

Экологическое состояние побережья Малого Моря и его влияние на загрязнение озера Байкал

© 2021. И. А. Белозерцева, к. г. н., зав. лабораторией,
И. Б. Воробьева, к. г. н., с. н. с., Н. В. Власова, к. г. н., с. н. с.,
Д. Н. Лопатина, к. г. н., н. с., М. С. Янчук, м. н. с.,
Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН,
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 1,
e-mail: belozia@mail.ru

В 2016–2018 гг. проведены комплексные ландшафтно-географические исследования на побережье Малого Моря (пролив между островом Ольхон и западным берегом Байкала) с отбором проб снега, почв и поверхностных вод. Выявлено локальное загрязнение снега около населённых пунктов и турбаз побережья оз. Байкал. Содержание ионов аммония, фосфатов и нефтепродуктов в снеге побережья озера превышает ПДК. Источниками локального загрязнения снега тяжёлыми металлами (ТМ) прибрежной зоны озера являются автотранспорт и печное отопление населённых пунктов и турбаз, а также терригенная пыль почв и пород побережья. Санитарно-гигиеническое состояние воды самого оз. Байкал удовлетворительное благодаря тому, что загрязняющие вещества аккумулируются в почвах побережья, и происходит разбавление их концентрации огромным количеством воды озера. Зафиксировано загрязнение прибрежных вод Малого Моря и р. Сарма и Анга в рекреационной зоне. В прибрежных водах Малого Моря обнаружены высокие концентрации ионов аммония, фосфатов и свинца, превышающие ПДК вблизи населённых пунктов Сарма и Кулура. В водах рек Сарма и Анга выявлены высокие концентрации свинца и фосфатов. Изучены некоторые экологические и физико-химические свойства почв восточного Приольхонья на территории самого посещаемого туристами западного побережья оз. Байкал. Почвы исследуемой территории в основном маломощные сильно- и среднекаменистые, лёгкого гранулометрического состава с высоким содержанием гумуса, преимущественно с нейтральной и слабощелочной реакцией. Установлены высокие концентрации некоторых ТМ в почвах рекреационной зоны побережья. Кроме антропогенного имеется природный источник загрязнения – почвообразующие породы. В Приольхонье находятся месторождения меди и железа. Современное экологическое состояние почв побережья характеризуется средним уровнем загрязнения. Геохимическими барьерами являются органогенный и щелочной. Однако вследствие лёгкого гранулометрического состава почв может происходить загрязнение вод береговой зоны озера.

Ключевые слова: почвы, снег, вода, загрязнение, рекреация, Малое Море, озеро Байкал.

Ecological condition of the coast of the Maloe More strait and its influence on pollution of Lake Baikal

© 2021. I. A. Belozertseva ORCID: 0000-0001-7995-2298
I. B. Vorobyeva ORCID: 0000-0003-1353-7168, N. V. Vlasova ORCID: 0000-0003-4912-308X
D. N. Lopatina ORCID: 0000-0002-2696-0822, M. S. Yanchuk ORCID: 0000-0003-4970-2655
V. B. Sochava Institute of Geografy SB RAS,
1, Ulanbatorskaya St., Irkutsk, Russia, 664033,
e-mail: belozia@mail.ru

In 2016–2018 complex physiographic research with sampling of snow, soils and a surface water have been conducted at the coast of Maloe More – the strait between the western shore of Lake Baikal and Olkhon Island (literal meaning of strait name in Russian is Small Sea). Local pollution of snow and atmospheric air near settlements and camp sites of the coast of Lake Baikal is revealed. Content of ammonium, phosphates and oil products in snow exceed maximum allowable concentration. Pollution of coastal waters of the Maloe More strait and the Sarma River in a recreational zone is found. In the coastal waters the high levels of lead, phosphates and ammonium were found, exceeding sanitary standards near the settlements of Sarma and Kulur. High concentrations of lead and phosphates have been identified in the waters of the Sarma and Anga rivers. Ecological, chemical and physical soil properties of meadow and steppe landscapes of Olkhon district in the territory of the west coast of Lake Baikal which is most visited by tourists are studied. The studied soils have mainly small thickness and middle stony profile, light particle size distribution, high content of a humus, mainly neutral and weak alkaline reaction. As a result of the conducted research it is revealed that soils near tourist tracks are polluted by heavy met-

als. The ecological condition of soils at the present stage can be characterized as average degree of a disturbance as a result of recreational activity. Geochemical barriers are organic and alkaline. However, owing to light particle size distribution of soils there can be a pollution of waters of a coastal zone of the lake.

Keywords: soils, snow, water, pollution, recreation, Maloe More Strait, Lake Baikal.

Малое Море – так называют участок озера Байкал, отделённый от основной части островом Ольхон. Геоморфологические особенности территории, сухой климат, относительно тёплая вода Малого Моря из-за его малой глубины образуют специфические природные условия на побережье Байкала, которые в Иркутской области нигде более не наблюдаются. В рекреационном использовании территории исследования преобладает автотуризм в сочетании с палаточным («диким») отдыхом у воды (более 50 тыс. туристов за сезон) [1]. На территориях с высокой рекреационной нагрузкой выявлено уменьшение массы наземной растительности, переуплотнение и ускорение процессов эрозии почв по сравнению с фоновыми участками [2]. Цель исследования – изучение химического состава снега, поверхностных вод и почв на побережье Байкала.

Объекты и методы исследования

В 2015–2018 гг. авторами проведены ландшафтно-геохимические работы в Приольхонье. В зимне-весеннее время года были отобраны пробы снега на побережье, а также акватории Байкала. Параллельно зимой-весной, летом и осенью взяты образцы проб воды озера и рек. В летний период отобраны образцы почв побережья (рис. 1). Всего отобрано более 400 образцов снега, вод и почв на более чем 50 площадках. Отбор проб осуществляли на ключевых участках с учётом источников и направления миграции загрязняющих веществ. В таблицах приведены данные основных ключевых площадок: № 221 – п. Сарма, побережье; № 223 – оз. Байкал, п. Сарма; № 298 – турбазы, оз. Байкал; № 299 – Хагдан-Далай, турбазы; № 302 – Малое Море, побережье; № 303 – Малое Море, турбазы; № 304 – Малое Море, турбазы, оз. Байкал; № 307 – оз. Байкал, устье р. Шида; № 308 – р. Шида (зал. Мухор); № 310 – пролив Ольхонские ворота, паромная переправа, турбазы; № 315 – за о. Ольхон, оз. Байкал. На рисунке 1 отмечены основные ключевые участки с фотографиями ландшафтов и почв (номера площадок на рисунке 1 соответствуют номерам в таблицах).

Анализы проведены в полевых и лабораторных условиях в ИГ СО РАН по стандар-

тизованным методикам [3, 4]. Пробы воды из рек отбирали более чем в 5–10 м от берега с глубины 1 м, прибрежные воды оз. Байкал – до 10 м от берега с глубины 50 см. Пробы почв отбирали на основных элементах рельефа территории исследуемых устьев рек и на различном удалении от источников загрязнения. Почвенные образцы отобраны со всех горизонтов на глубину почвенного профиля.

Водородный показатель, содержание фторидов, хлоридов, гидрокарбонатов, фосфатов, ионов аммония, нитритов, взвешенных веществ в воде оз. Байкал и реках определяли в полевых условиях с помощью полевой комплексной химической лаборатории с дополнительным оборудованием (рН-метр, фотоколориметр и др.) в день отбора проб по стандартным общепринятым методикам. Содержание гидрокарбонатов в воде определяли титрометрическим методом, нитритов – фотометрическим методом с реактивом Грисса, хлоридов – аргентометрическим методом, нитратов – фотометрическим методом с салициловой кислотой, ионов аммония – фотометрическим методом с реактивом Несслера, фосфатов – фотометрическим методом с аскорбиновой кислотой. Содержание фторид-ионов измеряли фотометрическим методом с лантан-ализаринкомплексом.

Образцы снега отбирали снегомером ВС-43 по всей толще снежного покрова. Снег хранили и транспортировали в замороженном виде. В лабораторных условиях при комнатной температуре производили таяние снега, разделяли его на жидкую и твёрдую фазы. Твёрдую фазу снега (взвешенное вещество или твёрдый остаток на фильтре, пыль) отделяли и собирали на фильтре, его содержание определяли весовым методом. Величину рН, содержание F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , взвешенных веществ в снеговой воде определяли по стандартным вышеперечисленным методикам. Валовое содержание макро- и микроэлементов в снеговой воде и почве определено атомно-эмиссионным спектральным методом (Optima 2000 DV). Концентрацию нефтепродуктов устанавливали на флуориметре «Флюорат». Сравнение концентраций химических элементов в снеговой воде проводили с их показателями на фоновой территории, а также с ПДК и ОДК для поверхностных вод,

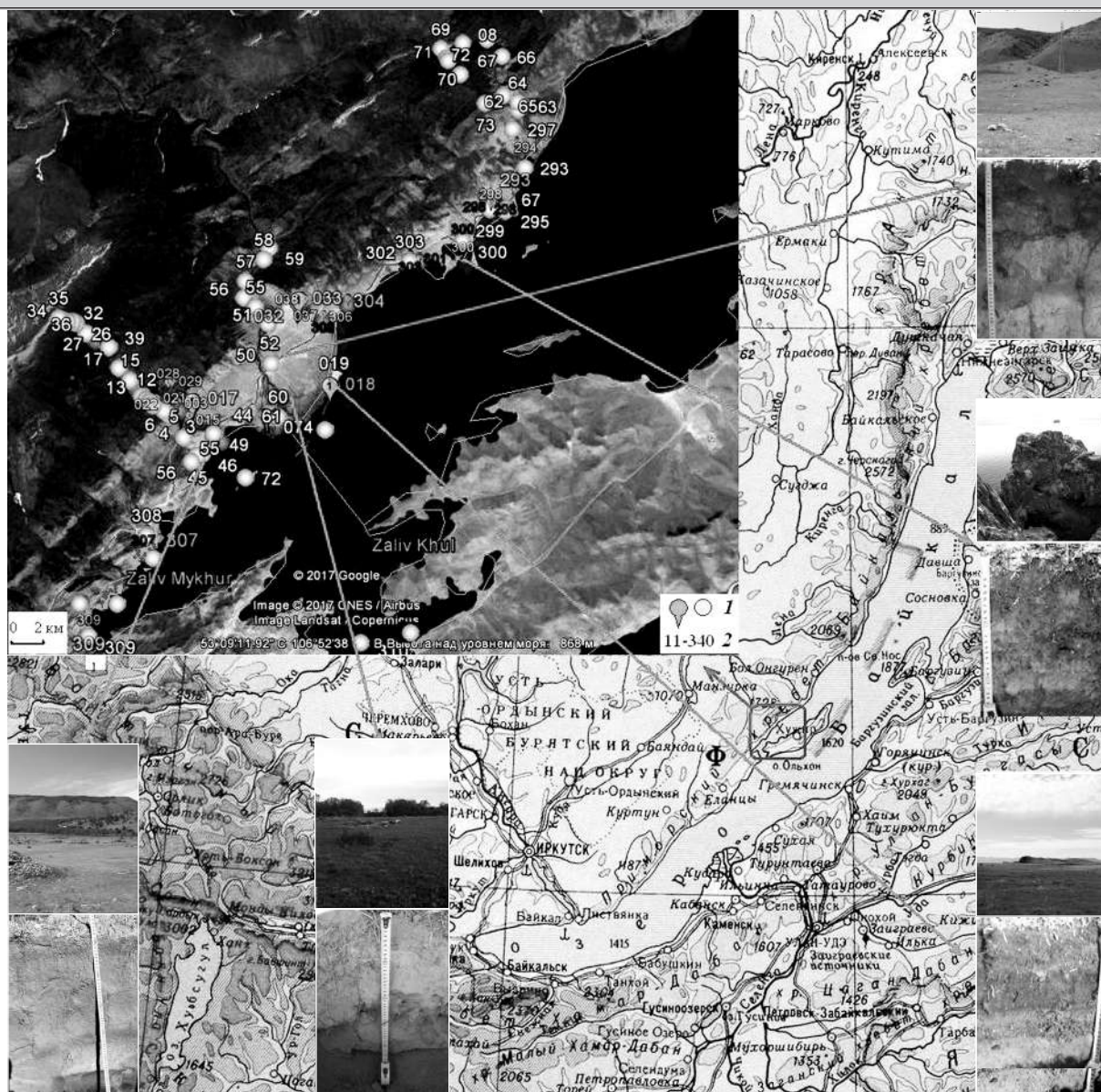


Рис. 1. Территория исследований – восточное Приольхонье: 1 – ключевой участок, 2 – номер площадки
 Fig. 1. The territory of research – East Priolkhonye: 1 – key plot, 2 – point number

так как при таянии талые снеговые воды почти не впитываются в мёрзлую почву и стекают в воды рек и оз. Байкал.

Физико-географические условия. Количество осадков в степях колеблется от 200 до 300 мм в год, в горной тайге – от 350 до 450 мм [1]. В Приольхонье выделяют следующие высотные пояса растительности: от горной тундры до возвышенного плато с горными степями и разреженными остепнёнными лиственничными лесами. На побережье озера имеют распространение гнейсы, мрамора и кристаллические сланцы. Встречаются фрагменты древних глинистых пестроцветных и красноцветных кор выветривания. Имеют широкое распространение серогумусовые почвы. Каштановые и так называемые «каштановые» почвы встречаются в предгорьях сухих степей [1].

В понижениях в более увлажнённых условиях сформировались тёмногумусовые почвы, встречаются чернозёмы. По долинам рек распространены аллювиальные перегнойно-глеевые, торфяно-глеевые, тёмногумусовые и гумусовые почвы. Под лесной растительностью формируются (дерново-)подбуры и (дерново-)подзолы, в присклоновой поверхности встречаются серые почвы.

Результаты и обсуждение

В результате проведённых исследований выявлено загрязнение снега побережья Малого моря вблизи населённых пунктов и турбаз. Наибольшие коэффициенты концентрации

Таблица 1 / Table 1
 Содержание нефтепродуктов и основных ионов в снеговой воде ключевых участков побережья и акватории оз. Байкал
 The content of oil products and the main ions in snow water at key areas of the coast and water area of Lake Baikal

№ площадки Key area	pH, ед. units	мг/дм ³ mg/dm ³															Susp., г/дм ³ g/dm ³	Σ*, мг/дм ³ mg/dm ³	Petrol., 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 ⁺						
221	6,5	0,076	4,27	3,85	12,11	0,015	0	0,005	1,75	0,35	0,23	0,41	0,40	0,086	11,47	0,060			
223	6,5	0,050	4,27	4,20	2,10	0,005	0	0,006	0,39	0,26	0,27	0,19	0,001	0,410	21,74	0,023			
298	6,7	0,088	4,88	3,50	0,11	0,050	0,35	0,001	0,42	0,10	0,14	0,31	0,20	0,256	10,15	0,043			
299	6,7	0,084	6,10	3,68	0,11	0,044	0,25	0,001	0,07	0,11	0,14	0,20	0,15	0,141	10,94	0,069			
302	6,5	0,103	4,27	1,75	23,10	0,050	0,21	0,001	0,84	0,17	0,20	0,19	0,08	0,204	30,96	0,034			
304	6,8	0,097	3,05	3,15	2,75	0,051	0,02	0,001	0,61	0,13	0,16	0,23	0,50	0,003	10,74	0,045			
307	6,2	0,064	3,05	2,63	2,75	0,051	0,01	0,001	0,42	0,10	0,15	0,31	0,01	0,005	9,55	0,039			
308	6,3	0,015	6,71	3,33	2,75	0,039	0,01	0,001	2,30	0,40	0,85	0,45	0,10	0,458	16,96	0,039			
310	6,0	0,045	3,66	2,28	17,60	0,034	0,01	0,015	0,34	0,09	0,11	0,13	0,01	0,035	24,33	0,032			
315	6,2	0,090	2,44	3,33	0,11	0,040	0	0,001	0,84	0,18	0,20	0,19	0,009	0,005	7,44	0,026			
Среднее / Average	6,4	0,066	3,78	3,04	6,06	0,034	0,07	0,002	1,00	0,19	0,25	0,25	0,08	0,154	14,83	0,034			
max	6,8	0,103	7,32	4,38	23,10	0,051	0,35	0,015	4,64	0,40	0,85	0,45	0,50	0,458	34,59	0,069			
min	6,1	0,015	1,22	1,58	0,11	0,005	0	0,001	0,07	0,09	0,11	0,13	0,001	0,003	5,57	0,009			
В целом, оз. Байкал Overall, Lake Baikal [5]	6,4	0,089	4,14	3,33	3,70	0,03	0,16	0,004	1,54	0,31	0,29	0,52	0,16	0,09	11,1	0,050			
ПДК, ОДК [6, 7] MPC, UEC [6, 7]		0,7–1,5	–	350	500	–	130	0,001	180	50	40–50	120–200	0,40	–	–	0,050			

Примечание: Σ* – минерализация; Petrol. – нефтепродукты; Susp. – взвешенные вещества (твёрдый остаток на фильтре, пыль). ПДК, ОДК – вод для питьевых и рыбохозяйственных нужд [6, 7]; прочерк – ПДК и ОДК не установлены.
 Note: Σ* – mineralization; Petrol. – petroleum products; Susp. – suspended substance (solid residue on filter, dust). MPC, UEC of water for drinking and fisheries needs [6, 7]; dash – MPC and UEC are not established.

Таблица 2 / Table 2
 Валовое содержание макро- и микроэлементов в снеговой воде (мг/дм³) ключевых участков побережья и акватории оз. Байкал
 Contents of macro- and microelements in snow water (mg/dm³) at key areas of the coast and water area of Lake Baikal

№ площадки Key area	Mo	Mn	Ba	Al	Pb	Ni	Cu	Be	V	Cr	Fe	Si	Zn	Sr	Ti	Co	Cd	Hg, мкг/дм ³ µg/dm ³
221	0,005	0,007	0,003	0,016	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,009	0,001	0,004	0,008	0,001	0,001	0,001	0,11
223	0,001	0,010	0,002	0,025	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,019	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,08
298	0,004	0,003	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,005	0,002	0,047	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,12
299	0,002	0,006	0,002	0,072	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,070	0,146	0,001	0,004	0,008	0,002	0,002	0,14
302	0,023	0,006	0,002	0,072	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,070	0,246	0,001	0,004	0,008	0,001	0,001	0,10
304	0,005	0,002	0,004	0,008	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,002	0,006	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,21
307	0,004	0,003	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,005	0,002	0,047	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,14
308	0,001	0,028	0,006	0,071	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,069	0,113	0,002	0,010	0,006	0,002	0,002	0,15
310	0,004	0,003	0,001	0,008	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,004	0,005	0,765	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,10
315	0,004	0,003	0,001	0,008	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,004	0,005	0,365	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,11
Среднее Average	0,003	0,006	0,003	0,026	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,023	0,106	0,002	0,005	0,002	0,001	0,001	0,13
max	0,023	0,028	0,006	0,072	0,001	0,002	0,004	0,002	0,004	0,005	0,070	0,765	0,004	0,010	0,008	0,002	0,002	0,21
min	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,08
В целом оз. Байкал Overall, Lake Baikal	0,005	0,008	0,004	0,018	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,012	0,088	0,005	0,010	0,002	0,001	0,001	0,25
ПДК, ОДК MPC, UEC	0,25	0,1	0,7	0,5	0,001	0,02	1,0	0,002	-	0,05	0,3	10	5,0- 1,0	7	-	0,1	0,001- 0,005	0,3-0,5

Таблица 3 / Table 3

Содержание химических элементов и веществ в воде озера Байкал и р. Сарма
Content of chemical elements and substances in water of Lake Baikal and the Sarma River

Компонент Component	Малое Море Maloe More n = 19			Прибрежные воды Coastal waters n = 26	Средний бассейн оз. Байкал Middle basin of Lake Baikal, n = 65	Река Сарма The Sarma River, n = 9			ПДК, ОДК МРС, УЕС
	max	min	среднее average			max	min	среднее average	
pH	7,81	7,08	7,66	8,01	7,33	8,28	7,81	7,98	–
F ⁻	0,146	0,008	0,122	0,200	0,122	0,191	0,070	0,112	0,7–1,5
HCO ₃ ⁻	65,74	10,01	40,13	81,07	40,13	82,02	36,50	60,32	–
Cl ⁻	1,61	0,10	0,40	1,50	0,30	2,50	0,20	0,67	350
SO ₄ ²⁻	24,75	2,18	6,10	25,08	7,37	20,10	1,60	5,23	500
NO ₂ ⁻	0,05	0,01	0,03	1,26	0,06	0,05	0,01	0,02	–
NO ₃ ⁻	4,67	0,01	0,65	55,00	0,05	11,60	0,01	2,67	130
PO ₄ ³⁻	0,01	0,001	0,003	0,061	0,001	0,060	0,002	0,028	0,001
Ca ²⁺	21,54	15,01	18,54	41,10	15,13	37,63	16,80	28,24	180
Mg ²⁺	5,02	3,69	3,99	8,78	2,78	8,55	3,41	6,34	50
K ⁺	1,91	0,90	1,19	2,18	1,43	1,89	0,31	0,75	40–50
Na ⁺	3,98	2,01	3,50	8,51	2,75	3,36	0,67	1,73	120–200
NH ₄ ⁺	0,400	0,010	0,055	0,640	0,015	0,036	0,005	0,019	0,4
Mo	0,035	0,002	0,020	0,102	0,004	0,009	0,001	0,005	0,25
Mn	0,003	0,002	0,002	0,029	0,002	0,010	0,001	0,007	0,1
Ba	0,050	0,009	0,021	0,070	0,013	0,019	0,009	0,016	0,7
Al	0,061	0,010	0,036	0,120	0,017	0,057	0,001	0,030	0,5
Pb	0,006	0,001	0,002	0,060	0,001	0,011	0,001	0,002	0,001
Ni	0,002	0,001	0,001	0,002	0	0,001	0,001	0,001	0,02
Cu	0,009	0,001	0,006	0,026	0,003	0,001	0,001	0,001	1,0
Be	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0	0	0	0,002
V	0,065	0,001	0,030	0,007	0,001	0,004	0,001	0,002	–
Cr	0,003	0,001	0,001	0,010	0,001	0	0	0	0,05
Fe	0,013	0,003	0,030	0,014	0,006	0,080	0	0,028	0,3
Si	5,600	0,294	0,720	6,510	0,219	4,610	2,536	3,769	10
Zn	0,007	0,004	0,005	0,090	0,001	0,012	0,002	0,009	5–1
Sr	0,530	0,065	0,189	0,620	0,044	0,127	0,058	0,097	7
Ti	0,015	0,001	0,006	0,002	0,001	0,006	0,001	0,003	–
Co	0,030	0,003	0,009	0,002	0,001	0,001	0	0	0,1
Cd	0,001	0	0,001	0,003	0	0,001	0	0	0,001
Hg	0,01	0,01	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01	0,01	0,3–0,5
Petrol.	0,026	0,004	0,018	0,045	0,018	0,016	0,003	0,009	0,05
Susp.	0,026	0,005	0,011	0,108	0,010	0,080	0,035	0,050	–
Σ	113,27	37,43	86,43	160,32	69,38	129,62	96,53	109,00	–

Примечание: n – количество проб; условные обозначения и единицы измерений приведены в таблице 1 и 2.

Note: n – number of samples; see Table 1 and 2 for schematic symbols and units.

(R_K) химических элементов в снеге побережья по отношению к их содержанию на фоновой территории (условно «чистой», не затронутой деятельностью человека) [5] имеют значения: SO₄²⁻ – 6,3; NH₄⁺ – 5,6; PO₄³⁻ – 3,8; K⁺ – 2,9; NO₃⁻ – 2,2; F⁻ – 1,2; Si – 8,7; Fe – 5,8; Mo –

4,6; Al – 4; Ti – 4; Mn – 3,5; Cr – 2,5; Ni – 2; V – 2; Ba – 1,5; нефтепродукты – 1,4 (табл. 1, 2). Концентрация PO₄³⁻ и нефтепродуктов в снеговой воде побережья превышают ПДК [6, 7] в 3,8 и 1,4 раза. При таянии снеговые воды стекают по мерзлой почве и попадают в реки

Таблица 4 / Table 4

Валовое содержание химических элементов в почвах (мг/кг) побережья Малого моря
Content of chemical elements in soils (mg/kg) of the Maloe More Strait

Координаты Coordinates	Почва Soil	Горизонт Horizon	Mn	Sr	Ba	Zn	Cu	Ni	Pb	Co	Cr	V	Cd
№ 52, N 53°05'48'', E 106°47'46''	каштановая castanozems	aj	1499	103	255	88	220	286	7	6	38	45	<0,05
		bmk	2608	51	430	109	284	270	10	5	33	42	
		вм	2623	95	490	102	214	278	11	6	44	48	
№ 55, N 53°05'56'', E 106°48'00''	тёмно- гумусовая umbrisols	au	1508	45	285	91	169	242	14	4	37	41	
		[ru ₁]	1556	39	316	66	183	259	13	6	41	50	
		с	1310	40	312	62	200	311	14	6	46	61	
№ 19, N 53°06'18'', E 106°50'56''	аллювиальная торфяно- глеявая histic gleyic fluvisols	tmr	204	49	41	53	17	22	15	9	31	29	
		cg	54	25	23	8,7	6,3	7	5	3	6,2	2	
№ 18, N 53°06'04'', E 106°52'06''	аллювиальная перегнойно- глеявая humic gleyic fluvisols	tmr	824	135	91	50	12	9	9	12	9,3	4	
		hmr	164	26	35	36	11	17	11	7	19	12	
		g	120	18	22	37	11	17	12	13	21	14	
		cg	118	17	16	29	6,9	16	7	4	19	12	
№ 297, N 53°07'10'', E 106°51'09''	серая gray soils, folic umbrisols	ay	385	95	77	46	28	20	10	11	39	29	
		ael / bel	405	65	67	51	31	27	13	13	54	40	
		btc	459	54	61	50	40	35	13	17	77	53	
№ 300, N 53°07'30'', E 106°51'42''	тёмно- гумусовая umbrisols	au	596	64	98	26	19	16	16	8	27	21	
		с	245	22	96	28	15	16	18	7	34	18	
№ 60, N 53°04'55'', E 106°46'41''	чернозём chernozems	au	310	180	338	40	62	107	61	27	64	46	
		BCA	621	265	478	46	79	128	25	59	137	78	
ОДК / MPC [9]			-	-	-	220- 110	132- 66	80- 40	130- 65	-	-	-	0,5- 1,0
ПДК / UEC [10]			1500	265	-	91	51	44	10	17	100	114	-

Примечание: ОДК и ПДК – ориентировочно и предельно допустимые концентрации.
Note: MPC, UEC – maximum permissible and indicative concentrations.

и оз. Байкал. Локальное загрязнение снега ТМ зафиксировано в прибрежной зоне озера, что связано не только с антропогенным воздействием населённых пунктов, а также с терригенным переносом пылевых частиц почв и пород во время сильных ветров с «оголённых» (не покрытых снеговым покровом) степных участков побережья. Повышенное содержание нефтепродуктов, NO₃⁻, NH₄⁺, SO₄²⁻, PO₄³⁻ и K⁺ в снеге связано с антропогенной деятельностью (бытовые стоки, печное отопление и автотранспорт).

Показатели химического состава воды самого оз. Байкал, с точки зрения её питьевых качеств, соответствует санитарно-гигиеническим нормам. Однако, в прибрежных водах Малого моря обнаружены высокие содержания Pb, PO₄³⁻ и NH₄⁺, превышающие

ПДК вблизи населённых пунктов Сарма и Кулура (табл. 3).

Концентрации Pb в прибрежных водах Малого моря напротив п. Сарма достигают 0,06 мг/дм³, п. Кулура – 0,009 мг/дм³. Источником загрязнения прибрежных вод свинцом являются: почвообразующие породы с его высоким содержанием, сжигание углей при печном отоплении и моторное топливо. Максимальные концентрации фосфатов (PO₄³⁻) выявлены в прибрежных водах озера напротив х. Кулура – 0,06 мг/дм³, п. Сарма – 0,04 мг/дм³, что связано с поступлением в воду бытовых стоков и моющих средств, вследствие чего может происходить зарастание водных объектов. Максимальные концентрации NH₄⁺ в воде побережья озера напротив населённых пунктов Кулура и Сарма имеют значения –

0,64 и 0,55 мг/дм³. Источниками загрязнения прибрежных вод являются неочищенные воды канализаций и диффузных фильтраций из индивидуальных септиков. В водах рек Анга и Сарма выявлены высокие концентрации Pb и PO₄³⁻, превышающие ПДК.

Установлена нейтральная реакция среды (6,8–7,3 ед.) в тёмногумусовой почве с щелочными погребёнными горизонтами (8,2–8,4 ед.). Остальные почвы исследуемой территории в основном со слабощелочной и щелочной реакцией (7,6–8,4 ед.). Нижние горизонты аллювиальной перегнойно-глеевой, а также верхние горизонты аллювиальной торфяно-глеевой и серой почвы близки к нейтральной реакции среды (6,2–7,2 ед.). Исследуемые почвы в основном с высоким содержанием органического углерода, которое, например, в тёмногумусовой почве достигает 17%. Почвы преимущественно супесчаного и лёгкосуглинистого гранулометрического состава (сумма фракций < 0,01 варьирует от 16 до 24%).

Высокие концентрации никеля и меди установлены в каштановой и тёмногумусовой почвах на месте туристических стоянок (табл. 4). Содержание никеля в почвах превышает санитарно-гигиенические нормы в 2,5–4 раза, меди – в 1,1–2 раза. На тех же площадках выявлены повышенные концентрации марганца в каштановой и тёмногумусовой почвах, превышающие ПДК в 1,7 раза. Обнаружено высокое содержание никеля, кобальта, хрома и свинца, превышающее ПДК в 1,4–2 раза в чернозёме на побережье вблизи научно-учебной базы Иркутского государственного университета, заброшенного рыбохозяйственного комплекса и туристической базы. В аллювиальной перегнойно-глеевой и торфяно-глеевой почвах побережья, а также в серой и тёмногумусовой почвах на присклоновой территории с наименьшей антропогенной нагрузкой высоких значений концентрации ТМ не зафиксировано.

В результате проведённых исследований обнаружены более высокие концентрации ТМ в почвах на остепнённых участках предгорий и побережья с большой рекреационной нагрузкой по сравнению с почвами среднегорий таёжных лесов и заболоченных лугов, которые редко посещают туристы. Источником загрязнения почв ТМ могут являться также почвообразующие породы. На территории исследования встречаются почвы с высоким содержанием Fe и химических элементов его группы, вследствие того, что в Приольхонье

зафиксированы проявления аккумуляций меди и железа [4]. В Приольхонье вели добычу полезных ископаемых, в основном на небольших месторождениях фосфоритов, пегматитов, железных и марганцевых руд.

Заключение

Современное экологическое состояние почв и поверхностных вод побережья Малого моря оценивается как неудовлетворительное со средним уровнем загрязнения. Локальное загрязнение снегового покрова акватории оз. Байкал выявлено около турбаз и прибрежных населённых пунктов побережья. Санитарно-гигиеническое состояние воды самого оз. Байкал в данное время удовлетворительное. Загрязняющие вещества аккумулируются в почвах побережья и устьев рек, а попавшие повышенные концентрации их разбавляются большим количеством воды озера. Установлено высокое содержание токсичных элементов и веществ в почвах вблизи населённых пунктов побережья и прибрежных водах Малого моря. Обнаружены высокие концентрации фосфатов и свинца в воде рек Анга и Сарма.

Почвы вблизи туристических стоянок и населённых пунктов загрязнены ТМ, превышающие санитарно-гигиенические нормы. Щелочной и органогенный геохимические барьеры способствуют накоплению ТМ в почвах побережья и устьев рек, т. е. они являются сдерживающим фактором поступления загрязняющих веществ в Байкал. При благоприятных условиях, например, при подкислении в условиях лёгкого гранулометрического состава почв, загрязняющие вещества могут мигрировать и поступать в прибрежные воды Малого моря, что установлено проведёнными исследованиями. Выявлено, что наиболее высокие концентрации ТМ наблюдаются в поверхностных и прибрежных водах, а также в почвах рекреационной зоны побережья Байкала. Кроме того, имеется природный источник загрязнения почв ТМ – почвообразующие породы. Тяжёлые металлы в поверхностных водах способны аккумулироваться в водных растениях прибрежных территорий и негативно влиять на здоровье людей, которые употребляют данную воду для питья [9, 10].

Исследование выполнено за счёт средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190055-7, АААА-А19-119080700040-8) и при финансовой

поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-55-44020 Монг_т.

References

1. Ecologically focused planning of land use in the Baikal region. Olkhon district / Ed. A.N. Antipov. Irkutsk: IG SB RAS, 2004. 147 p. (in Russian).
2. Znamenskaya T.I., Vanteeva J.V., Solodyankina S.V. Factors of the development of water erosion in the zone of recreation activity in the Ol'khon region // Eurasian Soil Science. 2018. No. 2. P. 221–228. doi: 10.1134/S1064229318020151
3. Shpeyzer G.M., Mineeva L.A. Guide to the chemical analysis of waters: a methodical grant. Irkutsk state university, 2006. 55 p. [Internet resource] <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/170/37170> (Accessed: 03.02.2021) (in Russian).
4. Theory and practice of chemical analysis of soils / Ed. L.A. Vorobyov. Moskva: GEOS, 2006. 399 p. (in Russian).
5. Belozertseva I.A., Vorobyova I.B., Vlasova N.V., Lopatina D.N., Yanchuk M.S. Snow pollution in lake Baikal water area in Nearby Land Areas // Water Resources. 2017. No. 1. P. 471–484. doi: 10.1134/S0097807817030046
6. 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 [Internet resource] http://www.infosait.ru/norma_doc/41/41363/index.htm (Accessed: 30.08.2020) (in Russian).
7. The maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in the soil: hygienic standards of GN 2.1.7.2041-06. Moskva: Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2006. 15 p. (in Russian).
8. The maximum indicative concentrations (UEC) of chemicals in the soil. Hygienic standards of GN 2.1.7.2042-06. Moskva: Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2006. 11 p. (in Russian).
9. Galiulin R.V., Galiulina R.A., Kochurov B.I. Accumulation of heavy metals by water plants in conditions of technogenesis // Theoretical and Applied Ecology. 2013. No. 2. P. 81–85 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2013-2-081-085
10. Galiulin R.V., Galiulina R.A., Kochurov B.I. Technogenesis contamination of environment by carcinogenic substances // Theoretical and Applied Ecology. 2015. No. 2. P. 42–46 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2015-2-042-042-046