

Загрязнение снега и почв северо-западного побережья озера Байкал

И. А. Белозерцева✉, И. Б. Воробьева, Н. В. Власова

Институт географии им. В. Б. Сочавы
Сибирского отделения Российской академии наук,
Российская Федерация
(664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)

Аннотация: Цель – оценка степени загрязнения снежного и почвенного покрова северо-западного побережья озера Байкал.

Материалы и методы. Работа выполнена на основе полевых ландшафтно-геохимических и камеральных аналитических исследований в 2015-2018 годах. На ключевых участках отобраны образцы снега и почв, по стандартным методикам проведены химические и физико-химические анализы в лицензированном Химико-аналитическом центре (ХАЦ) Института географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук (ИГ СО РАН).

Результаты и обсуждение. Обнаружено повышенное содержание тяжелых (ТМ) и щелочноземельных металлов, SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} в снегу вблизи населенных пунктов северо-западного побережья Байкала, превышающее фоновые значения. Концентрация NH_4^+ , Pb и нефтепродуктов в снеговой воде превышают ПДК и ОДК. Основные антропогенные источники загрязнения окружающей среды: строительные и дорожные предприятия, ТЭЦ, котельные, железнодорожный и автомобильный транспорт, свалки отходов. Источниками загрязнения снеговых вод фосфатами и аммонием являются объекты жилищно-коммунального хозяйства. Выявлено загрязнение почв ТМ в рекреационной зоне и на территории гаражно-садового товарищества, расположенного на побережье озера. Концентрации Cu, Zn, Co в почвах превышают ПДК, что, возможно, связано не только с антропогенными источниками, а также с месторождениями редких металлов.

Заключение. Выявленные корреляционные связи между концентрациями макро- и микроэлементов в различных природных средах (снег – почва) говорят об их антропогенном (Ti, V, Co, Ni, Mo), а также природном (Si, Cu, Zn, Al, Cd, Fe, Sr) происхождении.

Отсутствие всякой зависимости для Pb, Sr и Mn (почва – снег) подтверждает их антропогенное происхождение. В некоторых случаях (снег – почва – порода) установлено одновременное антропогенное и природное поступление Al, Mo, Si, Mn, Pb, Be, Ni, Zn, Ba, Cr, Cd, Fe, Sr в снеговой и почвенный покров. Вероятность данного процесса убывает от выявленной сильной корреляционной связи до слабой.

Ключевые слова: почвы, снег, Байкало-Амурская магистраль, рекреация, побережье озера Байкал.

Источник финансирования: Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190055-7, № FWEM-2021-0002).

Для цитирования: Белозерцева И. А., Воробьева И. Б., Власова Н. В. Загрязнение снега и почв северо-западного побережья озера Байкал // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 1, с. 76-92. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/1/76-92>

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на большой исследовательский интерес к оз. Байкал в научной литературе [11, 23, 30, 31, 35, 37] геохимические характеристики снежного и почвенного покрова северо-запад-

ного побережья озера освещены недостаточно полно. Мало комплексных работ с системным подходом изучения внешних и внутренних факторов возникновения опасных экологических ситуаций.

© Белозерцева И. А., Воробьева И. Б., Власова Н. В., 2023

✉ Белозерцева Ирина Александровна, e-mail: belozia@mail.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Строительство Байкало-Амурской магистрали (БАМ), населенных пунктов, мостов, дорог, тоннелей нанесли непоправимый ущерб всем компонентам ландшафтов северного побережья озера Байкал. Сложные физико-географические строение и холодный климат территории исследования не способствовали быстрому восстановлению нарушенного растительного и почвенного покровов. Территория Северобайкальского промышленного узла находится в Северобайкальском районе Бурятии и расположена вдоль трассы Байкало-Амурской магистрали. Населенные пункты (город Северобайкальск и поселки Новый Уоян, Ангоя, Янгунан) на северном побережье Байкала построены в 1974 году. Город Северобайкальск с численностью населения около 23 тыс. человек находится в водоохранной зоне озера Байкал. В поселке городского типа Нижнеангарске проживает около 15 тыс. человек. Промзона (котельная, вагонное хозяйство, железнодорожное депо, участки разгрузки угля и т.п.) находится менее, чем в 300 м от уреза воды Байкала. Железнодорожный путь расположен вдоль долин рек Тья, Гоуджекит, Кичера и побережья озера Байкал. Северобайкальский район являлся большой строительной площадкой Байкало-Амурской магистрали. В районе разработано 176 карьеров, из которых 30 % рекультивировано. Поселки строились без предварительного ввода шлакозолоотвалов и очистных сооружений [16]. Резервы электроэнергетики на территории района отсутствуют. Использование угля приводит к загрязнению воздуха. Основными стационарными источниками загрязнения атмосферного воздуха города Северобайкальск являются: «Нижнеангарскстрой», «ЛенБАМ-строй», асфальтобетонный завод и передвижная механизированная колонна. Большая часть объема загрязнения атмосферы города поступает из 26-ти котельных в связи с большим расходом топлива и низким коэффициентом полезного действия при его сжигании. Очистные сооружения на данных объектах редко встречаются [21]. Ландшафты побережья используются в качестве пастбищ. Имеются заброшенные и используемые пашни. Некоторые садово-гаражные товарищества расположены до самого уреза воды озера Байкал. Развита рыболовный туризм. По предоставленным данным Министерства туризма Бурятии в 2017 году Северобайкальский район посетило около 80 тыс. туристов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являются почвенный и снежный покров северо-западного побере-

жья озера Байкал. В 2015-2018 годах проведены ландшафтно-геохимические исследования на северо-западном побережье озера Байкал. На рисунке 1 представлены схемы отбора проб снега и почв на ключевых площадках. Всего отобрано более 200 образцов почв в летний период и более 150 образцов снега в весенне-зимний периоды. Отбор проб образцов осуществлялся по системе ключевых площадок и поперечных маршрутов с учетом источников загрязнения согласно требованиям ГОСТов [13,14]. Аналитические работы проведены в ИГ СО РАН в лабораторных условиях по стандартизованным методикам на современном аналитическом оборудовании. Величину pH, F⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, PO₄³⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, взвешенных веществ в снеговой воде определяли по стандартным общепринятым методикам с учетом требований ГОСТов [3]. Концентрация металлов установлена количественным атомно-эмиссионным спектральным методом на приборе «Optima 2000DV». Содержание органического углерода (Сорг) в почвах определено методом мокрого сжигания по Тюрину [4]. Гранулометрический состав почв оценивался методом пипетки с диспергацией пирофосфатом натрия по Качинскому [8]. Содержание основных элементов питания растений (NO₃, NH₄, P₂O₅, K₂O) определялось агрохимическими методами исследования почв [1].

Экологические условия

Климат северо-западного побережья Байкала, как и на прилегающих территориях, резко континентальный, обусловлен положением его в рельефе, особенностями горного обрамления и воздействием озера. Водные массы обширного мелководья северной оконечности озера интенсивно прогреваются уже в конце июня. Температура воздуха здесь достаточно высокая для севера котловины и близка к температуре воздуха побережья южного Байкала [33].

Зимний период года (со средней суточной температурой < 0 °С) в Бурятии наступает в первой декаде октября, а на побережье Байкала – в середине месяца. В конце декабря наступают морозы ниже –25 °С и продолжаются до начала февраля. Температура воздуха в летний период года более стабильна, чем в зимний, и изменяется от +14 °С до +18 °С в июле [17]. Количество осадков на побережье озера составляет 350-450 мм/год, в горах более 1000 мм/год [36].

По данным Минприроды России в атмосферу г. Северобайкальска поступает в среднем более 3 тыс. тонн загрязняющих веществ в том числе:

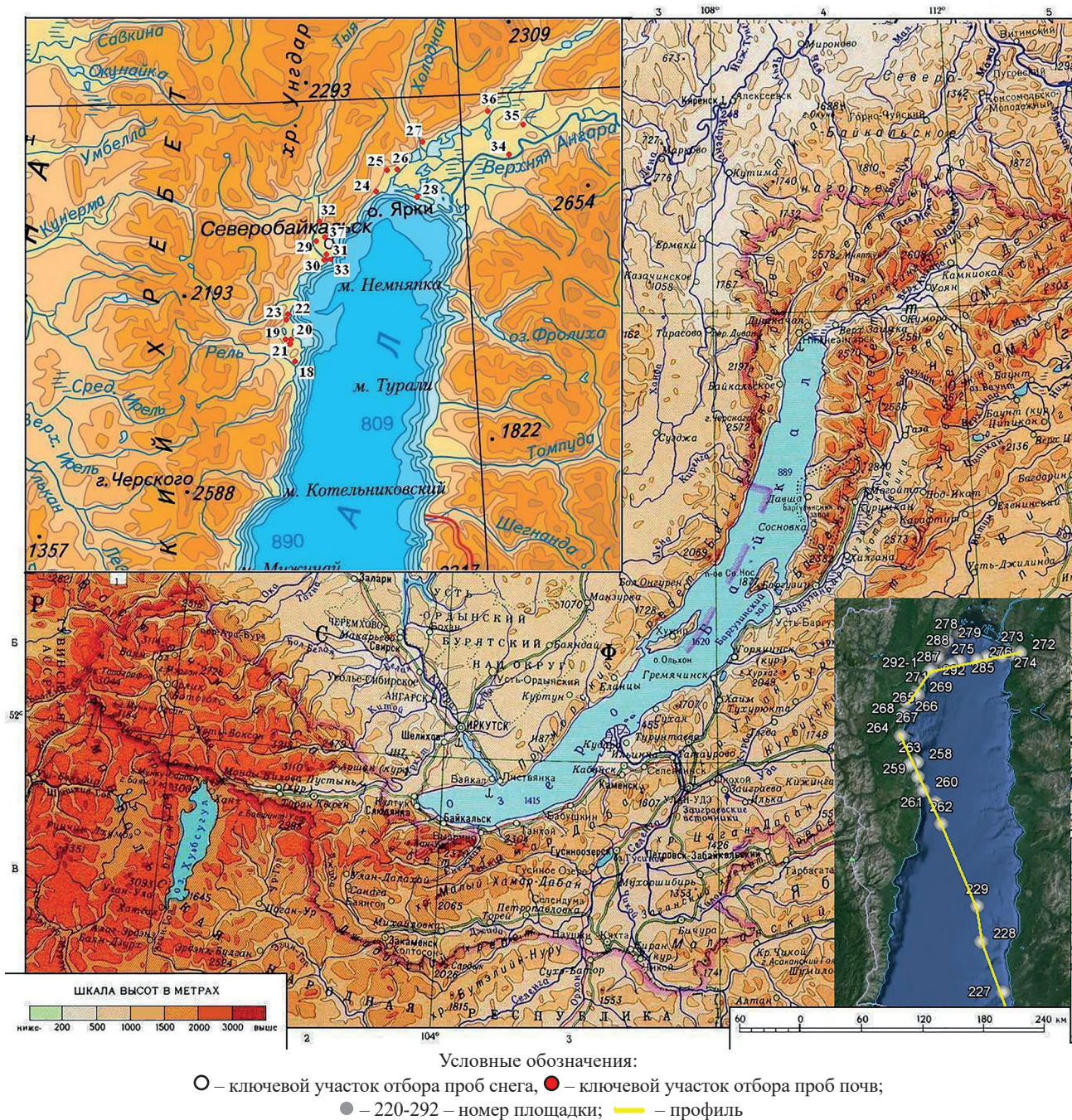


Рис. 1. Схема ключевых участков и профилей в Северной котловине озера Байкал
 [Fig. 1. Diagram of key sections and profiles in the Northern basin of the Baikal Lake]

твердых веществ – 1,1 тыс. тонн; оксидов азота – 0,2 тыс. тонн; углеводов – 0,0005 тыс. тонн. Основной вклад в выбросы загрязняющих веществ в атмосферу вносят локомотивное депо, Северобайкальское дорожное ремонтно-строительное предприятие (ДРСУП), Горкоммунэнерго (86 %). Вклад автотранспорта в валовые выбросы загрязняющих веществ составляет 7 % [16, 21].

В поселке Нижнеангарске валовой выброс вредных веществ в среднем за год составляет около 3 тыс. тонн в год. В поселке работает 22 ко-

тельных на черемховском угле. При ежегодном расходе около 18 тыс. тонн угля в атмосферу ежесуточно выбрасывается 5,3 тонны золы, 2,5 тонны оксида углерода, 1,3 тонны диоксида серы [22].

Распространена островная многолетняя мерзлота. Верховья рек Тья и Рель расположены на границе сплошного и прерывистого распространения многолетней мерзлоты. Многолетнемерзлотные породы чередуются с подрусловыми и пойменными таликами. Южные склоны и предгорные шлейфы с конусами выноса часто лишены мерзлотных пород.

По таликам тектонических разломов может происходить миграция талых трещинно-жильных вод с территории месторождений редких металлов в поверхностные водотоки [36].

Рельеф Байкальского региона представляет собой сложно построенную систему высокогорных и среднегорных четко выраженных хребтов и глубоких межгорных впадин. Вся высокогорная часть Байкальского хребта представлена резко расчлененным альпинотипным рельефом с его характерными формами. У подножий сходов развиты крутые шлейфы из обвальных, осыпных и селевых накоплений вперемежку с массой моренных валунов. Среди резко расчлененного и островершинного рельефа отдельными небольшими участками сохранились плоские и слабонаклонные поверхности доледникового рельефа [29].

Фундаментом Северобайкальской впадины служат практически неметаморфизованные разнообразные кислые субвулканические порфиры и континентальные терригенные породы. Особенности развития Северобайкальской впадины: ее более позднее вовлечение в рифтогенез – с миоцена (30-20 млн. лет назад) с мощностью отложений около 3500 м [34].

Территория сложена разнообразными по составу и генезису породами (вулканическими, плутоническими, терригенными осадочными и аллювиальными). Распространены аллювиальные почвообразующие породы, коренные породы представлены лейкократовыми амфибол-биотитовыми, двуслюдяными гнейсовидными гранитами. Встречаются габбро, габбро-диабазы, диабазы, габбро-нориты, габбро-пегматиты, габбро-диориты, сланцы, песчаники, конгломераты, редкометалльные гранитоиды, разновозрастные щелочные и другие изверженные породы [11]. Подстилающие породы присклоновой поверхности имеют двучленное сложение. В условиях горного рельефа «разбавление» одних пород другими естественно. Территория исследования входит в зону тектонических разломов, протягивающихся в северо-восточном направлении, с которыми связаны месторождения и проявления рудной минерализации.

Перспективными для развития и освоения являются Тья-Холоднинская и Ондок-Олокитская полиметаллические зоны, Кичеро-Чайская медно-никелевая зона, Байкало-Верхнеангарская золото-редкометаллическая зона, Авкит-Тыйская зона платиноидов и другие. Для свинцово-цинковых руд характерен их поликомпонентный состав (Pb,

Zn, Ag, Au, Cd, Cu, In, Tl, Bi, Te, Se и др.). Некоторые месторождения слабо изучены [10].

Согласно физико-географическому районированию это район Байкало-Джугджурской горно-таежной области, Северо-Байкальской горно-таежной провинции, Предбайкальского таежного горно-плоскогорного округа [18]. Представлен горнотаежными, гольцовыми и подгольцовыми геосистемами в горной части бассейна, а долинные комплексы и нижние части пологих склонов – лиственничниками с елью и кедром кустарниковые, местами травянисто-зеленомошными [20].

По ботанико-географическому районированию верхняя часть бассейнов рек [5] относится к Байкальскому озерному и гольцово-горнотаежному округу. Степные сообщества находятся в составе зональной тайги северного Прибайкалья и в настоящее время их характеризуются как «островные степи».

На территории исследования встречаются степи, лесостепи, представленные сосновыми, березовыми и лиственничными лесами, тайга с преобладанием темнохвойных пород, гольцы и болота. В пойме рек развиты разнотравно-злаковые ивняки. Вместе с ивой произрастает береза и ольховник. Встречаются ель и лиственница сибирская. На прилегающей территории к городу Северобайкальск распространены осоковые, осоково-злаковые и злаковые с примесью разнотравья заболоченные луга [7].

Почвы северо-западного побережья озера Байкал характеризуются разнообразием, обусловленным почвообразующими породами, влиянием озера и горных хребтов. Исследований по изучению почвенного покрова северной оконечности озера Байкал и прилегающей территории проведено мало [6, 9, 19, 25].

Согласно почвенно-географическому районированию Байкальского региона территория исследования входит в котловинно-долинный Верхнеангарский округ подзолистых, торфяных эутрофных и аллювиальных почв [6]. В таежно-лесной зоне наряду с подбурами доминируют подзолы [25]. На почвенной карте Бурятии на территории исследования выделены подбуры, дерново-подбуры, подзолы, дерново-подзолы глеевые, торфяные эутрофные и аллювиальные почвы [26].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Снежный покров. Известно, что снежный покров, обладающий высокой сорбционной способностью, является наиболее информативным объектом при выявлении техногенного загрязне-

ния атмосферы. Снег поглощает существенную часть продуктов техногенеза, аккумулирует их в течение зимнего периода. Химический состав фильтрата талого снега формируется в результате поступления с осадками различных химических элементов, поглощения снеговым покровом газов, водорастворимых аэрозолей и взаимодействия со снеговым покровом твердых частиц, оседающих из атмосферы. Количество выпадающего со снегом твердого осадка характеризует запыленность территории, фильтрат талого снега (снеговая вода) отражает степень загрязнения воздушного бассейна наиболее растворимыми формами элементов, которые являются наиболее токсичными для растений и живых организмов.

Установлено, что снежный покров северо-западного побережья Байкала имеет минерализацию от 27 до 11 мг/л и преимущественно нейтральную реакцию среды от 7,0 до 6,4. Выявлены высокие содержания SO_4 , PO_4 , Si в снеговой воде, превышающие фоновые значения в более чем 10 раз, а также повышенные концентрации NH_4 , NO_3 , Na, K, Ni, Sr, Fe, Mn, Cr, Al, Pb, Ba, Mo, V и Cu выше фоновых в 3-9 раз вблизи города Северобайкальск и поселка Нижнеангарск, в устьях рек Тья и Кичера (табл. 1). Содержания химических элементов и веществ в снеге фоновой территории (условно незатронутой деятельностью человека) акватории озера очень низкие. Минимальные значения для Mo, Mn, Ba, Al, Pb, Ni, Cu, Be, V, Cr, Fe, Si, Zn, Sr, Ti, Co, Cd составляют – 0,001 мг/дм³, для Hg – 0,1 мг/дм³ в снеговой воде акватории Байкала. Зафиксированы максимальные концентрации для Mo – 0,016, Mn – 0,037, Ba – 0,017, Al – 0,050, Pb – 0,007, Ni – 0,008, Cu – 0,006, V – 0,005, Cr – 0,01, Fe – 0,049, Si – 1,149, Zn – 0,024, Sr – 0,98, Be, Ti, Co, Cd – 0,002 мг/л (мг/дм³), для Hg – 0,41 мг/дм³ в снеговой воде побережья.

Содержание свинца и аммонийного азота в снеговой воде превышают санитарно-гигиенические нормы в 2,7 и 2 раза. Основной вклад в загрязнение атмосферы вносят предприятия строительных материалов (в том числе их карьеры), котельные, вагонное хозяйство (со стоянками разгрузки угля) и автотранспорт. Источниками загрязнения снега фосфатами и аммонием являются объекты жилищно-коммунального хозяйства. К сожалению, система канализации населенных пунктов не может предотвратить поступление загрязняющих веществ в окружающую среду. Выявленное загрязнение снегового покрова побережья озера носит локальный характер.

Новые очистные сооружения в поселке Нижнеангарск проводят первичную очистку стоков и не работают на полную мощность. Новые дома и частный сектор сбрасывают хозяйственно-бытовые стоки в заболоченную часть северной оконечности озера, где находятся устья нерестовых рек – Кичеры и Верхней Ангары. В средствах массовой информации пишут: «В стоячей воде не очищенные стоки разлагаются, и уже сейчас запах канализации ощущают рыбаки с Кичеры» [28]. Прокурорской проверкой выявлено, что компания, эксплуатирующая очистные сооружения в поселке Кичера, незаконно сбрасывала стоки в озеро Сикили, находящееся в долине реки Кичера. Очистные обслуживают объекты железной дороги, образования, здравоохранения, население поселка [38].

Почвы. По данным полевых исследований почвенный покров северо-западного побережья озера Байкал представлен такими типами почв как торфяно-подзолистые, дерново-подзолистые, дерново-подзолы, дерново-подбуры, карбо-литоземы (перегнойно-) темногумусовые, агро-темногумусовые, темногумусовые, торфяно-глеоземы, торфяно-криоземы, аллювиальные торфяно-глеевые (минеральные), аллювиальные перегнойно-глеевые, аллювиальные гумусовые, аллювиальные темногумусовые и слоисто-аллювиальные почвы. На рисунке 2 приведены фотографии растительности и почвенных разрезов основных ключевых участков устьев рек Тья, Кичера, Холодная, Сырой Молокон.

Основной фон заболоченных лугов устьев рек составляют аллювиальные торфяно-глеевые и аллювиальные перегнойно-глеевые почвы. Также в поймах рек встречаются аллювиальные темногумусовые, аллювиальные гумусовые и слоисто-аллювиальные. В присклоновой поверхности, на высоких террасах рек и озера Байкал формируются дерново-подбуры, дерново (торфяно)-подзолы и дерново (торфяно)-подзолистые почвы. В межгорных котловинах под степной растительностью встречаются темногумусовые почвы и их агрогенные аналоги.

Аллювиальные почвы под заболоченными лугами характеризуются в основном нейтральной и кислой реакцией среды, слабощелочной – под степью, где верхние горизонты имеют нейтральную реакцию (табл. 2). Нижние горизонты дерново-подзолистой почвы и дерново-подбуров иногда имеют слабощелочную и щелочную реакцию. Это может быть результатом литологической неод-

Таблица 1
 Величина pH, содержание нефтепродуктов и основных ионов в снеговой воде основных ключевых участков северо-западного побережья озера Байкал
 [Table 1. pH value, content of petroleum products and basic ions in snow water of main key areas of the northwest coast of the Baikal Lake]

№ п/п	Местоположение / Location	pH	Анионы / Anions					Катионы / Cations					Susp г/дм ³ g/dm ³	Σ, мг/дм ³ mg/dm ³		
			F ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺			Na ⁺	NH ₄ ⁺
263	село Байкальское, устье реки Рель	6,23	0,027	3,66	1,93	15,40	0,035	0,750	0,002	0,61	0,15	0,340	0,544	0,80	0,065	24,25
266	Оночанская губа, побережье	5,88	0,081	1,83	3,33	0,11	0,044	0,150	0,017	5,19	0,88	0,402	1,100	0,001	0,001	13,14
267	губа СENOГДА, озеро Байкал	6,60	0,105	6,71	3,15	0,11	0,022	0,400	0,001	0,77	0,19	0,171	0,314	0,001	0,125	11,94
268	губа СENOГДА, берег	5,90	0,093	1,83	3,50	0,11	0,030	0,260	0,004	4,07	0,21	0,058	0,564	0,001	0,100	10,73
277	Нижнеангарск, Ярki	6,41	0,030	4,27	2,80	0,11	0,020	0,350	0,009	1,03	0,25	0,182	0,539	0,001	0,081	9,59
278	Устье реки Кичера	6,54	0,020	10,37	2,98	0,11	0,029	0,851	0,001	2,83	0,74	0,111	0,189	0,50	0,039	18,73
279	п. Нижнеангарск, устье р. Кичера	6,55	0,019	12,20	3,15	0,11	0,042	0,010	0,001	3,50	0,48	0,341	0,409	0,01	0,050	20,27
281	поселок Нижнеангарск, побережье оз. Байкал	6,37	0,095	6,10	3,33	0,11	0,030	0,010	0,001	2,46	0,41	0,086	0,084	0,01	0,031	12,73
283	между населенными пунктами Нижнеангарск – Северобайкальск, озеро Байкал	6,55	0,085	1,98	3,33	9,90	0,025	0,150	0,001	0,25	0,07	0,109	0,240	0,001	0,050	16,14
284	между населенными пунктами Нижнеангарск – Северобайкальск, побережье	6,57	0,070	4,27	4,03	0,11	0,030	0,011	0,012	1,43	0,39	0,309	0,163	0,01	0,116	10,84
286	между Нижнеангарском и Северобайкальском, озеро Байкал	6,24	0,093	2,44	4,38	0,11	0,030	0,011	0,058	1,30	0,34	0,736	0,389	0,01	0,083	9,90
288	город Северобайкальск, озеро Байкал в устье реки Тья	6,43	0,018	4,27	2,98	5,50	0,030	0,010	0,001	1,19	0,30	0,399	0,299	0,01	0,057	15,01
289	город Северобайкальск, озеро Байкал	6,34	0,064	2,44	3,50	0,11	0,030	0,011	0,013	1,80	0,37	0,240	0,464	0,01	0,020	9,05
290	Северобайкальск, побережье	6,35	0,060	5,49	2,80	0,11	0,030	0,012	0,014	2,31	0,45	0,627	0,481	0,01	0,088	12,39
292	город Северобайкальск, устье реки Тья	6,49	0,095	4,56	2,95	0,22	0,025	0,150	0,002	2,05	0,20	0,193	0,310	0,20	0,091	10,96
	Среднее*	6,44	0,064	4,68	3,22	3,19	0,03	0,17	0,005	1,91	0,39	0,300	0,510	0,09	0,070	11,8
	Max*	7,03	0,125	12,20	4,73	17,60	0,21	1,00	0,058	9,11	3,70	1,116	3,118	0,80	0,192	27,2
	Min*	5,88	0,016	1,22	1,93	0,11	0,001	0,001	0,001	0,23	0,07	0,058	0,023	0,001	0,001	5,95
	ПДК, ОДК		0,7-1,5	-	350	500	-	130	0,001	180	50	40-50	120-200	0,40	-	-

Примечание: Susp. – взвешенное вещество; Σ – среднее, максимальное, минимальное в Северной котловине озера Байкал, n = 41; ПДК, ОДК [6, 7].
 [Note: Susp. – suspended substance (solid residue on filter, dust); Σ – average, maximum, minimum in the Northern basin of the Baikal Lake; n – number of samples; МРС, УЕС – (maximum permissible and indicative concentrations maximum permissible and indicative concentrations maximum permissible and indicative concentrations) of water for drinking and fisheries needs [6, 7].]



Рис. 2. Растительность и профиль почв основных ключевых участков

а) аллювиальная перегнойно-глеявая почва под осоково-разнотравно-злаковым лугом в устье реки Тья, б) аллювиальная торфяно-глеявая почва под осоковым болотом с единичной кустарниковой березой, пойма реки Тья, в) аллювиальная темногумусовая почва под разнотравно-злаковым лугом в устье реки Сырой Молокон, г) аллювиальная торфяно-глеявая почва под разнотравно-осоковым болотом в устье реки Кичера, д) торфяно-подзолистая почва под березово-сосновым с елью и кедром мелко-разнотравным лесом в устье реки Холодная, е) агротемногумусовая почва под сорной растительностью, залежь в прикляновом предгорной поверхности к озеру Байкал, ж) дерново-подзол под березово-кедрово-лиственничным мохово-мелкотравным кустарничковым лесом около озера Слюдяное, з) дерново-подбур пирогенный под сосняком разнотравным около города Северобайкальска, и) дерново-подзолистая турбированная почва под березово-лиственничным с кедром в подросте осоково-мелкотравно-хвощевым лесом на склоне к долине реки Тья, к) аллювиальная торфяно-глеявая минеральная почва под разнотравно-осоковым лугом, гаражно-садовое товарищество на побережье у уреза воды озера Байкал

[Fig. 2. Vegetation and soil profile of the main key areas]

[a) FollicGleyicFluvisols under sedge-grass-grass-cereal meadow at the mouth of the river Tyua; b) HisticGleyicFluvisols under a sedge swamp with a single bush birch, river flood plain Tyua; v) UmbricFluvisols under a grassy-cereal meadow at the mouth of the river. Raw Molokon; g) HisticGleyicFluvisols under a grass-sedge swamp at the mouth of the river Kichera; d) Histic Retisols under birch-pine with spruce and cedar small-grass forest at the mouth of the river Kholodnaya; e) AgriculturalPhaeozems under weed vegetation, a deposit in the slope surface to Lake Baikal; zh) Follic Podzols under birch-cedar-larch moss-fine-grass bush forest near Lake Slyudyanoye; z) Humic Retisols under the pine grass near Severobaikalsk; i) Follic Turbic Retisols under birch-larch with cedar in undergrowth sedge-fine-grass forest on the slope to the valley of the river Tyua; k) HisticLuvic GleyicFluvisols under the grass-sedge meadow, garage-garden partnership on the coast near the water edge of the Baikal Lake]

нородности пород. В присклоновой поверхности и конусах выноса на террасах озера Байкал наблюдается накопление верхних слоев пород в результате механического сноса мелкозема пород, расположенных выше по склону.

Содержание органического углерода в почвах среднее и выше среднего. В связи с длительным холодным периодом года в верхних горизонтах всех природных зон наблюдается накопление слабообразованных органических остатков. По гранулометрическому составу почвы под степью и заболоченным лугом в основном среднесуглинистые, а под пологом леса – легкосуглинистые и супесчаные. При загрязнении почвенный покров может захватывать существенную часть тяжелых металлов на детритном, органогенном, щелочном и сорбционном геохимических барьерах.

Согласно шкале содержания основных элементов питания растений [2] наблюдается дефицит калия в почвах под лесом (площадки № 27, № 32 и № 37), за исключением площадки № 31, расположенной в устье реки Тья. В верхних горизонтах почв остальных исследованных площадок концентрация калия достаточная (140-340 мг/кг). В аллювиально-перегнойной глеевой почве содержание калия очень высокое – 615 мг/кг. Выявлено очень низкое и выше среднего содержание фосфора в почвах исследуемой территории от 1 до 117 мг/кг. Наиболее обогащены фосфором почвы и почвообразующие породы под лесом. Содержание нитратов во всех исследуемых почвах не превышает санитарно-гигиенические нормы (для нитратов ПДК – 130 мг/кг). Выявлена выше среднего концентрация нитратов от 16,8 до 18,3 мг/кг в дерновых и торфянистом горизонтах почв под лесом и лугом.

В таблице 3 приведены данные по содержанию макро- и микроэлементов в почвах исследуемой территории. Установлена прямая (положительная) корреляционная связь (коэффициент корреляции) (КК) между концентрацией химических элементов в снеге и содержанием их в почве (высокая – Si, Cu; средняя – Zn, Al, Cd; слабая – Fe, Sr) (табл. 4). Выявленная зависимость говорит

о следующей закономерности: чем больше в почве, например, кремния, тем больше его в снеге. Данный факт свидетельствует о привносе вышеперечисленных элементов в снег из почв на ранних этапах становления снегового покрова в результате эолового переноса. Вероятность данного процесса возрастает от выявленной слабой корреляционной связи до сильной. В регионе имеются действующие карьеры и песчаные пляжи. Но это не исключает и одновременного антропогенного их происхождения в случае средней и слабой КК. Наблюдается обратная (отрицательная) корреляционная связь между концентрацией химических элементов в снеге и содержанием их в почве (высокая – Ti; средняя – V, Co, Ni, Mo; слабая – Ba, Be, Cr), что говорит о следующей зависимости: чем меньше в почве данных химических элементов, тем больше их в снеге. То есть это может говорить об их антропогенном происхождении. Отсутствие всякой зависимости ($КК < 0,1$) для Pb, Sr и Mn указывает на то, что почва не является их основным источником поступления в снеговой покров.

Выявлена прямая КК между концентрацией химических элементов в снеге и содержанием их в породе (высокая – Al, Mo; средняя – Si, Mn, Pb, Be, Ni, Zn; слабая – Ba, Cr, Cd), что может подтверждать отчасти их природное происхождение в различной степени.

Высокая и средняя прямая КК установлена между содержанием Al, Mo, Si, Mn, Pb, Be, Ni, Zn в почвах и породах, что говорит о высокой вероятности их природного происхождения в почвенном покрове от материнских пород. Слабая КК для Ba, Cr, Cd может указывать на природное и антропогенное их происхождение в почве. Обратная корреляция и отсутствие КК для некоторых элементов (Fe, Ti, Cu, V, Sr, Co) подтверждает литологическую неоднородность почв и пород или указывает на их антропогенное происхождение. Почвообразующие и подстилающие породы исследуемой территории не однородны. На некоторых участках разные слои пород переслаиваются на небольшой глубине. Верхние слои полностью охвачены почвообразова-

Агрохимические и физические свойства почв основных ключевых участков долин рек Тья, Кичера, Сырой Молокон, Холодная, северо-западного побережья озера Байкал
 [Table 2. Agrochemical and physical properties of soils in the main key areas of the valleys of the Tuya, Kichera and Syroy Molokon, Kholodnaya Rivers, northwest coast of the Baikal Lake]

№ пп.	Местоположение, использование / Location	Почвы / Soils	Горизонт, глубина / Horizon, Depth	pH	Сорг, % ППП* / Gorg, % losses of ignition*	Гранулометрический состав, % / Particle size distribution, %							Сод-е физ. глины / Physical clay <0,01	Название погран. составу / Name by size distribution	Осн. элементы питания растений, мг/кг / Main elements plant nutrition, mg/kg		
						1-0,25 см	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	NO ₃			NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
29	Северобайкальск, 1-ая терраса реки Тья	Дерново-подбур	AY 2-8 BF 24-70 Cca 70-	6,7 7,5 8,1	1,4 0,9 0,6	1,3 1,5 27,5	69,9 64,5 40,9	16,4 20,4 11,6	3,2 4,0 6,0	1,6 0,8 2,8	7,6 8,8 11,2	12,4 13,6 20,0	Ls Ls Ll	18,3 1,5 1,1	1,00 0,85 0,56	72,7 109,2 107,6	340,0 93,0 45,0
30	Побережье озера Байкал, устье реки Тья	Аллюви-альная перегнойно-глеявая	ТН 0-98	6,2	63,8*	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	1,86	67,6	445,0
31	Устье реки Тья, пойма	Аллюви-альная торфяно-глеявая	Т 20-29 Н 29-49 G 49-	5,6 5,7 5,8	69,5* 31,2	- - 8,3	- - 38,9	- - 17,2	- - 6,0	- - 10,0	- - 19,6	35,6	Lm	0	0,60	7,6	45,0
32	Присклоновая поверхность к реке Тья, 2-ая терраса	Дерново-подзоли-стая турби-рованная	[AY+EL]tr 0-12 [BEL+BT+C]tr 12-40 C 40-60	6,5 7,8 8,1	8,2 2,6 0,7	17,4 0,7 0,4	39,0 20,1 42,0	20,0 41,2 36,0	6,8 13,6 6,0	4,8 12,8 6,8	12,0 11,6 8,8	23,6 38,0 21,6	Ll Lm Ll	9,6 3,6 3,7	4,66 1,79 0,62	52,6 94,0 18,0	260,0 66,0 20,5
33	Устье реки Тья, гаражно-садовое товарищество	Аллюви-альная торфяно-глеявая минаральная	ТНmr 0-38	5,8	30,8	17,4	48,6	14,0	4,8	6,4	8,8	20,0	Ll	0,4	8,88	69,2	615,0
37	Северобайкальск, карьер	Дерново-подбур пироген-ный	AYpr 0-5 BF 5-25 C 25-	7,0 6,9 8,7	6,0 1,2 0,2	4,6 7,1 6,9	58,0 66,9 78,7	18,2 10,8 6,4	5,2 3,6 2,4	4,4 3,6 2,0	9,6 8,0 3,6	19,2 15,2 8,0	Ls Ls S	16,8 1,2 0	0,79 1,93 0,42	71,5 95,4 101,7	140,0 62,5 76,5

Продолжение таблицы 2

24	Устье реки Сырой Молокон	Аллюви-альная темногумусовая	AU 0-30	6,5	5,4	6,7	36,5	22,4	9,6	8,0	16,8	34,4	Lm	18,2	1,93	108,0	140,0	
			AUC 30-40	6,6	1,3	6,8	37,6	23,2	6,8	9,2	16,4	32,4	Lm	3,6	0,79	94,0	66,0	
27	Долина реки Холодная	Торфяно-подзолистая	C 40-	7,5	0,5	8,3	38,9	17,2	6,0	10,0	19,6	35,6	Lm	3,7	2,22	115,4	20,5	
			T0-11	5,4	70,1*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,8	0,79	11,5	62,5
			EL 11-13	5,2	0,7	22,0	44,2	20,1	4,1	1,0	8,6	13,7	Ls	1,7	0,95	95,2	95,3	
26	Устье реки Кичера, побережье озера Байкал	Аллюви-альная торфяно-глеевая	BEL/ВГ 13-28	5,4	2,0	26,1	42,0	11,8	6,2	2,9	11,0	20,1	Ll	0	0	117,0	75,0	
			C 28-	7,1	0,4	21,4	42,0	16,0	6,0	5,8	8,8	20,6	Ll	3,5	0,67	19,0	25,0	
			T 0-45	5,8	68,9*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Устье реки Кичера, побережье озера Байкал	Аллюви-альная торфяно-глеевая	TG 45-55	6,0	40,1*	17,6	48,4	14,0	5,6	6,6	7,8	20,0	Ll	1,4	9,08	74,2	505,0	

Примечание: S – песок связный, Ls – супесь, Ll – суглинок легкий, Lm – суглинок средний. Согласно шкале ФГБУ центра Агрохимической Службы «Иркутский» содержание K₂O в почве характеризуется как: очень низкое – <100, низкое – 101-200, среднее – 201-300, выше среднего – 301-400, высокое – 401-600, очень высокое – >600 мг/кг; содержание P₂O₅ характеризуется как: очень низкое – <25, низкое – 26-50, среднее – 51-100, выше среднего – 101-150, высокое – 151-250, очень высокое – >250 мг/кг; содержание NO₃ характеризуется как: очень низкое – <4, низкое – 4-8, среднее – 8-15, выше среднего – 15-20, высокое – 20-25, очень высокое – >250 мг/кг [2].

[Note: S – sand, Ls – sandy loam, Ll – light loam, Lm – medium loam. According to the scale of the FBGU Center of Agrochemical Service Irkutskii, the potassium content is characterized as: very low, < 100; low, 101-200, medium, 201-300, above medium, 301-400; high, 401-600, and very high, > 600 mg/kg; the content of labile phosphorus in soils is characterized as: very low, < 25; low, 26-50, medium, 51-100; high, 101-150, high, 151-250, and very high, > 250 mg/kg; the content of nitrate nitrogen is characterized as: very low, < 4; low, 4-8; medium, 8-15; above medium, 15-20; high, 20-25, and very high, > 250 mg/kg]

Таблица 3

Содержание макро- и микроэлементов в почвах долин рек, северо-западного побережья озера Байкал [Table 3. Content of macro- and microelements in soils of river valleys, northwest coast of the Baikal Lake]

№ п/п	Местоположение / Location	Почвы / Soils	Горизонт / Horizon	мг/кг / mg/rg																				
				Si	Fe	Al	Ca	Mg	K	Na	Ti	Mn	Ba	Pb	Ni	Cu	Be	V	Cr	Zn	Sr	Co	Mo	Cd
				%																				
29	Северобайкальск, 1-ая терраса реки Тья	Дерново-подур	AY	40,4	1,6	1,1	0,6	0,6	1074	199	1234	386	26	6	3,1	22	0,6	29	28	44	18	12	0,00	0,2
			BF	29,6	1,8	1,5	0,6	0,8	834	209	1141	320	17	7	4,3	26	0,8	34	35	44	19	14	0,00	0,1
			Csa	17,7	1,5	1,1	3,2	0,8	480	428	980	273	15	5	3,2	34	0,5	25	26	29	45	12	0,09	0,1
30	Побережье озера Байкал, устье реки Тья	Аллювиальная переносная	TH	30,0	1,6	0,9	1,4	0,6	403	497	777	341	27	4	2,9	19	0,6	19	26	41	65	11	0,72	0,2

31	Устье реки Тяя, пойма	Алловияльняная торфяно-глеевая	T	0	2,4	2,0	0,9	1,0	635	188	1230	448	39	11	5,0	42	1,2	45	54	86	33	17	1,48	0,3		
			H	30,4	2,1	1,1	1,2	0,6	362	125	649	567	43	4	3,6	28	0,7	25	33	53	41	13	0,41	0,3		
			G	52,2	1,7	1,2	0,5	0,8	463	174	1021	302	15	5	4,2	17	0,7	31	34	43	20	13	0,31	0,1		
32	Прикловная поверхность к реке Тяя, 2-ая терраса	Дерново-подзолистая торфяно-глеевая	[AY+EL]tr	65,9	2,1	1,2	1,0	0,8	745	168	1025	593	30	7	4,5	25	0,7	30	34	67	31	14	0,17	0,4		
			[BEL+BT+C]tr	16,1	2,2	2,2	0,9	1,2	480	136	1275	668	41	10	6,4	52	1,2	53	62	82	30	23	0,28	0,2		
			C 40-60	16,4	2,1	1,8	0,6	1,0	753	135	1450	570	30	8	4,9	37	1,1	46	48	68	20	19	0,02	0,2		
33	Устье реки Тяя, гаражно-садовое товарищество	Алловияльняная торфяно-глеевая минеральная	TnHnr	19,3	1,5	1,1	1,2	0,6	799	124	1062	297	27	7	2,7	28	0,6	28	25	115	44	11	0,00	0,1		
			AУpir	48,7	1,5	1,0	0,6	0,4	367	43	595	821	44	6	2,8	10	0,5	16	22	71	34	9	0,00	0,1		
			BF	49,1	1,4	1,0	0,3	0,4	346	67	567	427	30	4	3,0	8	0,5	21	25	45	10	10	0,44	0,1		
37	Северобайкальск, карьер	Дерново-подзолистые	C	32,7	1,1	0,7	1,6	0,6	266	87	585	237	13	3	2,4	15	0,4	12	17	28	51	7	0,02	0,1		
			AU	16,0	1,8	1,9	0,9	0,6	1619	408	1264	516	40	8	3,0	30	0,6	56	37	58	51	16	0,54	0,2		
			AUC	21,4	2,1	2,2	0,8	0,8	1252	543	1505	529	33	5	4,4	50	0,8	67	45	53	46	24	0,00	0,2		
24	Устье реки Сырой Молокон	Алловияльняная торфяно-глеевая мусовая	C	34,5	0,9	0,7	0,7	0,3	657	313	605	677	50	9	1,4	13	0,3	17	14	38	42	8	0,22	0,2		
			T	0	1,7	1,1	1,1	0,6	1148	316	1022	1480	65	6	2,3	15	0,5	35	30	111	49	14	0,38	0,5		
			EL	36,9	1,9	1,8	0,8	0,9	945	378	1067	450	26	5	3,1	20	0,8	64	45	60	42	18	0,17	0,2		
			BEL/BT	35,1	2,1	2,0	0,9	0,9	955	400	1655	553	34	5	3,8	21	0,8	70	52	74	43	19	0,18	0,2		
27	Долина реки Холодная	Торфяно-подзолистая	C	51,0	1,9	1,8	0,9	0,9	1161	478	1567	453	27	5	3,7	24	0,8	64	46	61	43	18	0,27	0,2		
			T	0	0,7	0,5	1,6	0,4	730	195	311	80	20	4	2,7	52	0,2	15	17	42	39	7	6,03	0,2		
			TG	42,1	1,2	1,0	1,3	0,5	816	483	856	191	23	3	2,5	59	0,4	29	28	48	41	13	5,35	0,3		
26	Устье реки Кичера, побережье озера Байкал	Алловияльняная торфяно-глеевая	ОДК (ГН 2.1.7.2042-06)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130-	80-	132-	-	-	-	220-	-	-	-	0,5-		
			ПДК (ГН 2.1.7.2041-06)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1500	-	32	44	51	-	114	100	91	265	17	-	1,0
			Фон Прибайкалья [14]	-	-	-	1,8	1,9	1400	-	-	-	1200	-	10	43	46	3,0	114	98	91	208	17	-	-	-

Таблица 4

Коэффициенты корреляции (КК) между концентрациями химических элементов в снеге и их содержаниями в почве и породе (обработаны данные 21 ключевого участка, 63 образца)
 [Tab. 4. Correlation coefficients (CC) between concentrations of chemical elements in snow and their content in soil and rock (21 key sites, 63 samples processed)]

химических элементов / Chemical elements		КК для химических элементов / Concentration correlation coefficients																
в снеге и почве / in snow and soil	Si	0,71	0,13	0,35	-0,73	-0,07	-0,10	0,07	-0,43	0,78	-0,12	-0,56	-0,21	0,64	0,02	-0,61	-0,33	0,38
	Fe	0,54	-0,11	0,86	-0,69	0,65	0,29	0,50	0,45	0,06	0,55	-0,07	0,24	0,68	-0,03	-0,04	0,97	-0,41
	между содержанием их / between their content in snow and soil	0,05	0,54	-0,06	0,83	-0,42	-0,12	0,01	-0,11	0,60	0,39	0,68	0,36	0,39	0,68	-0,75	0,28	-0,36
в породе и почве / in soil and rock	0,49	-0,11	0,86	-0,69	0,65	0,29	0,50	0,45	0,06	0,55	-0,07	0,24	0,68	-0,03	-0,04	0,97	0,25	0,25

тельными процессами, а подстилающие не являются почвообразующими породами.

Установлено, что содержание большинства исследуемых химических элементов и веществ в почвах ниже уровня регионального фона Прибайкалья [11], за исключением концентрации К, Си, Zn и Со, что связано с антропогенным (пожары, печное отопление углем и т.д.) и природным (почвообразующие породы) факторами. На щелочном, глеевом и детритовом (Н) биогеохимических барьерах почв рекреационной зоны и гаражно-садового товарищества в устье реки Тья обнаружено повышенное содержание Си, Zn, Со, превышающее ПДК. Также установлены высокие концентрации Си и Со в почвообразующих породах устья реки Холодная и 2-ой террасы реки Тья, что связано с месторождениями и проявлениями рудной минерализации в данном регионе.

Относительно высокое содержание кремния наблюдается в нижних горизонтах почв некоторых ключевых площадок, сформированных на основных и средних породах. Это является результатом литологической неоднородности отложений. Территория сложена разнообразными по составу и генезису породами. Например, подстилающая порода площадки № 29 и № 32 резко отличается от мелкозема почвенной толщи по рН, обогащенности некоторых элементов и обедненности кремнеземом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено загрязнение снежного покрова северо-западного побережья озера Байкал вблизи населенных пунктов Северобайкальск и Нижнеангарск. Выявлены повышенные содержания SO_4 , PO_4 , NH_4 , NO_3 , Na, K, Si, Ni, Sr, Fe, Mn, Cr, Al, Pb, Ba, Mo, V и Cu в снеге, превышающие фоновые значения в 3-55 раз. Фоновые содержания большинства изученных химических соединений в снеговой воде Северной котловины озера Байкал низкие, ниже ПДК. Концентрации NH_4 и Pb в снеге превышают санитарно-гигиенические нормы более чем в 2 раза. Основными антропогенными источниками загрязнения атмосферы ТМ являются предприятия строительных материалов, котельные и автотранспорт. Загрязнение локального характера. Источниками загрязнения снеговых вод фосфатами и аммонием являются объекты рекреационного и жилищно-коммунального хозяйств.

Основной фон заболоченных лугов устьев рек составляют аллювиальные торфяно-глеевые и аллювиальные перегнойно-глеевые почвы. В долинах рек встречаются аллювиальные темногумусовые и гумусовые, слоисто-аллювиальные почвы. В

присклоновой поверхности формируются дерново (торфяно) -подбуры, дерново (торфяно) -подзолы и дерново-подзолистые почвы, в межгорных котловинах под степной растительностью – темногумусовые почвы, которые используются под пашни и пастбища. Установлено, что большинство исследуемых почв имеют легкий гранулометрический состав: под лесом – супесчаные и легко суглинистые, под лугом – легко- и среднесуглинистые. По содержанию основных элементов питания растений в почвах под лесом исследуемой территории наблюдается дефицит калия. Выявлено загрязнение почв ТМ на щелочном, глеевом и детритовом биогеохимических барьерах почв в рекреационной зоне и на территории гаражно-садового товарищества, расположенного у уреза озера Байкал (устья рек Тья, Холодная, Кичера). Концентрации Cu, Zn, Co в почвах превышают ПДК в 1,1; 1,1 и 1,4 раз соответственно. Имеется также и природный источник загрязнения почв ТМ – породы с проявлениями рудной минерализации. Необходим постоянный мониторинг за состоянием экологических параметров почв населенных пунктов северо-западного побережья озера Байкал.

В связи с нарастающей техногенной и рекреационной нагрузкой, а также запланированным развитием промышленности на севере Байкала необходима экологическая модернизация имеющихся промышленных предприятий, коммунальных систем стока и очистки бытовых отходов. Перевод ТЭЦ и котельных на газ решило бы часть экологических вопросов, связанных с выбросами от использования сжигаемого угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агрохимические методы исследования почв* / З.Г. Ильковская, А.С. Коновалов, В.В. Пономарев и др. Москва: Наука, 1975. 656 с.
2. *Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий и рекомендации по применению удобрений в ООО «Бильчир» Осинского района Иркутской области. Очерк* / Бутырин М.В. и др. Иркутск: ФГБУ Центр агрохимической службы «Иркутский», 2009. 29 с.
3. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцева Б.А. *Руководство по химическому анализу вод суши*. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1973. 269 с.
4. Аринушкина Е.В. *Руководство по химическому анализу почв*. Москва: Издательство Московского университета, 1970. 487 с.
5. *Байкал. Атлас*. Москва: ГУК, 1993. 160 с.
6. Белозерцева И.А., Сороковой А.А. Почвенно-экологическое районирование Байкальского региона (включая территорию Монголии) // *Геодезия и картография*, 2018, № 10, с. 54-64.
7. Бурляева М.О., Кривенко Д.А., Казановский С.Г. Дикие родичи культурных растений на территории Северо-Западного Прибайкалья (по материалам экспедиции 2014 года) // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 2017, № 178 (4), с. 5-21.
8. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. *Методы исследования физических свойств почв*. Москва: Агропромиздат, 1986. 416 с.
9. География и генетические особенности таежных почв Центральной зоны Байкальской природной территории / Ц.Х. Цыбжитов, В.М. Корсунов, Ц.Ц. Цыбикдоржиев и др. // *Почвоведение*, 2006, № 10, с. 1165-1177.
10. Геолого-геофизические, прогнозно-металлогенетические исследования и перспективы освоения минеральных ресурсов Северо-Байкальского рудного района / И.В. Гордиенко, А.Н. Булгатов, М.А. Нефедьев, Д.А. Орсов // *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН*, 2014, № 2 (45), с. 5-18.
11. *Геохимия окружающей среды Прибайкалья. Байкальский геоэкологический полигон* / В.И. Гребенщикова, Э.Е. Лустенберг, Н.А. Китаев, И.С. Ломоносов. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2008. 234 с.
12. *ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»*, 2003. – URL: http://www.infosait.ru/norma_doc/41/41363/index.htm (дата обращения: 30.08.2021). – Текст: электронный.
13. *ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТ СЭВ 3847-82) Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб*. Москва: Издательство стандартов, 1984. 5 с.
14. *ГОСТ 17.1.5.05.85 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков (дождь, роса, снег, град, изморозь)*. Москва: Государственный комитет России по гидрометеорологии и контролю природной среды, 1985. 12 с.
15. *ГОСТ 2874-82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством*, 1995. – URL: <http://gostvoda.ru/d/677526/d/4-gost-2874-82.pdf> (дата обращения: 30.08.2021). – Текст: электронный.
16. *Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011-2017 году»*. Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2018. 888 с.
17. Изменение климата Забайкалья во второй половине XX века по данным наблюдений, и ожидаемые его изменения в первой четверти XXI века / А.В. Мещерская, В.А. Обязов, Э.Г. Богданова и др. // *Изменение климата центральной Азии: социально-экономический и экологические последствия*, 2009, вып. 559, с. 32-57.
18. *Карта растительности юга Восточной Сибири*. Москва: ГУГК, 1972. 4 л.
19. Кузьмин В.А. *Почвы котловин байкальского типа*. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1976. 144 с.
20. *Ландшафты юга Восточной Сибири. Карта*. Москва: ГУГК, 1977. 4 л.

21. Михеева А.С. *Территориальные особенности антропогенного воздействия на качество атмосферного воздуха (Республика Бурятия): автореф. дисс. ... кандидата геогр. наук.* Улан-Удэ, 1999. 248 с.
22. Михеева А.С. Загрязнение атмосферы // *Антропогенная трансформация природных систем и социально-экономические последствия в бассейне реки Селенги*, 2012, с. 124-133.
23. Нестерова Л.А., Полякова С.Д. Загрязнение почв тяжелыми металлами как индикатор состояния природной среды Тажеранской степи // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2017, № 2, с. 68-73.
24. Оболкин В.А., Нецветаева О.Г., Голобокова Л.П. и др. Результаты многолетних исследований кислотных выпадений в районе Южного Байкала // *География и природные ресурсы*, 2013, № 2, с. 66-73.
25. Почвы бассейна оз. Байкал: итоги исследования за 1980-2017 гг. / Л.Л. Убугунов, В.И. Убугунова, И.А. Белозерцева и др. // *География и природные ресурсы*, 2018, №4, с. 76-87.
26. Почвы Бурятии: разнообразие, систематика и классификация / Л.Л. Убугунов, В.И. Убугунова, Н.Б. Бадмаев и др. // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*, 2012, № 2, с. 45-52.
27. Почвы водоохранной зоны озера Байкал и их использование / И.А. Белозерцева, И.Н. Владимиров, В.И. Убугунова и др. // *География и природные ресурсы*, 2016, № 5, с. 62-71.
28. *Российская газета – Федеральный выпуск.* – URL: <https://rg.ru/2018/04/10/reg-sibfo/problema-s-ochistnyimi-sooruzheniyami-na-beregu-bajkala-vse-eshche-ne-reshena.html> (дата обращения: 10.01.2022). – Текст: электронный.
29. Резанов И.Н., Резанова В.П. Геоморфологическое строение побережья озера Байкал // *Байкал. Природа и люди*, 2009, с. 196-205.
30. Семенов М.Ю., Семенов Ю.М., Силаев А.В. Исследование происхождения микроэлементов в речных водах западного побережья озера Байкал // *Естественные и технические науки*, 2021, № 1 (152), с. 76-81.
31. Солодянкина С.В., Вантеева Ю.В., Знаменская Т.И. Экспериментальные исследования, моделирование и картографирование природных функций степных ландшафтов Прибайкалья // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2020, № 1, с. 29-38.
32. *Теория и практика химического анализа почв* / под ред. Л.А. Воробьева. Москва: ГЕОС, 2006. 399 с.
33. Трофимова И.Е. Типизация и картографирование климатов Байкальской горно-котловинной системы // *География и природные ресурсы*, 2002, № 2, с. 53-61.
34. Хатчинсон Д.Р., Гольмшток А.Ю., Зоненшайн Л.П. Особенности строения осадочной толщи озера Байкал по результатам многоканальной сейсмической съемки // *Геология и геофизика*, 1993, № 10-11, с. 25-36.
35. Ходжер Т.В., Сорокикина Л.М. Оценка поступления растворимых веществ из атмосферы и с речным стоком в озеро Байкал // *География и природные ресурсы*, 2007, № 3, с. 185-191.
36. *Экологический атлас бассейна озера Байкал*. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.
37. Янчук М.С., Воробьева И.Б., Власова Н.В. Геоэкологическая оценка состояния снега и льда на Южном побережье озера Байкал // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2021, № 3, с. 59-68.
38. *Regnum.* – URL: <https://regnum.ru/news/2647583.html> (дата обращения: 10.01.2022). – Текст: электронный.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 03.02.2022

Принята к публикации 27.02.2023

Pollution of Snow and Soils of the Northwest Coast of the Baikal Lake

I. A. Belozertseva✉, I. B. Vorobyeva, N. V. Vlasova

*Sochava Institute of geography SB RAS, Russian Federation
(1, Ulan-Batorskaya str., Irkutsk, 664033)*

Abstract: The purpose is to assess the pollution of snow and soil cover on the northwest coast of the Baikal Lake.

Methods. The work was carried out on the basis of field landscape-geochemical and cameral analytical studies in 2015-2018. Snow and soil samples were selected at key sites, chemical and physicochemical analyses were carried out according to standard methods at the licensed Chemical and Analytical Center of the Institute of Geography of the SB RAS.

Results and discussion. The studies revealed pollution of snow and soil cover of the northwest coast of the Baikal Lake. Increased contents of heavy and alkaline earth metals, SO_4 , NO_3 , NH_4 , PO_4 , oil products in snow near settlements of the coast exceeding background values were found. Concentrations of NH_4 , Pb and petroleum products in snow exceed sanitary standards. The main anthropogenic sources of environmental pollution are construction and road enterprises, thermal power plants, boiler houses, railway and road transport, landfills and waste dumps. To the very end of the water Lake Baikal there are garage and garden associations. Sources of snow water pollution with phosphates and ammonium are housing and communal facilities. There are 4 trunks, 8 departments and 16 types and 19 soil subtypes. Soils mainly have a light particle size distribution. In terms of the content of the main nutritional elements of plants, soils under the steppe are characterized by a satisfactory state. Contamination of HM soils in the recreational zone and on the territory of the garage-garden partnership located on the lake coast was revealed. Concentrations of Cu, Zn, Co in soils exceed MPC, which can be associated not only with anthropogenic sources, but also with deposits of rare metals.

Conclusion. The revealed correlations between the concentrations of macro- and microelements in various natural media (snow – soil) indicate their anthropogenic (Ti, V, Co, Ni, Mo), as well as natural (Si, Cu, Zn, Al, Cd, Fe, Sr) origin. The absence of any dependence for Pb, Sr and Mn (soil – snow) confirms their anthropogenic origin. In some cases (snow – soil – rock), simultaneous anthropogenic and natural input of Al, Mo, Si, Mn, Pb, Be, Ni, Zn, Ba, Cr, Cd, Fe, Sr into the snow and soil cover has been established. The probability of this process decreases from the identified strong correlation to a weak one.

Key words: soils, snow, atmosphere, Baikal-Amur highway, recreation, coast of the Lake Baikal.

Funding: This research was done using the funds of a state assignment (registration No. of the topic AAAA-A21-121012190055-7), and with the financial support from the Russian Foundation for Basic Research under scientific project Nos. 19-55-44020 Mong_t.

For citation: Belozertseva I.A., Vorobyeva I.B., Vlasova N.V. Pollution of Snow and Soils on the Northwest Coast of the Baikal Lake. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologia*, 2023, no. 1, pp. 76-92. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/1/76-92>

REFERENCES

1. *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical methods of soil research] / Z. G. Il'kovskaya, A. S. Konovalov, V. V. Ponomarev i dr. Moscow: Nauka, 1975. 656 p. (In Russ.)
2. *Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv sel'skokhozyaystvennykh ugodiy i rekomendatsii po primeneniyu*

udobreniy v OOO «Bil'chir» Osinskogo rayona Irkutskoy oblasti. Ocherk [Agrochemical characteristics of soils of agricultural lands and recommendations for the use of fertilizers in LLC "Bilchir" of the Osinsky district of the Irkutsk region. Essay] / Butyrin M.V. i dr. Irkutsk: FGBU Tsentr agrokhimicheskoy sluzhby «Irkutskiy», 2009. 29 p. (In Russ.)

© Belozertseva I.A., Vorobyeva I.B., Vlasova N.V., 2023

✉ Irina A. Belozertseva, e-mail: belozia@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

3. Alekin O.A., Semenov A.D., Skopintseva B.A. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu vod sushi* [Guidelines for the chemical analysis of land waters]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973. 269 p. (In Russ.)
4. Arinushkina E. V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guidelines for chemical analysis of soils]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1970. 487 p. (In Russ.)
5. *Baykal. Atlas* [Baikal. Atlas]. Moscow: GUK, 1993. 160 p. (In Russ.)
6. Belozertseva I.A., Sorokovoy A.A. *Pochvenno-ekologicheskoe rayonirovanie Baykal'skogo regiona (vkluychaya territoriyu Mongolii)* [Soil and ecological zoning of the Baikal region (including the territory of Mongolia)]. *Geodeziya i kartografiya*, 2018, no. 10, pp. 54-64. (In Russ.)
7. Burlyayeva M. O., Krivenko D. A., Kazanovskiy S. G. *Dikie rodichi kul'turnykh rasteniy na territorii Severo-Zapadnogo Pribaykal'ya (po materialam ekspeditsii 2014 goda)* [Wild relatives of cultivated plants on the territory of the North-Western Baikal region (based on the materials of the 2014 expedition)]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*, 2017, no. 178 (4), pp. 5-21. (In Russ.)
8. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods of investigation of physical properties of soils]. Moscow: Agropromizdat, 1986. 416 p. (In Russ.)
9. *Geografiya i geneticheskie osobennosti taezhnykh pochv Tsentral'noy zony Baykal'skoy prirodnoy territorii* [Geography and genetic features of taiga soils of the Central zone of the Baikal natural Territory] / Ts. Kh. Tsybzhitov, V. M. Korsunov, Ts. Ts. Tsybikdorzhiev i dr. *Pochvovedenie*, 2006, no. 10, pp. 1165-1177. (In Russ.)
10. *Geologo-geofizicheskie, prognozno-metallogenicheskie issledovaniya i perspektivy osvoeniya mineral'nykh resursov Severo-Baykal'skogo rudnogo rayona* [Geological-geophysical, predictive-metallogenic studies and prospects for the development of mineral resources of the North Baikal ore region] / I. V. Gordienko, A. N. Bulgatov, M. A. Nefed'ev, D. A. Orsoev. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sekt-sii nauk o Zemle RAEN*, 2014, no. 2 (45), pp. 5-18. (In Russ.)
11. *Geokhimiyaokruzhayushchey sredy Pribaykal'ya. Baykal'skiy geoekologicheskii poligon* [Geochemistry of the environment of the Baikal region. Baikal Geoecological polygon] / V. I. Grebenshchikova, E. E. Lustenberg, N. A. Kitaev, I. S. Lomonosov. Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo "Geo", 2008. 234 p. (In Russ.)
12. *GN 2.1.5.1315-03 "The maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in water of water objects of economic and drinking and cultural and community water use"*, 2003. – URL: http://www.infosait.ru/norma_doc/41/41363/index.htm (accessed 30.08.2020). – Text: electronic. (In Russ.)
13. *GOST 17.4.3.01-83 (ST SEV 3847-82) Okhrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob* [GOST 17.4.3.01-83 (ST SEV 3847-82) Nature protection. Soil. General sampling requirements]. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1984. 5 p. (In Russ.)
14. *GOST 17.1.5.05.85 Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob poverkhnostnykh i morskikh vod, l'da i atmosferykh osadkov (dozhd', rosa, sneg, grad, izmoroz')* [GOST 17.1.5.05.85 Nature protection. Hydrosphere. General requirements for sampling surface and sea waters, ice and precipitation (rain, dew, snow, hail, frost)]. Moscow: Gosudarstvennyy komitet Rossii po gidrometeorologii i kontrolyu prirodnoy sredy, 1985. 12 p. (In Russ.)
15. *GOST 2874-82. Drinking water. Hygienic requirements and control of quality*, 1995. – URL: <http://gostvoda.ru/d/677526/d/4-gost-2874-82.pdf> (accessed 30.08.2018). – Text: electronic. (In Russ.)
16. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2011-2017 godu»* [State Report "On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2011-2017"]. Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii RF, 2018. 888p. (In Russ.)
17. *Izmenenie klimata Zabaykal'ya vo vtoroy polovine KhKh veka po dannym nablyudeniy, i ozhidaemye ego izmeneniya v pervoy chetverti XXI veka* [Climate change in Transbaikalia in the second half of the twentieth century according to observations, and its expected changes in the first quarter of the XXI century] / A. V. Meshcherskaya V. A. Obyazov, E. G. Bogdanova i dr. *Izmenenie klimata tsentral'noy Azii: sotsial'no-ekonomicheskii i ekologicheskii posledstviya*, 2009, v. 559, pp. 32-57. (In Russ.)
18. *Karta rastitel'nosti yuga Vostochnoy Sibiri* [Vegetation map of the south of Eastern Siberia]. Moscow: GUGK, 1972. 4 l. (In Russ.)
19. *Kuz'min V. A. Pochvy kotlovin baykal'skogo tipa* [Soils of Baikal-type basins]. Irkutsk: Vostochno-Sibirskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1976. 144 p. (In Russ.)
20. *Landshafty yuga Vostochnoy Sibiri. Karta* [Landscapes of the south of Eastern Siberia. Map]. Moscow: GUGK, 1977. 4 l. (In Russ.)
21. *Mikheeva A. S. Territorial'nye osobennosti antropogennogo vozdeystviya na kachestvo atmosfernogo vozdukh (Respublika Buryatiya)* [Territorial features of anthropogenic impact on atmospheric air quality (Republic of Buryatia)]: avtoref. diss. ... kandidata geogr. nauk. Ulan-Ude, 1999. 248 p. (In Russ.)
22. *Mikheeva A. S. Zagryaznenie atmosfery* [Atmospheric pollution]. *Antropogennaya transformatsiya prirodnykh sistem i sotsial'no-ekonomicheskii posledstviya v basseynе reki Selengi*, 2012, pp. 124-133. (In Russ.)
23. *Nesterova L. A., Polyakova S. D. Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami kak indikator sostoyaniya prirodnoy sredy Tazheranskoй stepi* [Pollution of soils with heavy metals as an indicator of the Natural Environment State in the Tazheran steppe]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2017, no. 2, p. 68-73. (In Russ.)
24. *Obolkin V. A., Netsvetaeva O. G., Golobokova L. P. i dr. Rezul'taty mnogoletnykh issledovaniy kislotnykh vypadeniy v rayone Yuzhnogo Baykala* [Results of long-term investigations on acid deposition in the Area of South Baikal]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2013, no 2, pp. 151-157. (In Russ.)

25. Pochvy basseyna oz. Baykal: itogi issledovaniya za 1980-2017 gg. [Soils of the lake basin. Baikal: the results of the study for 1980-2017] / L. L. Ubugunov, V. I. Ubugunova, I. A. Belozertseva i dr. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2018, no. 4, pp. 76-87. (In Russ.)
26. Pochvy Buryatii: raznoobrazie, sistematika i klassifikatsiya [Soils of Buryatia: diversity, systematics and classification] / L. L. Ubugunov, V. I. Ubugunova, N. B. Badmaev i dr. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova*, 2012, no. 2, pp. 45-52. (In Russ.)
27. Pochvy vodookhrannoy zony ozera Baykal i ikh ispol'zovanie [Soils of the water protection zone of Lake Baikal and their use] / I. A. Belozertseva, I. N. Vladimirov, V. I. Ubugunova i dr. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2016, no. 5, pp. 62-71. (In Russ.)
28. *Rossiyskaya Gazeta - Federal Issue*. – URL: <https://rg.ru/2018/04/10/reg-sibfo/problema-s-ochistnymi-sooruzheniyami-na-beregu-bajkala-vse-eshche-ne-reshena.html> (accessed 10.01.2022). – Text: electronic. (In Russ.)
29. Rezanov I. N., Rezanova V. P. Geomorfologicheskoe stroenie poberezh'ya ozera Baykal [Geomorphological structure of the Lake Baikal coast]. *Baykal. Priroda i lyudi*, 2009, pp. 196-205. (In Russ.)
30. Semenov M. Yu., Semenov Yu. M., Silaev A. V. Issledovanie proiskhozhdeniya mikroelementov v rechnykh vodakh zapadnogo poberezh'ya ozera Baykal [Study of the origin of Microelements in the riverine waters of the west coast of Lake Baikal]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2021, no. 1 (152), pp. 76-81. (In Russ.)
31. Solodyankina S. V., Vanteeva Yu. V., Znamenskaya T. I. Eksperimental'nye issledovaniya, modelirovanie i kartografirovaniye prirodnykh funktsiy stepnykh landshtaftov Pribaykal'ya [Experimental studies, modeling and mapping of natural functions of the steppe landscapes Near Lake Baikal]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2020, no. 1, pp. 29-38. (In Russ.)
32. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soils] / pod red. L. A. Vorob'eva. Moscow: GEOS, 2006. 399 p. (In Russ.)
33. Trofimova I. E. Tipizatsiya i kartografirovaniye klimatov Baykal'skoy gorno-kotlovinnoy sistemy [Typification and mapping of the climates of the Baikal mountain-basin system]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2002, no. 2, pp. 53-61. (In Russ.)
34. Khatchinson D. R., Gol'mshtok A. Yu., Zonenshayn L. P. Osobennosti stroeniya osadochnoy tolshchi ozera Baykal po rezul'tatam mnogokanal'noy seysmicheskoy s"emki [Features of the structure of the sedimentary strata of Lake Baikal according to the results of multi-channel seismic survey]. *Geologiya i geofizika*, 1993, no. 10-11, pp. 25-36. (In Russ.)
35. Khodger T. V., Sorokovikova L. M. Otsenka postupleniya rastvorimyykh veshchestv iz atmosfery i s rechnym stokom v ozero Baykal [An assessment of the entry of soluble substances from the atmosphere and with river runoff into Lake Baikal]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2007, no. 3, pp. 185-191. (In Russ.)
36. *Ekologicheskii atlas basseyna ozera Baykal* [Ecological atlas of Lake Baikal basin]. Irkutsk: Institut geografii im. V. B. Sochavy SO RAN, 2015. 145 p. (In Russ.)
37. Yanchuk M. S., Vorobyova I. B., Vlasova N. V. Geoekologicheskaya otsenka sostoyaniya snega i l'da na Yuzhnom poberezh'e ozera Baykal [Geoecological assessment of snow and ice on the Southern coast of the Baikal Lake]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2021, no. 3, pp. 59-68. (In Russ.)
38. *Regnum*. – URL: <https://regnum.ru/news/2647583.html> (accessed 10.01.2022). – Text: electronic.
- Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 03.02.2022

Accepted: 27.02.2023

Белозерцева Ирина Александровна
кандидат географических наук, заведующая лабораторией Института географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7995-2298, e-mail: belozia@mail.ru

Воробьева Ирина Борисовна
кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-1353-7168, e-mail: irene@irigs.irk.ru

Власова Наталия Валерьевна
кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-4912-308X, e-mail: vlasova@irigs.irk.ru

Irina A. Belozertseva
Cand. Sci. (Geogr.), Head of the laboratory in V. B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7995-2298, e-mail: belozia@mail.ru

Irina B. Vorobyova
Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher in V. B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-1353-7168, e-mail: irene@irigs.irk.ru

Natalia V. Vlasova
Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher in V. B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-4912-308X, e-mail: vlasova@irigs.irk.ru