

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 550.461:556.314(235.222)

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ВЕРХОВЬЕВ БАССЕЙНА Р. КАТУНИ И ОЗ. ТАЛЬМЕНЬ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

© 2020 г. Е. В. Бородина^{1,*}, У. О. Бородина^{1,**}

¹ *Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, просп. акад. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090 Россия*

**E-mail: borev@igm.nsc.ru,*

***E-mail: borodinauo@igm.nsc.ru*

Поступила в редакцию 20.02.2020 г.

После доработки 10.04.2020 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

Представлены результаты по ICP-MS определению 50 элементов в воде малых рек, озер и в талых водах ледников и снежников бассейна р. Катунь в районе оз. Тальмень. Поверхностные воды в районе исследований ультрапресные, большей частью слабощелочные, реже — нейтральные и щелочные. В составе воды рек и озер преобладает Са, в составе снежников и талых ледниковых вод — К. Концентрации тяжелых элементов в реках и озерах не превышают ПДК в питьевой воде, но содержания Al и Cu превышают ПДК в воде рыбохозяйственных водоемов. В составе снега и фирна обнаружены высокие содержания Al, P, K, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, превышающие ПДК в рыбохозяйственных водоемах, причем содержания Al, K, Fe, Ni, Pb превышают ПДК в питьевой воде. Состав водных объектов определяется, главным образом, стоком веществ с водосборной площади, а высокое содержание в том числе тяжелых элементов является результатом эрозионных процессов в подстилающих горных породах и почвах. Наличие в ледниках и снежниках высоких концентраций токсичных металлов (Al, Ni, Pb) связано с накоплением продуктов выветривания в толще снега и льда в течение длительного времени.

Ключевые слова: ICP-MS, тяжелые металлы, Тальмень, Катунь, Горный Алтай

DOI: 10.31857/S0869780920040025

ВВЕДЕНИЕ

Проблема мониторинга химического состава природных вод на особо охраняемых территориях Горного Алтая является весьма актуальной из-за расположенных здесь многочисленных месторождений и рудопоявлений, а также в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой. Характер распределения ореолов рассеяния тяжелых элементов во многом определяется переносом продуктов выветривания коренных горных пород природными водотоками. Экогеохимическое исследование высокогорных зон в верховьях р. Катунь и ее притоков даст возможность выявить природные и аэротехногенные источники тяжелых металлов, определить объекты с наибольшим содержанием токсичных веществ, а также оценить антропогенную нагрузку на горные экосистемы особо охраняемых территорий.

Озеро Тальмень (рис. 1) — морено-подпрудное озеро ледникового происхождения, образовалось за счет запруживания долины мореной во время одной из наиболее ранних стадий деградации последнего оледенения, вероятнее всего, во время

максимальной стадии II мегастадиала [16]. Ложе озера расположено в крупном ледниковом трое южного склона Катунского хребта на высоте 1531 м, его длина 5420 м, ширина 1080 м [11, 13, 15], максимальная глубина 68 м, абсолютные высоты водораздельных гребней достигают 3500–4000 м [13]. Донные отложения представлены темно-серым илом в глубинной части озера и каменистым грунтом в зоне литорали [1]. В озере водится хариус.

Акватория озера относится к Холзунско–Чуйскому антиклинорию, представленному главным образом кембрийскими осадочными толщами (песчаниками, сланцами, конгломератами, часто переслаиваемыми). Складчатый цоколь антиклинальной структуры в ряде мест прорван девонскими интрузиями кварцевых диоритов и гранитов [17]. Рельеф района представлен разнообразными геоморфологическими уровнями, сформированными в результате прерывистого неоген-четвертичного поднятия и последующего расчленения поверхности водно-ледниковой деятельности. Ледниковые отложения слагают

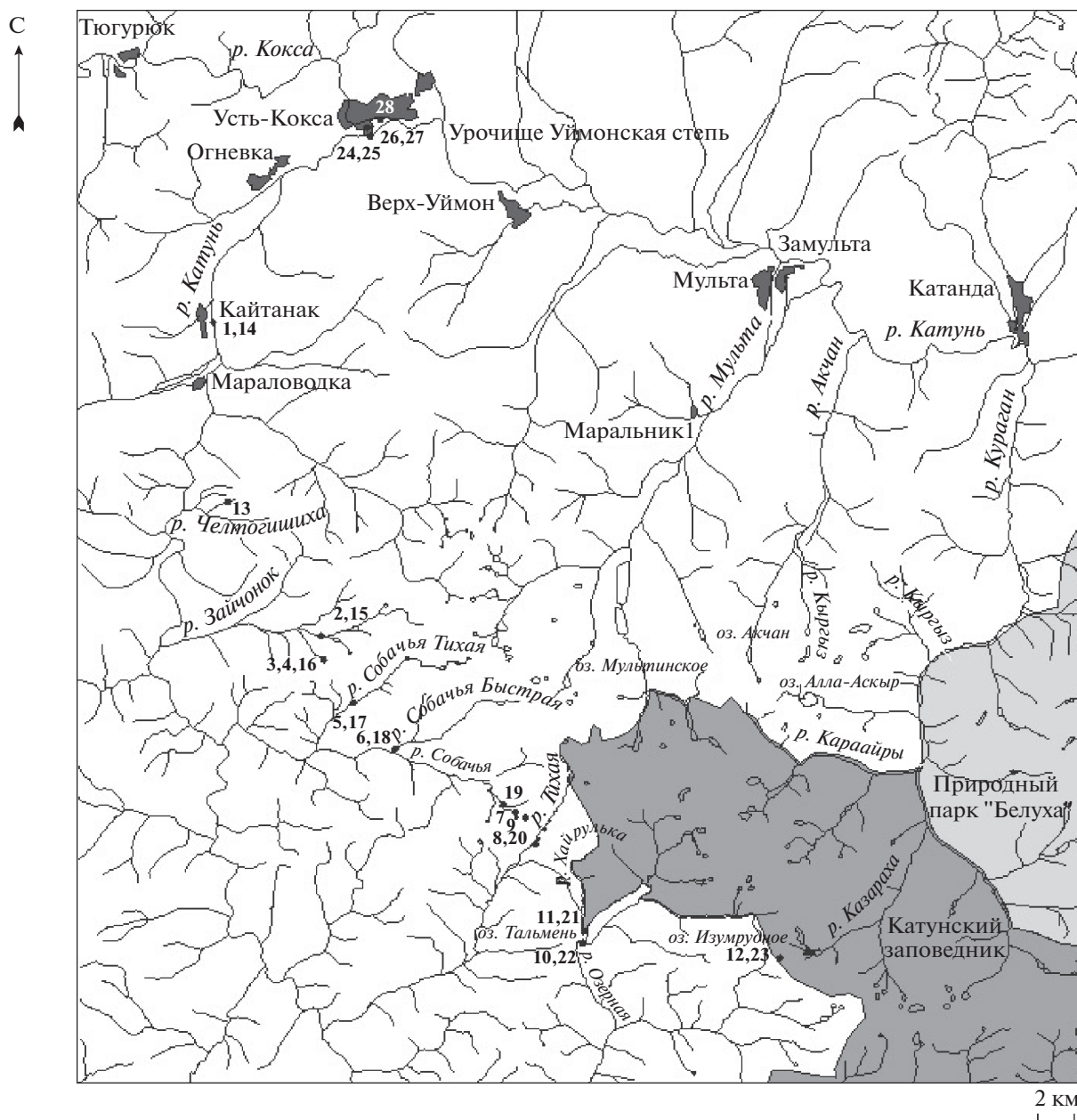


Рис. 1. Картограмма верховьев р. Катунь с притоками [15]. Точками показаны места отбора проб воды. Описание точек отбора проб 1–28 и номера проб см. табл. 1.

ряды морен вдоль берега озера, у подножий склонов развиты осыпи. На юго-западе моренный вал, подпирающий оз. Тальмень, прорезан р. Озерной [13]. В окрестностях озера преобладают грубоскелетные почвы подзолистого типа и торфяно-болотные почвы [12]. Растительность по своей структуре и видовому составу является типично высокогорно-лесной. Формация высокогорных субальпийских лугов чередуется с кедровыми редколесьями [14]. На пониженных участках развивается формация осоковых заболоченных субальпийских лугов [13].

Озеро Тальмень – самое крупное из озер бассейна верхней Катунь, с 1996 г. признано памятником природы республики Алтай. Озеро расположено в охранной зоне Катунского государственного биосферного заповедника. Малые реки – Зайчонок, Собачьи, Тихая, Озерная – правые притоки р. Катунь, р. Хайрузовка впадают в оз. Тальмень, р. Озерная вытекает из него. Экологическое состояние территории требует контроля из-за возможного антропогенного загрязнения в результате традиционной хозяйственной деятельности (пастбищное скотоводство, широко

развитое на альпийских лугах, рыболовство), возрастание потока туристов, а также природного загрязнения за счет поступления в водотоки тяжелых металлов из коренных горных пород.

Цель настоящей работы – исследование состава, физико-химических особенностей поверхностных вод верховьев р. Катунь и оценка экологического состояния охраняемой территории в районе оз. Тальмень.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представлены результаты по количественному определению 50 элементов в воде малых рек, озер и в талых водах ледников и снежников бассейна р. Катунь в районе оз. Тальмень. Концентрации растворенных форм металлов были определены методом ICP-MS, относительная погрешность не превышала 10%.

Анализы 2018 г. (обр. В–1–18 – В–12–18) выполнены на масс-спектрометре высокого разрешения ELEMENT производства фирмы Finnigan MAT (Германия) в аналитическом Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (Новосибирск), аналитик Николаева И.В. Ниже предела обнаружения: Ве (<0.05 мкг/л), Ау (<0.001 мкг/л), Те (<0.01 мкг/л).

Анализы 2017 г. (обр. В–1–17 – В–10–17) – на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500a (США) и атомно-абсорбционном спектрофотометре AA280FS (США) в ИХТТМ СО РАН (Новосибирск), аналитик Шацкая С.С.

Содержание ртути определялось на ртутном газоанализаторе атомно-абсорбционным методом “холодного пара” с амальгамацией на золотом сорбенте в лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии ИГМ СО РАН (Новосибирск), аналитик Бадмаева Ж.О.

Исследования проводились 16–21.07.2017 г. и 8–11.07.2018 г. Дополнительные пробы на Нг были взяты 25.07.2018 г. Пробы воды отбирались в соответствии с нормативными документами^{1,2} и методическим пособием [4] в местах максимального водообмена – в зоне прибоя или течения, на открытой воде, вдали от застойных прибрежных зон, на расстоянии 1–3 м от берега, с глубины 0.5 м, чтобы уменьшить влияние неоднородности концентраций микроэлементов по площади поверхности и глубине озера. Не допускалось взму-

чивание донных отложений. Пробы отбирали в стерильные одноразовые полипропиленовые пробирки производства фирмы “Corning” (США). Емкости и крышки предварительно ополаскивали не менее трех раз отбираемой для анализа водой³ [4]. На месте отбора пробы фильтровали через мембранные фильтры и консервировали очищенной азотной кислотой, которая использовалась в дальнейшем при выполнении масс-спектрального анализа этих образцов.

Пробы снега и фирна отбирали на глубину 10 см в стерильные одноразовые полипропиленовые пробирки. Пробу талых вод (В–3–18) отбирали в ручье, стекающем со снежника в нескольких метрах от места отбора пробы снега и фирна (В–4–18). После отбора пробы снега и фирна были растоплены при комнатной температуре, профильтрованы через мембранные фильтры, законсервированы очищенной азотной кислотой и помещены в такие же стерильные одноразовые полипропиленовые пробирки, как и пробы воды.

Для фильтрации применялись одноразовые шприцевые фильтрующие насадки Minisart NML производства фирмы “Sartorius” (Германия) с размером пор 0.45 мкм. Фильтрат подкислялся до рН < 2 из расчета 3–5 мл концентрированной азотной кислоты на 1 л пробы^{4,5}. Пробы транспортировали в темных контейнерах, хранили в прохладном месте, анализировали менее, чем через 1 мес. с момента отбора.

В ходе полевых работ были исследованы физико-химические характеристики водных объектов – температура, рН, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП, Eh), электропроводность и общая минерализация. Измерения проводились во время отбора проб (in situ) с помощью приборов: РН–200, ОРР–200 и СОМ–100, производитель НМ Digital (Южная Корея). Высокая точность полученных данных гарантирована техническими характеристиками приборов⁶. Географические координаты определялись с помощью GPS навигатора, производитель Garmin Ltd. (США).

³МУК 4.1.1469-03 Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в питьевой, природной и сточных водах. Сборник методических указаний. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 59 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034848>

⁴ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2013. 36 с. <http://docs.cntd.ru/document/1200097520>

⁵ГОСТ 31870-2012 Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2013. 18 с. <http://docs.cntd.ru/document/1200097409>

⁶https://www.ecounit.ru/goods_2812.html

¹ МУК 1.2. 2743-10 Порядок отбора проб для выявления и идентификации наноматериалов в водных объектах. Методические указания. URL: <http://base.garant.ru/2173551/>

² Р 52.24.353-2012 Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. Рекомендации. Ростов-на-Дону: ГУ ГХИ, Росгидромет, 2012. 35 с. URL: http://snipov.net/database/c_4294944184_doc_4293792809.html

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В табл. 1 приведены основные физико-химические характеристики водных объектов. Поверхностные воды в районе исследований ультрапресные, большей частью слабощелочные, реже – нейтральные и щелочные.

В 2018 г. значение рН воды малых рек и озер варьировало от 8.1 до 7.1, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) – от 213 до 38 мВ, общая минерализация не превышала 14.9 мг/л. В 2017 г. рН было в пределах 8.3–7.2, электропроводность – 26.8–15.0 мкСм, ОВП – от 130 до 24 мВ, общая минерализация – 17.0–9.6 мг/л.

Максимальная минерализация (122 мг/л) зафиксирована в ручье, правом притоке р. Челтогиши на восточном борту долины р. Катунь, минимальная (3 мг/л) – в ручье, стекающем со снежника пер. Собачьего Тихого. Вода из этих ручьев имеет щелочную реакцию (рН – 8.6–8.8). Для снежников характерны высокие значения рН – 8.5–7.6, широкие вариации ОВП – 165–44 мВ и низкая минерализация – 13.6–7.3 мг/л. Минимальная величина рН – 7.1 и максимальное значение ОВП – 213 мВ зафиксированы в воде оз. Тальмень.

Грунтовые воды (вода из скважины, с. Усть-Кокса) имели следующие показатели: в июле 2018 г. – минерализация 51 мг/л, рН – 6.8, ОВП – 183 мВ; в июле 2017 г. – минерализация 43 мг/л, электропроводность 64 мкСм, рН – 6.7, ОВП – 33 мВ. Минерализация воды в р. Катунь в районе с. Усть-Кокса составляла 28–23 мг/л, электропроводность 36 мкСм, рН – 6.7–6.6, ОВП – 120 мВ (в июле 2018 г.) и 32 мВ (в июле 2017 г.). Вода в р. Коксе (с. Усть-Кокса) имеет значительно большую минерализацию, чем в р. Катунь: 105 мг/л, рН 7.1, ОВП 120 мВ.

СОСТАВ ВОДЫ

В табл. 2 приведены содержания растворенных форм элементов в изученных водных объектах. Суммарное содержание элементов варьирует от 14 мг/л в талых водах снега и фирна пер. Быстрореченского до 3 мг/л в ручье, стекающем со снежника на пер. Собачий Тихий. В реках и озерах содержание элементов не превышает 9.2–3.8 мг/л. Среди них наибольшее значение имеет Са.

Са (67–48%) > Si (27–11%) > Na (15–8%) > Mg (15–7%) > K (6–1%) > Al (0.8–0.3%) > Fe (0.6–0.1%) > Sr (0.5–0.2%) > P (0.3–0.1%). Содержание остальных элементов – 0.2–0.1%.

В составе снежников значительно преобладает К.

К (75–52%) > Na (19–5%) > Ca (9–3%) > Fe (7–4%) > Si (6–2%) > Ni (12–0.02%) > P (7–1%) > Mg (4–2%) > Al (4–1%) > Zn (0.3–0.1%) > Mn (0.3–

0.05%) > Pb (0.07–0.01%) > Ti (0.06–0.02%). Содержание других элементов – 0.2–0.1%.

Для снега и фирна высокогорной части бассейна Катунь характерно более высокое по сравнению с речными и озерными водами содержание большинства элементов, в том числе тяжелых металлов, что, вероятно, связано с их накоплением в толще снега в течение длительного времени. В пробах снега и фирна 2018 г. к таким элементам относятся: Al, P, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Ag, Cd, Pb, Bi. Содержание Si, Ca, Sr, напротив, в речной воде выше. В пробах снега и фирна 2017 г. наблюдалось более высокое по сравнению с речными водами содержание Zn, Br, Rb, Ce, Pb, и более низкое – Sr, Ba (см. табл. 2).

В талых водах (ручей со снежника пер. Собачий Тихий) содержание Na, Mg, Al, Si, P, K, Ti, V, Fe, Cu, Zn, Rb, Cd, Sb, Ba, U – в 7.8–1.4 раз, Pb – в 12 раз, а Bi – в 20 раз ниже, чем на поверхности снежника. Напротив, содержание Ni и Ag в талых водах, соответственно, в 7 и 5 раз выше, чем в снежнике. Суммарное содержание элементов в исследованных талых водах было в 2.6 раза ниже, чем в снежнике (см. табл. 2).

Содержание Na, Mg, Ca, Ti, Cr, Fe, Cu, Zn, Sr, U в верховье р. Катунь (524 км от устья, в районе с. Кайтанак) до 6 раз выше, чем в ее притоках – малых реках высокогорной части бассейна и оз. Тальмень. Суммарное содержание элементов в поверхностных водотоках в районе оз. Тальмень в среднем в 2 раза ниже, чем в воде Катунь (см. табл. 2).

В исследованных реках и озерах верховьев Катунь зафиксировано превышение установленных нормативов предельно допустимых концентраций некоторых вредных веществ. ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения [18] были превышены: в р. Катунь – по Al (1.1 ПДК), Cu (1.7–1.2 ПДК), в р. Зайчонок – по Al (1.3 ПДК), Cu (1.2 ПДК), в р. Собачьей Тихой – по Al (1.7 ПДК), Cu (1.6 ПДК), по Cu: в р. Собачьей Быстрой – 1.0 ПДК, в р. Собачьей – 1.3 ПДК, в р. Тихой – 1.0 ПДК, в р. Хайрузовке – 1.4 ПДК, в оз. Тальмень и р. Озерной – 1.7 ПДК.

В составе снега и фирна обнаружено высокое содержание следующих элементов:

Al (7.2–3.5 ПДК [18], 2.9–1.4 ПДК [20], 1.4–1.0 ПДК [6]),

P (6.6–1.9 ПДК [18]),

K (1.0 ПДК [18], 5.1–1.3 ПДК [20]),

Fe (8.9–1.5 ПДК [18], 3.0 ПДК [6, 19, 20]),

Ni (5.7 – 1.0 ПДК [18], 2.9 ПДК [6, 20]),

Cu (2.8–1.4 ПДК [18]),

Zn (4.4–1.5 ПДК [18]),

Pb (1.5 ПДК [18], 1.8 – 1.1 ПДК [20]).

Таблица 1. Физико-химические показатели водных объектов

| | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Точки отбора проб воды | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Дата отбора пробы | 08.07.18 | 09.07.18 | 09.07.18 | 09.07.18 | 09.07.18 | 09.07.18 |
| № пробы | В-1-18 | В-2-18 | В-3-18 | В-4-18 | В-5-18 | В-6-18 |
| Координаты | 50°09'83"N 85°28'38"E | 49°58'37"N 85°34'06"E | 49°57'49"N 85°34'15"E | 49°57'49"N 85°34'15"E | 49°56'20"N 85°35'41"E | 49°54'47"N 85°37'54"E |
| Высота, м | 1020 | 1831 | 2024 | 2024 | 1710 | 1487 |
| <i>t</i> возд., °С | 22.0 | 25.0 | 22.0 | 22.0 | 22.0 | 26.0 |
| <i>t</i> воды, °С | 11.3 | 12.5 | — | — | 11.6 | 12.3 |
| Минер., мг/л | 24.6 | 10.8 | 2.8 | 7.6 | 9.1 | 14.4 |
| pH | 8.1 | 7.6 | 8.8 | 8.5 | 7.5 | 8.1 |
| Eh, мВ | 36 | 152 | 75 | 75 | 47 | 47 |
| Точки отбора проб воды | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Дата отбора пробы | 10.07.18 | 10.07.18 | 10.07.18 | 10.07.18 | 10.07.18 | 11.07.18 |
| № пробы | В-7-18 | В-8-18 | В-9-18 | В-10-18 | В-11-18 | В-12-18 |
| Координаты | 49°52'32"N 85°44'18"E | 49°51'39"N 85°45'18"E | 49°52'26"N 85°44'42"E | 49°48'16"N 85°47'43"E | 49°48'36"N 85°47'55"E | 49°47'46"N 85°58'43"E |
| Высота, м | 2014 | 1811 | 2200 | 1540 | 1540 | 2370 |
| <i>t</i> возд., °С | 26.0 | 25.0 | — | 13.4 | 13.0 | — |
| <i>t</i> воды, °С | 7.2 | 12.4 | — | 11.1 | 7.7 | — |
| Минер., мг/л | 10.4 | 14.9 | 13.6 | 11.0 | 14.0 | 11.0 |
| pH | 7.7 | 7.7 | 7.6 | 7.1 | 7.3 | 7.8 |
| Eh, мВ | 117 | 38 | 44 | 213 | 197 | 73 |
| Точки отбора проб воды | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Дата отбора пробы | 08.07.18 | 17.07.17 | 18.07.17 | 19.07.17 | 19.07.17 | 19.07.17 |
| № пробы | б/Обр-1-18 | В-1-17 | В-2-17 | В-3-17 | В-4-17 | В-5-17 |
| Координаты | 50°03'57"N 85°29'40"E | — | — | 49°57'49"N 85°34'15"E | 49°56'20"N 85°35'41"E | 49°54'47"N 85°37'54"E |
| Высота, м | 1700 | — | — | 2024 | 1710 | 1487 |
| <i>t</i> возд., °С | 22.0 | — | 15.7 | 9.7 | 14.7 | 14.7 |
| <i>t</i> воды, °С | 4.5 | 16.0 | 13.7 | — | 11.2 | 10.8 |
| Минер., мг/л | 122.0 | 33.3 | 11.7 | 9.1 | 10.8 | 17.0 |
| Эл. пров., мкСм | — | 44.8 | 18.3 | 13.5 | 16.8 | 26.8 |
| Ж., мг-экв/л | — | 0.32 | 0.13 | 0.10 | 0.12 | 0.19 |
| pH | 8.6 | 7.7 | 7.8 | 8.5 | 8.0 | 7.6 |
| Eh, мВ | 56 | 28 | 24 | 137 | 130 | 90 |
| Точки отбора проб воды | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Дата отбора пробы | 20.07.17 | 20.07.17 | 20.07.17 | 20.07.17 | 21.07.17 | 25.07.18 |
| № пробы | В-6-17 | В-7-17 | В-8-17 | В-9-17 | В-10-17 | В-36-18 |
| Координаты | 49°52'49"N 85°43'43"E | 49°51'39"N 85°45'18"E | 49°48'36"N 85°47'55"E | 49°48'16"N 85°47'43"E | 49°47'46"N 85°58'43"E | 50°15'30"N 85°36'04"E |
| Высота, м | 1910 | 1811 | 1540 | 1540 | 2370 | 960 |
| <i>t</i> возд., °С | 10.2 | 10.2 | 19.4 | 19.4 | — | 15.5 |

Таблица 1. Окончание

| | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------|------|
| <i>t</i> воды, °С | 11.1 | 10.9 | 12.6 | 16.9 | – | 14.3 |
| Минер., мг/л | 13.5 | 16.0 | 16.8 | 9.6 | 9.3 | 28.4 |
| Эл. пров., мкСм | 21.0 | 24.7 | 26.4 | 15.0 | 14.6 | – |
| Ж., мг-экв/л | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.11 | 0.11 | – |
| pH | 8.0 | 8.3 | 7.2 | 7.5 | 8.4 | 6.7 |
| Eh, мВ | 90 | 103 | 121 | 60 | 165 | 120 |
| Точки отбора проб воды | 25 | 26 | 27 | 28 | | |
| Дата отбора пробы | 16.07.17 | 25.07.18 | 16.07.17 | 25.07.18 | | |
| № пробы | б/Обр–1–17 | В–37–18 | б/Обр–2–17 | В–38–18 | | |
| Координаты | 50°15'30"N 85°36'04"E | 50°15'36"N 85°36'05"E | 50°15'36"N 85°36'05"E | 50°15'58"N 85°36'54"E | | |
| Высота, м | 960 | 960 | 960 | 980 | | |
| <i>t</i> возд., °С | 26 | 15.5 | 26 | 15.0 | | |
| <i>t</i> воды, °С | 17.0 | – | 19.8 | 12.8 | | |
| Минер., мг/л | 23.2 | 51.0 | 42.5 | 105.0 | | |
| Эл. пров., мкСм | 36.4 | – | 64.3 | – | | |
| Ж., мг-экв/л | 0.26 | – | 0.46 | – | | |
| pH | 6.6 | 6.8 | 6.7 | 7.1 | | |
| Eh, мВ | 32 | 183 | 33 | 120 | | |

Примечание.

Точки отбора проб воды: **1** – р. Катунь, с. Кайтанак; **2** – р. Зайчонок, верхнее течение; **3** – пер. Собачий Тихий, ручей со снежника; **4** – пер. Собачий Тихий, снег, фирн; **5** – р. Собачья Тихая, среднее течение; **6** – р. Собачья Быстрая, нижнее течение; **7** – оз. Собачье, исток р. Собачьей; **8** – р. Тихая, среднее течение; **9** – пер. Быстрореченский, снег, фирн; **10** – оз. Тальмень, исток р. Озерной; **11** – р. Хайрузовка, устье; **12** – пер. Казинихинский, снег, фирн; **13** – ручей, правый приток р. Челтогишихи, восточный борт долины р. Катунь; **14** – р. Катунь, с. Кайтанак; **15** – р. Зайчонок, верхнее течение; **16** – пер. Собачий Тихий, снег, фирн; **17** – р. Собачья Тихая, среднее течение; **18** – р. Собачья Быстрая, нижнее течение; **19** – р. Собачья, вблизи оз. Собачьего; **20** – р. Тихая, среднее течение; **21** – р. Хайрузовка, устье; **22** – оз. Тальмень, исток р. Озерной; **23** – пер. Казинихинский, снег, фирн; **24, 25** – р. Катунь, с. Усть-Кокса; **26, 27** – грунтовые воды (вода из скважины), с. Усть-Кокса; **28** – р. Кокса, с. Усть-Кокса.

Прочие обозначения: б/Обр–1 – физико-химические показатели водных объектов исследованы без отбора проб; Высота на уровне моря по [15]; Минер., мг/л – общая минерализация; Эл. пров., мкСм – электропроводность, микросименс; Ж. – жесткость общая, мг-экв/л.

В ручье, стекающем со снежника пер. Собачьего Тихого, высокое содержание: Al – 1.0 ПДК [18], P – 1.4 ПДК [18], Fe – 1.5 ПДК [18] и Ni – 38 ПДК [18], 19 ПДК [6, 20] (см. табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Состав поверхностных вод верховьев Катунь формируется за счет выщелачивания продуктов выветривания подстилающих горных пород и почв, их поступления с талыми ледниковыми водами и атмосферного переноса. Основным источником поступления большинства элементов в поверхностные воды являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и выщелачиванием растворимых соединений из поверхностного слоя рыхлых отложений [8].

Значительная доля в питании горных рек приходится на талые воды ледников и снежников. Доля ледникового стока в верховьях Катунь оценивается в 12–14% [5]. Питание из снежников и сезонного снежного покрова составляет наибольшую долю стока рек Катунского заповедника и парка “Белуха” – до 50%, дождевое питание – 20%, грунтовое – 30% [2]. Это значит, что состав и экологическое состояние поверхностных вод района исследований во многом определяется составом ледников и снежников.

Осадки в виде дождя и снега адсорбируют и выносят из атмосферы частицы пыли и аэрозоли вместе с загрязняющими веществами. В течение длительного времени ледники и снежники аккумулируют вещества, попадающие из атмосферы вместе с осадками – в растворенном виде и в аэрозолях, атмосферную пыль, представляющую собой смесь веществ неорганического и органи-

Таблица 2. Результаты ИСП-МС определения содержания растворенных форм элементов в водных пробах, мкг/л

| Компонент | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 08.07.18 В-1-18 | 09.07.18 В-2-18 | 09.07.18 В-3-18 | 09.07.18 В-4-18 | 09.07.18 В-5-18 | 09.07.18 В-6-18 | 10.07.18 В-7-18 | 10.07.18 В-8-18 |
| Na | 861 | 680 | 160 | 894 | 593 | 632 | 340 | 426 |
| Mg | 993 | 331 | 78 | 284 | 289 | 386 | 579 | 553 |
| Al | 27 | 24 | 42 | 286 | 28 | 22 | 20 | 37 |
| Si | 1335 | 1041 | <100 | 401 | 860 | 826 | 602 | 564 |
| P | 9 | 7 | 68 | 95 | 11 | 9 | 9 | 6 |
| K | 100 | 106 | 1904 | 4936 | 233 | 82 | <20 | 50 |
| Ca | 5802 | 2355 | 279* | 327* | 2145 | 3532 | 2198 | 3360 |
| Sc | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| Ti | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 4.7 | 0.3 | 0.3 | 0.18* | 0.2 |
| V | 0.18 | 0.14 | 0.13 | 0.60 | 0.17 | 0.22 | 0.06 | 0.11 |
| Cr | 0.18 | 0.10* | 0.75 | 0.84 | 0.11 | 0.14 | 0.07* | 0.14 |
| Mn | 2.0 | 0.7 | 7.7 | 6.7 | 2.8 | 1.1 | 1.9 | 1.4 |
| Fe | 30 | 28 | 147 | 296 | 24 | 14 | 18 | 17 |
| Co | 0.02 | 0.018* | 0.16 | 0.20 | 0.03 | 0.03 | 0.01* | 0.015* |
| Ni | 0.8 | 0.1* | 380 | 57 | 0.8 | 0.2* | 0.1* | 0.1* |
| Cu | 1.2 | 0.5 | 0.6 | 1.8 | 0.8 | 1.0 | 0.4* | 0.3* |
| Zn | 4.6 | 2.7 | 8.7 | 14.7 | 1.3 | 1.8 | 0.9 | 0.8 |
| Rb | 0.28 | 0.28 | 0.35 | 0.83 | 0.24 | 0.21 | 0.07* | 0.16 |
| Sr | 29.3 | 8.6 | 1.2 | 1.4 | 9.5 | 19.5 | 12.4 | 23.0 |
| Mo | 0.22 | 0.28 | 0.02* | 0.03 | 0.13 | 0.25 | 0.04 | 0.85 |
| Ag | <0.01 | <0.01 | 0.91 | 0.20 | <0.01 | 0.03 | <0.01 | 0.01* |
| Cd | <0.003 | <0.003 | 0.014 | 0.025 | 0.007 | <0.003 | <0.003 | <0.003 |
| Sn | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | 0.08* |
| Sb | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.08 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.13 |
| Ba | 3.1 | 2.9 | 1.9 | 3.4 | 1.9 | 2.9 | 2.3 | 2.4 |
| W | 0.03 | <0.01 | 0.01* | 0.02 | <0.01 | 0.04 | <0.01 | 0.07 |
| Hg | <0.02 | — | — | <0.02 | — | — | <0.02 | — |
| Pb | <0.1 | <0.1 | 0.4 | 5.5 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 |
| Bi | <0.001 | <0.001 | 0.003 | 0.062 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| U | 0.06 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.04 |
| Сумма | 9198 | 4587 | 2802 | 7291 | 4200 | 5529 | 3785 | 5042 |
| Компонент | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | 10.07.18 В-9-18 | 10.07.18 В-10-18 | 10.07.18 В-11-18 | 11.07.18 В-12-18 | ПО-18 | 17.07.17 В-1-17 | 18.07.17 В-2-17 | 19.07.17 В-3-17 |
| Li | — | — | — | — | — | 0.42 | 0.29 | 0.26 |
| Na | 1132 | 479 | 889 | 906 | 5 | — | — | — |
| Mg | 233 | 306 | 503 | 157 | 3 | — | — | — |
| Al | 241 | 32 | 31 | 206 | 3 | 44 | 51 | 17 |
| Si | 329 | 628 | 1563 | 277 | 100 | — | — | — |
| P | 125 | 6 | 11 | 331 | 1 | — | — | — |
| K | 10210 | 135 | 50 | 2539 | 20 | — | — | — |
| Ca | 402 | 2479 | 2811 | 201* | 200 | — | — | — |

Таблица 2. Продолжение

| | | | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sc | 0.01* | <0.01 | <0.01 | 0.01* | 0.01 | 0.10 | — | — |
| Ti | 4.6 | 0.3 | 0.19* | 3.1 | 0.1 | 0.66 | 0.70 | — |
| V | 0.66 | 0.10 | 0.15 | 0.39 | 0.03 | 0.18 | 0.28 | 0.04 |
| Cr | 1.46 | 0.14 | 0.16 | 0.67 | 0.05 | 1.20 | 0.79 | — |
| Mn | 6.3 | 1.4 | 0.3 | 4.5 | 0.1 | 3.2 | 2.6 | 5.6 |
| Fe | 886 | 15 | 9 | 217 | 3 | 76 | 76 | 8 |
| Co | 0.17 | 0.02* | 0.01* | 0.11 | 0.01 | 0.23 | 0.09 | 0.07 |
| Ni | 10.4 | 0.2 | 0.16* | 0.9 | 0.1 | 0.7 | 7.5 | 1.8 |
| Cu | 2.8 | 0.7 | 0.3* | 1.6 | 0.2 | 1.7 | 1.2 | 1.4 |
| Zn | 17.7 | 1.5 | 1.2 | 8.7 | 0.3 | 6.2 | 3.8 | 7.5 |
| Ga | — | — | — | — | — | 0.10 | 0.24 | 0.08 |
| Ge | — | — | — | — | — | — | 0.20 | — |
| Br | — | — | — | — | — | 3.2 | 11.0 | 44.0 |
| Rb | 1.54 | 0.34 | 0.13 | 0.85 | 0.05 | 0.21 | 0.21 | 0.73 |
| Sr | 1.9 | 12.7 | 13.3 | 0.9* | 0.5 | 23.0 | 8.2 | 1.4 |
| Y | — | — | — | — | — | 0.12 | 0.07 | 0.06 |
| Zr | — | — | — | — | — | 0.13 | 0.04 | 0.23 |
| Mo | 0.05 | 0.15 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.56 | 0.44 | 0.39 |
| Pd | — | — | — | — | — | — | 0.22 | — |
| Ag | 0.83 | <0.01 | <0.01 | 0.76 | 0.01 | 0.47 | — | — |
| Cd | 0.028 | <0.003 | <0.003 | 0.025 | 0.003 | — | — | — |
| In | — | — | — | — | — | 0.03 | — | 0.03 |
| Sn | 0.08* | <0.05 | <0.05 | 0.05* | 0.05 | — | 0.13 | — |
| Sb | 0.09 | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.005 | — | 0.13 | 0.14 |
| I | — | — | — | — | — | 2.10 | — | 0.69 |
| Ba | 3.5 | 2.4 | 3.8 | 1.6 | 0.1 | 4.2 | 4.7 | 1.0 |
| La | — | — | — | — | — | 0.38 | 3.20 | 2.70 |
| Ce | — | — | — | — | — | 0.20 | 0.07 | — |
| Pr | — | — | — | — | — | 0.05 | — | — |
| W | 0.02* | 0.03 | <0.01 | 0.02* | 0.01 | — | — | — |
| Re | — | — | — | — | — | 0.16 | — | — |
| Hg | — | 0.08 | — | — | 0.02 | — | — | — |
| Pb | 9.1 | <0.1 | <0.1 | 3.6 | 0.1 | 0.82 | 0.92 | 3.40 |
| Bi | 0.053 | <0.001 | <0.001 | 0.049 | 0.001 | 2.60 | — | 0.19 |
| Th | — | — | — | — | — | 0.05 | — | — |
| U | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.001 | 0.04 | 0.07 | — |
| Сумма | 13621 | 4100 | 5887 | 4660 | — | — | — | — |
| | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Компонент | 19.07.17 | 19.07.17 | 20.07.17 | 20.07.17 | 20.07.17 | 20.07.17 | 21.07.17 | |
| | В-4-17 | В-5-17 | В-6-17 | В-7-17 | В-8-17 | В-9-17 | В-10-17 | ПО-17 |
| Li | 0.08 | 0.18 | 0.21 | 0.08 | 0.69 | 0.12 | 0.35 | 0.001 |
| Al | 69 | 19 | 17 | 36 | 16 | 12 | 140 | 1 |
| Sc | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.48 | 0.63 | 0.12 | 0.08 | 0.001 |
| Ti | 0.47 | — | — | 1.20 | — | — | 1.20 | 0.001 |
| V | 0.15 | 0.17 | — | 0.08 | 0.08 | 0.15 | 0.32 | 0.01 |
| Cr | 0.65 | 1.10 | 0.52 | 0.78 | 0.45 | — | 0.50 | 0.001 |
| Mn | 3.1 | 0.5 | 1.5 | 3.7 | 0.9 | 0.5 | 3.8 | 0.001 |

Таблица 2. Продолжение

| | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|-----------------------|--------|-------------|------|------|------|--------|
| Fe | 51 | 40 | 45 | 82 | 52 | 15 | 150 | 0.1 |
| Co | 0.10 | — | 0.09 | 0.10 | — | — | 0.18 | 0.01 |
| Ni | 3.3 | 0.3 | 0.3 | 1.1 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 0.1 |
| Cu | 1.6 | 1.0 | 1.3 | 1.0 | 1.4 | 1.7 | 1.7 | 0.1 |
| Zn | 5.2 | 2.1 | 4.1 | 2.1 | 3.6 | 0.9 | 44.0 | 1 |
| Ga | — | 0.11 | 0.15 | 0.16 | 0.23 | 0.08 | 0.06 | 0.001 |
| Ge | 0.22 | 0.15 | — | — | — | — | — | 0.001 |
| As | 0.46 | — | — | — | — | — | — | 0.001 |
| Br | 12.0 | 9.6 | 2.0 | — | 3.6 | 3.9 | — | 0.001 |
| Rb | 0.21 | 0.14 | 0.08 | 0.14 | 0.05 | 0.20 | 1.20 | 0.001 |
| Sr | 9.6 | 21.0 | 16.0 | 24.0 | 14.0 | 9.9 | 0.6 | 1 |
| Y | 0.06 | — | 0.03 | 0.03 | 0.05 | — | 0.09 | 0.001 |
| Zr | 0.13 | — | 0.21 | — | 0.12 | 0.06 | 0.15 | 0.001 |
| Nb | — | — | — | — | — | 0.03 | — | 0.001 |
| Mo | 0.53 | 0.66 | 0.29 | 0.99 | 0.26 | 0.32 | 0.16 | 0.01 |
| Pd | — | — | — | — | — | — | — | 0.001 |
| Ag | — | 0.25 | 1.30 | — | 0.10 | — | — | 0.01 |
| In | — | — | — | — | — | — | — | 0.001 |
| Sn | — | 0.13 | — | 0.30 | — | — | — | 0.005 |
| Sb | — | — | — | 0.15 | — | — | 0.17 | 0.005 |
| I | 1.20 | 0.79 | 1.60 | 1.80 | 1.10 | 2.60 | 1.10 | 0.001 |
| Ba | 2.3 | 2.5 | 2.8 | 2.1 | 4.2 | 2.0 | 1.6 | 0.1 |
| La | 0.74 | 0.08 | 0.55 | 0.62 | 0.79 | 0.13 | 0.28 | 0.001 |
| Ce | 0.15 | — | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.54 | 0.001 |
| Pr | — | — | — | — | — | — | 0.03 | 0.001 |
| Nd | — | — | — | — | 0.19 | — | — | 0.001 |
| W | 0.13 | — | — | — | — | — | — | 0.005 |
| Re | 0.22 | 0.08 | 0.11 | 0.10 | 0.30 | 0.23 | 0.18 | 0.001 |
| Pb | 1.80 | 0.07 | 0.61 | 0.36 | 1.20 | 0.23 | 4.20 | 0.01 |
| Bi | 0.40 | 0.25 | 0.14 | 0.12 | 0.25 | 0.07 | 0.12 | 0.0005 |
| Th | 0.04 | 0.04 | 0.05 | — | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.001 |
| U | 0.04 | 0.04 | 0.04 | — | — | — | — | 0.001 |
| Компонент | 25 | 26 | 27 | 28 | | | | |
| | Приказ | ПДК | Первая | Высшая | | | | |
| Li | 80 | 30 ^{1,2} | 30 | 30 | | | | |
| Na | 120000 | 200000 ¹⁻³ | 200000 | 20000 | | | | |
| Mg | 40000 | 50000 ² | 65000 | 5000—50000 | | | | |
| Al | 40 | 200 ² | 200 | 100 | | | | |
| Si | — | 10000 ^{1,2} | 10000 | 10000 | | | | |
| P | 50 ¹ | 3500 ^{1,2} | — | — | | | | |
| K | 10000 ² | 12000 ³ | 20000 | 2000—20000 | | | | |
| Ca | 180000 | 100000 ³ | 130000 | 25000—80000 | | | | |
| Ti | 60 | 100 ² | — | — | | | | |
| V | 1 | 100 ^{1,2} | — | — | | | | |
| Cr | 20 | 50 ^{1,2,4} | 50 | 30 | | | | |

Таблица 2. Окончание

| | | | | |
|-----------|-----------|---------------------|-----------|------|
| Mn | 10 | 100 ^{1,2} | 50 | 50 |
| Fe | 100 | 300 ^{1,2} | 300 | 300 |
| Co | 10 | 100 ^{1,2} | 100 | 100 |
| Ni | 10 | 20 ² | 20 | 20 |
| Cu | 1 | 1000 ^{1,4} | 1000 | 1000 |
| Zn | 10 | 1000 ² | 5000 | 3000 |
| As | 50 | 10 ² | 10 | 6 |
| Br | 1350 | 200 ^{1,2} | 200 | 100 |
| Rb | 100 | 100 ¹ | – | – |
| Sr | 400 | 7000 ^{1,2} | 7000 | 7000 |
| Zr | 70 | – | – | – |
| Nb | – | 10 ^{1,2} | – | – |
| Mo | 1 | 70 ⁴ | 70 | 70 |
| Ag | – | 50 ^{1,2} | 25 | 25 |
| Cd | 5 | 1 ^{1,2} | 1 | 1 |
| Sn | 112 | – | – | – |
| Sb | – | 5 ² | 5 | 5 |
| I | 400 | 125 ² | 60 | 60 |
| Ba | 740 | 100 ¹ | 700 | 100 |
| W | 0.8 | 50 ^{1,2} | – | – |
| Hg | 0.01 | 0.5 ^{1,2} | 0.5 | 0.2 |
| Pb | 6 | 10 ² | 10 | 5 |
| Bi | – | 100 ^{1,2} | – | – |
| U | – | 15 ⁴ | – | – |
| | 29 | 30 | 31 | |
| Компонент | 25.07.18 | 25.07.18 | 25.07.18 | |
| | B–36–18 | B–37–18 | B–38–18 | |
| Hg | 0.11 | <0.02 | 0.047 | |

Примечание.

1 – р. Катунь, с. Кайтанак; **2** – р. Зайчонок, верхнее течение; **3** – пер. Собачий Тихий, ручей со снежника; **4** – пер. Собачий Тихий, снег, фирн; **5** – р. Собачья Тихая, среднее течение; **6** – р. Собачья Быстрая, нижнее течение; **7** – оз. Собачье, исток р. Собачьей; **8** – р. Тихая, среднее течение; **9** – пер. Быстрореченский, снег, фирн; **10** – оз. Тальмень, исток р. Озерной; **11** – р. Хайрузовка, устье; **12** – пер. Казинихинский, снег, фирн; **13** – пределы обнаружения для анализов, выполненных в 2018 г. (B–1–18 – B–12–18); **14** – р. Катунь, с. Кайтанак; **15** – р. Зайчонок, верхнее течение; **16** – пер. Собачий Тихий, снег, фирн; **17** – р. Собачья Тихая, среднее течение; **18** – р. Собачья Быстрая, нижнее течение; **19** – р. Собачья, вблизи оз. Собачьего; **20** – р. Тихая, среднее течение; **21** – р. Хайрузовка, устье; **22** – оз. Тальмень, исток р. Озерной; **23** – пер. Казинихинский, снег, фирн; **24** – пределы обнаружения для анализов, выполненных в 2017 г. (B–1–17 – B–10–17); **25** – [18], в верхнем индексе: 1 – полифосфаты (олиготрофные водоемы), 2 – для водоемов с минерализацией до 100 мг/л; **26** – ПДК питьевой воды, в верхнем индексе согласно: 1 – [19]; 2 – [6]; 3 – [9] и [10]; 4 – [7]; **27** – первая категория [20]; **28** – высшая категория [20]; **29** – р. Катунь, с. Усть-Кокса; **30** – грунтовые воды (вода из скважины), с. Усть-Кокса; **31** – р. Кокса, с. Усть-Кокса.

Полужирным шрифтом выделены показатели, превышающие ПДК.

* – концентрации элементов близки к пределу обнаружения, погрешность до 100% (данные по содержанию этих элементов следует считать оценочными).

ческого происхождения, а также частицы подстилающих горных пород и продукты их выветривания, оседающие на поверхности ледников и снежников. Со временем снежный покров уплот-

няется и кристаллизуется, трансформируясь в фирн, а под влиянием процессов испарения и конденсации на его поверхности, а также таяния и повторного замерзания воды в теплое время го-

да, происходит преобразование его первоначального химического состава [21]. Такое преобразование связано с изменением соотношения основных химических элементов в составе снега и сопровождается увеличением его минерализации.

Фирн, отобранный в верховьях малых рек в районе оз. Тальмень, по сравнению с речной водой имеет большую минерализацию и другое соотношение ионов. Среди главных компонентов химического состава фирна преобладает К, значительно превосходя Na. Вероятно, это связано с меньшей подвижностью К по сравнению с Na из-за его склонности сорбироваться на высокодисперстных частицах почв и пород в составе фирна [8]. При этом Na легко мигрирует в растворенном состоянии при испарении в процессе трансформации снега в фирн. Концентрация К в составе фирна, напротив, повышается с каждым этапом испарения и перекристаллизации.

Снег и фирн в районе исследований накапливают большое количество элементов, в том числе тяжелых металлов, поступающих из подстилающих пород и почв: Al, P, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Ag, Cd, Ce, Pb, Bi. Содержание этих элементов в снежниках гораздо выше, чем в речной воде. И наоборот, содержание Si, Ca, Sr, Ba в воде рек и озер выше, вероятно, за счет выщелачивания из дренируемых водотоками горных пород (см. табл. 2). Некоторое количество Al и Si попадает в природные воды с атмосферными осадками. Сжигание ископаемого топлива сопровождается масштабным выбросом соединений Ni, Pb, которые могут поступать в водные объекты с осадками или при осаждении пыли из атмосферы [8]. Кроме того, отмечается загрязнение ледников Катунского хребта тяжелыми металлами, прежде всего, Pb и Zn [3]. Результаты численного моделирования атмосферной циркуляции позволяют предполагать, что источником загрязнения являются предприятия цветной металлургии Восточного Казахстана [22].

В процессе таяния снежников элементы, накопившиеся в составе фирна, поступают в талые воды, а затем в реки и озера. Концентрация некоторых элементов (Cr, Mn, Co, Sr) одинакова в фирне и талой воде снежников. Ni и Ag демонстрируют высокую миграционную способность и в процессе таяния снежников в значительной степени концентрируются в талой воде. Остальные элементы (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ti, V, Fe, Cu, Zn, Rb, Cd, Sb, Ba, Pb, Bi, U) содержатся в талых водах в меньшем количестве, чем на поверхности тающего снежника, вероятно, за счет их адсорбции при фильтрации через рыхлые ледниковые отложения.

Данные по составу исследованных водных объектов верховьев Катунки были использованы

для построения матриц парных корреляций с целью выявления зависимости между содержаниями элементов. Для анализа использовались данные 2018 г. и 2017 г. по составу поверхностных вод и снежников. Для выборки проб 2018 г., включающей состав рек и озер, установлены статистически значимые ($r > 0.7$) корреляционные связи для большинства элементов: Na, Mg, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Mo, Sb, Ba, W, U. Содержания Al, Rb не имеют корреляционной связи с содержаниями других элементов. Для проб поверхностных вод 2017 г., установлены корреляционные связи ($r > 0.7$): Li, Al, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Se, Sr, Y, Zr, Mo, Ag, I, Ba, La, Ce, Re, Bi, Th, U. Исключение составляют Br, Rb, Pb.

Корреляционная зависимость между элементами может быть показателем существования единых источников их поступления, а значит, вероятно, все они попали в воду главным образом в результате эрозионных процессов в материнских горных породах и почвах. Это значит, что повышенное содержание в воде рек и озер Cu (в пробах 2018 г. и 2017 г.), и Al (в пробах 2017 г.), вероятно, обусловлено высоким содержанием этих элементов в подстилающих горных породах.

Для проб 2017–2018 гг. снега и фирна обнаружена корреляционная зависимость ($r > 0.7$) между всеми элементами, кроме Ag: Na, Mg, Al, Si, P, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Ba, Pb, Bi, U. Тесная корреляционная взаимосвязь между элементами свидетельствует, что основным источником Al, P, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, содержание которых в составе снега и фирна превышает ПДК, являются подстилающие горные породы и почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поверхностные воды в районе исследований ультрапресные, большей частью слабощелочные, реже – нейтральные и щелочные. Воды рек и озер относятся к кальциевой группе. В химическом составе снежников и талых ледниковых вод значительно преобладает К. По сравнению с речными водами, в снежниках происходит накопление ряда элементов: Al, P, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Ag, Cd, Ce, Pb, Bi. Содержание Si, Ca, Sr, Ba в воде рек и озер выше, чем в снежниках.

В изученных реках и озерах установлены высокие концентрации Al и Cu, превышающие ПДК в воде рыбохозяйственных водоемов. Концентрации тяжелых элементов в малых реках верховьев Катунки и оз. Тальмень не превышают ПДК в питьевой воде. В составе снега и фирна содержания Al, P, K, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb превышают ПДК в рыбохозяйственных водоемах. Содержания Al, K,

Fe, Ni, Pb также превышают ПДК в питьевой воде.

Установлены статистически значимые ($r > 0.7$) корреляционные зависимости почти для всех изученных элементов, что может свидетельствовать о связи состава водных объектов с единым природным источником. Al, Rb (в водных пробах 2018 г.), Br, Rb, Pb (в водных пробах 2017 г.) и Ag (в пробах снега и фирна) не имеют корреляционной связи с содержаниями других элементов. Таким образом, высокие содержания в воде рек и озер Cu (в пробах 2018 г. и 2017 г.), Al (в пробах 2017 г.), а также Al, P, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb в составе снега и фирна, не связаны с антропогенным воздействием на территорию.

Основным источником поступления элементов в поверхностные воды верховьев Катуня являются процессы химического выветривания и выщелачивания растворимых солей из поверхностного слоя почв и пород. Исследованные водные объекты подвержены влиянию природного загрязнения в результате эрозии подстилающих пород, что приводит к накоплению в ледниках и снежниках токсичных металлов (Al, Pb – 2 санитарно-токсикологический класс опасности, Ni – 3 класс) в концентрациях, превышающих ПДК в питьевой воде.

Авторы выражают искреннюю благодарность А.А. Князеву, О.А. Антоновой, М.Е. Бочкареву, Н.В. Лукьянчиковой (ИХБФМ СО РАН) за помощь в проведении экспедиционных работ, И.В. Николаевой (ИГМ СО РАН), С.С. Шацкой (ИХТТМ СО РАН) и Ж.О. Бадмаевой (ИГМ СО РАН) за помощь в аналитических исследованиях.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН. Финансирующая организация: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О.А.* Озера Катунских Альп // Исследования озер СССР. Л.: Изд-во ГГИ, 1935. Вып. 8. С. 153–232.
2. *Большух Т.В., Семенов В.А., Семенова И.В.* Гидрохимия водных объектов верхней части бассейна р. Катуня (Горный Алтай) // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны. Сб. науч. статей. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2004. Вып. 1. С. 20–32.
3. *Бондарович А.А.* Новые данные о загрязнении ледников Катунского хребта // Горы и человек: в поисках путей устойчивого развития. Тез. докл. науч.-практ. конф. Барнаул, 1996. С. 180.
4. *Борисова Е.А.* Анализ воды: методическое пособие. Ижевск: Изд-во “Удмуртский университет”, 2013. 30 с.
5. *Галахов В.П., Мухаметов Р.М.* Ледники Алтая. Новосибирск: Наука, 1999. 136 с.
6. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы. М.: Росийский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. 154 с.
7. ГН 2.1.5.2280-07 Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы. Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 11 с.
8. *Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А., Виниченко В.Н., Аверочкин Е.М.* Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. Справочные материалы. М.: Социально-экологический Союз, 2000. 148 с.
9. Директива 80/778/ЕЕС от 15.07.1980 о качестве питьевой воды, предназначенной для употребления человеком // Журнал Европейского Сообщества. 1980. L229. С. 11–29.
10. Директива 98/83/ЕС от 03.11.1998 о качестве воды, предназначенной для употребления человеком. URL: <http://referatdb.ru/medicina/76822/index.html>
11. Катунский биосферный заповедник. Тр. Катунского биосферного заповедника / Т.В. Яшина (ред.). Барнаул: Пять плюс, 2006. Вып. 2. 80 с.
12. *Ковалев Р.В., Хмелев В.А., Мальгин М.Л.* Агрехимическая характеристика пахотных почв Горного Алтая. Горно-Алтайск: Горно-Алтайское отделение Алтайского книжного изд-ва, 1971. 146 с.
13. Красная книга Республики Алтай. Особо охраняемые территории и объекты / А.М. Маринин (ред.). Горно-Алтайск: Гос. ком. по охране окружающей среды Респ. Алтай, ГАГУ, 2000. 272 с.
14. *Куминова А.В.* Растительный покров Алтая. Новосибирск: СО АН СССР, 1960. 450 с.
15. Лист карты М-45-76. Масштаб: 1:100000. Состояние местности на 1983 год. Издание 1991 г.
16. *Михайлов Н.Н.* Озера Алтая, их происхождение и история // География и природопользование Сибири. Сб. науч. статей. / Ред. Н.Н. Михайлов. Барнаул: Алт. гос. ун-т., 1994. Вып. 1. С. 75–89.
17. *Нехорошев В.Г.* Геология Алтая. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 262 с.
18. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 № 20 “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения”. М., 2010. 214 с. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/>
19. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Минздрав России, 2002. 67 с.
20. СанПиН 2.1.4.1116-02 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. Санитарно-эпиде-

- миологические правила и нормативы. М.: Минздрав России, 2002. 40 с.
21. *Фролова Н.Л., Повалишников Е.С., Ефимова Л.Е.* Комплексные исследования водных объектов Горного Алтая (на примере бассейна р. Мульты) – 75 лет спустя // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 2. С. 113–126.
22. *Яшина Т.В.* Водные ресурсы территории всемирного наследия “Алтай – золотые горы” и проблемы их сохранения // Водоочистка, Подготовительная, Водоснабжение. 2009. № 5. С. 4–10.

HYDROECOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL FEATURES OF THE SURFACE WATER IN THE UPPER REACHES OF THE KATUN RIVER BASIN AND LAKE TALMEN (MOUNTAIN ALTAI)

E. V. Borodina^{a,#} and U. O. Borodina^{a,##}

^a *Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Pr. Akademika Koptuyuga 3, Novosibirsk, 630090 Russia*

[#] *E-mail: borev@igm.nsc.ru*

^{##} *E-mail: borodinauo@igm.nsc.ru*

The aim of the work was to study the composition, physicochemical characteristics of the surface water of the upper Katun River and to make environmental assessment of the protected area of Lake Talmen. The results of ICP-MS determination of 50 elements in the water of small rivers, lakes and meltwater of glaciers and snowfields are presented.

Surface waters in the study area are ultra-fresh, mostly slightly alkaline, less often neutral and alkaline. The waters of rivers and lakes belong to the calcium group. Potassium prevails significantly in the chemical composition of snowfields and thawed glacial waters. The concentrations of heavy elements in rivers and lakes do not exceed the MPC in drinking water, but the content of Al and Cu exceeds the MPC in the water of fishery reservoirs. In the composition of snow and firn, high concentrations of Al, P, K, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb were found that exceed the MPC in fishery reservoirs, and the contents of Al, K, Fe, Ni, Pb exceed the MPC in drinking water.

Statistically significant ($r > 0.7$) correlation dependences were established for almost all studied elements, which may indicate a relationship between the composition of water bodies and a single natural source. Al, Rb (in water samples of 2018), Br, Rb, Pb (in water samples of 2017) and Ag (in samples of snow and firn) do not have a correlation with the content of other elements. Thus, a high content of Cu (in samples of 2018 and 2017), Al (in samples of 2017) in the water of rivers and lakes, as well as Al, P, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb in snow and firn, are not associated with anthropogenic impact on the territory.

Chemical weathering and leaching of soluble salts from the surface layer of soils and rocks are the main source of elements entering the surface waters of the upper Katun River. The presence of high concentrations of toxic metals (Al, Ni, Pb) in glaciers and snowfields is associated with the accumulation of weathering products in the thickness of snow and ice for a long time.

Keywords: ICP-MS, heavy metals, Lake Talmen, Katun River, Mountain Altai

REFERENCES

1. Alekin, O.A. *Ozera Katunskikh Al'p* [Katun Alps Lakes]. *Issledovaniya ozer SSSR* [Research of lakes of the USSR]. Leningrad, St. Hydrology Inst. Publ., 1935, is. 8, pp. 153–232. (in Russian)
2. Bol'bukh, T.V., Semenov, V.A., Semenova, I.V. *Gidrokimiya vodnykh ob'ektov verkhnei chasti basseina r. Katuni (Gornyi Altai)* [Hydrochemistry of water bodies in the upper part of the Katun River basin (Altai Mountains)]. *Geoekologiya Altae-Sayanskoi gornoj strany. Sbornik nauchnykh statei* [Geoecology of the Altai-Sayan mountain country. Collection of scientific articles]. Gorno-Altai, Gorno-Altai St. Univ. Publ., 2004, is.1, pp. 20–32. (in Russian)
3. Bondarovich, A.A. *Novye dannye o zagryaznenii lednikov Katunskogo khrebtia* [New data on the pollution of the glaciers of the Katunsky ridge]. *Gory i chelovek: v poiskakh putei ustoychivogo razvitiya. Tez. dokl. nauch.-prakt. konf.* [Mountains and people: in search of sustainable development. Abstracts of sci.-practical conf.]. Barnaul, 1996, p. 180. (in Russian)
4. Borisova, E.A. *Analiz vody: metodicheskoe posobie* [Water Analysis: A tool kit]. Izhevsk, Udmurtskii Univ., 2013, 30 p. (in Russian)
5. Galakhov, V.P., Mukhametov, R.M. *Ledniki Altaya* [Glaciers of Altai]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999, 136 p. (in Russian)
6. *GN 2.1.5.1315-03. Predel'no dopustimye kontsentratsii khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyaistvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodo-pol'zovaniya. Gigienicheskie normativy* [State Standard 2.1.5.1315-03. The maximum permissible concentration of chemicals in the water of water bodies of drinking, cultural and domestic water use. Hygienic standards]. Moscow, Russian Register of Potentially Hazardous Chemical and Biological Substances of the

- Ministry of Health of the Russian Federation, 2003, 154 p. (in Russian)
7. GN 2.1.5.2280-07 *Predel'no dopustimye kontsentratsii khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyaystvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya. Gigienicheskie normativy. Dopolneniya i izmeneniya № 1 k GN 2.1.5.1315-03* [State Standard 2.1.5.1315-03. The maximum permissible concentration of chemicals in the water of water bodies of drinking, cultural and domestic water use. Hygienic standards. Additions and changes no. 1 to GN 2.1.5.1315-03]. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2008, 11 p. (in Russian)
 8. Guseva, T.V., Molchanova, Ya.P., Zaika, E.A., Vinichenko, V.N., Averochkin, E.M. *Gidrokhimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchei sredy. Spravochnye materialy* [Hydrochemical indicators of the environment state. Reference materials]. Moscow, Socio-ecological Union Publ., 2000, 148 p. (in Russian)
 9. *Direktiva 80/778/EEC ot 15.07.1980 o kachestve pit'evoy vody, prednaznachenoj dlya upotrebleniya chelovekom* [Council Directive 80/778/EEC of 15 July 1980 relating to the quality of water intended for human consumption]. *Official Journal of the European Communities*, 1980, L229, pp. 11–29. (in Russian)
 10. *Direktiva 98/83/ES ot 03.11.1998 o kachestve vody, prednaznachenoj dlya upotrebleniya chelovekom* [Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption]. *Official Journal of the European Communities*, 1998, OJL 330, 23 p. (in Russian) <http://referatdb.ru/medicina/76822/index.html>
 11. *Katunskii biosfernyi zapovednik. Trudy Katunskogo biosferного zapovednika* [Katun Biosphere Reserve. Proc. of the Katun Biosphere Reserve]. Yashina, T.V., Ed., Barnaul, Pyat' plyus Publ., 2006, is. 2, 80 p. (in Russian)
 12. Kovalev, R.V., Khmelev, V.A., Mal'gin, M.L. *Agrokhimicheskaya kharakteristika pakhotnykh pochv Gornogo Altaya*. [Agrochemical characteristics of arable soils of the Altai Mountains]. Gorno-Altaysk: Gorno-Altai branch of the Altai Book Publishing House, 1971, 146 p. (in Russian)
 13. *Krasnaya kniga Respubliki Altai. Osobo okhranyaemye territorii i ob'ekty* [Red Book of the Altai Republic. Protected Areas and Objects]. Marinin, A.M., Ed. Gorno-Altaysk, State Committee for Environmental Protection of the Altai Republic, Gorno-Altaysk St. Univ. Publ., 2000, 272 p. (in Russian)
 14. Kuminova, A.V. *Rastitel'nyi pokrov Altaya* [Altai vegetation cover]. Novosibirsk, SB AN USSR, 1960, 450 p. (in Russian)
 15. *List karty M-45-76. Masshtab: 1:100000. Sostoyanie mestnosti na 1983 god. Izdanie 1991 g.* [Map sheet M-45-76. Scale: 1: 100000. The condition of the terrain for 1983. 1991 edition]. (in Russian)
 16. Mikhailov, N.N. *Ozera Altaya, ikh proiskhozhdenie i istoriya* [Altai lakes, their origin and history]. *Geografiya i prirodopol'zovanie Sibiri. Sb. nauch. Statei* [Geography and nature management of Siberia. Collection of scientific articles]. Mikhailov, N.N., Ed., Barnaul, Altai St. Univ. Publ., 1994, is. 1, pp. 75–89. (in Russian)
 17. Nekhoroshev, V.G. *Geologiya Altaya* [Geology of Altai]. Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1958. 262 p. (in Russian)
 18. *Prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 18.01.2010 № 20 "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh" ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya* [Order of the Federal Fisheries Agency dated 18.01.2010 no. 20 "On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery value"]. Moscow, 2010, 214 p. (in Russian). URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/>
 19. *SanPiN 2.1.4.1074-01. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tseentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy* [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Sanitary-epidemiological rules and regulations]. Moscow, Ministry of Health of Russia, 2002, 67 p. (in Russian)
 20. *SanPiN 2.1.4.1116-02. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody, rasfasovannoi v emkosti. Kontrol' kachestva. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy* [Drinking water. Hygienic requirements for the quality of water packaged in containers. Quality control. Sanitary-epidemiological rules and regulations]. Moscow, Ministry of Health of Russia, 2002, 40 p. (in Russian)
 21. Frolova, N.L., Povalishnikova, E.S., Efimova, L.E. *Kompleksnye issledovaniya vodnykh ob'ektov Gornogo Altaya (na primere basseina r. Mul'ty) – 75 let spustya* [Comprehensive studies of water bodies in the Altai Mountains (by the example of the Multy River basin) – 75 years later]. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, 2011, no. 2, pp. 113–126. (in Russian)
 22. Yashina, T.V. *Vodnye resursy territorii vsemirnogo naslediya "Altai – zolotyie gory" i problemy ikh sokhraneniya* [Water resources of the Altai – Golden Mountains World Heritage Site and problems of their conservation]. *Vodoочистка, Vodopodgotovka, Vodosnabzhenie*, 2009, no. 5, pp. 4–10. (in Russian)