

УДК 504.4(235.222)

## ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОЗЕРНЫХ ВОД ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРНОГО АЛТАЯ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. МУЛЬТЫ<sup>1</sup>

© 2019 г. Е. В. Бородина<sup>1,\*</sup>, У. О. Бородина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН  
Россия 630090 Новосибирск  
\*e-mail: borev@igm.nsc.ru

Поступила в редакцию 08.12.2016 г.

После доработки 22.06.2017 г.

Принята к публикации 29.06.2017 г.

Представлены результаты масс-спектрометрии с индуктивносвязанной плазмой по определению растворенных форм 26 элементов в воде озер Мультинского бассейна. Установлены особенности формирования химического состава воды водных объектов высокогорных территорий Алтая, мало подверженных антропогенному воздействию. Выполнена оценка качества воды и влияния на него природных факторов.

*Ключевые слова:* Горный Алтай, река Мульта, метод ICP-MS, состав природных вод.

**DOI:** 10.31857/S0321-0596464405-416

### ВВЕДЕНИЕ

Природа Горного Алтая, благодаря незначительной заселенности территории и отсутствию крупных промышленных объектов, слабо нарушена деятельностью человека, поэтому большей частью сохранила первозданный облик экосистем и чистоту природных вод. Исследование гидролого-гидрохимических характеристик малоизученных водных объектов высокогорных территорий Алтая, не подверженных антропогенному воздействию, дает возможность получить представление о фоновых характеристиках химического состава природных вод [33, 39]. Фоновое содержание загрязняющих веществ (ЗВ), особенно тяжелых металлов (ТМ), может быть экологическим эталоном при оценке состояния водных ресурсов.

Долина р. Мульты и каскад расположенных на ней и ее притоках ледниковых озер — одни из уникальных мест Горного Алтая, где обитают многие виды редких растений и животных. Мультинские озера — единственный в мире ареал горькушки Ревякиной [20]. В Усть-

Коксинском районе произрастает более 30 растений-эндемиков, ареал которых ограничен горами на юге Сибири [1, 22, 23]. Необходимость сохранения экологического равновесия и природного потенциала Горного Алтая потребовала создания особо охраняемых природных территорий (рис. 1).

Высокогорья Горного Алтая традиционно являются центром активного туризма, и поэтому, несмотря на труднодоступность района, отсутствие дорог и жилых поселений, антропогенное воздействие на экосистемы с каждым годом возрастает. Развитие туризма на особо охраняемых территориях в пределах заповедников и природных парков, массовое посещение памятников природы Горно-Алтайской автономной области — водных объектов республиканского значения, к которым относятся в том числе и Мультинские озера, требуют пристального внимания к состоянию водных экосистем. Это особенно важно в связи с высокой чувствительностью горных озер к загрязнению, в результате которого происходит резкое изменение геохимических свойств водных объектов [7].

Основные причины высокой уязвимости экосистем горных озер — низкая минерализация воды (отсутствие потенциальных комплек-

<sup>1</sup> Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН. Финансирующая организация: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

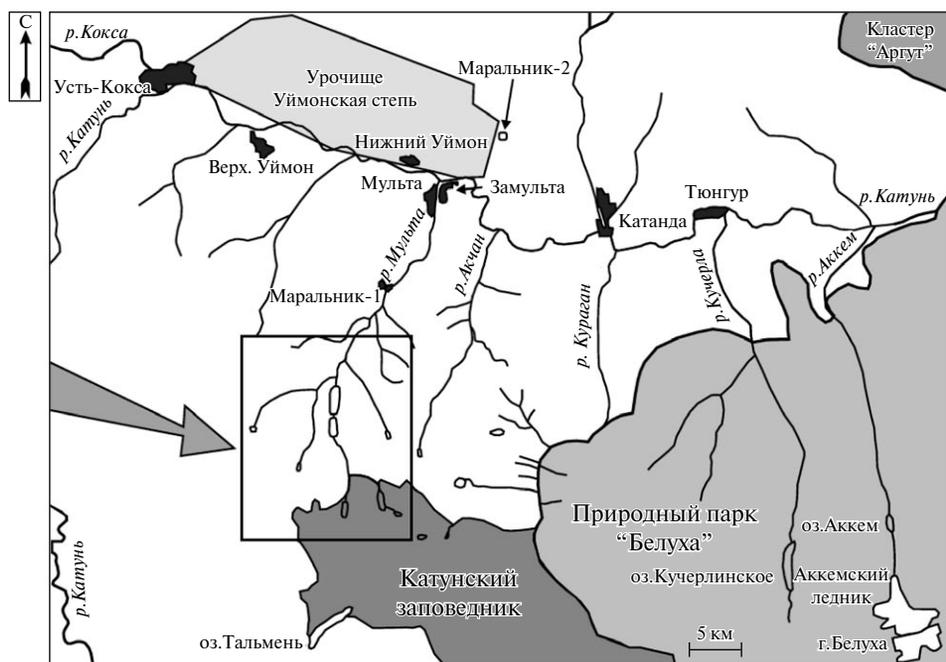


Рис. 1. Картограмма особо охраняемых природных территорий в верховьях р. Катунь. Район исследования обозначен стрелкой, использованы данные [24].

сообразователей для токсичных веществ) и их ультраолиготрофность, которая определяет низкий уровень биотрансформации ЗВ. Для озер высокогорной зоны характерно низкое видовое разнообразие сообществ гидробионтов, незначительное содержание биогенных веществ, а значит, большая чувствительность к эвтрофированию, низкая способность к нейтрализации кислотных осадков [5, 41].

ЗВ в виде аэрозолей могут длительное время находиться в атмосфере, что позволяет им перемещаться в удаленные высокогорные районы и накапливаться в снежниках и ледниках [5, 7]. Усиленное таяние ледников в горах и выветривание горных склонов приводит к высвобождению ЗВ и их поступлению в водоемы [5]. Источники ЗВ антропогенного происхождения, в основном токсичных металлов, попадающих в экосистемы Горного Алтая в результате трансграничного переноса, — Калгутинское и Холзунское горнодобывающие предприятия, Акташский горно-металлургический комбинат, а также предприятия Восточного Казахстана.

Нарушение экологического равновесия в регионе может иметь серьезные последствия, поскольку горные экосистемы восстанавливаются чрезвычайно медленно. Экологический мониторинг особо охраняемых природных объектов — необходимое условие их сохранения. Однако из-за труднодоступности объектов химический

состав воды большинства озер высокогорья, в том числе особо охраняемых памятников природы, практически не изучен. Исследование группы Мультиных озер проведено для оценки изменения качества их воды и экологического состояния под влиянием антропогенных факторов. Особое внимание уделено оценке загрязнения озер ТМ и соответствия их содержания установленным нормативам. Перспективен в подобных исследованиях экологический мониторинг с использованием современных инструментальных методов, в том числе масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС, ICP-MS). Преимущества метода ICP-MS обеспечивают наилучшие результаты исследований химического состава ультрапресных водных объектов с экстремально низким содержанием микроэлементов.

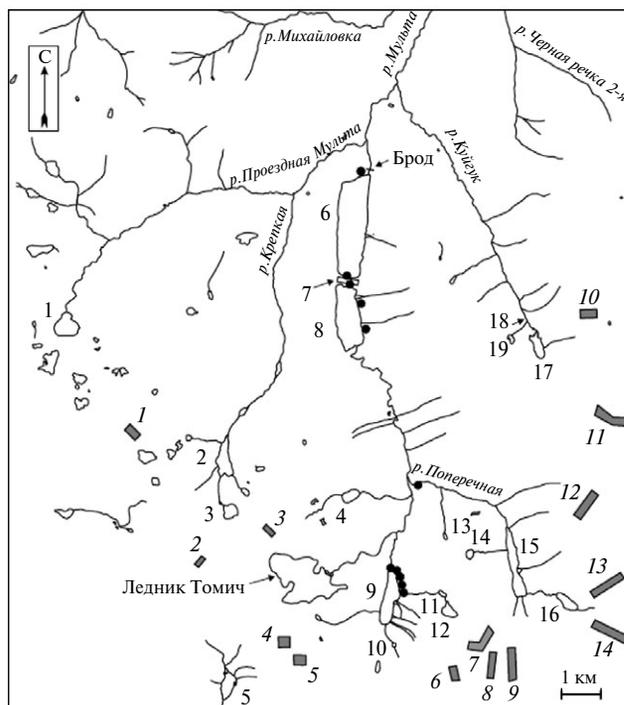
## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе представлены результаты по количественному определению 26 элементов в воде озер Мультиного бассейна. Концентрации растворенных форм металлов определены методом ICP-MS на масс-спектрометре высокого разрешения ELEMENT производства фирмы "Finnigan MAT" (Германия). Относительная погрешность анализов не превышала 10%. Анализы выполнены в Центре коллективного пользования Многоэлементных и изотопных иссле-

дований СО РАН в г. Новосибирске (аналитик И.В. Николаева). Отбор проб воды проводился в период с 4 по 8 августа 2012 г. и с 5 по 10 августа 2014 г. Пробы отбирались 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 в соответствии с требованиями [4, 26, 33]. Не допускалось взмучивание донных отложений. Пробы отбирали в чистую одноразовую полиэтиленовую посуду [12, 13, 18, 33]. Бутылки и крышки предварительно ополаскивали не менее трех раз отбираемой для анализа водой [4, 27]. На месте отбора пробы фильтровали через мембранные фильтры и консервировали очищенной азотной кислотой, которая использовалась в дальнейшем при выполнении масс-спектрального анализа этих образцов. Для фильтрации применялись одноразовые шприцевые фильтрующие насадки Minisart NML производства фирмы “Sartorius” (Германия) с размером пор 0.45 мкм. Фильтрат подкислялся до  $\text{pH} < 2$  из расчета 3–5 мл концентрированной азотной кислоты на 1 л пробы [12, 13, 26]. Пробы транспортировали в темных контейнерах, хранили в прохладном месте, анализировали менее чем через 1 мес. с момента отбора [12, 13, 33].

### ПРИРОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МУЛЬТИНСКИХ ОЗЕР

Мультинские озера (рис. 2) находятся в южной части Центрально-Алтайской физико-географической провинции и административно относятся к Усть-Коксинскому району Республики Алтай [23]. В геолого-структурном отношении эта территория расположена в западной части Холзунско-Чуйской структурно-формационной зоны, в пределах Холзунского антиклинория, сложенного метаморфизованными песчано-сланцевыми породами палеозоя [30]. Коренные горные породы, слагающие водосбор в верховьях р. Мульты, представлены в основном кристаллическими сланцами и гнейсами [25, 30]. Долина р. Мульты почти меридионального направления, заложена, возможно, по локальному тектоническому разлому, склоны преимущественно крутые,  $>20^\circ$ . Площадь бассейна составляет  $\sim 450 \text{ км}^2$ . В районе преобладают узкие гребневидные водоразделы с фрагментами древних пенеplenов с закурумленными участками. В верхней и средней частях речной долины



**Рис. 2.** Картограмма верховьев р. Мульты с притоками. Озера и водопады: 1 — оз. Проездное, 2 — оз. Крепкое, 3 — оз. Верхнее Крепкое, 4 — оз. Славных девочек, 5 — оз. Тихое, 6 — оз. Нижнее Мультинское, 7 — водопад Шумы, 8 — оз. Среднее Мультинское, 9 — оз. Верхнее Мультинское, 10 — водопад Верхнемультинский, 11 — оз. Малое Сурочье, 12 — оз. Большое Сурочье, 13 — оз. Чаша братьев, 14 — оз. Паука, 15 — оз. Поперечное, 16 — оз. Верхнее Поперечное, 17 — оз. Куйгук, 18 — водопад Куйгук, 19 — оз. Высокогорное (2230); перевалы: 1 — Перевальный, 2 — Крепкий, 3 — Детский, 4 — Шершавый, 5 — Абитуриент(ов), 6 — Норильчан, 7 — Раздельный, 8 — Крутой, 9 — Тайменый, 10 — Акчан Западный, 11 — Куйгук, 12 — ГАГПИ, 13 — Кураганный, 14 — ПГПИ. Используются данные [24]. Точки отмечены места отбора образцов.

сохранились следы древних оледенений в форме трогов с мощными валами и грудями валунов ледникового происхождения [20].

В бассейне р. Мульты насчитывается 42 озера. Среди них выделяется цепочка небольших озер карового и моренно-подпрудного генезиса, приуроченных к высотным ступеням троговой долины [19, 23]. Мульта соединяет систему трех наиболее крупных озер: она вытекает из Верхнего Мультинского озера и связывает Среднее и Нижнее Мультинские озера. Мульта — правый приток Катуня, общая ее длина — 39 км, берет начало на высоте 1798 м и впадает в Катунь на высоте 907 м вблизи деревень Замульты и Мульты [24]. Истоки ручьев, питающих Верхнее Мультинское озеро, — на высоте 2300–2500 м. К системе Мультинских озер также относятся озера Крепкое, Куйгук, Поперечное, Верхнее

Поперечное. Нижнее и Среднее Мультиинские озера имеют статус памятников природы гидролого-геоморфологического типа регионального значения. Озера Верхнее Мультиинское и Поперечное входят в состав Катунского биосферного заповедника [23].

Нижнее Мультиинское озеро (рис. 2) — самое большое из системы Мультиинских озер. Его длина 2700 м, ширина 800 м [24], максимальная глубина 20.2 м [39]. Берега представляют собой склоны гор с углами наклона до 30° (10–15° вблизи озера) и абсолютными высотами 2000–2500 м. Летом вода на поверхности озера может прогреваться до +15.5°C. На берегах произрастает смешанный лес с преобладанием хвойных пород [23]. Нижнее и Среднее Мультиинские озера возникли в результате формирования моренной подпруды.

Перешеек между Нижним и Средним Мультиинскими озерами шириной 250 м и высотой 30 м представляет собой моренный вал, сформированный во время максимума I мегастадиала и начала голоценовой деградации ледников [28]. Морена состоит из обломков различной величины (до 20 м в поперечнике) и является мощным моренным комплексом трех слившихся ледников, спускавшихся по рекам Мульта, Проездная Мульта и Крепкая. В тыловой части морены прослеживаются следы более высокого стояния вод Среднего Мультиинского озера, превышающего современный уровень на 2 м. Здесь видна озерная терраса, сложенная сверху мелкой окатанной галькой, а ниже — озерными песками и суглинками [19, 28].

Длина Среднего Мультиинского озера 1770 м, ширина 660 м [24], максимальная глубина 16.8 м [39] (рис. 2). Борта долины в районе озера представляют собой крутые (20–30°) склоны гор с абсолютными высотами 2100–2800 м, поросшие хвойным лесом из лиственницы, кедра, пихты. Берега озера представлены задернованными каменными осыпями, местами заболочены. Среднее Мультиинское озеро прогревается до +13.5°C у поверхности и +7.5°C на глубине 10 м [16]. Водные растения в Нижнем и Среднем Мультиинских озерах развиты незначительно, из рыб присутствует хариус [23].

Верхнее Мультиинское озеро (рис. 2) находится в ~7 км к югу от Среднего Мультиинского. Его длина 1425 м, ширина 415 м, максимальная глубина 47.7 м [20]. Озеро расположено в цирке одного из главных отрогов Катунского хребта с абсолютными высотами до 2500–2800 м. Берега представляют собой крутые склоны до 25–30° в северной

и 35–40° в южной частях, с каменными осыпями, местами задернованными. Для озерной котловины характерно значительное углубление в южной части, куда врезался спустившийся древний ледник и где достигается наибольшая глубина. Южный берег представляет собой крутой скальный склон с осыпью. С севера озеро подпружено моренным валом; в северной части у истока Мульта глубина озера ~10 м, а берега пологие [19, 23]. Колебания уровня воды в озере в течение года составляют ~1 м. Зимой озеро замерзает, на поверхности льда в северо-восточной части образуются надувы снега высотой до 70–100 см. Толщина льда к началу весны обычно достигает 1 м. На лед озера часто сходят лавины, в результате чего в его северной части формируется запруда из снесенного лавинами со склонов материала — деревьев, веток, и она заболочена [20]. В летнее время вода в озере прогревается только в самых верхних слоях и не более чем до +10°C [16]. В августе 2014 г. в Верхнем Мультиинском озере было отмечено присутствие рыбы.

Для поверхностных вод бассейна р. Мульта характерна низкая минерализация и малая концентрация микроэлементов, что обусловлено природно-климатическими особенностями данной территории, такими как распространение многолетней мерзлоты, снежно-ледниковое питание водных объектов и интенсивный водообмен в бассейне. Сильная расчлененность рельефа и большое количество осадков определяют повышенное значение модуля поверхностного и подземного стока и незначительное время контакта вод с породами [39].

В долине р. Мульта преобладают маломощные низкотравные горно-луговые почвы, сменяющиеся с набором высоты горно-тундровыми перегнойными почвами [23]. Малая мощность почв, их обедненность органическими остатками, широкое развитие мерзлотных почв вблизи ледников, а также недостаточное время контакта вод с породами не способствуют активному выщелачиванию горных пород и компонентов почвенного покрова и накоплению микроэлементов в почвенных растворах.

Мульта имеет преимущественно ледниковое и снеговое питание. В верховьях бассейна реки насчитывается 26 ледников общей площадью 14.3 км<sup>2</sup> [9, 34]. Площадь ледникового покрова за последнее столетие неуклонно сокращается. За период 1978–2000 гг. площадь карового ледника Томич, расположенного на высоте 2200–2800 м, сократилась на 8.3% (с 1.59 до 1.46 км<sup>2</sup>) [9, 31]. Аккумулируя пресную воду, ледники регули-

руют сток и водный режим горных рек, а также оказывают влияние на их питание [17]. За счет ускоренного таяния ледников увеличивается доля талых снеговых и ледниковых вод, что вызывает изменения не только гидрологического режима высокогорных рек, но и химического состава воды.

### ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА В БАССЕЙНЕ р. МУЛЬТЫ

Один из первых исследователей Мульти-ских озер — О.А. Алекин — в 1932/1933 г. про-вел частичный химический анализ воды и образ-цов ила [3]. Описание горно-ледникового пояса бассейна р. Мульты представлено в работах [29, 34]. Дальнейшие исследования водных объектов были продолжены лишь после создания Катун-ского биосферного заповедника (1991 г.) [6–8].

Согласно классификации О.А. Алекина [2], вода озер Мультинского каскада относилась

к ультрапресным гидрокарбонатным кальциевым водам I типа. Реакция воды Мультинских озер, а также некоторых других озер Катунского хребта (Тайменьего, Аккемских, Кучерлинских, Про-зрачных) была нейтральной (рН 6.8–7.3) [3, 16].

По результатам работ, проведенных хи-мико-экологической лабораторией ГАГУ (г. Горно-Алтайск) в 1997 г., жесткость воды Нижнего Мультинского озера составляла 0.68–0.97 мг-экв/л, Среднего Мультинского озера — 0.71–0.92 мг-экв/л. Значения БПК<sub>5</sub> изменя-лись в пределах 0.5–1.17 мг O<sub>2</sub>/л для Нижнего Мультинского, 0.39–0.93 мг O<sub>2</sub>/л для Среднего Мультинского озер [17, 23], что значительно ниже предельно допустимой величины для во-дных объектов рекреационного использования (4 мг O<sub>2</sub>/л) [37]. Вода семи озер бассейна р. Мульты слабокислая (рН 5.3–6.2) [8, 16]. Жесткость озерных вод варьирует от 0.4 до 1.47 мг-экв/л, и, согласно классификации [2, 38], ее можно отне-сти к очень мягкой (табл. 1).

**Таблица 1.** Химический состав водных объектов верховий бассейна р. Мульты, мг/л (1–9 — данные из [8]: 1 — оз. Нижнее Мультинское, северо-восточный берег; 2 — оз. Среднее Мультинское, юго-восточный берег; 3 — оз. Верхнее Мультинское, северо-восточный берег; 4 — оз. Поперечное, западный берег; 5 — оз. Поперечное, северо-восточный берег; 6 — оз. Паука, северо-восточный берег; 7 — оз. Чаша братьев, северо-восточный берег; 8 — оз. Большое Сурочье, северо-западный берег; 9 — оз. Большое Сурочье, восточный берег; 10–12 — данные из [34]: 10 — ледник Томич, снег; 11 — ледник Томич, фирн; 12 — ледник Томич, лед; высота — данные из [24]; Мин. — общая минерализация (сухой остаток), мг/л; ПО — перманганатная окисляемость, мг O<sub>2</sub>/л; Ж — жесткость общая, мг-экв/л

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высота, м	1628	1650	1798	1887	1887	2253	2133	2259	2259
Ca	7.0	7.0	7.0	5.6	5.7	5.8	5.0	5.0	12.8
Mg	2.4	3.1	2.3	1.4	1.2	2.4	1.5	1.3	2.9
Na+K	4.6	6.2	3.0	3.8	4.6	9.0	11.6	2.9	7.6
HCO <sub>3</sub>	22.0	22.0	15.9	13.4	13.4	21.4	22.0	12.2	42.7
SO <sub>4</sub>	11.5	15.4	10.9	9.6	9.6	15.4	14.4	5.8	14.4
Cl-	4.6	6.1	6.1	4.6	5.3	6.1	6.4	5.3	6.1
NH <sub>4</sub>	-	0.02	-	0.37	-	0.07	-	-	-
NO <sub>2</sub>	-	-	-	0.008	0.004	0.008	-	-	0.004
NO <sub>3</sub>	0.33	0.99	-	0.33	-	9.24	0.33	-	-
PO <sub>4</sub>	0.07	0.04	0.05	0.04	-	0.04	0.19	0.05	0.05
Мин., мг/л	52.0	59.7	44.7	38.4	39.9	60.0	60.9	32.5	86.5
ПО, мгO <sub>2</sub> /л	0.31	0.40	6.09	0.33	0.24	0.36	0.22	5.33	6.09
Ж, мг-экв/л	0.55	0.61	0.54	0.40	0.39	0.49	0.37	0.36	1.47
рН	6.1	6.1	6.2	5.3	5.8	6.0	6.0	6.1	6.2
Компонент	10	11	12						
Высота, м	2500	2500	2500						
Mg	-	0.2	0.2						
Na+K	2.9	3.4	3.7						
HCO <sub>3</sub>	6.1	6.1	6.1						
Cl-	1.1	2.5	2.8						
Мин., мг/л	10.1	12.2	12.8						

В июле 2008 г. в ходе экспедиции МГУ получены следующие результаты исследования водных объектов: величина рН менялась в диапазоне 5.9–7.2, минерализация воды не превышала 50 мг/л, содержание растворенного кислорода в Мульти-ских озерах изменялось от 10.2 мг/л в поверхностном слое до 5.1 мг/л у дна. Свежевыпавший снег и дождевая вода были слабокислыми (рН 5.3),

их минерализация <2 мг/л [39] (табл. 2). Гораздо более высокая минерализация снега ледника Томич (10.1 мг/л) [34], возможно, объясняется тем, что для анализа был взят не свежевыпавший снег, а фирновый. Об этом свидетельствуют малые различия измеренной минерализации снега (10.1) и фирна (12.2 мг/л) (табл. 1). Преобразование химического состава свежевыпавшего

**Таблица 2.** Результаты ИСП-МС определения содержания растворенных форм элементов в водных пробах, мкг/л. Погрешность определения не превышает 10%. 1 – В-1-12 – Нижнее Мульти-ское озеро, северный берег; 2 – В-5-14 – Нижнее Мульти-ское озеро, южный берег; 3 – р. Мульта, исток из Нижнего Мульти-ского озера [39]; 4 – В-6-14 – р. Мульта, Шумы; 5 – В-2-12 – Среднее Мульти-ское озеро, юго-восточный берег; 6 – В-7-14 – Среднее Мульти-ское озеро, северо-восточный берег; 7 – В-8-14 – р. Поперечная, устье; 8 – р. Поперечная [39]; 9 – В-9-14 – р. Мульта, исток из Верхнего Мульти-ского озера; 10 – В-3-12 – Верхнее Мульти-ское озеро, северный берег; 11 – р. Мульта, исток из Верхнего Мульти-ского озера [39]; 12 – В-10-14 – Верхнее Мульти-ское озеро, северо-восточный берег; 13 – В-11-14 – Верхнее Мульти-ское озеро, восточный берег; 14 – Верхнее Мульти-ское озеро, поверхность [39]; 15 – В-12-14 – руч. Сурочий, впадающий в Верхнее Мульти-ское озеро, устье; 16 – ручей, впадающий в Верхнее Мульти-ское озеро [39]; 17 – р. Мульта (Маральник) [39]; 18 – дождь [39]; 19 – р. Мульта [21]; 20 – р. Кокса (с. Усть-Кокса) [21]; 21 – р. Катунь (с. Усть-Кокса) [21]; 22 – ПО-12 – пределы обнаружения для анализов, выполненных в 2012 г. (В-1-12 – В-3-12); 23 – ПО-14 – в 2014 г. (В-5-14 – В-12-14); 24 – [32]: 1 – полифосфаты (олиготрофные водоемы), 2 – для водоемов с минерализацией до 100 мг/л; 25 – ПДК питьевой воды согласно: 1 – [35], 2 – [10], 3 – [14, 15], 4 – [11]; 26 – первая категория [36]; 27 – высшая категория [36]. Подчеркнуты показатели, превышающие ПДК

Компонент	1 В-1-12	2 В-5-14	3	4 В-6-14	5 В-2-12	6 В-7-14	7 В-8-14	8	9 В-9-14
Na	348	352	-	332	538	498	1222	-	248
Mg	319	279	-	300	412	313	278	-	431
Al	54	22	-	22	106	26	126	-	27
Si	638	1321*	-	1348*	1415	1583	1319*	-	1053*
P	28.7*	6.9*	-	8.9*	17.2*	9.1	34.3	-	7.9*
K	429	334	-	335	466	304	1795	-	218
Ca	2223	2368	-	2414	2086	2744	3197	-	2893
Sc	0.03*	<0.02	-	<0.02	0.06*	<0.02	<0.02	-	<0.02
Ti	<1	<0.6	-	<0.6	1.9*	<0.6	<0.6	-	0.6*
V	0.17	0.17	0.13	0.15	0.23	0.28	0.29	0.12	0.13
Cr	0.34	0.4*	0.11	0.42*	<0.1	0.44*	0.57*	0.11	0.51*
Mn	7.9	1.7	-	2.2	<u>11.7</u>	2.4	4.6	-	1.9
Fe	58	20	-	39	<u>210</u>	39	35	-	41
Co	0.28	<0.04	0.02	<0.04	0.15	<0.04	<0.04	0.01	<0.04
Ni	<1	<5	0.12	<5	<1	<5	<5	0.07	<5
Cu	<u>1.47</u>	0.88	0.77	0.99	<u>1.74</u>	<u>1.16</u>	<u>11.4</u>	0.47	0.87
Zn	2.8*	4.6	-	4.1	1.6*	3.9	<u>60.1</u>	-	4.4
Rb	0.76	0.50	-	0.54	0.83	0.52	2.29	-	0.55
Sr	10.6	12.5	-	13.1	13.0	14.9	15.3	-	17.3
Mo	0.27	0.35	0.24	0.35	0.23	0.28	0.29	0.22	0.32
Cd	0.02*	<0.01	0.01	0.01*	0.02*	0.01*	0.12	0.01	0.01*
Sn	<0.1	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	<0.1
Ba	7.5	2.8	-	2.7	8.7	2.6	4.8	-	4.4
Hg	<0.01	-	-	-	<0.01	-	-	-	-
Pb	0.14	0.15*	0.09	0.14*	0.19	0.16*	2.81	0.16	0.30*
U	0.07	0.09	-	0.09	0.06	0.07	0.07	-	0.09
Сумма	4130	4728	-	4823	5290	5541	8109	-	4949

Таблица 2. Продолжение

Компонент	10 В-3-12	11	12 В-10-14	13 В-11-14	14	15 В-12-14	16	17	18
Na	240	-	265	270	-	378	-	-	-
Mg	654	-	432	430	-	312	-	-	-
Al	498	-	53	36	-	13*	-	-	-
Si	967	-	1605	1236*	-	1135*	-	-	-
P	26.1*	-	9.4	7.6*	-	8.2*	-	-	-
K	405	-	249	251	-	244	-	-	-
Ca	2174	-	2804	2880	-	2882	-	-	-
Sc	0.04*	-	<0.02	<0.02	-	<0.02	-	-	-
Ti	17.6	-	2.4	1.0*	-	<0.6	-	-	-
V	1.25	0.15	0.16	0.13	0.11	0.08	0.12	0.25	0.02
Cr	0.93	0.14	0.53*	0.54*	0.11	0.20*	0.12	0.09	0.07
Mn	35.2	-	2.6	2.2	-	0.3*	-	-	-
Fe	659	-	61	52	-	9*	-	-	-
Co	0.41	0.03	<0.04	<0.04	0.03	<0.04	0.01	0.01	0.01
Ni	1.4*	0.15	<5	<5	0.12	<5	0.08	0.10	0.23
Cu	3.42	0.64	1.31	1.06	0.47	0.84	0.48	0.76	0.55
Zn	4.3	-	11.6	4.6	-	4.2	-	-	-
Rb	1.42	-	0.55	0.52	-	0.33	-	-	-
Sr	12.7	-	17.6	16.6	-	12.3	-	-	-
Mo	0.17	0.22	0.43	0.39	0.20	0.48	0.25	0.31	0.04
Cd	0.02*	0.01	0.01*	0.01*	0.01	0.01*	-	0.01	0.01
Sn	<0.1	-	<0.1	<0.1	-	<0.1	-	-	-
Ba	12.4	-	4.0	3.5	-	3.5	-	-	-
Hg	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0.92	0.08	0.40	0.21*	0.08	0.14*	0.05	0.06	0.15
U	0.15	-	0.09	0.08	-	0.07	-	-	-
Сумма	5715	-	5520	5193	-	5004	-	-	<2000
Компонент	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Na	-	-	-	10	10	120 000	200 000 <sup>1-3</sup>	200 000	20 000
Mg	335	5893	1807	3	3	40 000	50 000 <sup>2</sup>	65 000	5000-50 000
Al	-	-	-	10	5	40	200 <sup>2</sup>	200	100
Si	-	-	-	200	500	-	10 000 <sup>1,2</sup>	10 000	10 000
P	-	-	-	10	3	50 <sup>1</sup>	3500 <sup>1,2</sup>	-	-
K	-	-	-	10	30	10 000 <sup>2</sup>	12 000 <sup>3</sup>	20 000	2000-20 000
Ca	3808	21936	4754	300	500	180 000	100 000 <sup>3</sup>	130 000	25 000-80 000
Sc	0.8	1.24	0.85	0.025	0.02	-	-	-	-
Ti	0.37	28.4	0.35	1	0.6	60	100 <sup>2</sup>	-	-
V	3.9	3.3	3.0	0.01	0.01	1	100 <sup>1,2</sup>	-	-
Cr	4.1	10.4	3.3	0.1	0.2	20	50 <sup>1,4</sup>	50	30
Mn	-	-	-	0.2	0.2	10	100 <sup>1,2</sup>	50	50
Fe	44.4	104.4	42.6	0.1	5	100	300 <sup>1,2</sup>	300	300
Co	-	-	-	0.01	0.04	10	100 <sup>1,2</sup>	100	100
Ni	0.28	0.60	0.25	1	5	10	20 <sup>2</sup>	20	20
Cu	-	-	-	0.25	0.25	1	1000 <sup>1,4</sup>	1000	1000
Zn	-	-	-	1	1	10	1000 <sup>2</sup>	5000	3000
Rb	-	-	-	0.05	0.1	100	100 <sup>1</sup>	-	-
Sr	23.0	120.2	35.3	1	1	400	7000 <sup>1,2</sup>	7000	7000
Mo	0.17	0.50	0.10	0.01	0.01	1	70 <sup>4</sup>	70	70
Cd	-	-	-	0.01	0.01	5	1 <sup>1,2</sup>	1	1

Таблица 2. Окончание

Sn	-	-	-	0.1	0.1	112	-	-	-
Ba	-	-	-	0.1	0.1	740	100 <sup>1</sup>	700	100
Hg	0.11	<u>0.15</u>	<u>0.13</u>	0.01	-	0.01	0.5 <sup>1,2</sup>	0.5	0.2
Pb	-	-	-	0.03	0.1	6	10 <sup>2</sup>	10	5
U	0.05	0.13	0.03	0.001	0.01	-	15 <sup>4</sup>	-	-
Cs	1.06	0.93	0.97	-	-	1000	-	-	-
As	1.65	9.88	1.73	-	-	50	10 <sup>2</sup>	10	6
Se	<u>2.12</u>	<u>2.12</u>	<u>2.08</u>	-	-	2	10 <sup>1,2</sup>	10	10
Br	82.4	79.8	74.3	-	-	1350	200 <sup>1,2</sup>	200	100
Sb	0.07	0.09	0.06	-	-	-	5 <sup>2</sup>	5	5
W	0.20	<u>4.02</u>	0.08	-	-	0.8	50 <sup>1,2</sup>	-	-
Сумма	13 000	74 000	18 000	-	-	-	-	-	-

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

снега происходит следующим образом: “Первоначальный химический состав льда и снега на леднике трансформируется под влиянием процессов испарения и конденсации на его поверхности, а также таяния и повторного замерзания воды в теплое время года. Фирн, отобранный на одном из ледников в верховьях бассейна р. Мульты, был значительно загрязнен минеральными частицами: его минерализация превосходила минерализацию снега почти в 7 раз. Подобное различие обусловлено более высоким содержанием гидрокарбонатных ионов и ионов кальция в пробе фирна” [39].

В табл. 2 приведены результаты определения содержания растворенных форм элементов в водных объектах бассейна р. Мульты. Общее содержание растворенных форм элементов в озерах Мультинского каскада мало и не превышает 6 мг/л. Более высоким содержанием отличается р. Поперечная — 8.1 мг/л. По соотношению катионов озерная вода относится к кальциевой группе. Са составляет в среднем половину (38–59%) общего количества катионов. Во всех объектах, кроме р. Поперечной, содержания Na (4–10), К (4–10) и Mg (6–11%) примерно равны и значительно меньше содержания Са. В отличие от озер Мультинского каскада, в р. Поперечной содержание Na и К вместе (37%) соизмеримо с содержанием Са (39%), при этом содержание К (22%) больше содержания Na (15%). Содержание Mg в р. Поперечной (3%) — наименьшее среди всех изученных объектов. Кроме Са, значительные доли в составе всех водных объектов имеют Si, Mg, Na, К, Fe, Al. Суммарное содержание этих веществ достигает 97.9–99.4% общего количества растворенных элементов.

Корреляционные матрицы позволяют установить статистически значимую связь между

содержаниями растворенных форм элементов. Для озер Мультинского каскада выявлены статистически значимые ( $r > 0.8$ ) корреляционные связи между следующими элементами: Mg, Al, V, Mn, Fe, Co, Cu, Rb, Ba, Pb, U. Большинство элементов имеет тесную корреляцию, что, вероятно, отражает связь химического состава водных объектов с природным источником этих элементов. Отсутствие корреляции между содержанием Na, Si, К, Са и других элементов, вероятно, связано с их участием в биогенных процессах. Содержание Mo, Zn и Sr не коррелирует с содержаниями большинства элементов.

Содержание некоторых элементов в воде р. Поперечной существенно выше, чем в озерах Мультинского каскада, например Na (1222), P (34.3), К (1795), Cu (11.4), Zn (60.1), Rb (2.3), Cd (0.12), Pb (2.8 мкг/л). Содержание остальных элементов на том же уровне, что и в озерах Мультинского каскада. В водных объектах, включая озера Мультинского каскада и р. Поперечную, в составе вод наблюдаются устойчивые корреляционные связи между элементами, имеющими повышенное содержание в речной воде: Na, P, К, Cu, Zn, Rb, Pb, что может свидетельствовать об их сходном происхождении. Установлены статистически значимые ( $r > 0.8$ ) корреляционные связи между элементами: Na, Mg, Al, P, К, V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Rb, Ba, Pb, U. Содержание Si, Са, Mo, Sr не коррелирует с содержаниями большинства элементов.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно данным [3], в 1932–1933 гг. рН в озерах Мультинского каскада — 6.8–7.3 (в среднем 7.1). В 2003 г. рН воды озер Мультинского каскада было на уровне 6.1–6.2 [8]. В 2008 г. зна-

чение рН поверхностных вод бассейна Мульты варьировало от 5.9 до 7.2 (в среднем 6.6) [39]. Близким к этому было значение рН воды других озер Мультинского бассейна (Паука, Чаши братьев, Сурочьего — от 6.0 до 6.2). Для воды оз. Поперечного характерны самые низкие величины рН (5.3–5.8) [8] (табл. 1). Современные данные свидетельствуют об уменьшении величины рН по сравнению с 1932–1933 гг. В настоящее время в озерах Мультинского каскада наблюдается уменьшение величины рН на 0.5–1.0 с “нейтральной” (6.8–7.3) до “слабокислой” (5.9–7.2) реакции. Причиной такого изменения может быть увеличение в регионе эмиссии в атмосферу окислов серы при сжигании топлива, главным образом в течение отопительного сезона. Действительно, рН атмосферных осадков и снежного покрова на высоте 1900–2200 м в районе Катунского хребта значительно ниже рН озерных вод и варьирует от 3.9 до 5.3 [21, 39]. Более низкое значение рН в воде оз. Поперечного (5.3–5.8) может быть связано с большим вкладом талых снеговых и ледниковых вод в питание этого озера по сравнению с озерами Мультинского каскада.

Химический состав вод в верховьях горных рек формируется на твердоскальных породах альпийского-субальпийского пояса и зависит главным образом от химического состава снега и льда. В годовом стоке рек Мультинского бассейна, расположенного на высотах 1500–2500 м, основное значение имеют талые воды ледников и снежников, что объясняет низкую минерализацию природных вод [21]. Ниже по течению возрастает роль подстилающих горных пород. В пределах горно-лесного пояса возрастают мощность рыхлых отложений и глубина эрозийного вреза, увеличивается продолжительность контакта водных потоков с почвами и горными породами. Таким образом, происходит увеличение минерализации воды малых рек от истока к устью.

Концентрация ЗВ, в частности ТМ, в водах горных рек зависит как от количества этих веществ в талых снежно-ледниковых водах, питающих исток, так и от их концентрации в подстилающих горных породах ниже по течению. Если главный источник ТМ — подстилающие горные породы, то их концентрация вниз по течению реки возрастает. Например, содержание V в воде озера Мультинского каскада (за исключением заболоченной части Верхнего Мультинского) не превышает 0.11–0.28, а в р. Мульте — 3.9 мкг/л. Содержание Cr в воде озера Мультинского каска-

да — 0.11–0.34, в р. Мульте — 4.1 мкг/л. Максимальное содержание Mo, наоборот, наблюдается ближе к истокам (0.32–0.48 мкг/л) и уменьшается вниз по течению реки (0.17 мкг/л) (табл. 2).

Согласно результатам определения содержания металлов в водных объектах, наблюдается превышение их ПДК, установленных для водных объектов рыбохозяйственного значения [32]. Содержание Cu в озерах Мультинского каскада составляет 1.1–3.4 ПДК, в устье р. Поперечной — 11.4 ПДК. Содержание Zn в Верхнем Мультинском озере — 1.2 ПДК, в р. Поперечной — 6 ПДК. В северной части Верхнего Мультинского озера содержание Al составляет 12.5 ПДК, Mn — 3.5 ПДК, Fe — 6.6 ПДК, V — 1.3 ПДК. У юго-восточного берега Среднего Мультинского озера содержание Mn достигает 1.2 ПДК, Fe — 2.1 ПДК (табл. 2).

Анализ корреляционных матриц содержания микроэлементов в озерах Мультинского каскада показал, что большая их часть имеет прямые корреляционные связи с содержанием других элементов и поступает в водные объекты из природных источников: Mg, Al, V, Mn, Fe, Co, Cu, Rb, Ba, Pb, U. Повышенные содержания Na, P, K, Cu, Zn, Rb, Pb, характерные для р. Поперечной, вероятно, связаны с их дополнительным поступлением из обогащенного этими элементами источника. Это могли быть породы, залегающие в пределах водосбора р. Поперечной, а гидрологические условия территории способствовали поступлению этих элементов в водный объект. Корреляционные связи между элементами вод озера Мультинского каскада и р. Поперечной позволяют отнести к элементам природного происхождения Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Rb, Ba, Pb, U.

Повышенное содержание Zn (оз. Верхнее Мультинское и р. Поперечная), вероятно, не только обусловлено природными особенностями этого района, но и связано с аэротехногенным загрязнением. Высокое содержание Cu, напротив, скорее всего, объясняется высоким содержанием этого элемента в подстилающих горных породах. Высокие содержания Al, V, Mn, Fe и Zn в северной и северо-восточной частях Верхнего Мультинского озера, вероятно, связаны с накоплением элементов вследствие заболоченности этого участка (табл. 2).

Для природных вод бассейна р. Поперечной, включая озера Паука и Чаша братьев, по сравнению с водами озера Мультинского каскада характерен несколько иной микроэлементный состав,

более низкий рН и более высокое содержание ионов щелочных металлов при преобладании К над Na (табл. 1, 2). В верховьях бассейна р. Катунь и ее притоков зафиксировано высокое содержание Hg — 11–15 ПДК и V — 3–4 ПДК [21, 32]. Содержание Se и Fe также немного выше нормы [32] (табл. 2). Высокое содержание Hg и сопутствующих ТМ в воде рек верхней части бассейна Катунь, вероятно, связано с тем, что на этой территории находятся два крупных месторождения Hg и множество ее рудопроявлений.

По некоторым параметрам химический состав воды в бассейне р. Мульты не соответствует установленным нормативам качества питьевой воды. К особенностям химического состава природных вод Горного Алтая относятся малая минерализация и низкое содержание Ca, Mg и Na [40]. Нижний предел минерализации питьевой воды, при котором поддерживается гомеостаз организма, — сухой остаток 100 мг/л [36]. Общая минерализация всех исследованных водных объектов в среднем в 2 раза ниже этого уровня. Содержание Ca меньше нижнего предела в 2–5, Mg — в 2–4, гидрокарбонатов — в 1.5 раза. Величина перманганатной окисляемости в воде озер Верхнее Мультиинское (6.1 мг O<sub>2</sub>/л) и Большое Сурочье (5.3–6.1 мг O<sub>2</sub>/л) выше ПДК для питьевой воды [8, 35] (табл. 1). Содержание растворенных форм элементов в озерах Мультиинского каскада и р. Поперечной не превышает ПДК ЗВ в питьевой воде, за исключением Al (2.5 ПДК) и Fe (2.2 ПДК) в пробе из северной части Верхнего Мультиинского озера [10, 35] (табл. 2).

## ВЫВОДЫ

Гидрохимический состав водных объектов бассейна р. Мульты формируется за счет выщелачивания из подстилающих горных пород и почв химических элементов, их поступления с талыми ледниковыми водами и атмосферного переноса. Низкая минерализация вод бассейна р. Мульты связана с природно-климатическими особенностями района и гидрологическим режимом рек. Для водных объектов бассейна р. Мульты характерно преимущественно снежно-ледниковое питание и интенсивный водообмен, с одной стороны, и обедненность почв органическими остатками и недостаточное время контакта вод с породами — с другой. Тем не менее определяющий фактор обогащения природных водотоков микроэлементами — выщелачивание подстилающих горных пород и накопление микроэлементов в почвенных растворах.

По результатам корреляционного анализа, большая часть элементов поступает в озера Мультиинского каскада и р. Поперечную из природных источников: Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Rb, Ba, Pb, U. Содержание в водных объектах Mo и Sr не имеет статистически значимой связи с содержанием большинства других элементов.

Вода озер Мультиинского бассейна ультрапресная (<100 мг/л), очень мягкая (<1.5 мг-экв/л), гидрокарбонатная I типа; кальциевая — в озерах Мультиинского каскада, Поперечном и Сурочьем; вероятно, натриевая — в озерах Паука и Чаша Братьев. Различия в химическом составе воды озер Мультиинского каскада и бассейна р. Поперечной могут быть обусловлены различиями в составе подстилающего грунта. По сравнению с данными 1932–1933 гг. [3], современные исследования свидетельствуют об уменьшении величины рН в озерах Мультиинского каскада на 0.5–1 — с “нейтральной” (6.8–7.3) до “слабокислой” (5.9–7.2) реакции. Причиной такого изменения может быть увеличение выбросов в атмосферу окислов серы в регионе при сжигании топлива.

В исследованных водных объектах наблюдается превышение ПДК, установленных для водных объектов рыбохозяйственного значения [32]: для Cu (озера Мультиинского каскада и устье р. Поперечной), Zn (Верхнее Мультиинское озеро и р. Поперечная), Al, V, Mn, Fe (северная часть Верхнего Мультиинского озера), Mn и Fe (юго-восточный берег Среднего Мультиинского озера). Повышенные концентрации Al, V, Mn, Fe, Cu (оз. Верхнее Мультиинское), Mn, Fe, Cu (оз. Среднее Мультиинское), Cu (оз. Нижнее Мультиинское и р. Поперечная), по-видимому, обусловлены высоким содержанием этих элементов в подстилающих горных породах и биохимическими процессами в заболоченной части озера.

Каскадные системы Мультиинских озер — природные ловушки для взвешенного материала и зона концентрации растворенных веществ. Поэтому для более полного представления о состоянии экосистем в дальнейшем необходимо изучать в комплексе три составляющие — поверхностные воды, взвешенные вещества и донные отложения.

## *Благодарности*

*Авторы выражают искреннюю благодарность Лукьянчиковой Н.В. (ИХБФМ СО РАН) за помощь в проведении экспедиционных работ,*

*Николаевой И.В. (ИГМ СО РАН) за помощь в аналитических исследованиях, Лазаревой Е.В. (ИГМ СО РАН) за ряд полезных замечаний.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акимова Т.А., Злобина Т.И., Полунина О.Е.* Достопримечательности Горного Алтая: путеводитель. Барнаул: Пять плюс, 2008. 170 с.
2. *Алекин О.А.* К вопросу о химической классификации природных вод // Вопросы геохимии. Тр. НИУ ГУГМС. Л.: Гидрометеиздат, 1946. Т. IV. Вып. 32. С. 14–35.
3. *Алекин О.А.* Озера Катунских Альп // Исследования озер СССР. Л.: Изд-во ГГИ, 1935. Вып. 8. С. 153–232.
4. Анализ воды: методическое пособие / Сост. Борисова Е.А. Ижевск: Изд-во “Удмуртский университет”, 2013. 30 с.
5. *Анищенко О.В., Глущенко Л.А., Дубовская О.П., Зуев И.В., Агеев А.В., Иванова Е.А.* Морфометрическая характеристика и содержание металлов в воде и донных отложениях горных озер природного парка “Ергаки” (Западный Саян) // Вод. ресурсы. 2015. Т. 42. № 5. С. 522–535.
6. *Байлагасов Л.В.* К характеристике озер бассейна Мульги (Катунский биосферный заповедник) // География и природопользование Сибири. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2003. Вып. 6. С. 185–202.
7. *Большух Т.В.* Распределение и природно-антропогенная трансформация химического состава поверхностных вод в бассейне реки Катунь (Горный Алтай). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Калуга: РИО ГАГУ, 2005.
8. *Большух Т.В., Семенов В.А., Семенова И.В.* Гидрохимия водных объектов верхней части бассейна р. Катунь (Горный Алтай) // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны. Сб. науч. статей. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2004. Вып. 1. С. 20–32.
9. *Галахов В.П., Мухаметов Р.М.* Ледники Алтая. Новосибирск: Наука, 1999. 136 с.
10. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М., 2003.
11. ГН 2.1.5.2280-07 Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03. М., 2007.
12. ГОСТ 31870-2012. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии, М.: Стандартинформ, 2013.
13. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. Межгосударственный стандарт. М., 2014.
14. Директива 80/778/ЕЕС от 15.07.1980 о качестве питьевой воды, предназначенной для употребления человеком // Журн. Европейского Сообщества. 1980. L229. С. 11–29.
15. Директива 98/83/ЕС от 03.11.1998 о качестве воды, предназначенной для употребления человеком // Журн. Европейского Сообщества. Официальный Бюл. 1998. OJ L 330. 23 с.
16. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / Отв. ред. Кокорин А.О. М.: WWF России, 2011. 168 с.
17. Кадастр особо охраняемых природных территорий Республики Алтай / Под ред. Маринина А.М. Барнаул: Азбука, 2014. 456 с.
18. *Карандашев В.К., Туранов А.Н., Орлова Т.А., Лежнев А.Е., Носенко С.В., Золотарева Н.И., Москвина И.Р.* Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в элементном анализе объектов окружающей среды // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. Т. 73. № 1. С. 12–22.
19. *Карпунин А.М., Мамонов С.В., Мироненко О.А., Соколов А.Р.* Геологические памятники природы России: К 300-летию горно-геол. службы России (1700–2000). СПб., 1998. 200 с.
20. Катунский биосферный заповедник. Тр. Катунского биосферного заповедника / Под ред. Яшиной Т.В. Барнаул: Пять плюс, 2006. Вып. 2. 80 с.
21. Катунский биосферный заповедник. Тр. Катунского биосферного заповедника. Летопись природы. Усть-Кокса, 2008. Вып. 10. 245 с.
22. Красная Книга Республики Алтай. Животные / Отв. ред. Малков Н.П. Горно-Алтайск, 2007. 400 с.
23. Красная книга Республики Алтай. Особо охраняемые территории и объекты / Отв. ред. Маринин А.М. Горно-Алтайск, 2002. 272 с.
24. Лист карты М-45-76. Масштаб: 1:100000. 1991 г.
25. *Малыгин М.А.* Биогеохимия элементов в Горном Алтае. Новосибирск: Наука, 1978. 272 с.
26. Методические указания МУ 1.2. 2743-10 Порядок отбора проб для выявления и идентификации наноматериалов в водных объектах. М., 2010.
27. Методические указания МУ 4.1. 1469-03 Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в питьевой, природных и сточных водах. М., 2003.
28. *Михайлов Н.Н.* Озера Алтая, их происхождение и история // География и природопользование Сибири. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 1994. Вып. 1. С. 75–89.
29. *Мухаметов Р.М., Бондарович А.А.* Современное состояние ледника Томич на Катунском хребте // География и природопользование Сибири. Барнаул: Аккем, 1997. Вып. 2. С. 112–125.
30. *Нехорошев В.П.* Геология Алтая. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 260 с.

31. Никитин С.А., Веснин А.В., Осипов А.В., Игловская Н.В. Распределение объемов льда в западной части Катунского хребта по данным радиолокационного зондирования // Вестн. ТГУ, 2001. № 274. С. 34–39.
32. 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.
33. Р 52.24.353-2012 Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. Рекомендации. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2012.
34. Ревякин В.С., Галахов В.П., Голецких В.П. Горноледниковые бассейны Алтай. Томск: Изд-во ТГУ, 1979. 309 с.
35. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М., 2002.
36. СанПиН 2.1.4.1116-02 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М., 2002.
37. СанПиН 2.1.5.980-00 Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. М., 2000.
38. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. Учебн. пособие для вузов. М.: Изд-во МГУ, 1996. 680 с.
39. 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.
40. Яркина Т.В. Гигиеническая оценка хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики Алтай. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М.: ФНЦГ, 2010. 29 с.
41. Battarbee R.W. Foreword // Hydrobiologia. 2010. V. 648. № 1. P. 1–2.

## FACTORS AFFECTING CHEMICAL COMPOSITION OF LAKE WATER OF SPECIALLY PROTECTED AREAS IN ALTAI MOUNTAINS, RUSSIA, BASED ON MULTA RIVER BASIN STUDY

© 2019 E. V. Borodina<sup>1,\*</sup>, U. O. Borodina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
Russia 630090 Novosibirsk  
\*e-mail: borev@igm.nsc.ru

Received: 08.12.2016

Revised version received: 22.06.2017

Accepted: 29.06.2017

Mass-spectrometry with inductively coupled plasma was applied to determine the dissolved forms of 26 elements in the water of lakes of the Mul'tinskii Basin. Specific features were identified in the formation of water chemistry in the water bodies of high-mountain Altai territories which suffer little anthropogenic impact. Water quality and the effect of natural factors on it were assessed.

**Keywords:** Altai Mountains, the Multa River, ICP-MS method, natural water composition.

**DOI:** 10.31857/S0321-0596464405-416