

И. А. БЕЛОЗЕРЦЕВА*., И. Б. ВОРОБЬЁВА*, Н. В. ВЛАСОВА*, М. С. ЯНЧУК*, Д. Н. ЛОПАТИНА*

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

**Иркутский государственный университет, ул. Карла Маркса, 1, Иркутск, 664003, Россия

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕГА АКВАТОРИИ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

Выявлено, что загрязнение территории от локальных источников зоны атмосферного влияния распространяется на десятки километров по преобладающему направлению ветра и в центральной зоне сменяется региональным. Отмечено загрязнение снега акватории оз. Байкал вблизи прибрежных населенных пунктов и в устье р. Селенга. Установлено, что по поступлению NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 , F, Al, Na, Ba, Mo, Mn, Pb, Cu, Zn, Sr, Hg и нефтепродуктов на акваторию озера через атмосферу лидирует Южная котловина Байкала, несмотря на то что по площади она почти в два раза меньше, чем Северная. SO_4 , H_2CO_3 , Cl, Ca, Mg, K поступает немного больше в Северную котловину, а Be, V, Cr, Co — в Среднюю, что связано с деятельностью прибрежных предприятий, котельных, ТЭЦ, печным отоплением, выбросами автотранспорта и природным переносом пыли в малозаснеженных районах Средней котловины. Определено, что за последние пять лет произошло небольшое увеличение регионального загрязнения по отдельным компонентам. Показано, что в конце 1990-х и начале 2000-х гг. загрязнение уменьшилось в два раза, что было связано со спадом промышленного производства.

Ключевые слова: снежный покров, макро- и микроэлементы, нефтепродукты, загрязнение, Байкал.

I. A. BELOZERTSEVA*., I. B. VOROBYEVA*, N. V. VLASOVA*, M. S. YANCHUK*, D. N. LOPATINA*

*Sochava Institute of Geography SB RAS, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Irkutsk, 664033, Russia, belozia@mail.ru, irene@irigs.irk.ru, vlasova@irigs.irk.ru, m_s_yanchuk@mail.ru, daryaneu@mail.ru

**Irkutsk State University, ul. Karla Marksa, 1, Irkutsk, 664033, Russia

CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW IN THE WATER AREA OF LAKE BAIKAL AND ON THE ADJACENT TERRITORY

It is found that pollution of the territory from local sources of the zone of atmospheric influence spreads over several tens of kilometers along the prevailing wind direction, and in the central zone it is replaced by regional pollution. Snow pollution in the water area of Lake Baikal was recorded near coastal settlements and in the mouth of the Selenga river. It is established that the southern hollow of Baikal holds the lead in the input of NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 , F, Al, Na, Ba, Mo, Mn, Pb, Cu, Zn, Sr, Hg and petroleum products to the lake's water area in spite of the fact that it is twice as small as the northern hollow. The northern hollow receives much larger amounts of SO_4 , H_2CO_3 , Cl, Ca, Mg and K than the northern hollow, and much larger amounts of Be, V, Cr and Co than the middle hollow, which is associated with the operation of coastal enterprises, boilers, thermoelectric plants, stove heating, automobile exhaust emissions, and with the natural transport of dust in snow-deficient areas of the middle hollow. It is determined that that last five years saw a slight increase in regional pollution for separate components. It is shown that in the late 1990s and in the early 2000s, pollution decreased twice, which was due to the setback in industrial production.

Keywords: snow cover, macro- and microelements, petroleum products, pollution, Baikal.

Огромные запасы пресной воды оз. Байкал, которые составляют 20 % мирового водного запаса, а также проблемы дефицита воды в международном масштабе требуют внимания ученых всего земного шара [1]. Уникальность территории исследования определяется наличием самого глубокого и чистого озера планеты — Байкала, объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО. Особую ценность представляет качество его пресной воды с низким содержанием минеральных солей и органических веществ. Однако на Байкальской природной территории находятся мощные источники загрязнения окружающей среды.

Цель данной работы — исследование содержания водорастворимых химических элементов в снеге на акватории оз. Байкал и прилегающей территории. На основании данных о загрязнении снежного покрова проведена оценка объемов атмосферных выпадений загрязняющих веществ на акваторию оз. Байкал.

ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования — снежный покров акватории оз. Байкал и прилегающей территории, который обладает высокой сорбционной способностью и наиболее информативен при изучении техногенного загрязнения атмосферы. Снег поглощает существенную часть продуктов техногенеза, аккумулирует их в течение зимнего периода. Химический состав фильтрата талого снега формируется в результате поступления с осадками различных химических элементов, поглощения снеговым покровом газов, водорастворимых аэрозолей и взаимодействия с ним твердых частиц, оседающих из атмосферы. Количество выпадающего со снегом твердого осадка характеризует запыленность территории, фильтрат талого снега (снеговая вода) отражает степень загрязнения воздушного бассейна хорошо растворимыми формами элементов, наиболее токсичными для растений и живых организмов.

В зимний и весенний периоды 2015 г. нами был проведен отбор проб снега в центральной зоне Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ). Наблюдения с отбором проб образцов осуществлялись по системе ключевых площадок и поперечных маршрутов с учетом источников атмосферного загрязнения и розы ветров. Всего взято 159 проб снега в конце февраля—марте снегомером ВС-43 на всю глубину снежного покрова с определением его высоты и плотности. Места отбора проб показаны на рисунке. На момент отбора период снегонакопления составил 131–140 дней. Аналитические работы проводились в Институте географии им. В. Б. Сочавы СО РАН (ИГ СО РАН), в лабораторных условиях, по стандартизованным методикам, на современном оборудовании. Концентрации основных анионов и катионов в снеговой воде определены стандартными химическими методами с учетом требований ГОСТов, поступление химических элементов в ЦЭЗ БПТ через атмосферу за зимний период рассчитано с учетом запасов снежного покрова. Содержание подвижных форм металлов установлено количественным атомно-эмиссионным спектральным методом на приборе Optima 2000DV. Количество фтора измерялось на иономере Н-120 с применением фтор-селективного электрода. Содержание нефтепродуктов определено на флюорате.

Расчетные данные о поступлении веществ из атмосферы в Байкал обладают оценочным порядковым характером. В научной литературе методика имеет один принцип [2–4], учитывающий средние концентрации химического элемента, поступающего на ледовую поверхность озера со снежным покровом за зимний период, и площадь самого озера.

При проведении работ использовались опубликованные исследования сотрудников ИГ СО РАН [5–14], Лимнологического института СО РАН [3, 4, 15–17], Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН [2, 18–21], ПГО «Сосновгеология» [22, 23], Бай-

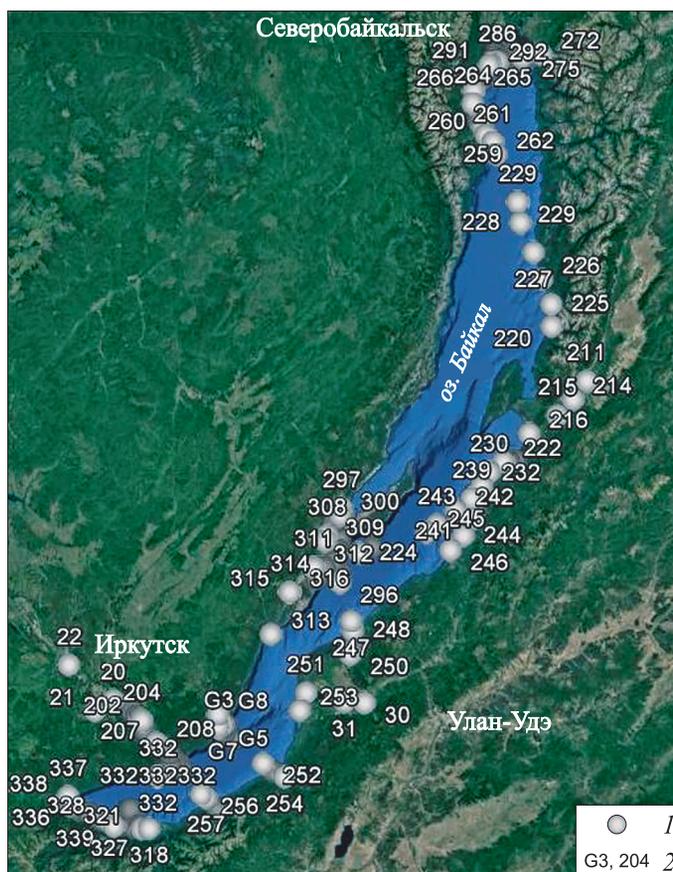


Схема ключевых площадок отбора проб снега.

1 — ключевой участок; 2 — номер площадки.

кальского института рационального природопользования СО РАН [24, 25], а также другие материалы [26–32].

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ И СНЕГА

По данным снегосъемки 2015 г., а также перечисленных выше публикаций можно сделать вывод, что основные источники атмосферного воздействия на оз. Байкал — это расположенные в бассейне и по берегам озера промышленные предприятия, участки Транссибирской и Байкало-Амурской железнодорожных магистралей, а также воздушный перенос загрязнений из Иркутско-Черемховского промышленного узла. Самую высокую вероятность попадания в озеро (от 10 до 100 %) имеют воздушные выбросы предприятий и котельных Байкальска, Слюдянки, Северобайкальска, Нижнеангарска и поселков, расположенных в котловине Байкала. Согласно многочисленным исследованиям [3, 4, 9, 14], значительно меньшую часть общего объема загрязнения атмосферы над Байкалом представляют продукты воздушного переноса от Иркутско-Черемховской агломерации из-за удаленности, большого количества штилей и туманов. Однако наблюдаются локальные загрязнения при неблагоприятных метеорологических условиях, и создается опасная экологическая ситуация в городах данного промузла. Негативное влияние на экологическую ситуацию оказывают выбросы диоксида серы, оксидов азота, серо- и углеводорода, метилмеркаптана, формальдегида, фенола.

Промышленные предприятия и котельные Улан-Удэ, Гусиноозерска, Петровск-Забайкальска, Кяхты и других городов, расположенных в буферной зоне БПТ, не оказывают существенного влияния на атмосферу над акваторией оз. Байкал вследствие удаленности, особенностей метеорологических условий и орографических препятствий. Но они влияют на экосистему всего Байкальского региона, к примеру Селенгинский целлюлозно-картонный комбинат воздействует на Байкал не воздушным путем, а непосредственно с речным стоком.

По данным проведенной снегогеохимической съемки, а также по информации Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Иркутской области [26–32], сотрудников различных организаций [5, 10, 11, 13, 16, 19, 22, 23], в Иркутско-Черемховском промышленном районе выделяется несколько зон техногенного загрязнения с концентрацией твердого осадка в снеге от 0,5 до 10 г/кг. Минерализация снеговых вод вблизи источников была выше фоновой в 3–10 раз (130 мг/л). Запасы твердого вещества в снеге достигали 200 г/м². Определены зоны с повышенным содержанием кальция, магния, натрия и калия. Из растворимых в снеге катионов выявлено преобладание натрия и калия. Максимальные значения нерастворимого остатка снега, связанные с работой ТЭЦ, котельных, печным отоплением, приходится на окрестности Иркутска, Култук и Слюдянки, растворимого остатка — на Усолье-Сибирское и Байкальск. Общий ареал загрязнения снега химическими элементами — 60 км с юго-востока на северо-запад при ширине 10–15 км. Концентрация фтора в снеговой воде вблизи алюминиевого завода достигает 60 мг/л. В снеговой воде пгт Листвянка содержание фтора снижается до 0,1–0,2 мг/л, что близко к фоновому значению региона (0,1 мг/л).

При сопоставлении химического состава снеговых вод Иркутско-Черемховского промышленного узла [10, 14, 19, 20, 22] с данными для участков Южного Байкала, удаленных от промышленных центров [2, 4, 16, 30, 33], выявлено, что загрязнение территории от локальных источников распространяется на десятки километров по преобладающему направлению ветра и на юге Байкала сменяется региональным. Здесь осадки сильнее загрязнены выбросами данного промышленного района, чем Иркутско-Черемховского промузла. Наибольший вклад в загрязнение атмосферы над Южным Байкалом с превышением максимальных разовых ПДК вносят предприятия Слюдянки и Байкальска. Вследствие удаленности и наличия орографических препятствий влияние Иркутско-Черемховского комплекса намного меньше и не превышает средних суточных концентраций для выбрасываемых в атмосферу твердых примесей.

Наиболее значительное влияние на экосистему оз. Байкал и центральную зону Байкальского региона оказывает Южно-Байкальский промышленный узел. Аэропромышленные выбросы его предприятий имеют высокую вероятность попадания в озеро. Ареал данного промышленного узла охватывает юго-западное побережье Байкала вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали. Здесь имеются крупные транспортно-промышленные центры — ряд поселков и железнодорожных станций, а предприятия городов Байкальск и Слюдянка выступают крупными загрязнителями природной среды. Основной вклад в загрязнение окрестностей г. Байкальска вносят ТЭЦ бывшего ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат» (БЦБК) и котельные. По сравнению с 2010 г. произошло уменьшение выбросов на 5,6 тыс. т за счет приостановки работы комбината.

Для Байкальска характерны значительные колебания величин рН осадков — от 4,11 в июне до 7,14 в марте. Средние содержания в осадках минеральных веществ (16,77 мг/л) и взвешенных веществ (62,30 мг/л) близки к фоновым для Южной котловины Байкала. Максимальные концентрации суммы минеральных веществ, сульфатов, нитратов, нитритов, гидрокарбонатов и натрия превышают фон в 2, 9, 3, 13, 5 и 4 раза соответственно (табл. 1), что в 2,6 раза меньше, чем в 2010 г. Концентрации ртути в талой воде колебались от 0,02 до 0,08 мкг/л, нефтепродуктов — от 0,01 до 0,06 мг/л. Средняя концентрация сульфатов — 8,8 мг/л. Максимальные содержания нефтепродуктов, взвешенных веществ, сульфатов, нитратов, свинца, ртути в талой воде наблюдались на побережье, вблизи ТЭЦ БЦБК и в черте г. Байкальска. Содержания Pb и Hg в снеговой воде превышают значения ПДК в 4 и 8 раз.

По сравнению с 2011 г. площадь загрязнения взвешенными веществами и сульфатами снизилась в 2,1 и 1,7 раза соответственно и составила около 45 км², с 2010 г. в талой воде возросло процентное отношение концентрации минеральных веществ, азота нитритного и нитратного, сульфатов, натрия, нефтепродуктов, снизилось содержание взвешенных веществ, аммония, фосфора.

В Слюдянском районе расположено 15 предприятий. Основной вклад в выбросы от стационарных источников вносят три строительных (49 %) и шесть транспортных (35 %). Также источниками выбросов загрязняющих веществ выступают дымовые трубы мелких котельных, работающих на твердом топливе, и автотранспорт. Максимальные концентрации определяемых химических элементов и веществ в снежном покрове только по нефтепродуктам превышали установленные нормы в 1,2 раза. Коэффициент концентрации сульфатов по отношению к фону составил 7,9.

Существенный вклад в загрязнение снежного покрова и поверхностных вод притоков оз. Байкал на участке Слюдянка–Выдрино вносит Восточно-Сибирская железная дорога. Содержания взвешенных веществ, нитритов и меди в снеговой воде превышали значения в контрольных точках в 2,7, 1,6 и 1,7 раз. Концентрации нефтепродуктов отличались от контрольных в 1,2 раза. Загрязняющие вещества с железнодорожного полотна попадают в оз. Байкал в результате таяния снега и смыва атмосферными осадками. Показатель кислотности (рН) талого снега 2015 г. на территории г. Слюдянка составил 6,8, в пгт Култук — 6,7, в фоновом районе — 6,4. Зона загрязнения снежного покрова для Слюдянки проходит в радиусе от 0 до 5 км, здесь среднее содержание сульфатов — 2,6 фона.

Промышленные предприятия со значительными выбросами в пгт Листвянка отсутствуют. Влияние на загрязнение атмосферного воздуха оказывают судовой флот, мелкие котельные, печное отопление жилого сектора и автотранспорт. В 2015 г. суммарные выбросы в атмосферу колебались в пределах 40–50 т/год, величина рН снега в 2015 г. варьировала от 5,8 до 6,3. Минерализация талой воды достигала 14,9 мг/л. Содержания хлоридов в талой воде составляли от 2,59 до 5,25 мг/л; натрия — от 0,34 до 1,38; калия — от 0,3 до 1,2; кальция от 0,6 до 2,8; магния — от 0,12 до 0,23 мг/л.

По результатам снегосъемки и проведенным химическим анализам снеговой воды установлены достаточно высокие содержания хлоридов, нитратов, калия и натрия в снеге по отношению к фону ($K_k = 1,4; 14; 4; 4,7$ соответственно), что свидетельствует о поступлении из атмосферы их соединений, аэрозоли которых оседают на поверхность, поскольку в поселке в основном печное отопление. При сопоставлении современного ионного состава этих компонентов с имеющимися литературными данными о гидрохимической структуре атмосферных осадков в пгт Листвянка за пятилетний период [6, 7] установлен значительный рост абсолютных и относительных значений концентрации хлоридов, сульфатов, нитратов, калия и натрия. Этот современный тренд формируется преимущественно под воздействием техногенных потоков от промышленных районов Верхнего Приангарья.

В Култукке крупными источниками загрязнения выступают мясокомбинат, автотранспортное предприятие и нефтебаза. Ежегодное количество выбросов в атмосферу колеблется в пределах 416 т/год. Атмосферный воздух в наибольшей степени загрязнен пылью. В районе Култука и Слюдянки основными факторами, загрязняющими снежный покров на озере и побережье, как и в предыдущие годы, остаются техногенная пыль (взвешенное вещество) и сульфаты. На территории Култука среднее значение загрязнения сульфатами снежного покрова составляло 7,9 фона. Высокий уровень содержания этих веществ сохранялся в снежном покрове вдоль трассы Байкальск–Кабанск. В районе трассы Култук–Слюдянка концентрации нефтепродуктов вблизи Култука колебались от 0,01 до 0,06 мг/л, взвешенных веществ — от 17 до 146 мг/л, достигая максимума на прибрежной точке. Содержания железа и бария в талых водах снега в черте Култука превышали фоновое значение в 18,7 и 1,6 раза соответственно. По сравнению с 2014 г. уменьшилось содержание хлора в снежном покрове.

В целом экосистема южной части Байкала и его побережья продолжает находиться под сильным влиянием выбросов в атмосферу предприятий Байкальска, Листвянки, Слюдянки и транспортной магистрали, пролегающей вдоль побережья.

Минерализация, мг/л	18,9	42,3	5,9	21,8	46,7	8,3	10,8	20,1	5,84	10,9	28,3	5,47	11,8	27,2	5,95	11,1	1000	—	—
Нефтепродукты, мг/л	0,040	0,110	0,010	0,030	0,044	0,026	0,050	0,202	0,008	0,040	0,140	0,007	0,050	0,117	0,010	0,050	—	0,3	0,050

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: прочерк — нет данных.
* Количество проб снега.

Ареал Нижнеселенгинского промузла занимает западную часть Кабанского района Бурятии и вытянут вдоль левобережья р. Селенга. Здесь имеются два крупных промышленных центра — пгт Селенгинск и с. Кабанск. Основной вклад в выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в Селенгинске вносит ОАО «Селенгинский целлюлозно-картонный комбинат» (более 90 %), в пгт Каменск — предприятия по производству прочих неметаллических минеральных ресурсов (75 %) и ОАО ТГК-14 «Генерация Бурятии» Тимлюйская ТЭЦ (18 %). Реакция снеговых вод (рН) вблизи Селенгинского промышленного узла варьирует от 6,3 до 7,2; содержания HCO_3 , Ca, K, Na, Mo, Mn, Pb, Fe, Zn и Sr превышают фоновые значения в 4, 7, 4, 4, 9, 3, 2, 3, 6 и 2 раза соответственно.

Ареал промышленного узла охватывает часть территории Северо-Байкальского района Бурятии и вытянут в широтном направлении вдоль трассы Байкало-Амурской магистрали (БАМ). Начиная с 1974 г. на северном побережье Байкала построен г. Северобайкальск, восточнее него — крупные поселки: Новый Уоян, Ангоя, Янгунан. В целом Северо-Байкальский район стал огромной строительной площадкой БАМ, на его территории разработано 176 карьеров. Возведение поселков велось без предварительного ввода очистных сооружений, шлакозолоотвалов. Поселки Нижнеангарск, Уоян и др. в настоящее время испытывают экологические проблемы. Очевидно, что г. Северобайкальск расположен крайне неудачно. Промышленная зона, включающая такие объекты, как локомотивное депо, вагонное хозяйство, котельная, площадки разгрузки угля и т. д., находится в непосредственной близости от Байкала (менее чем в 300 м). Экологически не защищена прибрежная полоса вдоль железной дороги по долине рек Тья, Гоуджекит. Электроэнергетических резервов практически нет. Использование угля ведет к дополнительному загрязнению воздуха. В г. Северобайкальске, центре промузла, основное влияние на загрязнение атмосферного воздуха оказывают стационарные источники «Нижнеангарскстрой», передвижная механизированная колонна, «ЛенБАМстрой», асфальтобетонный завод. В пгт Нижнеангарск валовой выброс вредных веществ в среднем составляет около 3 тыс. т в год. В поселке функционирует 22 котельных, в которых сжигается черемховский уголь.

По данным проведенного исследования выявлено, что снежный покров Северо-Байкальского промышленного узла имеет преимущественно нейтральную среду: рН изменяется от 6,4 до 7,0, минерализация — от 11 до 27 мг/л. Установлены содержания SO_4 , NO_3 , PO_4 , K, Na, NH_4 , Mo, Mn, Ba, Al, Pb, Ni, Cu, V, Cr, Fe, Si, Sr и нефтепродуктов, превышающие фоновые значения в 55, 6, 12, 4, 6, 9, 3, 5, 3, 4, 4, 8, 3, 3, 5, 5, 14, 6 и 2 раза соответственно. Содержания нитритов, сульфатов, фосфора, калия и натрия выше фона в 20, 6, 12, 8 и 3 раза фиксируются на побережье Байкала от устья р. Турка до Баргузинского залива.

Таким образом, на северном побережье Байкала формируется единая зона распространения атмосферных загрязнений, вытянутая вдоль озера. Для Северобайкальска ее площадь ориентировочно составляет 150 км, для Нижнеангарска — 60 км. Несмотря на то что содержание отдельных примесей имеет тенденцию к снижению, уровень загрязнения воздушного бассейна Республики Бурятия продолжает оставаться высоким.

С учетом поступления химических элементов со снегом за зимний период (мг/м^2) и площади акватории оз. Байкал рассчитан их приход через атмосферу (по загрязнению снежного покрова). Информация о содержании некоторых веществ в воде Байкала и расчетные поступления химических веществ из атмосферы представлены в табл. 2. Количество серы сульфатной в воде Южной котловины оз. Байкал составляет 34 млн 600 тыс. т. Поступление из атмосферы за зимний период — 1,54 тыс. т, ничтожная доля того сульфата [3], который уже содержится в воде.

Расчетные поступления химических элементов и веществ на акваторию оз. Байкал через атмосферу (по данным снегосъемки за ноябрь 2014 г. – февраль 2015 г.), т

Элемент, компонент в водорастворимой форме	Котловина оз. Байкал			В целом по Байкалу	Южная котловина, т/год, по [3]	Общее содержание в воде оз. Байкал, по [3]
	Южная	Средняя	Северная			
F	93	75	83	251	–	–
HCO ₃	3021	3810	3835	10668	–	–
Cl	2477	3370	3348	9195	612	2 500 000
SO ₄	1540	550	1950	4040	5962	34 600 000
NO ₂	118	31	39	188	–	–
NO ₃	213	52	111	376	3887	1 900 000
PO ₄	2,9	2,09	2,6	4,99	–	–
Ca	845	853	1391	3089	–	–
Mg	198	208	299	705	–	–
K	190	181	234	605	–	–
Na	397	333	345	1075	282	21 400 000
NH ₄	235	83	59	377	–	–
Mo	3,70	3,12	1,31	8,13	–	–
Mn	5,88	4,68	5,20	15,76	–	–
Ba	3,68	2,08	2,60	8,36	–	–
Al	13,23	13,0	7,81	34,04	–	–
Pb	1,47	1,04	1,30	3,81	0,22 (3,7)*	2000
Ni	0,74	1,04	1,29	3,07	–	–
Cu	2,21	1,56	1,36	5,13	0,89 (2,2)*	3300
Be	0,74	1,04	1,03	2,81	–	–
V	0,70	1,56	1,36	3,62	0,12	2100
Cr	0,71	1,50	1,20	3,41	0,14 (1,6)*	1700
Fe	6,62	6,14	5,20	17,96	–	–
Si	79	80	53	212	–	–
Zn	2,94	2,08	1,40	6,42	69*	–
Sr	5,88	2,10	2,60	10,58	–	–
Ti	1,47	1,56	1,36	4,39	–	–
Co	0,74	1,04	1,03	2,81	–	–
Cd	0,70	1,04	1,00	2,74	0,7*	–
Hg	0,23	0,19	0,21	0,63	–	–
Нефте-продукты	36,0	24,4	32,5	92,9	–	–
Взвешенное вещество	80 861	81 016	71 726	233 603	–	1,24·10 ¹⁰ **

* По [37].

** Общее количество вещества, поступающего в донные отложения оз. Байкал, по [38].

По попаданию нитратов, нитритов, аммония, фосфатов, F, Al, Na, Ba, Mo, Mg, Pb, Cu, Zn, Sr, Hg и нефтепродуктов на акваторию озера через атмосферу лидирует Южная котловина, несмотря на то что по площади она почти в два раза меньше, чем Северная. Однако сульфатов, гидрокарбонатов, Cl, Ca, Mg, K поступает немного больше в Северную котловину, а Be, V, Cr, Co — в Среднюю, что связано с деятельностью прибрежных предприятий, котельных, ТЭЦ, печным отоплением, выбросами автотранспорта и природным переносом пыли в малозаснеженных районах. Судя по приведенным данным балансовых соотношений химического состава снега, в Южной и Средней котловинах наблюдается небольшая доля регионального загрязнения (менее 10 %), преобладает локальное загрязнение, как и в Северной котловине.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Результаты опробования и химического анализа снежного покрова Южной котловины оз. Байкал и прилегающей территории выявили аномалии в долине р. Ангары и прибрежных населенных пунктах (Листвянка, Слюдянка, Култук, Байкальск). Повышены коэффициенты контрастности для следующих химических элементов и веществ: F — 7,5; Cl — 2,0; SO₄ — 9,2; NO₂ — 12,8; NO₃ — 19,5; PO₄ — 18,3; K — 4,3; Na — 8,2; NH₄ — 30; Mo — 4,2; Mn — 6,8; Ba — 12,4; Al — 5,4; Pb — 3; Ni — 3; Cu — 3; Be — 4; V — 6; Fe — 7,3; Si — 19,5; Zn — 6,6; Sr — 3,9; Ti — 3,5; Hg — 2,7; нефтепродукты — 4 (превышение фона). Фоновые концентрации большинства химических элементов очень низкие, т. е. находятся в дефиците. Содержания NH₄, Pb, Be, Hg и нефтепродуктов в снеговой воде превышают ПДК в 24, 4, 6, 2, 3 раза соответственно, максимальные концентрации приурочены к береговой зоне акватории озера.

По комплексности и интенсивности аномалии наиболее развитого Южно-Байкальского промышленного узла относятся к техногенным и являются следствием выброса в атмосферу самых разнообразных производств химической, топливно-энергетической и металлургической промышленности. Основную массу поступающего в оз. Байкал вещества составляют ионы гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов, существенную роль для Средней и Северной котловин играют катионы кальция, калия и натрия. В снеговой воде вблизи пгт Листвянка также наблюдается повышенное содержание ионов фтора и некоторых тяжелых металлов, которые свойственны техногенным выбросам алюминиевой промышленности. Однако вблизи самого алюминиевого завода концентрации этих химических элементов в жидкой фазе снега выше, чем в поселке, в десятки и сотни раз (более 90 %). Следовательно, в прибрежной зоне Листвянки преобладает локальное загрязнение, свойственное печному отоплению, а региональное составляет не более 10 %.

В результате работ, проведенных в Средней котловине оз. Байкал, определены три района аномальных концентраций химических веществ в снежном покрове. Первый находится в прибрежной зоне Приольхонья, где фиксируются повышенные содержания химических элементов в снеге, что связано не только с антропогенной нагрузкой вблизи населенных пунктов и турбаз, но и с терригенной пылью пород и почв. Вдоль берега озера расположены относительно большие по площади остепненные территории, с которых легко выдувается снег. С этих оголенных бесснежных участков сильными ветрами на акваторию Байкала переносятся макро- и микрочастицы почв и пород, характерных для Приольхонья. Данное загрязнение имеет локальный и природный характер. Второй район регионального загрязнения снежного покрова приурочен к долине р. Селенга, по которой переносятся техногенные выбросы Селенгинского промышленного узла. Третий включает территории поселков Баргузин и Усть-Баргузин.

Максимальные коэффициенты концентрации химических элементов в снежном покрове Средней котловины оз. Байкал по отношению к фону имеют следующие значения: F — 2,1; SO₄ — 4,4; NO₃ — 9; PO₄ — 20; K — 7; Na — 3,8; NH₄ — 35; Mo — 4,6; Mn — 6,8; Ba — 2,3; Al — 3,5; Pb — 10; Ni — 3; V — 2,3; Cr — 13; Fe — 2,3; Si — 10; Zn — 4,8; Sr — 4,6; Ti — 5; Hg — 3,5; нефтепродукты — 3,5. Содержания NH₄, Hg и нефтепродуктов в снеге превышают ПДК в 7, 3 и 3 раза. Максимальные значения химических элементов имеют локальный характер и приурочены к береговой зоне.

В Северной котловине оз. Байкал выявлены контрастные аномальные содержания SO₄, превышающие фоновые значения в 55 раз; NO₃ — 5,9; PO₄ — 11,6; K — 3,7; Na — 6,1; NH₄ — 8,9; Mo — 2,7; Mn — 4,6; Ba — 3,4; Al — 4,2; Pb — 3,5; Ni — 8; Cu — 3; V — 2,5; Cr — 5; Fe — 5,4; Si — 14; Sr — 6,1; нефтепродукты — 2,3 раза вблизи Нижнеангарска и Северобайкальска. Концентрации NH₄, Pb и нефтепродуктов в снеге превышают санитарно-гигиенические нормы в 2, 7 и 2 раза соответственно. Основной вклад в загрязнение атмосферы вносят предприятия, производящие строительные материалы, а также котельные и автотранспорт. Загрязнение имеет локальный характер.

Сравнивая данные за пятилетний период, можно сделать вывод, что в снеговой воде акватории оз. Байкал наблюдается тенденция увеличения содержания сульфатов, нитратов, фтора и некоторых тяжелых металлов при небольшом снижении концентрации кальция, магния и калия. За последние пять лет произошло незначительное увеличение регионального загрязнения (в 1,1–2 раза по отдельным компонентам), хотя в конце 1990-х и начале 2000-х гг. в связи со спадом промышленного производства загрязнение уменьшилось в два раза [2, 4, 12, 16, 39].

Рассмотренные материалы свидетельствуют о существенном воздействии промышленных производств на окружающую среду оз. Байкал, проявляющемся на региональном и локальном уровне. Загрязнение атмосферного воздуха акватории Байкала, по результатам снегомерных съемок и химико-

аналитических работ, отмечено вблизи прибрежных населенных пунктов Листвянка, Култук, Байкальск, Слюдянка, Усть-Баргузин, Северобайкальск, Нижнеангарск и в устье р. Селенга. Однако фоновые содержания большинства изученных химических элементов и веществ в Байкальском регионе низкие, ниже ПДК в десятки—тысячи раз. Ощущается дефицит некоторых компонентов, например фтора. Его недостаток активно пополняется за счет развитой в регионе алюминиевой промышленности.

Результаты проведенных согласно санитарно-гигиеническим требованиям геохимических исследований показывают относительно удовлетворительное современное состояние окружающей среды центральной экологической зоны Байкальской природной территории по сравнению с развитыми индустриальными районами страны [17, 30, 31, 40].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Groundwater** exposed // Nature Geoscience. — 2016. — N 9. — P. 85.
2. **Ветров В. А., Кузнецова А. И.** Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. — Новосибирск: Наука, 1997. — 237 с.
3. **Грачёв М. А.** Стратегия охраны озера Байкал и Закон «Об охране озера Байкал»: Доклад на круглом столе ГД РФ, Москва, 14 января 2013 г. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2013. — 87 с.
4. **Ходжер Т. В., Сорокикова Л. М.** Оценка поступления растворимых веществ из атмосферы и с речным стоком в озеро Байкал // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 3. — С. 185–191.
5. **Воробьёва И. Б., Ломоносов И. С., Гапон А. В., Арсентьева А. Т.** Техногенные загрязнения снега и почв // Геоэкологическая характеристика городов Сибири. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 1990. — С. 61–71.
6. **Воробьёва И. Б., Напрасникова Е. В., Власова Н. В.** Эколого-геохимическая оценка системы: снег на льду—лед—подледная вода оз. Байкал // Ледовые и термические процессы на водных объектах России. — Архангельск: Изд-во Ин-та водных проблем РАН, 2007. — С. 87–90.
7. **Воробьёва И. Б., Напрасникова Е. В., Власова Н. В.** Исследование гидрогеоенных компонентов Юго-Западного побережья Байкала (эколого-геохимический аспект) // Лед и снег. — 2010. — № 2. — С. 56–60.
8. **Снытко В. А., Афонина Т. Е.** Техногенные потоки углеводородных соединений в геосистемах бассейна оз. Байкал // География и природ. ресурсы. — 1993. — № 2. — С. 68–72.
9. **Нечаева Е. Г., Белозерцева И. А., Напрасникова Е. В., Воробьёва И. Б., Дубынина С. С., Давыдова Н. Д., Власова Н. В.** Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем сибирских регионов. — Новосибирск: Наука, 2010. — 315 с.
10. **Нечаева Е. Г., Макаров С. А.** Снежный покров как объект регионального мониторинга среды обитания // География и природ. ресурсы. — 1996. — № 2. — С. 43–48.
11. **Щетников А. И.** Геохимический риск: сущность, понятие, оценка // Экологический риск: анализ, оценка, прогноз: Материалы Всерос. конф. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 1998. — С. 49–50.
12. **Белозерцева И. А., Матушкина О. А.** Загрязнение атмосферы // Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Байкальская природная территория. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2002. — С. 31–37.
13. **Белозерцева И. А.** Техногенное воздействие на снежный покров Верхнего Приангарья // География и природ. ресурсы. — 1999. — № 2. — С. 46–51.
14. **Белозерцева И. А.** Мониторинг загрязнения окружающей среды в зоне воздействия ИркАЗа // Вода: химия и экология. — 2013. — № 10. — С. 33–38.
15. **Ходжер Т. В.** Исследование состава атмосферных выпадений и их воздействия на экосистемы байкальской природной территории: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. — М., 2005. — 45 с.
16. **Оболкин В. А., Нецветова О. Г., Голобокова Л. П., Потёмкин 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.
17. **Грачёв М. А.** О современном состоянии экологической системы озера Байкал. — Новосибирск: Изд-во СО-РАН, 2002. — 156 с.
18. **Гребенщикова В. И., Лустенберг Э. Е., Китаев Н. А., Ломоносов И. С.** Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. — 234 с.
19. **Коваль Г. П., Белоголова Г. А.** Антропогенная трансформация природных геохимических распределений Прибайкалья // Глобальные изменения природной среды. — Новосибирск: Наука, 1998. — С. 248–257.
20. **Коваль Г. П., Гребенщикова В. И., Китаев Н. А., Ковешников А. М., Лустенберг Э. Е., Романов В. А., Фалиев А. Н.** Геохимия окружающей среды Прибайкалья // Геология и геофизика. — 2000. — Т. 41, № 4. — С. 571–577.
21. **Королёва Г. П., Горшков А. Г., Виноградов Т. П., Бутаков Е. В., Мариняте И. И., Ходжер Т. В.** Исследование загрязнения снегового покрова как депонирующей среды // Химия в интересах устойчивого развития. — М.: Наука, 1998. — С. 227–237.

22. **Киселёв В. Я.** Карты загрязнения снежного покрова в Иркутской области и на Южном Байкале: Вклейка // Волна. — 1997. — № 2 (11). — С. 30.
23. **Ломоносов И. С., Гапон А. З., Арсентьева Л. Г.** Иркутский промышленный район — г. Иркутск, Ангарск, Шелехов // Экогеохимия городов Восточной Сибири. — Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 1993. — С. 25–37.
24. **Михеева А. С.** Загрязнение атмосферы // Антропогенная трансформация природных систем и социально-экономические последствия в бассейне реки Селенги. — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. ун-та, Байкал. ин-та природопользования СО РАН, 2012. — С. 124–133.
25. **Белоголовов В. Ф.** Геохимический атлас г. Улан-Удэ. — Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1989. — 52 с.
26. **Государственный** доклад о состоянии окружающей природной среды в Иркутской области в 1991–2002 гг. [Электронный ресурс]. — <http://www.irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения 08.08.2015).
27. **Государственный** доклад о состоянии и об охране окружающей природной среды Иркутской области в 2003 г. — Иркутск: «Облмашинформ», 2004. — 296 с.
28. **Государственный** доклад о состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2004 г. — М.; Иркутск: Оперативная типография «На Чехова», 2005. — 350 с.
29. **Государственный** доклад о состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2005 г. — М.; Иркутск: Оперативная типография «На Чехова», 2006. — 338 с.
30. **Государственный** доклад о состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2006 г. — М.; Иркутск: Сиб. фил. ФГУ НПП «Росгеофонд», 2007. — 420 с.
31. **Государственный** доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011–2013 году» [Электронный ресурс]. — <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101> (дата обращения 21.07.2015).
32. **Состояние** окружающей природной среды и природоохранная деятельность в Республике Бурятия в 1991–2003 гг. [Электронный ресурс]. — http://www.minpriroda-rb.ru/activity/index.php?SECTION_ID=921 (дата обращения 10.08.2015).
33. **Кузьмин В. А.** О химическом составе верховых торфяников и снега Южного Прибайкалья (в связи с проблемой загрязнения окружающей среды) // География и природ. ресурсы. — 1999. — № 3. — С. 59–65.
34. **ГОСТ 2874-82.** Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством [Электронный ресурс]. — <http://gostvoda.ru/d/677526/d14-gost-2874-82.pdf> (дата обращения 10.08.2015).
35. **ГН 2.1.5.1315-03** «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» [Электронный ресурс]. — http://www.info-sait.ru/norma_doc/41363/index.htm (дата обращения 10.08.2015).
36. **Перечень** рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. — М.: Изд-во ВНИИ рыбного хозяйства и океанографии, 1999. — 304 с.
37. **Чебаненко Б. Б., Майсюк Е. П.** Байкальский регион: пределы устойчивости. — Новосибирск: Наука, 2002. — 160 с.
38. **Богданов Ю. А., Купцов В. М., Шевченко В. П., Бобров В. А., Гавшин В. М.** Современные потоки химических элементов из водной толщи в донные осадки озера Байкал // Докл. РАН. — 1997. — Т. 352, № 1. — С. 100–104.
39. **Koval P. V., Belogolova G. A., Burenkov E. K., Pampura V. D.** The Baikal Polygon: international and national projects of geochemical mapping and monitoring of the environment // Russian Geology and Geophysics. — 1993. — Vol. 34, N 10–11. — P. 207–220.
40. **Плюснин В. М., Владимиров И. Н.** Территориальное планирование Центральной экологической зоны Байкальской природной территории. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2013. — 407 с.

Поступила в редакцию 9 сентября 2016 г.