страны [48]. Среднее валовое содержание мышьяка в педосфере Алтая по данным [49] составляет $17,6 \pm 1,0$ мг/кг, изменяясь от 0,4 до 69 мг/кг.

Заключение

Следствием рекреационного влияния в прибрежной зоне горно-лесного пояса Телецкого озера является развитая тропиночная сеть, приводящая к трансформации естественных экосистем (рекреационная дигрессия).

Оценка результатов анализа свойств и состава почвы на тропе и на участках, незатронутых рекреационной деятельностью, показала существенное различие по ряду параметров.

Анализ водной вытяжки показал уменьшение кислотности, снижение содержания аммонийного и нитратного азота, фосфатов, изменения концентрации катионов кальция, калия и магния верхнего слоя почвы на тропе по сравнению с ненарушенной почвой.

Вытапывающее действие рекреантов вызвало нарушение подстилки, уменьшение её мощности или полное уничтожение в зоне троп. Мощность её варьировала от 1 до 2 см. В то время как на участках, незатронутых туристско-рекреационной дея-

тельностью, этот показатель изменялся от 2 до 5 см. Запасы подстилки на средневыраженных тропинках снизились более чем в 2,7–4,0 раза. При этом на хорошо выраженных тропинках, распространенных на территории Алтайского государственного биосферного заповедника, где нет бессистемного передвижения по территории, подстилка на немногочисленных или даже единственных тропинках отсутствует вообще. На слабовыраженных (свежих) тропинках запасы подстилки даже выше, чем на незатронутой территории или на тропках, расположенных рядом с тропой, отсыпанной щебнем. Полученные результаты свидетельствуют о неоднозначном влиянии вытапывания на содержание гумуса в почве, выражающемся в увеличении или снижении его количества.

Влияние рекреационных нагрузок привело к увеличению плотности почвы верхнего (0–5 см) слоя в 1,2–1,7 раз, но абсолютные показатели не превышали критических значений для древесной и травянистой растительности. Увеличение плотности сопровождалось снижением пористости и воздухообеспеченности почвы. Твердость почвы была на тропе выше, чем возле тропы, в 1,3–1,5 раза. Рекреационная нагрузка не оказала существенного влияния на агрегатный состав – показатель долгосрочной диагностики нарушений почвообразования при рекреационном воздействии, которое оценивается примерно через 10 лет.

Влияние туристско-рекреационной деятельности на общие физические свойства прослеживалось до глубины 20–30 см, но наибольшие изменения были отмечены в верхнем (0–5 см) слое.

Не обнаружено значительных изменений в элементном химическом составе почв, обусловленных влиянием туристско-рекреационной деятельности. Содержания биогенных элементов и свинца находятся в пределах фоновых значений и не превышают нормируемых значений. Обнаруженные высокие концентрации мышьяка не связаны с влиянием туристско-рекреационной деятельности, а предположительно обусловлены геохимическим сродством элемента к фосфору и фосфоритоносностью отложений Алтае-Саянской горной страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В.А., Стома Г.В., Рыжова И.М. Зависимость изменений свойств почв тропинок и их импактных зон в лесопарках Москвы от уровня рекреационного воздействия // Вестник Московского университета. Серия: Почвоведение. – 2018. – № 2. – С. 19–28.
2. Жигунова Т.С., Жигунов Э.А. Об оценке воздействия туризма на окружающую среду: проблемы взаимодействия // Экологическое равновесие: геоэкология, краеведение, туризм: Материалы X международн. научно-практ. конф. – СПб, 2021. – С. 75–78.
3. Локтев Р.И. Систематический обзор методов оценки влияния массового туризма на природно-территориальные комплексы Субарктики и Арктики // Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География. – 2021. – Т. 104. – № 4. – С. 155–165.
4. Кенжебек У.А. Кыргызстандагы туризм тармагынын өнүгүүсү жана анын айлана-чөйрөгө таасири // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2021. – № 4. – С. 153–155. DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557

5. Абдракакова Л.С., Ким П.Г., Тулегенов А.М. Проблемы и перспективы развития экологического туризма на территории Республики Казахстан // *Chronos*. – 2022. – Т. 7. – № 4 (66). – С. 111–117. EDN: ZEYZXJ
6. Мадышева А.М., Темиралиева З.С. Перспективы развития туристских трансграничных территорий РФ и РК // М. Рыскулбеков атындагы Кыргыз экономикалык университетинин кабарлары. – 2023. – № 3 (60). – С. 174–177.
7. Buckley R. Environmental impacts of ecotourism. – Cambridge, USA: CABI Publ., 2004. – 389 p.
8. Cakir M., Makineci E., Kumbasli M. Comparative study on soil properties in a picnic and undisturbed area of Belgrad Forest, Istanbul // *Journal of Environmental Biology*. – 2010. – Vol. 31 (1–2). – P. 125–128.
9. Cole D.N. Changing conditions on wilderness campsites: Seven case studies of trends over 13 to 32 years. – Fort Collins: Rocky Mountain Research Station, 2013. – 99 p.
10. Кривошеева Т.М. К вопросу изучения влияния туризма на экологическую обстановку и социо-культурное природное пространство, в том числе в границах удаленных территорий // *Сервис в России и за рубежом*. – 2018. – Т. 12. – Вып. 3. – С. 25–38. DOI: 10.24411/1995-042X-2018-10302
11. Гришина Л.А., Копчик Г.Н., Моргунов Л.В. Организация и проведение почвенных исследований для экологического мониторинга. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 82 с.
12. Оценка рекреационной нагрузки на Тебердинский государственный природный биосферный заповедник / Т.Г. Зеленская, Е.Е. Степаненко, С.В. Окрут, Ю.А. Безгина, В.А. Халикова // *Успехи современного естествознания*. – 2021. – № 11. – С. 58–63. DOI: 10.17513/use.37713
13. Кулакова С.А., Зайцев А.А. Трансформация природной среды на особо охраняемых природных территориях и ее влияние на экологическую комфортность // *Географический вестник*. – 2016. – № 4 (39). – С. 91–99. DOI: 10.17072/2079-7877-2016-4-91-99
14. Старков Е.В. Влияние рекреации на ландшафты Богдинско-Баскунчакского заповедника // *Географические науки и образование: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции*. – Астрахань, 14 мая 2021. – С. 37–40.
15. Богданова О.В., Окмянская В.М. Анализ основных подходов к использованию объектов особо охраняемых природных территорий // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2021. – Т. 64. – № 1. – С. 207–219. DOI: 10.24411/2588-0209-2021-10293
16. Эколого-геохимические особенности почв заповедника «Опукский» (Республика Крым) и влияние антропогенного фактора на его природно-территориальные комплексы / П.С. Зеленковский, Е.Н. Соловьева, А.И. Гришнякова, Ю.М. Чубарова, В.П. Исков, И.А. Сикорский // *Геология Крыма. Ученые записки кафедры осадочной геологии: сборник статей*. – СПб, 2021. – Вып. 3. – С. 126–139.
17. Бакаева В.С. Экологический туризм на особо охраняемых природных территориях // *Устойчивое развитие: перед лицом глобальных вызовов: Сборник материалов конференции*. – СПб, 25–27 мая 2023. – С. 319–325.
18. Робертус Ю.В. и др. Особо охраняемые природные территории Республики Алтай. Современное состояние и перспективы развития: монография // *WWF России, Алтай. регион. ин-т экологии, ГПБЗ «Катунский»*. – Красноярск, 2012. – 118 с.
19. Кадастр особо охраняемых природных территорий Республики Алтай / А.М. Маринин, Н.П. Малков, А.В. Бондаренко, А.Г. Манеев, М.Г. Сухова, Ю.В. Робертус, О.В. Климова, И.А. Машошина, Л.В. Байлагасов. – Барнаул: Азбука, 2014. – 456 с.
20. Piminov P.A. Synchrotron radiation research and application at VEPP-4 // *Physics Procedia*. – 2016. – Vol. 84. – P. 19–26.
21. Бганцова В.А., Бганцов В.Н., Соколов Л.А. Влияние рекреационного лесопользования на почву // *Природные аспекты рекреационного использования леса*. – М.: Наука, 1987. – С. 70–95.
22. Crawford A.K., Middle M.J. The effect of trampling on neutral grassland // *Biological Conservation*. – 1977. – Vol. 12. – Iss. 2, September. – P. 135–142. DOI: 10.1016/0006-3207(77)90066-0
23. Manning R.E. Impacts of recreation on riparian soils and vegetation // *Water Resour. Bull.* – 1979. – Vol. 15. – P. 30–43.
24. Lockaby B.G., Dunn B.A. Camping effects on selected soil and vegetative properties // *Soil Water Conservation*. – 1984. – Vol. 39. – P. 215–216.
25. Cole D.N., Bayfield N.G. Recreational trampling of vegetation: standard experimental procedures // *Biological Conservation*. – 1993. – № 63. – P. 209–215.
26. Sun D., Liddle M.J. A survey of trampling effects on vegetation and soil in eight tropical and subtropical sites // *Environmental Management*. – 1993. – Vol. 17. – P. 497–510.
27. Marion J.L., Cole D.N. Spatial and temporal variation in soil and vegetation impacts on campsites // *Ecological Applications*. – 1996. – № 6. – P. 520–530.
28. Kutiel P., Zhevelev Y. Recreational use impact on soil and vegetation at picnic sites in Aleppo pine forests on Mount Carmel, Israel // *Israel Journal of Plant Sciences*. – 2001. – Vol. 49. – P. 49–56. DOI: 10.1560/G2L1-8U80-5XNQ-G38C
29. Thurston E., Reader R.J. Impacts of experimentally applied mountain biking and hiking on vegetation and soil of a deciduous forest // *Environmental Management*. – 2001. – Vol. 27. – № 3. – P. 397–409. DOI: 10.1007/s002670010157
30. Dawson Ch.P., Hendee J.C. Wilderness management: stewardship and protection of resources and values. – Lakewood: Fulcrum Publ., 2008. – 544 p.
31. Lederer Ch., Schober R. Tourismus und ökologische Folgen. – Salzburg: Fachgeographische Übung bei MMag, 2003. – 12 s.
32. Experimental trampling and vegetation recovery in some forest and healthland communities / P. Roovers, K. Verheyen, M. Hermy, H. Gulinck // *Applied Vegetation Science*. – 2004. – Vol. 7. – P. 111–118. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2004.tb00601.x
33. Comparing the impacts of hiking, skiing and horse riding on trail and vegetation in different types of forest / A. Torn, A. Tolvanen, Y. Norokorpi, R. Tervo, P. Siikamaki // *Journal of Environmental Management*. – 2009. – Vol. 90. – P. 1427–1434. DOI: 10.1016/j.jenvman.2008.08.014

34. Zhongdong W.U. The study on impact of soil physicochemical properties and vegetation by tourism - the case of Lushan Forest Park in Shandong province Zibo city // *Proceedings of 2010 International symposium on tourism resources and management*. – Washington, 29–31 October 2010. – P. 250–255.
35. Лысиков А.Б., Судницына Т.Н. Влияние рекреации на почву лиственных насаждений Серебряноборского опытного лесничества // *Лесоведение*. – 2008. – № 3. – С. 47–56.
36. Лысенков А.Б. Влияние рекреации на состояние почв в городских лиственных лесах // *Лесоведение*. – 2011. – № 4. – С. 11–20.
37. Павлова К.С., Робертус Ю.В., Кивацкая А.В. Характер изменения свойств и состава почв рекреационных территорий (на примере Катунского района Республики Алтай) // *Мир науки, культуры, образования*. – 2013. – № 1 (38). – С. 338–342.
38. Effects of recreational usage-type and density on forest floor organic matter in Abant Nature Park / H. Muderrisoglu, M. Sarginci, B. Toprak, S. Uzun // *1st International Turkey & Japan environment and forestry symposium*. – Trabzon, 07–10 November 2010. – P. 1562–1574.
39. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. – М.: Изд-во «Медицина для всех», 2005. – 196 с.
40. Short-term and long-term effects of human trampling on above-ground vegetation, soil density, soil organic matter and soil microbial processes in suburban beech forests / M. Kissling, K.T. Hegetschweiler, H.-P. Rusterholz, B. Baur // *Applied Soil Ecology*. – 2009. – Vol. 42. – P. 303–314. DOI: 10.1016/j.apsoil.2009.05.008
41. Соколов Л.А., Зеликов В.Д. Изменение свойств почв в лесных биогеоценозах с высокой рекреационной нагрузкой // *Лесоведение*. – 1982. – № 3. – С. 16–23.
42. Оборин М.С. Особенности анализа рекреационной и антропогенной нагрузки вследствие санаторно-курортной и туристской деятельности // *Географический вестник*. – 2010. – № 2. – С. 19–24.
43. Спиридонов В.Н. Влияние уплотнения почвы на прирост деревьев в лесопарках Новосибирского научного центра // *Известия СО АН СССР. Серия биологических наук*. – 1975. – Вып. 2. – № 10. – С. 3–8.
44. Cole D.N. Recreational impacts on backcountry campsites in Grand Canyon National Park, Arizona, USA // *Environmental Management*. – 1986. – Vol. 10. – Iss. 5. – P. 651–659.
45. Егоров А.Г. Изменение твердости почв прибрежных территорий среднего течения реки Томи в условиях рекреационного воздействия // *Современные проблемы науки и образования*. – 2010. – № 2. – С. 9–14.
46. Особенности почв российских курортов черноморского побережья Северо-Западного Кавказа / В.А. Алексеенко, Н.В. Швыдка, А.В. Пузанов, Г.П. Писаренко // *Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования: Сборник статей V Всероссийской научно-практ. конф.* – Нижний Тагил, 2017. – С. 11–16.
47. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. – Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010. – 548 p. DOI: 10.1017/S0014479711000743
48. Мальгин М.А., Пузанов А.В. Мышьак в почвах юга Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал*. – 1996. – № 2. – С. 199–210.
49. Бабошкина С.В. Биогеохимическое поведение мышьяка в почвах Алтая // *Ползуновский вестник*. – 2004. – № 2. – С. 182–189.

Информация об авторе

Ольга Анатольевна Ельчиногова, доктор сельскохозяйственных наук, директор Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН, Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1; <https://orcid.org/0000-0002-4482-9000>; eoa59@mail.ru

Поступила в редакцию: 15.04.2024

Поступила после рецензирования: 14.05.2024

Принята к публикации: 21.10.2024

REFERENCES

1. Kuznetsov V.A., Stoma G.V., Ryzhova I.M. Dependence of changes in the soils of the footpaths and their impact zones in the forest parks in Moscow from the level of recreational impact. *Moscow University Soil Science Bulletin*, 2018, no. 2, pp. 19–28. (In Russ.)
2. Zhigunova T.S., Zhigunov E.A. On the assessment of tourism impact on the environment: problems of interaction. *Ecological equilibrium: geocology, local history, tourism: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conf.* St. Petersburg, 2021. pp. 75–78. (In Russ.)
3. Loktev R.I. Systematic review of methods for assessing the impact of mass tourism on natural-territorial complexes of the Subarctic and Arctic. *Bulletin of Karaganda University. Series: Biology. Medicine. Geography*, 2021, vol. 104, no. 4, pp. 155–165.
4. Kenzhebek U.A. Kyrgyzstandagy tourism tarmagynunynyn öngүrcү zhana anyn aylana-choyrө taasiri. *Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan*, 2021, no. 4, pp. 153–155. (In Kyrgyz) DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557
5. Abdrkazakova L.S., Kim P.G., Tulegenov A.M. Problems and prospects for the development of ecological tourism on the territory of the Republic of Kazakhstan. *Chronos*, 2022, vol. 7, no. 4 (66), pp. 111–117. EDN: ZEYZXJ
6. Madysheva A.M., Temiraliyeva Z.S. Prospects for the development of tourist transboundary territories of the Russian Federation and the RK. *M. Ryskulbekov atyndagy Kyrgyz ekonomilik universitininin kabarlary*, 2023, no. 3 (60), pp. 174–177. (In Kyrgyz)
7. Buckley R. *Environmental impacts of ecotourism*. Cambridge, USA, CABI Publ., 2004. 389 p.
8. Cakir M., Makineci E., Kumbasli M. Comparative study on soil properties in a picnic and undisturbed area of Belgrad Forest, Istanbul. *Journal of Environmental Biology*, 2010, vol. 31 (1–2), pp. 125–128.

9. Cole D.N. *Changing conditions on wilderness campsites: seven case studies of trends over 13 to 32 years*. Fort Collins, Rocky Mountain Research Station, 2013. 99 p.
10. Krivosheeva T.M. To the issue of studying the impact of tourism on the environmental situation and socio-cultural natural space, including within the boundaries of remote territories. *Service in Russia and abroad*, 2018, vol. 12, no. 3, pp. 25–38. (In Russ.) DOI: 10.24411/1995-042X-2018-10302
11. Grishina L.A., Koptsik G.N., Morgun L.V. *Organisation and carrying out of soil research for ecological monitoring*. Moscow, MSU Publ., 1991. 82 p. (In Russ.)
12. Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Okrut S.V., Bezgina Yu.A., Khalikova V.A. Assessment of recreational load on Teberda State Natural Biosphere Reserve. *Advances in current natural sciences*, 2021, no. 11, pp. 58–63. (In Russ.) DOI: 10.17513/use.37713
13. Kulakova S.A., Zaitsev A.A. Transformation of the natural environment in specially protected natural areas and its impact on environmental comfort. *Geographical Bulletin*, 2016, no. 4 (39), pp. 91–99. DOI: 10.17072/2079-7877-2016-4-91-99
14. Starkov E.V. Influence of recreation on landscapes of Bogdinsko-Baskunchaksky reserve *Geographical sciences and education. Materials of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference*. Astrakhan, 14 May, 2021. pp. 37–40. (In Russ.)
15. Bogdanova O.V., Okmyanskaya V.M. Analysis of the main approaches to the use of objects of specially protected natural areas. *International Agricultural Journal*, 2021, vol. 64, Iss. 1, pp. 207–219 (In Russ.) DOI: 10.24411/2588-0209-2021-10293
16. Zelenkovsky P.S., Solovyova E.N., Grishnyakova A.I., Chubarova Y.M., Isikov V.P., Sikorsky I.A. Ecological and geochemical features of soils of the reserve "Opuksky" (Republic of Crimea) and the influence of anthropogenic factor on its natural-territorial complexes. *Geology of Crimea. Scientific Notes of the Department of Sedimentary Geology*. St. Petersburg, 2021. Vol. 3, pp. 126–139. (In Russ.)
17. Bakaeva V.S. Ecological tourism in specially protected natural areas. *Sustainable development: facing global challenges. Proceedings of the conference*. St. Petersburg, 25–27 May, 2023. pp. 319–325. (In Russ.)
18. Robertus Yu.V. Specially protected natural territories of the Altai Republic. Current state and prospects for development. WWF Russia, Altai Regional Institute of Ecology, Katunsky State Nature Reserve. Krasnoyarsk, 2012. 118 p. (In Russ.)
19. Marinin A.M., Malkov N.P., Bondarenko A.G., Maneev A.V., Sukhova M.G., Robertus Y.V., Klimova O.V., Mashoshina I.A., Baylagasov L.V. *Cadastral of specially protected natural territories of the Altai Republic*. Barnaul, Azbuka Publ., 2014. 456 p. (In Russ.)
20. Piminov P.A. Synchrotron radiation research and application at VEPP-4. *Physics Procedia*, 2016, vol. 84, pp. 19–26.
21. Bgantsova V.A., Bgantsov V.N., Sokolov L.A. Impact of recreational forest use on soil. *Natural aspects of recreational forest use*. Moscow, Nauka Publ., 1987. pp. 70–95. (In Russ.)
22. Crawford A.K., Middle M.J. The effect of trampling on neutral grassland. *Biological Conservation*, 1977, September, vol. 12, Iss. 2, pp. 135–142. DOI: 10.1016/0006-3207(77)90066-0
23. Manning R.E. Impacts of recreation on riparian soils and vegetation. *Water Resour. Bull.*, 1979, vol. 15, pp. 30–43.
24. Lockaby B.G., Dunn B.A. Camping effects on selected soil and vegetative properties *Soil Water Conservation*, 1984, vol. 39, pp. 215–216.
25. Cole D.N., Bayfield N.G. Recreational trampling of vegetation: standard experimental procedures. *Biological Conservation*, 1993, no. 63, pp. 209–215.
26. Sun D., Little M.J. A survey of trampling effects on vegetation and soil in eight tropical and subtropical sites. *Environmental Management*, 1993, vol. 17, pp. 497–510.
27. Marion J.L., Cole D.N. Spatial and temporal variation in soil and vegetation impacts on campsites. *Ecological Applications*, 1996, no. 6, pp. 520–530.
28. Kutiel P., Zhevelev Y. Recreational use impact on soil and vegetation at picnic sites in Aleppo pine forests on Mount Carmel, Israel. *Israel Journal of Plant Sciences*, 2001, vol. 49, pp. 49–56. DOI: 10.1560/G2L1-8U80-5XNQ-G38C
29. Thurston E., Reader R.J. Impacts of experimentally applied mountain biking and hiking on vegetation and soil of a deciduous forest. *Environmental Management*, 2001, vol. 27, no. 3, pp. 397–409. DOI: 10.1007/s002670010157
30. Dawson Ch.P., Hendee J.C. *Wilderness management: stewardship and protection of resources and values*. Lakewood, Fulcrum Publ., 2008. 544 p.
31. Lederer C., Schober R. *Tourism and ecological consequences*. Salzburg, Fachgeographische Übung bei MMag, 2003. 12 p. (In Germ.)
32. Roovers P., Verheyen K., Hermy M., Gulincx H. Experimental trampling and vegetation recovery in some forest and healthland communities. *Applied Vegetation Science*, 2004, vol. 7, pp. 111–118. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2004.tb00601.x
33. Torn A., Tolvanen A., Norokorpi Y., Tervo R., Siikamaki P. Comparing the impacts of hiking, skiing and horse riding on trail and vegetation in different types of forest. *Journal of Environmental Management*, 2009, vol. 90, pp. 1427–1434. DOI: 10.1016/j.jenvman.2008.08.014
34. Zhongdong W.U. The study on impact of soil physicochemical properties and vegetation by tourism – the case of Lushan Forest Park in Shandong province Zibo city. *Proceedings of 2010 International symposium on tourism resources and management*. Washington, 29–31 October 2010. pp. 250–255.
35. Lysikov A.B., Sudnitsyna T.N. Influence of recreation on the soil of deciduous plantations of Serebryanoborsky experimental forestry. *Lesovedenie*, 2008, no. 3, pp. 47–56. (In Russ.)
36. Lysenkov A.B. Influence of recreation on the state of soils in urban deciduous forests. *Forest Science*, 2011, no. 4, pp. 11–20. (In Russ.)
37. Pavlova K.S., Robertus Y.V., Kivatskaya A.V. Nature of changes in the properties and composition of soils of recreational territories (on the example of Katunsky district of the Altai Republic). *World of Science, Culture, Education*, 2013, no. 1 (38), pp. 338–342. (In Russ.)

38. Muderrisoglu H., Sarginci M., Toprak B., Uzun S. Effects of recreational use-type and density on forest floor organic matter in abant Nature Park. *1st International Turkey & Japan environment and forestry symposium*. Trabzon, 07–10 November 2010. pp. 1562–1574.
39. Marfenina O.E. *Anthropogenic ecology of soil fungi*. Moscow, Meditsina dlya vsekh Publ., 2005. 196 p. (In Russ.)
40. Kissling M., Hegetschweiler K.T., Rusterholz H.-P., Baur B. Short-term and long-term effects of human trampling on above-ground vegetation, soil density, soil organic matter and soil microbial processes in suburban beech forests. *Applied Soil Ecology*, 2009, vol. 42, pp. 303–314. DOI: 10.1016/j.apsoil.2009.05.008
41. Sokolov L.A., Zelikov V.D. Changes in soil properties in forest biogeocenoses with high recreational load. *Forest Science*, 1982, no. 3, pp. 16–23. (In Russ.)
42. Oborin M.S. Features of the analysis of recreational and anthropogenic load due to sanatorium-resort and tourist activities. *Geographical Bulletin*, 2010, no. 2, pp. 19–24. (In Russ.)
43. Spiridonov V.N. Influence of soil compaction on tree growth in forest parks of the Novosibirsk Scientific Centre. *News of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Biological Sciences Series*, 1975, vol. 2, no. 10, pp. 3–8. (In Russ.)
44. Cole D.N. Recreational impacts on backcountry campsites in Grand Canyon National Park, Arizona, USA. *Environmental Management*, 1986, vol. 10, Iss. 5, pp. 651–659.
45. Egorov A.G. Change of hardness of soils of the coastal territories of the middle reaches of the Tom River under the conditions of recreational impact. *Modern problems of science and education*, 2010, no. 2, pp. 9–14. (In Russ.)
46. Alekseenko V.A., Shvydkaya N.V., Puzanov A.V., Pisarenko G.P. Features of soils of Russian resorts of the Black Sea coast of the North-West Caucasus. *Biological systems: stability, principles and mechanisms of functioning. Collection of articles of the V All-Russian Scientific and Practical Conf.* Nizhny Tagil, 2017. pp. 11–16. (In Russ.)
47. Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, FL, USA, CRC Press. Taylor & Francis Group, 2010. 548 p. DOI: 10.1017/S0014479711000743
48. Malgin M.A., Puzanov A.V. Arsenic in soils of the south of Western Siberia. *Siberian Ecological Journal*, 1996, no. 2, pp. 199–210. (In Russ.)
49. Baboshkina S.V. Biogeochemical behaviour of arsenic in soils of Altai. *Polzunov Bulletin*, 2004, no. 2, pp. 182–189. (In Russ.)

Information about the author

Olga A. Elchinina, Dr. Sc., Director of the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodezhnaya street, Barnaul, 656038, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-4482-9000>; eoa59@mail.ru

Received: 15.04.2024

Revised: 14.05.2024

Accepted: 21.10.2024