

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД

УДК 911.2; 556.557

DOI: 10.15372/GIPR20220510

**И.А. БЕЛОЗЕРЦЕВА, И.Б. ВОРОБЬЕВА, Н.В. ВЛАСОВА**

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, Улан-Баторская, 1, Россия,  
belozia@mail.ru, Irene@irigs.irk.ru, vlasova@irigs.irk.ru

### ЗАГРЯЗНЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ЛАНДШАФТОВ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ В УСТЬЯХ РЕК ГОЛОУСТНАЯ, САРМА, КИКА И БАРГУЗИН

*Представлены результаты геохимических исследований компонентов ландшафтов устьевых зон притоков (реки Голоустная, Сарма, Кика и Баргузин) и побережья оз. Байкал. Дана оценка загрязнения снега, почв, растительности и поверхностных вод. Установлено, что наибольшие загрязнения отмечаются в устьях Голоустной и Баргузина. Для р. Голоустной это связано с загрязнением почвенного покрова и снега в результате атмосферного переноса загрязняющих веществ при выбросах предприятий Иркутского промышленного узла. Вода в р. Баргузин сильно загрязнена, в значительной степени вследствие поступления загрязнителей с вышележащих участков водосбора. В устьевой зоне р. Сармы основные загрязнители образуются в результате рекреационной деятельности и поступают в почвы, речные и озерные воды. Территория устья р. Кики испытывает значительные рекреационные нагрузки, но имеет относительно низкий уровень загрязнения почв и воды. Аккумуляция веществ, загрязняющих побережье и прибрежные воды, происходит на геохимических барьерах почв и аллювиальных отложений. Повышение уровня воды в озере и извлечение из них элементов не приводит к критическому уровню допустимых норм, установленных СанПиН для питьевой воды. Однако имеются локальные участки с повышенным содержанием токсичных элементов и веществ в прибрежных водах оз. Байкал и почвах вблизи населенных пунктов побережья (Сарма, Усть-Баргузин, Большое Голоустное).*

**Ключевые слова:** загрязнение, компоненты ландшафта, поверхностные воды, почва, растительность, снег.

**I.A. BELOZERTSEVA, I.B. VOROBYEVA, N.V. VLASOVA**

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, belozia@mail.ru, Irene@irigs.irk.ru, vlasova@irigs.irk.ru

### POLLUTION OF LANDSCAPE COMPONENTS OF THE COAST OF LAKE BAIKAL IN THE MOUTHS OF THE GOLOUSTNAYA, SARMA, KIKA AND BARGUZIN RIVERS

*This article presents the results of geochemical studies of the main landscape components in the estuarine zones of the tributaries (Goloustnaya, Sarma, Kika, and Barguzin) and the coast of Lake Baikal. An assessment is made of the pollution of snow, soil, vegetation and surface waters. It was established that the most severe pollution is observed in the mouths of the Goloustnaya and Barguzin rivers. In the case of the Goloustnaya river this is due to soil and snow pollution as a result of the atmospheric transfer of emissions from the Irkutsk industrial center. The water in the Barguzin river is heavily polluted, largely as a result of pollutants from overlying catchment areas. In the mouth of the Sarma river, the main pollutants are due to recreational activities and enter soils and river and lake waters. The territory of the mouth of the Kika river is experiencing significant recreational loads but has relatively low levels of soil and water pollution. Accumulation of pollutants occurs on the geochemical barriers of soils and alluvial deposits. A rise of the water level in the lake does not lead to a critical level of permissible content of pollutants, and the quality of drinking water complies with sanitary standards. However, there are local areas with increased levels of toxic elements and substances in the coastal waters of Lake Baikal and in soils near coastal settlements (Sarma, Ust'-Barguzin, and Bol'shoe Goloustnoye).*

**Keywords:** pollution, landscape components, surface water, soil, vegetation, snow.

## ВВЕДЕНИЕ

Геохимические исследования ландшафтов побережья оз. Байкал становятся все более актуальными в связи с рекреационным освоением, которое в той или иной степени сказывается на целостности покомпонентного состава. Особенно страдают наиболее заселенные устьевые участки рек, впадающих в озеро. Реки Кика и Баргузин впадают в Байкал на северо-восточном побережье, а Голоустная и Сарма — на западном. В последние десятилетия сотрудниками различных научных организаций (МГУ, Институт географии и геоэкологии академии наук Монголии, Институт географии СО РАН, Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Байкальский институт природопользования СО РАН, Институт геохимии СО РАН, Иркутский государственный университет, Бурятский государственный университет) проведены исследования загрязнения почв и поверхностных вод побережья оз. Байкал и других ключевых участков Байкальского региона.

Проведенные ранее работы и полученные результаты указывают на интенсивное загрязнение атмосферы, снега, поверхностных вод и почв на различных ключевых участках Байкальского региона [1–8]. Однако некоторые вопросы по загрязнению основных компонентов ландшафтов остаются актуальными, имеют дискуссионный характер и требуют дополнительных исследований. Например, вклад различных источников в загрязнение побережья озера, дальность переноса поллютантов и ареал распространения загрязнения, вероятность миграции токсических веществ в грунтовые воды и в оз. Байкал. Кроме того, экологическая ситуация трансформируется, так как меняются антропогенная нагрузка и экологические условия. После спада промышленного производства в 1990-х гг. в последнее десятилетие наблюдается его подъем. Мощность производства предприятий алюминиевой и нефтехимической промышленности возросла.

Несмотря на большой исследовательский интерес к озеру, в научной литературе геохимические характеристики устьев рек и сопредельных территорий освещены недостаточно полно. Исследовано содержание некоторых элементов и веществ в компонентах ландшафтов на ключевых участках Байкальского региона. К сожалению, комплексных работ, выполненных на основе системного подхода к изучению внешних и внутренних факторов возникновения опасных экологических ситуаций, крайне мало. Наиболее отвечает системному подходу работа В.И. Гребеншиковой и др. [3].

Цель данной работы — оценка степени загрязнения компонентов природных комплексов устьевых областей притоков оз. Байкал на примере рек Голоустная, Сарма, Кика и Баргузин.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований в рамках поставленной цели выбраны четыре реки, впадающие в Байкал с противоположных берегов, — Кика, Баргузин, Голоустная и Сарма — с различной антропогенной нагрузкой и разными природными условиями.

Исток р. Голоустной находится на северном склоне Приморского хребта, в 5 км от побережья озера, где растительный покров представлен кедрово-пихтовыми кустарничково-мелкотравно-зеленомошными лесами. Удаляясь от озера и делая петлю, чтобы вернуться к Байкалу, река пересекает остепененные и заболоченные луга, постепенно сменяющиеся кустарничково-разнотравными листовенничниками. В нижнем течении, распадаясь на несколько рукавов, река выходит в безлесные мелкодерновинно-злаковые степи. Количество местных жителей в устье Голоустной составляет около 600 чел. С учетом того, что территория прилегает к устью, наблюдается небольшой поток туристов, около 65 тыс. в год. Однако в будущем, с развитием инфраструктуры рекреационная нагрузка будет увеличиваться.

Река Сарма берет свое начало на Приморском хребте, в 10 км от побережья, где господствуют пихтово-кедровые чернично-травяно-зеленомошные леса с присутствием бадана. Растительность долины реки по всему ее течению представлена в основном травяно-зеленомошными ельниками с листовенницей, на склонах господствуют травянистые сосняки с подлеском из рододендрона даурского. В устье, выходя из ущелья, река оказывается в низкоразнотравных и полынных степях. Малое количество осадков и геоморфологические особенности создают уникальные природные условия, которые больше нигде не встречаются на побережье Байкала. В Приольхонье наблюдается самая большая рекреационная нагрузка, сюда и на о. Ольхон ежегодно приезжает более 150 тыс. туристов. Численность населения и туристов в пик сезона в самом устье р. Сармы небольшая — 100–1000 чел./день. Несмотря на наличие десятков туристических баз, популярен неорганизованный палаточный туризм.

Река Баргузин берет начало в окружении гольцов, сменяющихся лиственничниками с подлеском из кедрового стланика, в днищах котловин отмечается распространение сосны. Лиственничники в сочетании с заболоченными лугами в верхнем течении реки в середине сменяются разнотравными сосняками, с участками заболоченных лугов и ерниковых болот. Устьевая часть подвержена антропогенному воздействию, долина и террасы заняты жилыми постройками и хозяйственными объектами. В пгт Усть-Баргузин и устье р. Баргузин численность населения составляет около 7 тыс. чел. Прибрежная территория Баргузинского залива имеет статус особо охраняемой природной территории и используется в рекреационных целях. Поток туристов достигает около 60 тыс. в год.

Река Кика впадает в Байкал в 1,5 км юго-западнее с. Гремячинск. Берет начало на хр. Улан-Бургасы в окружении кедрово-еловых с лиственницей кустарничково-зеленомошных с баданом лесов, которые постепенно сменяются кустарничково-разнотравными сосняками. Выходя на широкую низменность, р. Кика течет по долинным осоково-злаковым заболоченным лугам. В устьевой части господствуют лиственничные долинные заболоченные луга в сочетании с болотами и ерниками, которые соседствуют с песчаным побережьем озера. В 1,5 км от устья р. Кики расположено с. Гремячинск. Количество местных жителей около 800 чел. На песчаном побережье озера, прилегающем к зоне впадения реки, развивается рекреационная деятельность. Рекреационная нагрузка в с. Гремячинск составляет около 4 тыс. чел. в год.

Все реки, несмотря на разное местоположение, имеют много общего. Беря начало в условиях горной тайги, в устье они оказываются в степных условиях, на всем протяжении не испытывают техногенного воздействия, за исключением долины Баргузина, где расположены населенные пункты. Приустьевые территории испытывают достаточно сильное воздействие от поселений и туристических потоков.

Экспериментальные работы, включающие отбор проб воды, снега, почв и растительности проводились в 2015–2019 гг. Отбор проб осуществлялся на ключевых площадках с учетом источников загрязнения. Всего отобрано 188 образцов почв и растительности, снега — 191, поверхностных вод — 189. Снежный покров отбирался снегомером ВС-43 по всей толще с определением высоты и плотности (веса). На момент отбора период снегонакопления составил 131–140 дней. Пробы воды в реках и прибрежной части оз. Байкал отбирались стеклянной бутылкой и батометром. Образцы почв и растительности отбирались на основных элементах рельефа исследуемых устьев рек и на различном удалении от источников загрязнения. Почвенные образцы взяты со всех горизонтов на глубину почвенного профиля. Из мощных горизонтов (более 20 см) отбиралось несколько образцов.

Химические анализы выполнены в лаборатории геохимии ландшафтов и географии почв и химико-аналитическом центре ИГ СО РАН по стандартным методикам (ГОСТ). Величину pH, содержание фторидов, хлоридов, гидрокарбонатов, фосфатов, аммония, нитритов, взвешенных веществ в воде определяли в полевых условиях с помощью полевой комплексной химической лаборатории с дополнительным оборудованием (pH-метр, фотоколориметр и др.) непосредственно в день отбора проб по стандартным общепринятым методикам с учетом требований ГОСТов [9–13]. Содержание металлов установлено количественным атомно-эмиссионным спектральным методом с использованием прибора Optima 2000DV. Концентрация нефтепродуктов определена с помощью люминесцентного фотометрического анализатора «Флюорат». Пробы воды для определения концентрации тяжелых металлов консервировались соляной кислотой и хранились в стеклянной посуде не более 5 сут, для определения содержания нефтепродуктов консервировались хлороформом и хранились в темной стеклянной посуде не более 3 сут.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Почвы.** Почвы устьев рек являются естественным биогеохимическим барьером на пути миграции загрязняющих веществ в оз. Байкал. Интенсивность сорбции загрязняющих веществ почвами зависит от содержания в ней коллоидов, способных адсорбировать ионы, а также от способности обменивать поглощенные ионы на ионы водных растворов. Наибольшей сорбционной способностью на исследуемой территории обладают почвы с более щелочной реакцией, тяжелым гранулометрическим составом, значительным органомным и гумусовым горизонтом. Такие высокие экологические свойства характерны для пойменных почв устьев рек благодаря содержанию большого количества илстых веществ. При этом в условиях активного антропогенного прессинга сорбционный эффект может снижаться, что приводит к вымыванию химических элементов из почвы. Оценка степени загрязнения почв производилась в сравнении с предельно и ориентировочно допустимыми концентрациями загрязнителей (ПДК, ОДК) в почвах [14–16].

Почвы устья р. Голоустной представлены в основном аллювиальными темногумусовыми, черноземовидными и аллювиальными гумусовыми, встречаются темно- и серогумусовые метаморфизованные выщелоченные, а также аллювиальные торфяно-глеевые. Они характеризуются легкосуглинистым гранулометрическим составом, средней мощностью гумусового горизонта (6–30 см), высоким содержанием гумуса (в среднем 4–10 % и более), нейтральной и слабощелочной средой, за исключением аллювиальных торфяно-глеевых почв. Содержание Mn, Ni, Cu и Cr превышает ПДК и ОДК в 1,2–3,8 раза (табл. 1), что связано с их природным происхождением. Высокое содержание Mn и Ni в верхних горизонтах обусловлено их биогенным накоплением. Источником значительного содержания Cr и Cu служат карбонатные почвообразующие породы. Загрязняющие вещества сорбируются на органоминеральных и щелочных барьерах. Часть токсических веществ захватывается илстыми частицами пойменных почв. Некоторые почвы обладают легкосуглинистым гранулометрическим составом, что свидетельствует об их низких сорбционных свойствах.

Устьевой участок р. Сармы представлен черноземами, каштановидными, аллювиальными темногумусовыми и торфяно-глеевыми почвами. Также здесь встречаются каштановые, черноземовидные, слоисто-аллювиальные и серо-гумусовые. В основном они маломощные, каменистые, имеют легкий гранулометрический состав и высокое содержание гумуса. Экологическое состояние почв устьевого участка р. Сармы можно характеризовать средней степенью антропогенного загрязнения. Концентра-

Таблица 1

## Содержание макро- и микроэлементов в верхних горизонтах почв (0–20 см) и золе растений (2015–2019 гг.)

| Содержание                                                                                          | Fe  | Ca   | Mg  | Ti  | Mn    | Ba   | Cr  | Cu     | Co | Sr  | V   | Ni    | Pb     | Нефте-продукты |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|-----|-----|-------|------|-----|--------|----|-----|-----|-------|--------|----------------|
|                                                                                                     | %   |      |     |     | мг/кг |      |     |        |    |     |     |       |        |                |
| Почвы устья р. Голоустной, 2018–2019 гг., 22 образца                                                |     |      |     |     |       |      |     |        |    |     |     |       |        |                |
| Max                                                                                                 | 2,2 | 1,8  | 0,8 | 0,4 | 5707  | 1013 | 159 | 63     | 11 | 184 | 55  | 55    | 14     | 22             |
| Min                                                                                                 | 1,2 | 1,3  | 0,4 | 0,2 | 1325  | 439  | 114 | 9      | 5  | 97  | 27  | 44    | 9      | 5              |
| Среднее                                                                                             | 1,6 | 1,5  | 0,5 | 0,3 | 1498  | 653  | 121 | 23     | 8  | 187 | 38  | 39    | 12     | 17             |
| Почвы устья р. Сармы, 2015–2019 гг., 44 образца                                                     |     |      |     |     |       |      |     |        |    |     |     |       |        |                |
| Max                                                                                                 | 5,1 | 14,4 | 2,4 | 6,1 | 6010  | 606  | 137 | 79     | 59 | 349 | 97  | 128   | 61     | 20             |
| Min                                                                                                 | 1,3 | 0,2  | 0,3 | 0,2 | 269   | 197  | 27  | 10     | 3  | 76  | 19  | 10    | 7      | 6              |
| Среднее                                                                                             | 3,6 | 3,1  | 1,1 | 1,1 | 1242  | 373  | 79  | 34     | 14 | 137 | 54  | 47    | 14     | 12             |
| Почвы устья р. Кики, 2015–2018 гг., 21 образец                                                      |     |      |     |     |       |      |     |        |    |     |     |       |        |                |
| Max                                                                                                 | 2,3 | 3,9  | 1,1 | 0,3 | 710   | 1708 | 40  | 23     | 10 | 468 | 90  | 15    | 10     | 18             |
| Min                                                                                                 | 0,9 | 1,6  | 0,4 | 0,1 | 261   | 1473 | 5   | 7      | 2  | 411 | 19  | 5     | 11     | 15             |
| Среднее                                                                                             | 1,6 | 2,8  | 0,8 | 0,2 | 486   | 1591 | 23  | 15     | 6  | 440 | 55  | 10    | 10,5   | 17             |
| Почвы устья р. Баргузин, 2015–2018 гг., 23 образца                                                  |     |      |     |     |       |      |     |        |    |     |     |       |        |                |
| Max                                                                                                 | 2,8 | 2,6  | 0,7 | 0,6 | 618   | 1231 | 31  | 20     | 10 | 399 | 87  | 6     | 10     | 7              |
| Min                                                                                                 | 1,0 | 2,2  | 0,3 | 0,2 | 292   | 773  | 11  | 8      | 4  | 257 | 28  | 4     | 8      | 5              |
| Среднее                                                                                             | 1,9 | 2,4  | 0,5 | 0,4 | 472   | 1002 | 21  | 14     | 7  | 314 | 58  | 5     | 9      | 6              |
| Фон*                                                                                                | —   | 2,2  | 1,9 | —   | 1046  | —    | 100 | 51     | 17 | 265 | 100 | 44    | 10     | —              |
| ОДК [26]                                                                                            | —   | —    | —   | —   | —     | —    | —   | 66–132 | —  | —   | —   | 40–80 | 65–130 | 1000           |
| ПДК [26]                                                                                            | —   | —    | —   | —   | 1500  | —    | 100 | 33–32  | 17 | —   | 150 | 20–80 | 32–130 | —              |
| Лугово-степная растительность (злаки, разнотравье) в устье р. Голоустной, 2018–2019 гг., 21 образец |     |      |     |     |       |      |     |        |    |     |     |       |        |                |
| Max                                                                                                 | 1,2 | 1,8  | 1,4 | 0,4 | 2504  | 0,8  | 90  | 10     | 4  | 375 | 19  | 15    | 0,8    | —              |
| Степная растительность (злаки) в устье р. Сармы, 2015–2019 гг., 32 образца                          |     |      |     |     |       |      |     |        |    |     |     |       |        |                |
| Max                                                                                                 | 1,5 | 2,4  | 1,6 | 0,9 | 1950  | 0,6  | 110 | 10     | 8  | 601 | 32  | 22    | 1,0    | —              |
| Луговая растительность (злаки, разнотравье) в устье р. Кики, 2015–2018 гг., 14 образцов             |     |      |     |     |       |      |     |        |    |     |     |       |        |                |
| Max                                                                                                 | 2,2 | 2,0  | 2,1 | 0,9 | 1010  | 0,9  | 12  | 20     | 20 | 110 | 51  | 34    | 0,8    | —              |
| Лугово-болотная (злаки, осока) растительность в устье р. Баргузин, 2015–2018 гг., 11 образцов       |     |      |     |     |       |      |     |        |    |     |     |       |        |                |
| Max                                                                                                 | 2,5 | 2,5  | 1,7 | 0,4 | 512   | 0,2  | 59  | 35     | 14 | 301 | 56  | 37    | 1      | —              |
| ПДК [27]                                                                                            | —   | —    | —   | —   | —     | —    | —   | 10     | —  | —   | —   | —     | 1      | —              |

Примечание. Прочерк – не установлено.

\* Региональный фон в аллювиальных почвах [3].

ции Mn, Cr, Cu, Ni, Pb превышают ПДК и ОДК в 1,2–4 раза. При этом ряд исследователей отмечает, что многие макро- и микроэлементы в почвах, превышающие ПДК, имеют природное происхождение и поступают из почвообразующих пород [3]. На территориях, прилегающих к побережью озера и устью р. Сармы, имеются месторождения меди, железных и марганцевых руд [17, 18], которые служат источником поступления химических элементов в почвы. Содержание тяжелых металлов в почвах луговых и лугово-болотных комплексов не превышает санитарно-гигиенические нормы. Почвы рекреационных участков отличаются высоким содержанием органического вещества, величина pH изменяется от слабощелочных к щелочным. Это способствует накоплению тяжелых металлов и характеризует почвы как депонирующую среду и геохимический барьер для поступления загрязняющих веществ в оз. Байкал, но легкий гранулометрический состав (супесчаный и песчаный с низким содержанием илстых частиц) сильно снижает их защитные свойства [19, 20].

Почвы устья р. Баргузин представлены аллювиальными перегнойно-глеевыми и аллювиальными торфяно-глеевыми, встречаются аллювиальные темногумусовые, аллювиальные гумусовые и слоисто-аллювиальные [21]. Они преимущественно слабокислые и нейтральные, характеризуются хорошим экологическим состоянием, мощным органогенным и гумусовым горизонтами. Содержание углерода в почвах высокое, концентрации тяжелых металлов и других токсичных элементов не превышают ПДК и ОДК. Мощные торфянистые и гумусовые горизонты способны сорбировать значительное количество загрязняющих веществ.

Почвы в устье р. Кики слабообразованные, маломощные, легкого гранулометрического состава с низким содержанием гумуса и нейтральной реакцией среды. Фоновый состав почв представляют слоисто-аллювиальные, аллювиальные гумусовые, псаммоземы, местами встречаются серо-гумусовые и темно-гумусовые почвы. Содержание макро- и микроэлементов в почвах не превышает ПДК и ОДК. Почвы с низкой устойчивостью к антропогенному воздействию, часто супесчаные и песчаные с преобладанием песчаной фракции, через которые токсические вещества легко мигрируют в водоемы.

**Растительность.** Пониженные участки устья р. Голоустной представлены разнотравно-злаковыми лугами. Склоны и прибрежные участки озера, прилегающие к дельте, заняты остепененными сосновыми и лиственничными лесами, достаточно чувствительными к изменениям естественных условий. Антропогенные нарушения ландшафтов ведут к интенсификации склонового стока, развитию эрозионных процессов, поступлению продуктов размыва и плоскостного смыва в устья водотоков и далее в озеро. Луговая растительность, благодаря развитой корневой системе, обладает высокой устойчивостью к механическим воздействиям.

Растительные сообщества устьевого участка р. Сармы изменяются от сухих степей в вершине дельты до заболоченных лугов на побережье оз. Байкал. Большая часть территории покрыта литофильными степями в сочетании с типчаковыми и петрофитными разнотравно-мелкодерновинно-злаковыми группировками. Луговая растительность достаточно устойчива к антропогенным воздействиям, в отличие от разреженных каменистых степей на склонах. На участках с высокой рекреационной нагрузкой в условиях переуплотнения и эрозии почв наблюдается снижение продуктивности растительности [22].

Склоны долины на устьевом участке р. Баргузин заняты сосновыми травяными лесами с кустарниковым подлеском в сочетании с мелколиственными деревьями и достаточно чувствительны к антропогенным воздействиям. Пониженная часть устья представлена осоково-вейниковыми лугами и травяными болотами, на отдельных участках отмечается присутствие длительно мерзлых пород, которые, в отличие от пойменных лугово-болотных комплексов, малоустойчивы к антропогенному воздействию.

Растительный покров в устье р. Кики разреженный и фрагментарный, в основном представлен остепененными лугами, полынно-злаковой степью и лугово-болотными комплексами. На побережье озера растительность отсутствует. Присклоновая поверхность и повышенные участки рельефа покрыты сосновыми и лиственнично-сосновыми кустарничково-травяными лесами. Очень легкий гранулометрический состав почв и разреженный растительный покров определяют низкую устойчивость ландшафтов устья к антропогенным воздействиям. Однако в условиях невысокой антропогенной нагрузки деградация растительного покрова здесь отмечается лишь фрагментарно на отдельных участках.

Анализ содержания загрязняющих веществ в растениях проводился в сравнении с нормами ПДК. Коэффициент биологического поглощения Mn, Sr, Mg растительностью степных и луговых ландшафтов из почв устьев рек Голоустной и Сармы изменяется в интервале от 1,3 до 2 раз [19]. При этом содержание макро- и микроэлементов в растениях не превышает санитарно-гигиенические нормы для растительного сырья. В устье Кики и Баргузина отмечено повышенное содержание меди в растениях — выше ПДК в 2 и 3,5 раза соответственно (см. табл. 1), при низкой концентрации в расте-

ниях других изучаемых макро- и микроэлементов. В растительности луговых и лугово-болотных ассоциаций зафиксировано значительное количество микроэлементов.

**Снег и поверхностные воды.** Загрязнение подстилающей поверхности в результате поступления химических веществ с атмосферным переносом определялось по содержанию загрязняющих веществ в снеге. Снежный покров, обладающий высокой сорбционной способностью, является наиболее информативным объектом для выявления техногенного загрязнения.

Результаты исследования химического состава снеговой воды со льда акватории оз. Байкал и в местах впадения изучаемых притоков показали отсутствие загрязнения в районах устьев Сармы и Кики, где содержание макро- и микроэлементов не превышало ПДК. В устьях Голоустной и Баргузина зафиксированы превышения фоновых значений гидрокарбонатов, сульфатов, натрия, свинца, алюминия, марганца, железа и титана (табл. 2, 3). Концентрации фосфатов имеют наиболее высокие значения, в устье Баргузина превышение ПДК составляет 3–5 раз, в устье Голоустной — до 8. В устье р. Голоустной концентрация аммонийного азота в снеговой воде превышает санитарно-гигиенические нормы более чем в шесть раз [23]. Повышенное содержание химических элементов в снеге обусловлено атмосферным переносом выбросов с урбанизированных территорий, а также ветровым переносом терригенной пыли пород и частиц почвы с бесснежных степных участков.

По результатам проведенных исследований установлена прямая (положительная) корреляционная связь между концентрацией химических элементов в снеге и содержанием их в почве (высокая — Са, Си; средняя — Fe, Mn, V, Cr, Co, Ni; слабая — Mg, Ba) (табл. 4). Высокий коэффициент корреляции (КК) свидетельствует о привносе вышеперечисленных элементов в снег из почв на ранних этапах становления снежного покрова в результате эолового переноса. Вероятность данного процесса возрастает от выявленной слабой корреляционной связи до сильной. Однако это не исключает их одновременного антропогенного происхождения в случае средней и слабой корреляционной связи. Наблюдается очень слабая обратная (отрицательная) корреляционная связь (практически ее отсутствие) между концентрацией Ti и Pb (КК = –0,02 и –0,05) в снеге и содержанием их в почве, что говорит о следующей зависимости: чем меньше в почве данных химических элементов, тем больше их в снеге, а это может свидетельствовать об их антропогенном происхождении. Отсутствие всякой зависимости (КК < 0,1) указывает на то, что почва не является их основным источником поступления в снежный покров.

Степень загрязнения поверхностных вод определялась стандартно в сравнении с ПДК для рыбохозяйственных водоемов. В результате проведенного анализа выявлено, что содержание токсичных элементов в воде рек Голоустной и Кики, в устьевой части, не превышает санитарно-гигиенические нормы. Высокие концентрации  $\text{PO}_4^{3-}$  выявлены в воде рек Баргузин и Сарма — 0,08 и 0,06 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. В устьевых водах р. Баргузин содержание нефтепродуктов достигает 0,08 мг/дм<sup>3</sup>, свинца — 0,020, фосфатов — 0,07 мг/дм<sup>3</sup>, что значительно превышает ПДК. Также отмечается повышенное содержание железа (до 0,24 мг/дм<sup>3</sup>) и цинка (0,01 мг/дм<sup>3</sup>). В поверхностных водах устьев рек Кика и Баргузин наблюдается увеличение содержания меди (до 0,04 мг/дм<sup>3</sup>), превышающее фоновое в 1,5–2 раза (см. табл. 4).

Согласно проведенным анализам вод оз. Байкал и почв побережья, установлено, что химический состав воды литоральной зоны озера с точки зрения ее питьевых качеств отвечает требованиям санитарных норм вследствие аккумуляции загрязняющих веществ в почвах и аллювиальных отложениях, а также из-за разбавления огромным количеством воды озера [25, 26]. Однако в прибрежных водах локально обнаружены высокие концентрации свинца, никеля, фосфатов и нефтепродуктов, превышающие санитарно-гигиенические нормы вблизи населенных пунктов Сарма, Усть-Баргузин, Большое Голоустное.

Концентрация свинца в прибрежных водах оз. Байкал вблизи пгт Усть-Баргузин — 0,020 мг/дм<sup>3</sup>, что обусловлено влиянием двух факторов: естественным природным повышенным содержанием элемента в почвах и почвообразующих породах, а также поступлением из атмосферы в результате сжигания углей [3, 30]. Содержание никеля превышает ПДК в три раза. Сравнение содержания данного элемента с фоновыми природными концентрациями в почвах, грунтах и поверхностных водах свидетельствует об антропогенном генезисе. Повышенное содержание никеля, относящегося к канцерогенным элементам, имеет техногенное происхождение и связано с промышленными (котельные) и бытовыми (сжигание угля) выбросами.

Максимальное содержание  $\text{PO}_4^{3-}$  в прибрежных водах озера около дер. Сарма — 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (ПДК — 0,001 мг/дм<sup>3</sup>). Превышение возможно как в результате поступления с поверхности водосбора, так и с бытовыми сточными водами и вследствие гигиенических процедур туристов в палаточных городках, что приводит к эвтрофированию водных объектов (как пример, экологическая катастрофа 2008–2011 гг.

Таблица 2  
Содержание химических элементов и веществ в воде рек Голоустная, Сарма, Кика и Баргузин, прибрежных водах оз. Байкал, снеговых водах дельт рек (2015–2019 гг.)

| Содержание                                                     | pH  | Анионы             |                               |                 |                               |                              |                              | Катионы                       |                  |                  |                |                 | Взве-<br>шенное<br>веще-<br>ство | Минера-<br>лизация | Нефте-<br>продук-<br>ты |                              |  |
|----------------------------------------------------------------|-----|--------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|--|
|                                                                |     | F <sup>-</sup>     | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> |                                  |                    |                         | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> |  |
|                                                                |     | мг/дм <sup>3</sup> |                               |                 |                               |                              |                              |                               |                  |                  |                |                 |                                  |                    |                         |                              |  |
| Снеговые воды в устье р. Голоустной, 2015–2019 гг., 54 образца |     |                    |                               |                 |                               |                              |                              |                               |                  |                  |                |                 |                                  |                    |                         |                              |  |
| Max                                                            | 6,7 | 0,22               | 7,32                          | 4,38            | 13,60                         | 0,033                        | 0,012                        | 0,078                         | 3,00             | 1,24             | 0,73           | 1,02            | 9,600                            | 0,210              | 41,2                    | 0,045                        |  |
| Min                                                            | 6,1 | 0,02               | 2,44                          | 2,10            | 0,01                          | 0,010                        | 0,001                        | 0,001                         | 0,62             | 0,12             | 0,12           | 0,17            | 0,001                            | 0,003              | 5,6                     | 0,018                        |  |
| Среднее                                                        | 6,3 | 0,08               | 4,15                          | 3,24            | 0,94                          | 0,021                        | 0,007                        | 0,009                         | 1,23             | 0,39             | 0,31           | 0,54            | 1,924                            | 0,070              | 12,8                    | 0,024                        |  |
| Снеговые воды в устье р. Сармы, 2015–201 гг., 52 образца       |     |                    |                               |                 |                               |                              |                              |                               |                  |                  |                |                 |                                  |                    |                         |                              |  |
| Max                                                            | 6,8 | 0,10               | 6,32                          | 4,38            | 3,10                          | 0,051                        | 0,350                        | 0,005                         | 4,64             | 0,40             | 0,85           | 0,45            | 0,300                            | 0,458              | 21,0                    | 0,049                        |  |
| Min                                                            | 6,1 | 0,02               | 1,22                          | 1,58            | 0,11                          | 0,005                        | 0,000                        | 0,001                         | 0,07             | 0,09             | 0,11           | 0,13            | 0,001                            | 0,003              | 3,3                     | 0,009                        |  |
| Среднее                                                        | 6,4 | 0,07               | 3,78                          | 3,04            | 0,56                          | 0,034                        | 0,070                        | 0,002                         | 1,00             | 0,19             | 0,25           | 0,25            | 0,080                            | 0,154              | 9,3                     | 0,034                        |  |
| Снеговые воды в устье р. Кики, 2015–2018 гг., 42 образца       |     |                    |                               |                 |                               |                              |                              |                               |                  |                  |                |                 |                                  |                    |                         |                              |  |
| Max                                                            | 7,4 | 0,10               | 6,10                          | 3,85            | 0,30                          | 0,025                        | 0,010                        | 0,003                         | 4,22             | 1,00             | 0,37           | 0,50            | 0,010                            | 0,150              | 16,5                    | 0,004                        |  |
| Min                                                            | 6,2 | 0,06               | 1,22                          | 2,98            | 0,01                          | 0,001                        | 0,001                        | 0,001                         | 1,03             | 0,16             | 0,06           | 0,18            | 0,001                            | 0,063              | 5,7                     | 0,002                        |  |
| Среднее                                                        | 6,5 | 0,08               | 2,66                          | 3,45            | 0,09                          | 0,013                        | 0,003                        | 0,002                         | 2,34             | 0,48             | 0,21           | 0,28            | 0,004                            | 0,103              | 9,6                     | 0,003                        |  |
| Снеговые воды в устье р. Баргузин, 2015–2018 гг., 43 образца   |     |                    |                               |                 |                               |                              |                              |                               |                  |                  |                |                 |                                  |                    |                         |                              |  |
| Max                                                            | 6,4 | 0,06               | 9,76                          | 4,20            | 23,01                         | 0,009                        | 0,001                        | 0,045                         | 2,21             | 0,33             | 0,67           | 1,61            | 0,001                            | 0,339              | 41,9                    | 0,044                        |  |
| Min                                                            | 6,1 | 0,05               | 1,83                          | 3,04            | 0,00                          | 0,004                        | 0,001                        | 0,001                         | 0,90             | 0,25             | 0,12           | 0,28            | 0,001                            | 0,203              | 6,5                     | 0,014                        |  |
| Среднее                                                        | 6,2 | 0,06               | 4,70                          | 3,55            | 6,01                          | 0,007                        | 0,001                        | 0,006                         | 1,46             | 0,29             | 0,33           | 0,43            | 0,001                            | 0,287              | 16,9                    | 0,027                        |  |
| Фон*                                                           | 6,4 | 0,09               | 4,14                          | 3,33            | 3,70                          | 0,030                        | 0,016                        | 0,004                         | 1,54             | 0,31             | 0,29           | 0,52            | 0,16                             | 0,090              | 11,1                    | 0,050                        |  |
| Вода р. Голоустной, 2015–2019 гг., 44 образца                  |     |                    |                               |                 |                               |                              |                              |                               |                  |                  |                |                 |                                  |                    |                         |                              |  |
| Max                                                            | 8,2 | 0,19               | 70,15                         | 4,97            | 16,20                         | 0,084                        | 0,200                        | 0,009                         | 32,47            | 14,50            | 2,37           | 5,97            | 0,250                            | 0,033              | 122,8                   | 0,010                        |  |
| Min                                                            | 7,9 | 0,10               | 40,10                         | 1,70            | 2,10                          | 0,001                        | 0,010                        | 0,000                         | 16,72            | 5,30             | 0,47           | 2,33            | 0,020                            | 0,029              | 94,1                    | 0,005                        |  |
| Среднее                                                        | 8,1 | 0,15               | 56,30                         | 3,52            | 10,20                         | 0,038                        | 0,104                        | 0,005                         | 23,14            | 9,60             | 1,25           | 3,79            | 0,154                            | 0,031              | 108,4                   | 0,007                        |  |

| Вола р. Сармы, 2015–2019 гг., 32 образца                                     |     |         |       |      |       |       |        |            |       |      |       |         |         |       |       |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|---------|-------|------|-------|-------|--------|------------|-------|------|-------|---------|---------|-------|-------|-----------|
| Max                                                                          | 8,3 | 0,19    | 82,02 | 2,50 | 20,10 | 0,050 | 11,600 | 0,060      | 37,63 | 8,55 | 1,89  | 3,36    | 0,040   | 0,080 | 113,3 | 0,016     |
| Min                                                                          | 7,8 | 0,07    | 36,50 | 0,20 | 1,60  | 0,010 | 0,010  | 0,002      | 16,80 | 3,41 | 0,31  | 0,67    | 0,010   | 0,035 | 37,4  | 0,003     |
| Среднее                                                                      | 7,9 | 0,11    | 60,32 | 0,67 | 5,23  | 0,020 | 2,670  | 0,028      | 28,24 | 6,34 | 0,75  | 1,73    | 0,020   | 0,050 | 86,4  | 0,009     |
| Вола р. Кики, 2015–2018 гг., 12 образцов                                     |     |         |       |      |       |       |        |            |       |      |       |         |         |       |       |           |
| Max                                                                          | 7,9 | 0,23    | 61,56 | 2,45 | 4,91  | 0,010 | 0,100  | 0,003      | 27,95 | 2,74 | 2,10  | 3,59    | 0,021   | 0,060 | 105,2 | 0,023     |
| Min                                                                          | 7,5 | 0,10    | 20,41 | 0,18 | 0,76  | 0,008 | 0,010  | 0,001      | 6,89  | 1,74 | 0,76  | 1,05    | 0,001   | 0,034 | 32,0  | 0,001     |
| Среднее                                                                      | 7,7 | 0,13    | 31,56 | 1,78 | 1,01  | 0,009 | 0,050  | 0,002      | 17,95 | 2,16 | 1,01  | 2,50    | 0,010   | 0,041 | 58,8  | 0,003     |
| Вола р. Баргузин, 2015–2018 гг., 24 образца                                  |     |         |       |      |       |       |        |            |       |      |       |         |         |       |       |           |
| Max                                                                          | 8,1 | 0,22    | 90,06 | 18,5 | 20,10 | 0,200 | 11,600 | 0,077      | 38,85 | 8,55 | 2,96  | 11,37   | 0,250   | 0,169 | 120,2 | 0,080     |
| Min                                                                          | 7,3 | 0,09    | 36,58 | 1,60 | 1,00  | 0,008 | 0,010  | 0,001      | 16,80 | 3,39 | 0,40  | 1,90    | 0,010   | 0,042 | 96,5  | 0,002     |
| Среднее                                                                      | 7,9 | 0,16    | 65,27 | 4,12 | 2,70  | 0,034 | 1,550  | 0,012      | 28,95 | 4,33 | 1,94  | 4,86    | 0,062   | 0,111 | 111,6 | 0,004     |
| Прибрежные воды оз. Байкал, с. Большое Голоустное, 2015–2019 гг., 24 образца |     |         |       |      |       |       |        |            |       |      |       |         |         |       |       |           |
| Max                                                                          | 7,9 | 0,20    | 68,20 | 0,01 | 0,10  | 0,011 | 0,010  | 0,000      | 19,09 | 3,93 | 1,05  | 3,06    | 0,020   | 0,019 | 95,7  | 0,340     |
| Прибрежные воды оз. Байкал, с. Сарма, 2015–2019 гг., 22 образца              |     |         |       |      |       |       |        |            |       |      |       |         |         |       |       |           |
| Max                                                                          | 8,1 | 0,29    | 92,10 | 1,32 | 5,10  | 0,06  | 0,010  | 0,010      | 15,07 | 3,30 | 1,06  | 2,31    | 0,140   | 0,070 | 120,8 | 0,008     |
| Прибрежные воды оз. Байкал, устье р. Кики, 2015–2018 гг., 12 образцов        |     |         |       |      |       |       |        |            |       |      |       |         |         |       |       |           |
| Max                                                                          | 6,4 | 0,21    | 55,05 | 1,60 | 1,01  | 0,032 | 1,450  | 0,003      | 11,94 | 2,71 | 1,31  | 2,77    | 0,0290  | 0,052 | 77,1  | 0,002     |
| Прибрежные воды оз. Байкал, пгт Усть-Баргузин, 2015–2018 гг., 19 образцов    |     |         |       |      |       |       |        |            |       |      |       |         |         |       |       |           |
| Max                                                                          | 8,2 | 0,25    | 92,05 | 1,79 | 20,03 | 0,014 | 0,010  | 0,010      | 16,02 | 3,52 | 1,04  | 3,52    | 0,0210  | 0,050 | 120,3 | 0,009     |
| Фон**                                                                        | –   | 0,10    | –     | –    | –     | –     | –      | –          | 36,0  | 9,0  | 1,00  | –       | –       | –     | –     | –         |
| ПДК, ОДК [25, 26]                                                            | –   | 0,7–1,5 | –     | 350  | 500   | 3     | 45–130 | 0,01–0,001 | 180   | 50   | 40–50 | 120–200 | 1,5–2,0 | –     | –     | 0,050–0,3 |

Примечание. Прочерк – не установлено.

\* Региональный фон для снеговых вод [24].

\*\* Региональный фон для поверхностных вод [3].

Таблица 3

Содержание макро- и микроэлементов (в мг/дм<sup>3</sup>) воде рек Голоустная, Сарма, Кика и Баргузин, прибрежных водах оз. Байкал, снеговых водах дельт рек (2015–2019 гг.)

| Содержание                                                     | Mo    | Mn    | Ba    | Al    | Pb    | Ni    | Cu    | V     | Cr    | Fe    | Zn    | Sr    | Ti    | Co     | Cd    |
|----------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Снеговые воды в устье р. Голоустной, 2015–2019 гг., 54 образца |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
| Max                                                            | 0,009 | 0,054 | 0,008 | 0,073 | 0,005 | 0,002 | 0,007 | 0,003 | 0,002 | 0,070 | 0,026 | 0,014 | 0,008 | 0,002  | 0,002 |
| Min                                                            | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,001  | 0,001 |
| Среднее                                                        | 0,003 | 0,015 | 0,003 | 0,017 | 0,002 | 0,001 | 0,004 | 0,002 | 0,001 | 0,014 | 0,010 | 0,006 | 0,002 | 0,001  | 0,001 |
| Снеговые воды в устье р. Сармы, 2015–2018 гг., 52 образца      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
| Max                                                            | 0,023 | 0,028 | 0,006 | 0,032 | 0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,030 | 0,004 | 0,010 | 0,002 | 0,002  | 0,002 |
| Min                                                            | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,001  | 0,001 |
| Среднее                                                        | 0,003 | 0,006 | 0,003 | 0,016 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,013 | 0,002 | 0,005 | 0,001 | 0,001  | 0,001 |
| Снеговые воды в устье р. Кики, 2015–2018 гг., 42 образца       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
| Max                                                            | 0,013 | 0,011 | 0,004 | 0,029 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,020 | 0,013 | 0,025 | 0,002 | 0,001  | 0,001 |
| Min                                                            | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,009 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,004 | 0,001 | 0,001  | 0,001 |
| Среднее                                                        | 0,007 | 0,007 | 0,003 | 0,017 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,007 | 0,013 | 0,001 | 0,001  | 0,001 |
| Снеговые воды в устье р. Баргузин, 2015–2018 гг., 43 образца   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
| Max                                                            | 0,006 | 0,054 | 0,005 | 0,077 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,052 | 0,01  | 0,021 | 0,006 | 0,002  | 0,002 |
| Min                                                            | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,014 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,006 | 0,001 | 0,005 | 0,001 | 0,001  | 0,001 |
| Среднее                                                        | 0,003 | 0,023 | 0,003 | 0,041 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,028 | 0,005 | 0,011 | 0,003 | 0,002  | 0,002 |
| Фон*                                                           | 0,005 | 0,008 | 0,004 | 0,018 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,012 | 0,005 | 0,010 | 0,002 | 0,001  | 0,001 |
| Вода р. Голоустной, 2015–2019 гг., 44 образца                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
| Max                                                            | 0,017 | 0,002 | 0,027 | 0,063 | 0,004 | 0,002 | 0,005 | 0,009 | 0,002 | 0,085 | 0,067 | 0,072 | 0,013 | 0,001  | 0,001 |
| Min                                                            | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,026 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,046 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Среднее                                                        | 0,006 | 0,001 | 0,012 | 0,043 | 0,003 | 0,001 | 0,003 | 0,005 | 0,001 | 0,027 | 0,027 | 0,062 | 0,006 | 0,0007 | 0,001 |
| Вода р. Сармы, 2015–2019, 32 образца                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
| Max                                                            | 0,009 | 0,010 | 0,019 | 0,057 | 0,011 | 0,001 | 0,001 | 0,004 | 0,000 | 0,080 | 0,012 | 0,127 | 0,006 | 0,001  | 0,001 |
| Min                                                            | 0,001 | 0,001 | 0,009 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,058 | 0,001 | 0,000  | 0,000 |
| Среднее                                                        | 0,005 | 0,007 | 0,016 | 0,030 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,000 | 0,028 | 0,009 | 0,097 | 0,003 | 0,000  | 0,000 |

Вода р. Кики, 2015–2018 гг., 12 образцов

|         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Max     | 0,002 | 0,004 | 0,010 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,047 | 0,001 | 0,001 | 0,005 | 0,002 | 0,049 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| Min     | 0,001 | 0,001 | 0,005 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,029 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Среднее | 0,001 | 0,003 | 0,007 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,011 | 0,001 | 0,000 | 0,002 | 0,002 | 0,038 | 0,000 | 0,001 | 0,000 |

Вода р. Баргузин, 2015–2018 гг., 24 образца

|         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Max     | 0,011 | 0,060 | 0,024 | 0,050 | 0,020 | 0,001 | 0,044 | 0,003 | 0,001 | 0,240 | 0,012 | 0,190 | 0,005 | 0,002 | 0,002 |
| Min     | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,035 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| Среднее | 0,003 | 0,008 | 0,019 | 0,020 | 0,002 | 0,001 | 0,011 | 0,001 | 0,001 | 0,043 | 0,001 | 0,103 | 0,002 | 0,001 | 0,001 |

Прибрежные воды оз. Байкал, с. Большое Голоустное, 2015–2019 гг., 24 образца

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Max | 0,002 | 0,000 | 0,012 | 0,015 | 0,000 | 0,000 | 0,012 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,066 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Прибрежные воды оз. Байкал, с. Сарма, 2015–2019 гг., 22 образца

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Max | 0,028 | 0,001 | 0,007 | 0,009 | 0,010 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,000 | 0,075 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Прибрежные воды оз. Байкал, устье р. Кика, 2015–2018 гг., 12 образцов

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Max | 0,001 | 0,006 | 0,008 | 0,046 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,070 | 0,007 | 0,047 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Прибрежные воды оз. Байкал, пгт Усть-Баргузин, 2015–2018 гг., 19 образцов

|                   |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |         |       |       |        |             |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|--------|-------------|
| Max               | 0,001 | 0,040 | 0,010 | 0,050 | 0,020       | 0,006 | 0,011 | 0,001 | 0,010 | 0,030 | 0,011   | 0,120 | 0,020 | 0,010  | 0,000       |
| Фон**             | –     | 0,024 | –     | –     | 0,002       | –     | 0,002 | –     | 0,005 | –     | 0,020   | 0,142 | –     | 0,0004 | –           |
| ПДК, ОДК [25, 26] | 0,07  | 0,1   | 0,7   | 0,5   | 0,010–0,001 | 0,02  | 1,0   | 0,1   | 0,05  | 0,3   | 5,0–1,0 | 7     | –     | 0,1    | 0,001–0,005 |

Примечание. Прочерк – не установлено.

\* Региональный фон для снеговых вод [24].

\*\* Региональный фон для поверхностных вод [3].

Таблица 4

**Коэффициенты корреляции между концентрациями химических элементов: в снеге и почве (КК<sup>1</sup>), почве и водах рек (КК<sup>2</sup>), почве и прибрежных водах оз. Байкал (КК<sup>3</sup>) (по данным со 110 ключевых участков)**

| Коэффициенты корреляции | Химические элементы |      |      |       |       |       |       |       |       |      |       |      |       |  |  |
|-------------------------|---------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|--|--|
|                         | Ca                  | Mg   | Fe   | Ti    | Mn    | Ba    | Pb    | Ni    | Cu    | V    | Cr    | Sr   | Co    |  |  |
| КК <sup>1</sup>         | 0,73                | 0,26 | 0,42 | –0,02 | 0,56  | 0,26  | –0,05 | 0,54  | 0,79  | 0,42 | 0,52  | 0,68 | 0,49  |  |  |
| КК <sup>2</sup>         | 0,57                | 0,30 | 0,45 | 0,28  | –0,07 | –0,03 | 0,39  | 0,28  | –0,1  | 0,29 | 0,36  | 0,13 | 0,27  |  |  |
| КК <sup>3</sup>         | 0,21                | 0,10 | 0,27 | –0,01 | –0,22 | –0,08 | 0,08  | –0,21 | –0,13 | 0,08 | –0,16 | 0,12 | –0,06 |  |  |

на оз. Котокель). Развитие возбудителей гаффской болезни в водах озера, по предположению ученых, связано с интенсивным развитием хозяйственно-рекреационной деятельности на берегах водоема при недостаточной очистке сточных вод [31].

Выявлено высокое содержание меди и цинка в береговых водах, превышающее фоновые концентрации около пос. Большое Голоустное и пгт Усть-Баргузин, — более 0,01 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрации нефтепродуктов в прибрежных водах вблизи Большого Голоустного составляют от 0,06 до 0,34 мг/дм<sup>3</sup> (ПДК — 0,05 мг/дм<sup>3</sup>). Источником загрязнения являются судоходные транспортные средства. Ландшафты устьевых участков рек служат геохимическим барьером, аккумулирующим загрязняющие вещества. Не исключено, что при неблагоприятных условиях, таких как перенасыщение компонентов или подкисление среды, свойства барьеров могут нарушиться и токсичные элементы мигрируют в водные объекты.

Выявлена прямая корреляционная связь между концентрацией химических элементов в почве и содержанием их в водах исследуемых рек (средняя — Ca, Mg, Fe, Pb, Cr; слабая — Ti, Ni, V, Sr, Co) (см. табл. 4), что отчасти может подтверждать их вымывание из почв. Отрицательная корреляционная связь, выявленная для Mn, Ba, Cu, может свидетельствовать об аккумуляции химических элементов в почве. Сильной корреляционной связи между концентрациями исследуемых элементов в почвах и речных водах не выявлено.

Слабая связь, а также ее отсутствие установлены между содержанием химических элементов в почвах и прибрежных водах Байкала. Сильной и средней корреляционной связи не выявлено. Коэффициент корреляции большинства исследованных химических элементов ослабевает при переходе в различные среды: снег—почва—речные воды—прибрежные воды оз. Байкал, что доказывает аккумулирующую (защитную) функцию почв устьевых зон рек.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный анализ материалов исследований позволил сделать выводы о загрязнении ландшафтов устьевых областей притоков. Выявлено, что загрязнение почв, растительности и прибрежной акватории озера в устьевых зонах модельных притоков обусловлено прежде всего селитебным и рекреационным использованием территории.

Наибольшие загрязнения отмечаются в устьях рек Голоустная и Баргузин. Для р. Голоустной это связано с загрязнением почвенного покрова и снега в результате атмосферного переноса выбросов с Иркутского промышленного узла. Вода в р. Баргузин сильно загрязнена, в значительной степени из-за поступления загрязнителей с вышележащих участков водосбора. В устьевой зоне р. Сармы основные загрязнители образуются вследствие рекреационной деятельности и поступают в почвы, речные и озерные воды. Территория устья р. Кики испытывает незначительные рекреационные нагрузки и имеет относительно низкий уровень загрязнения почв и воды.

Вследствие аккумуляции загрязняющих веществ на геохимических барьерах почв и аллювиальных отложениях вода Байкала соответствует санитарным нормам, установленным СанПиН для питьевой воды. Однако имеются локальные участки с повышенным содержанием токсичных элементов и веществ в прибрежных водах оз. Байкал и в почвах вблизи населенных пунктов Сарма, Усть-Баргузин, Большое Голоустное.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходжер Т.В., Сороковикова Л.М. Оценка поступления растворимых веществ из атмосферы и с речным стоком в озеро Байкал // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 3. — С. 185–191.
2. Оболкин В.А., Нещетаева О.Г., Голобокова Л.П., Потемкин В.Л., Зимник Е.А., Филиппова У.Г., Ходжер Т.В. Результаты многолетних исследований кислотных выпадений в районе Южного Байкала // География и природ. ресурсы. — 2013. — № 2. — С. 66–73.
3. Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). — Новосибирск: Гео, 2008. — 234 с.
4. Коваль П.В., Гребенщикова В.И., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья // Геология и геофизика. — 2000. — Т. 41, № 4. — С. 571–577.
5. 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.
6. Семенов М.Ю., Снытко В.А., Семенов Ю.М., Силаев А.В., Семенова Л.Н. Состав металлов поверхностных вод Южного Прибайкалья и его связь с ландшафтно-геологическими условиями // Докл. АН. — 2019. — Т. 486, № 5. — С. 613–619.

7. Семенов М.Ю., Семенов Ю.М., Силаев А.В., Маринайте И.И., Снытко В.А. Показатели загрязнения поверхностных вод бассейна озера Байкал полициклическими ароматическими углеводородами // Докл. АН. — 2018. — Т. 483, № 2. — С. 212–215.
8. Чалов С.Р., Пашкина М.П., Касимов Н.С., Потемкина Т.Г. Многолетние изменения баланса взвешенных наносов в дельтах притоков Байкала // Метеорология и гидрология. — 2019. — Т. 44, № 10. — С. 667–673. — DOI: 10.3103/S1068373919100042.
9. Алекин О.А., Семёнов А.Д., Скопинцева Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 269 с.
10. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьева. — М.: ГЕОС, 2006. — 399 с.
11. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. — М., 1995 [Электронный ресурс]. — <http://gostvoda.ru/d/677526/d/4-gost-2874-82.pdf> (дата обращения 30.01.2022).
12. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. — 487 с.
13. Шпейзер Г.М., Минеева Л.А. Руководство по химическому анализу вод: Метод. пособие. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2006. — 55 с.
14. ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. — 11 с.
15. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. — 15 с.
16. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания. Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий. — 2021 [Электронный ресурс]. — [http://test.safe-work.ru/Bibl/BibOT/n123685-21\\_4.html](http://test.safe-work.ru/Bibl/BibOT/n123685-21_4.html) (дата обращения 30.01.2022).
17. Атлас Иркутской области / Гл. ред. А.Н. Антипов. — М.; Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН; Роскартография, 2004. — 90 с.
18. The ecological Atlas of the Baikal basin / Ed. A.R. Batuev, L.M. Korytny, J. Oyuungerel, D. Enhtayvan. — Irkutsk: Sochava Institute of Geography, SB RAS, 2015. — 145 p.
19. Алексеев В.А., Алексеев Л.П. Геохимические барьеры. — М.: Логос, 2003. — 144 с.
20. Давыдова Н.Д. Ландшафтно-геохимические барьеры и их классификация // География и природные ресурсы. — 2005. — № 4. — С. 24–30.
21. Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Цыремпилов Э.Г. Почвы и формы рельефа Баргузинской котловины. — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. науч. центра СО РАН, 2016. — 212 с.
22. Знаменская Т.И., Вантеева Ю.В., Солодянкина С.В. Факторы развития водной эрозии почв в зоне рекреационной деятельности в Приольхонье // Почвоведение. — 2018. — № 2. — С. 221–228.
23. Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Гагаринова О.В., Янчук М.С., Лопатина Д.Н. Экологическое состояние побережья озера Байкал и его влияние на загрязнение озера // Успехи современного естествознания. — 2018. — № 11. — С. 85–95. — DOI: 10.17513/use.36910.
24. Belozertseva I.A., Vorobyeva I.B., Vlasova N.V., Lopatina D.N., Janchuk M.S. Snow Pollution in Lake Baikal Water Area in Nearby Land Areas // Water Resources. — 2017. — Vol. 44, N 3. — P. 471–484. — DOI: 10.1134/S0097807817030046.
25. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. — 2003 [Электронный ресурс]. — [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/41/41363/index.htm](http://www.infosait.ru/norma_doc/41/41363/index.htm) (дата обращения 30.01.2022).
26. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания. Нормативы качества и безопасности воды. — 2021 [Электронный ресурс]. — [http://test.safe-work.ru/Bibl/BibOT/n123685-21\\_3.html#п3](http://test.safe-work.ru/Bibl/BibOT/n123685-21_3.html#п3) (дата обращения 30.01.2022).
27. СанПиН 42-123-4089-86. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. — 1986 [Электронный ресурс]. — <https://www.dokipedia.ru/document/5182275> (дата обращения 30.01.2022).
28. Воробьева И.Б., Белозерцева И.А., Власова Н.В., Янчук М.С. Современное состояние водотоков в устьевых областях восточного побережья озера Байкал // Успехи современного естествознания. — 2018. — № 1. — С. 86–92.
29. Грачев М.А. Стратегия охраны озера Байкал и закон «Об охране озера Байкал». — М.: Изд-во Лимнол. ин-та СО РАН, 2013. — 36 с.
30. Убугунов В.Л., Убугунова В.И. Почвообразующие породы — ключ к пониманию самобытности почвообразования в Западном Забайкалье // Природа Внутренней Азии. — 2017. — № 4 (5). — С. 37–50.
31. Сорокинова Е.Г., Белых О.И., Гладких А.С., Могильникова Т.А., Федорова Г.А., Кузьмин А.В., Михеева Т.М. Токсичные цветения цианобактерий в оз. Котокельское (Бурятия) — современное состояние проблемы // Вода: химия и экология. — 2014. — № 2 (67). — С. 29–35.

*Поступила в редакцию 01.06.2022*

*После доработки 19.07.2022*

*Принята к публикации 03.10.2022*