

Гидрохимические аномалии в водных объектах национального парка «Приэльбрусье»

Т. В. Реутова, Н. В. Реутова, Ф. Р. Дреева, А. М. Хутуев, А. А. Керимов

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
Центр географических исследований
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Исследование природных вод на сложной в геологическом и тектоническом отношении и интенсивно осваиваемой территории национального парка «Приэльбрусье» приобретает все большую необходимость и актуальность. Впервые проведен сравнительный анализ содержания широкого круга компонентов химического состава, включая микропримеси (Al, As, Cu, F, Li, Mn, Mo, Zn) и главные ионы (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+), в поверхностных водах высокогорной зоны Центрального Кавказа от бассейна р. Малка до бассейна р. Черек Балкарский по материалам 5-летних наблюдений коллектива авторов. Объектами исследования были основные реки региона и их притоки ледникового и подземного происхождения, прежде всего на территории Национального парка, включая несколько популярных углекислых источников. Пробоотбор проводился ежегодно в 130 пунктах, 80 из которых находились на территории «Приэльбрусья». Пробы анализировались современными физико-химическими методами – атомно-абсорбционным с электротермической атомизацией и капиллярного ионофореза. Полученные значения средних концентраций каждого компонента объединяли в ранжированные ряды и общепринятыми статистическими методами определяли выбросы, которые и принимали за аномалии. На общем фоне характерных для высокогорной зоны концентраций многие водные объекты в Национальном парке выделялись повышенным содержанием As, Cu, Li, Mo, Mg, Na, Cl. Выявлен ряд природных комплексных гидрохимических аномалий и районы их распространения в Южном и Северном Приэльбрусье, установлено, что большинство из них связано с Эльбрусским вулканическим центром.

Ключевые слова: природные воды, высокогорная зона, ионный состав, микроэлементы, аномальные концентрации, Приэльбрусье

Поступила 29.11.2022, одобрена после рецензирования 12.12.2022, принята к публикации 15.12.2022

Для цитирования. Реутова Т. В., Реутова Н. В., Дреева Ф. Р., Хутуев А. М., Керимов А. А. Гидрохимические аномалии в водных объектах национального парка «Приэльбрусье» // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 144–157. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-144-157

Original article

Hydrochemical anomalies in the water bodies of the “Prielbrusye” national park

T.V. Reutova, N.V. Reutova, F.R. Dreeva, A.M. Khutuev, A.A. Kerimov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Center of geographical researches
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

Abstract. The study of natural waters in the geologically and tectonically complex and intensively developed territory of the “Prielbrusye” National Park is becoming increasingly necessary and relevant. For the first time, a comparative analysis of the content of a wide range of chemical components, including trace elements (Al, As, Cu, F, Li, Mn, Mo, Zn) and major ions (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+), in the surface waters of the high-altitude zone of the Central Caucasus from the Malka River basin to the Cherek Balkarsky River basin based on the materials of 5-year observations by a team of authors was carried out. The objects of the study were the main rivers of the region and their tributaries of glacial and underground origin, primarily on the territory of the National Park, including several popular carbon dioxide sources. Sampling was carried out annually at 130 points, 80 of which were located on the territory of the National Park. The samples were analyzed by modern physicochemical methods of atomic absorption with electrothermal atomization and capillary ionophoresis. The obtained values of the average concentrations of each component were combined into ranked series and outliers determined by generally accepted statistical methods were taken as anomalies. Against the general background of concentrations characteristic of the high-altitude zone, many water bodies in the National Park were distinguished by an increased content of As, Cu, Li, Mo, Mg, Na, Cl. A number of natural complex hydrochemical anomalies and areas of their distribution in the Southern and Northern Elbrus region were identified, most of them are associated with the Elbrus volcanic center.

Keywords: natural waters, high mountain zone, “Prielbrusye”, ionic composition, trace elements, abnormal concentrations

Submitted 29.11.2022,

approved after reviewing 12.12.2022,

accepted for publication 15.12.2022

For citation. Reutova T.V., Reutova N.V., Dreeva F.R., Khutuev A.M., Kerimov A.A. Hydrochemical anomalies in the water bodies of the “Prielbrusye” national park. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2022. No. 6(110). Pp. 144–157. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-144-157

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время Приэльбрусье привлекает все большее количество туристов, и турпоток достигает миллиона посетителей в год. На территории национального парка «Приэльбрусье» расположено большое количество водных объектов, очень популярных у туристов и местного населения в качестве рекреационных и питьевых. Это две нарзанные площадки – Поляна нарзанов и Джилысу, где на небольшой территории расположено по 5–7 выходов нарзана [1]. Первая расположена в верховьях р. Баксан (Южное Приэльбрусье), вторая – в верховьях р. Малка (Северное Приэльбрусье). Кроме них, имеется множество родников, расположенных на популярных туристических маршрутах.

Традиционно воды высокогорных рек и родников считаются очень чистыми, но следует иметь в виду, что в районе Приэльбрусья они берут свое начало со склонов Эльбруса, который является «спящим» вулканом [2]. Это накладывает отпечаток на химический состав поверхностных вод данного района.

Особенности химического состава поверхностных вод р. Баксан изучались достаточно активно [3–5]. Но все эти работы в основном посвящены загрязнению реки в районе Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината, который находится за пределами национального парка. Значительно меньше работ посвящено изучению поверхностных вод верховьев реки Баксан [6, 7]. Еще меньше работ посвящено изучению поверхностных вод р. Малка. В работе С. И. Шагина с соавторами приводятся данные только по нижнему течению реки [8]. Ранее нами был изучен химический состав поверхностных вод верховьев р. Малка и было выявлено, что в поверхностных водах бассейна этой реки имеются водотоки с повышенной концентрацией целого ряда компонентов химического состава [9–11].

Цель данной работы – провести сравнительную оценку водных объектов на территории Национального парка «Приэльбрусье» по широкому кругу гидрохимических показателей с типичным для высокогорной зоны Центрального Кавказа уровнем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были поверхностные воды на территории национального парка «Приэльбрусье». Здесь расположены верховья бассейнов двух рек – Малки и Баксана, являющихся притоками р. Терек (бассейн Каспийского моря). Каждая из этих рек в зоне истока имеет густую разветвленную сеть притоков первого и второго порядка благодаря большому количеству атмосферных осадков (до 800 мм/год) и обширным снежно-ледниковым полям. Кроме русел основных рек в нескольких створах и устьевых зон основных притоков, были обследованы бассейны нескольких притоков с собственной речной сетью, а именно: водотоки в ущельях Адылсу, Терскол, Ирик в Южном Приэльбрусье и Шаукол в Северном Приэльбрусье, всего около 80 пунктов наблюдений. Водные объекты высокогорной зоны отличаются по происхождению и основному типу питания. Исходя из этого в число пунктов наблюдения были включены как поверхностные водотоки, берущие начало непосредственно от ледников (ледниковые реки), родники, ручьи и малые реки подземного происхождения (неледниковые реки) и некоторые углекислые нежелезистые источники.

Пробы отбирались в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020. Отбор проб производился в период интенсивного таяния ледников (июль–август) с 2017-го по 2021 г. В пробах определялись только растворенные формы тяжелых металлов (ТМ), пробы фильтровались непосредственно на месте с использованием фильтров с порами 0,45 мкм и подкисляли азотной кислотой (ОСЧ) из расчета 0,5 %. Транспортировка и хранение проб осуществлялись при температуре 2–5°C. Определялось содержание шести ТМ (Al, As, Cu, Mn, Mo, Zn) с использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) в соответствии с ГОСТ Р 57162-2016 и методикой «Количественный химический анализ вод» фирмы-производителя прибора МГА-915. Содержание главных ионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}) и ионов-микропримесей (Li^+ , F) определялось методом капиллярного ионофореза по аттестованной методике на установке «Капель104Т».

Для сравнительного анализа водных объектов из всего массива среднесезонных концентраций определяемых компонентов химического состава вод высокогорной зоны Центрального Кавказа, охватывающей бассейны рек Черек Балкарский, Черек Безенгийский (Хуламский), Чегем, Баксан и Малка от их истоков до 30–35 километров течения основных рек (в общей сложности более 130 пунктов наблюдений), формировали ранжированные ряды, устанавливали средние значения, значения медианы, разделяли совокупность на квартили (нижний квартиль – Q_1 и верхний квартиль – Q_3) и оценивали критическое значение концентрации общепринятым способом. За аномальную (выброс) принимали концентрацию, превышающую значение Q_3 на 1,5 интерквартильных размаха ($Q_3 - Q_1$). Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Excel 2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате сравнительного анализа на территории Национального парка был выявлен целый ряд водных объектов с аномальными содержаниями одного или нескольких компонентов. Их список приведен в таблице 1.

Таблица 1. Список водных объектов с гидрохимическими аномалиями

Table 1. List of water bodies with hydrochemical anomalies

№ п.п.	Название	Расстояние от истока	№ п.п.	Название	Расстояние от истока
<i>Южное Приэльбрусье</i>			21	руч. Геологов	1,7 км
1	р. Баксан	3,3 км	22	родник, прав. приток р. Баксан на 18,6 км	0 км
2	вдп. Азау	3,0 км	23	Руч., лев. приток р. Ирик на 7,1 км	1,2 км
3	Родник, водовод пит. поляна Азау	0 км	24	Руч., лев. приток р. Ирик на 10,1 км	0 км
4	вдп. Девичьи косы	1,6 км	25	углекислый источник пос. Нейтрино	0 км
5	р. Гарабаши	4,3 км	26	Родн. пит. обсерватория Нейтрино, прав. приток р. Баксан на 23,5 км	0 км
6	водовод пит. пос. Терскол	-	<i>Северное Приэльбрусье</i>		
7	лев. исток р. Терскол	2,2 км	27	р. Малка	11,0 км
8	вдп. Терскол	0,8 км	28	р. Малка	16,0 км
9	родник Къара-суу (Терскольский)	0,3 км	29	родник, лев. приток р. Малка на 11 км	0,1 км
10	ручей-фильтрат, лев. приток р. Терскол на 4,1 км	0,2 км	30	Углекислый источник «Белый нарзан»	0 км
11	родн., ручей питьевой, лев. приток р. Терскол на 4,3 км	0,2 км	31	Нарзан «глазной» Джилысу	0 км
12	р. Терскол	4,2	32	вода пит. Джилысу	0 км
13	Родник массива Терскол	0 км	33	р. Султангорасу	1,6 км
14	Водозабор для гостиниц	-	34	углекислый ист., прав. приток р. Султангорасу на 1,7 км	0 км
15	руч. Иткол Верхний	1,2 км	35	руч. Лагерный	4,2 км
16	руч. Иткол Нижний	2,3 км	36	р. Каракаясу	7,8 км
17	руч. Байдаво	3,2 км	37	родн., прит. р. Каракаясу	0 км
18	р. Адылсу	1,7 км	38	руч. Сирх	1,1 км
19	руч. с перевала Курмычи	1,6 км	39	р. Шаукол	11,6 км
20	родн. а/л Джантуган	0 км	40	р. Исламчат	6,9 км

Водным объектам в табл. 1 присвоены номера, которые затем были использованы в таблицах 2 и 3 и на рисунке 1. В сводной таблице 2 для микроэлементов (МЭ) показаны значения интерквартильных диапазонов и критических концентраций, выше которых содержание расценивается как выброс, и водные объекты, где этот порог был превышен. Также приводятся средние за пятилетний период концентрации в каждом водотоке и для сравнения величины ПДК в питьевой воде и воде рыбохозяйственных водоемов.

Мы уделили большое внимание изучению содержания потенциально токсичных МЭ в поверхностных водах в связи с тем, что многие из них при длительном поступлении в организм даже в невысоких концентрациях могут вызывать целый ряд тяжелых заболеваний, а очистка питьевой воды от ТМ не производится. Так, в частности, алюминий в питьевой воде в концентрациях 200 мкг/дм³ и выше приводит к повышению риска таких тяжелых нейродегенеративных заболеваний, как старческая деменция и болезнь Альцгеймера [12–14]. Более того, алюминий не выводится из организма даже при смене места жительства и постепенно накапливается в течение всей жизни. Мышьяк поражает все системы органов, и воздействие высоких доз мышьяка даже в пренатальном периоде приводит к последующим проблемам со здоровьем у взрослых [15–17]. Избыточное поступление меди приводит к повышению риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний [18, 19].

Таблица 2. Аномалии по содержанию микроэлементов**Table 2.** Anomalies in the content of trace elements

Компонент ПДКпит ПДКрыб	Интерквартил. размах Критич. значение (мкг/л)	Водный объект/створ – концентрация, мкг/л	
Al 500 мкг/л 40 мкг/л	40,0–243,4 548,5	№ 12 – 708,6 № 18 – 595,1 № 1 – 566,0 № 5 – 548,9	<u>+ выше безопасного уровня</u> <u>(200 мкг/л)</u> № 32 – 356, № 8 – 293,5 № 36 – 288,7 № 33 – 257,3 № 34 – 256,2 № 38 – 205,2
As 10 мкг/л 50 мкг/л	0,84–3,48 7,45	№ 4 – 97,33 № 5 – 72,51 № 3 – 34,77 № 6 – 15,41 № 2 – 14,62	№ 13 – 14,09 № 14 – 9,89 № 8 – 11,22 № 23 – 7,95
Cu 1000 мкг/л 1 мкг/л	2,12–4,29 7,55	№ 6 – 24,53 № 3 – 14,98 № 18 – 12,68	№ 40 – 10,27 № 19 – 9,39 № 7 – 9,00
Mn 100 мкг/л 10 мкг/л	2,6–9,67 20,28	№ 31 – 462,06 № 30 – 222,78 № 29 – 45,00	№ 27 – 29,03 № 25 – 25,29 № 36 – 22,51
Mo 70 мкг/л 1 мкг/л	0,22–0,94 2,01	№ 24 – 10,96 № 4 – 4,30 № 22 – 4,08 № 23 – 3,42	№ 5 – 2,83 № 10 – 2,65 № 20 – 2,46 № 3 – 2,34
Zn 5000 мкг/л 10 мкг/л	20,4–44,1 79,7	№ 3 – 80,4 № 23 – 74,5	
Li⁺ 30 мкг/л 80 мкг/л	3,0–7,3 17,7	№ 31 – 392,5 № 25 – 182,3 № 4 – 84,6 № 5 – 68,3 № 24 – 61,8 № 37 – 60,5 № 30 – 50,0 № 32 – 49,7 № 14 – 41,15	№ 29 – 42,1 № 3 – 32,8 № 35 – 29,7 № 6 – 28,4 № 9 – 21,1 № 13 – 20,6 № 33 – 19,6 № 28 – 18,1
F⁻ 700 мкг/л 750 мкг/л	88–226 430	№ 24 – 822 № 11 – 675 № 10 – 544 № 9 – 532 № 4 – 515	№ 17 – 501 № 20 – 450 № 32 – 462 № 35 – 451 № 33 – 414

Примечание: жирным шрифтом выделены те объекты, в которых концентрации отличаются от среднего в совокупности на 3σ; курсивом выделены объекты, в которых концентрации близки к критическим значениям, но не превышают их.

Наибольшими концентрациями среди определяемых микроэлементов отличается алюминий. Это связано, во-первых, с тем, что этот элемент является одним из самых распространенных металлов в земной коре, и, во-вторых, его повышенные концентрации в поверхностных водах связаны с центрами древнего и современного вулканизма [9]. ПДК алюминия для питьевой воды составляет 0,5 мг/л, рекомендуемые концентрации не превышают 0,2 мг/л [15–17]. Значение Q_3 по алюминию, равное 243 мкг/л, уже является свидетельством высокой загрязненности вод высокогорной зоны, а величина Q_1 совпадает с

ПДК_{рыб}. Таким образом, условия в большинстве высокогорных рек неблагоприятны для водной биоты. Наибольшими концентрациями отличались воды ледниковых рек, особенно в зоне истоков, и моренных озер, но были обнаружены неледниковые водотоки, используемые туристами для питья, в которых концентрации были выше безопасного уровня (№№ 32, 34 и родник в ущелье Адылсу).

Мышьяк является одним из наиболее токсичных элементов. Концентрации As в аномальных по содержанию этого элемента водных объектах были выше ПДК_{пит}, за исключением одного родника (№ 23), содержавшего 0,8 ПДК. Крайне высокие концентрации – до 10 ПДК – характерны для водопада Девичьи косы и р. Гарабаши (№№ 4 и 5), в которую он впадает. Концентрации, превышающие ПДК, также выявлены в водах водопадов Азау и Терскол (№№ 2 и 8). Все эти водные объекты являются очень популярными местами на туристических маршрутах. Они берут свое начало на южных склонах Эльбруса и имеют подземное происхождение. К сожалению, в число аномалий по As попали проанализированные нами питьевые воды пос. Терскол от поляны Азау до гостиницы Иткол (1,5–3,5 ПДК_{пит}). Таких выраженных аномалий по мышьяку, которые были выявлены в Южном Приэльбрусье, в верховьях р. Малки мы не обнаружили. Тем не менее, общий фон по As повышен. Большинство неледниковых водотоков и углекислые источники содержат 4–6 мкг/л As, что попадает в верхний квартиль концентраций. Загрязнение мышьяком носит природный характер и связано с наличием геохимической аномалии.

Медь считается крайне токсичным металлом для водной биоты. Для нее установлено одно из самых низких значений ПДК_{рыб}, равное 1 мкг/л. При этом ПДК_{пит} является одной из наиболее высоких и в 1000 раз превышает ПДК_{рыб}. Подавляющее большинство вод в высокогорной зоне Центрального Кавказа содержат значительно больше 1 мкг/л Cu. Тем не менее на фоне повышенных концентраций, характерных для высокогорий, было заметно обогащение Cu природных вод в национальном парке. Так, в диапазоне от Q₃ до C_{макс} большую часть составляли водные объекты Национального парка. К этой же территории относились и все обнаруженные аномалии по содержанию меди. Список аномальных водных объектов возглавляют источники питьевого водоснабжения пос. Терскол, что не ухудшает качество этих питьевых вод, истоки ледниковых рек Терскол (левый исток) и Адылсу, а также ее ледниковый приток и неледниковый водоток Исламчат.

Среди обследованных водных объектов высокогорной зоны выявлено 5 аномальных по содержанию Mn. Все они находились на территории национального парка, преимущественно в Северном Приэльбрусье. Особо следует отметить углекислые источники «глазной» и «Белый нарзан» (№№ 30, 31), биологическое действие которых, по-видимому, обусловлено в том числе и высоким содержанием марганца, в 2–4 раза превышающим ПДК_{пит}. Концентрация Mn в похожем минеральном источнике в Южном Приэльбрусье (№ 25 пос. Нейтрино) значительно ниже, хотя и расценивается как аномальная. Наличие углекислых источников в верховьях р. Малка привело и к повышению концентрации Mn в основной реке. Вода от верхнего створа (11 км) до с. Хабаз (66 км) за пределами НП «Приэльбрусье» не удовлетворяет критерию безопасности для гидробионтов по существующим нормативам (2,9–1,2 ПДК_{рыб}). Также на уровне ПДК_{рыб} находятся концентрации марганца в р.р. Адылсу и Когутай, где расположено множество нарзанных источников, имеющих глубинное происхождение. Это характерная черта подобного типа водотоков.

Мы приводим данные по содержанию молибдена, несмотря на его низкие концентрации в исследуемых водах. Это связано с тем, что данный элемент является приоритетным загрязнителем на территории Кабардино-Балкарской Республики в связи с наличием

ем геохимических аномалий, рудопроявлений и месторождений. Повышенные концентрации молибдена в окружающей среде являются одной из причин заболеваний костно-мышечной системы (молибденовая подагра). В изучаемом районе более высокие концентрации молибдена характерны для родниковых вод, что является характерной чертой наличия геохимической аномалии в этом районе. По избранному нами критерию отмечено 9 выбросов концентраций, 7 из которых расположены на южном склоне Эльбруса от левого борта ущелья Ирик (№ 24) до водотока над поляной Азау, снабжающей этот туристический комплекс питьевой водой (№ 3). Еще два родника находятся в правобережье Баксана и относятся к западным отрогам хребта Адылсу. Природное загрязнение, отмечавшееся в 3 пунктах в начале ранжированного ряда (от 11 до 4 мкг/л), вполне сопоставимо с антропогенным загрязнением вод р. Баксан в районе расположения Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината. Еще 10 водных объектов, представляющих собой родниковые ручьи в вышеуказанной зоне (Ирик-Гарабаши), и 2 в ущелье Адылсу содержат Мо в концентрациях выше ПДК_{рыб}, но не идентифицируются как аномальные.

Для речных вод высокогорной зоны характерно повышенное содержание Zn. Превышение ПДК_{рыб} отмечалось в 90 % пунктов наблюдения. Воды национального парка не выделялись по этому показателю в отличие от концентраций Cu. За аномальную можно было принять только одну концентрацию, зарегистрированную в питьевой воде на поляне Азау (№3). Всего же в высокогорной зоне было установлено 6 водных объектов с концентрацией Zn выше критической. Все они, кроме упомянутого № 3, находились в бассейне р. Черек.

Литий не является приоритетным для высокогорной зоны загрязняющим веществом, он не был обнаружен в 23,5 % от общего числа обследованных пунктов, и еще в 12 % появлялся в водотоке спорадически в следовых концентрациях на уровне предела определения используемого метода. Вследствие низкого значения критической концентрации довольно большое количество водных объектов (17) были признаны аномальными. Если ориентироваться на ПДК_{пит}, их число сокращается до 12. Абсолютно все водотоки в этой группе формируются на склонах г. Эльбрус. При этом во всем диапазоне концентраций от Q₃ до C_{макс} только 2 водных объекта не были связаны с Эльбрусом. Один является притоком р. Адылсу, также расположенным на территории национального парка, и один – притоком р. Башиль за его пределами. Однако по уровню содержания Li объекты, попавшие в число аномальных, резко отличались друг от друга. Воды двух минеральных углекислых источников у северного и южного склона Эльбруса (№№) содержали 13 и 6 ПДК Li, в основном концентрации составили 1,3–2,8 ПДК, и в 5 случаях концентрации были ниже ПДК для питьевых вод.

Фтор относится к эссенциальным элементам, желательный уровень содержания F в воде 0,3–0,6 мг/л, при концентрациях выше 0,7 мг/л проявляется неблагоприятное действие фторидов. Как видно из приведенных в таблице 2 данных, большая часть воды в высокогорье обеднена фтором, а в разряд аномальных попадают водные объекты, содержание F в которых может считаться оптимальным. Исключением являются 2 родника с концентрацией F, приближающейся к ПДК. Все аномалии по фтору относятся к неледниковым водотокам у подножия восточной вершины Эльбруса, но представляют собой именно родниковые воды, а не минеральные источники.

На территории Приэльбрусья был выявлен целый ряд водных объектов, представляющих гидрохимические аномалии по содержанию макрокомпонентов ионного состава, при-

веденные в таблице 3, построенной аналогично таблице 2. Прежде всего это минеральные углекислые источники, естественно обогащенные всеми ионами.

Таблица 3. Аномалии по содержанию макрокомпонентов

Table 3. Anomalies in the content of macrocomponents

Компонент ПДКпит ПДКрыб	Интерквартил. размах Критич. значение (мг/л)	Водный объект/створ – концентрация, мкг/л	
Cl ⁻ 350 мг/л 300 мг/л	0,52–1,75 3,59	№ 31 – 74,63 № 25 – 43,35 № 4 – 20,68 № 37 – 15,00 № 5 – 13,01 № 14 – 9,39	№ 29 – 6,84 № 32 – 6,78 № 9 – 5,59 № 30 – 5,56 № 35 – 3,72
SO ₄ ²⁻ 500 мг/л 100 мг/л	4,79–18,83 39,9	№ 21 – 95,05 № 26 – 86,37 № 40 – 64,05	№ 39 – 63,53 № 25 – 46,49 № 31 – 41,39
Na ⁺ 200 мг/л 120 мг/л	1,11–3,33 6,67	№ 31 – 90,71 № 25 – 37,51 № 4 – 25,20 № 5 – 16,68 № 37 – 14,20 № 14 – 11,54	№ 30 – 13,61 № 29 – 12,04 № 32 – 9,65 № 9 – 8,98 № 39 – 7,73 № 35 – 6,33
K ⁺ – 10(50) мг/л	0,70–1,38 2,4	№ 31 – 8,61 № 25 – 4,96 № 30 – 3,59 № 29 – 2,97	№ 39 – 2,75 № 26 – 2,54 № 14 – 2,40 № 34 – 2,39
Mg ²⁺ 50 мг/л 40 мг/л	1,44–4,47 9,0	№ 31 – 47,91 № 30 – 20,12 № 24 – 17,17 № 38 – 17,10 № 25 – 16,94 № 21 – 15,79 № 15 – 15,69	№ 26 – 15,23 № 16 – 13,82 № 29 – 12,64 № 39 – 11,31 № 40 – 10,55 № 23 – 9,32
Ca ²⁺ – 180 мг/л	6,4–16,6 31,8	№ 31 – 102,52 № 30 – 67,98 № 25 – 59,95 № 26 – 47,34	№ 39 – 40,86 № 40 – 39,32 № 29 – 37,11

Примечание: жирным шрифтом выделены объекты, в которых концентрации отличаются от среднего в совокупности на 3σ; курсивом выделены объекты, в которых концентрации близки к критическим значениям, но не превышают их.

Все остальные водные объекты, в которых зарегистрированы повышенные концентрации главных ионов, также имеют подземное происхождение, кроме ледниковой р. Гарабаши. Повышение концентраций в ней происходит вследствие привноса вод неледникового притока (№ 4 – водопад «Девичьи косы»). Прослеживается комплексная аномалия Cl⁻ Na⁺ K⁺ на двух участках обследованной территории: первый – у южного склона Эльбруса в бассейнах рек Гарабаши и Терскол, второй – у северного склона у истоков р. Малка.

По содержанию сульфатов особо выделялись четыре водных объекта. Концентрации SO₄²⁻ в них оказались выше, чем в минеральных источниках. Один из них (№ 26) представлял собой каптированный родник на правобережной нижней террасе р. Баксан возле обсерватории Нейтрино, три других были сформированы на значительных высотах 2200–2500 м н.у.м. Это р. Шаукол и ее приток (№№ 39 и 40) в Северном Приэльбрусье и ручей в ущелье

Шхельды (№ 21). Как правило, повышенные концентрации SO_4^{2-} сопровождались повышением содержания ионов кальция, хотя концентрации последнего не всегда достигали установленного уровня аномальных. Например, в пункте № 21 отмечена комплексная аномалия только по сульфатам и магнию при повышенном содержании ионов кальция, а в пункте № 29 аномалия $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ сопровождалась очень низким содержанием SO_4^{2-} . Водные объекты с аномальными концентрациями Ca^{2+} в основном сосредоточены в Северном Приэльбрусье, только 2 находились в районе обсерватории Нейтрино. Помимо 3 углекислых источников, аномальными по содержанию Mg^{2+} признаны еще 10 неледниковых водных объектов. В большинстве из них магний сочетается с сульфат-ионами и кальцием, как минимум, концентрации этих дополнительных ионов находятся в пределах 4-го квартиля. Но для некоторых, таких как родниковые притоки р. Ирик на юго-восточном склоне Эльбруса (№№ 23 и 24), р. Сирх в бассейне Малки, берущей начало на Передовом хребте, основным противоионом к Mg^{2+} является HCO_3^- , а на поляне Эммануэля в пункте № 29 – Cl^- .

Местоположение атипичных водных объектов и перечень компонентов, по содержанию которых они были отнесены к аномальным, показаны на рисунке 1, представляющем собой карту национального парка «Приэльбрусье» на основе растрового слоя Google Satellite. На карту в системе QGIS 3.22 нанесены соответствующие пункты согласно географическим координатам, определенным при отборе проб. В некоторых случаях водный объект выделялся по одному компоненту. Например, только по содержанию Al (№№ 1, 12), Cu (№№ 7, 19) или Mn (№№ 27, 36) отличались истоки нескольких ледниковых рек, по содержанию Mg – два неледниковых ручья №№ 15 и 16. Также на фоне относительно низкого содержания всех других компонентов высокие концентрации As были зарегистрированы в 2 водопадах под ледниками Малый Азау и Терскол (№№ 2, 8), а F – в родниковых ручьях (№№ 11, 17) с юго-восточного отрога Эльбруса с вершинами Терсколак и Итколбаши. Но, как правило, гидрохимические аномалии были комплексными. Естественно, углекислым источникам как на северном склоне Эльбруса (№ № 30, 31), так и на южном (№ 25), свойственно наибольшее количество компонентов с аномально высокими концентрациями. Всего один из них (№ 34) оказался маломинерализованным и отличался только повышенным содержанием калия. Но имеются и пресные воды с аналогичным набором загрязняющих веществ. Например, № 29 является ручьем, собирающим поверхностные воды рядом с источником «Белый нарзан» (№ 30), и по составу не отличается от него. Также совпадает набор компонентов с аномальными концентрациями в пунктах 4 и 5, при этом водный объект № 5 (р. Гарабаши) принимает воды водотока № 4 (водопад «Девичьи косы»).

На карте (рис. 1) хорошо прослеживаются 3 типичных ассоциации компонентов химического состава: 1) Li – F в сопровождении Na(K) и Cl; 2) As – Mo часто в сочетании с Cu и F; 3) Mg – Ca(K) – SO_4^{2-} . Эти ассоциации достаточно устойчивы. Даже когда концентрация какого-то из соответствующих компонентов не расценивается как аномалия, она входит в верхний квартиль ряда концентраций. Первая из отмечавшихся ассоциаций характерна для Северного Приэльбрусья, и только в одном роднике (№ 9) в бассейне р. Терскол был отмечен такой же набор компонентов. Самые высокие концентрации лития зарегистрированы на северных склонах, но аномалия по Li и F распространяется и на Южное Приэльбрусье. Водные объекты, относящиеся ко второй ассоциации, сосредоточены в зоне вдоль левобережья р. Баксан до тектонического разлома по ущельям рек Ирик-Адълсу. К ассоциации сульфаты – щелочноземельные металлы принадлежит ряд водотоков в Северном Приэльбрусье с Передового хребта (№№ 38–40) и 4 водных объекта в Южном Приэльбрусье, распределенные на значительном расстоянии друг от друга. Возможно, они связаны с древними выходами углекислых вод, например, пункты 15 и 16 с травертинами [1].

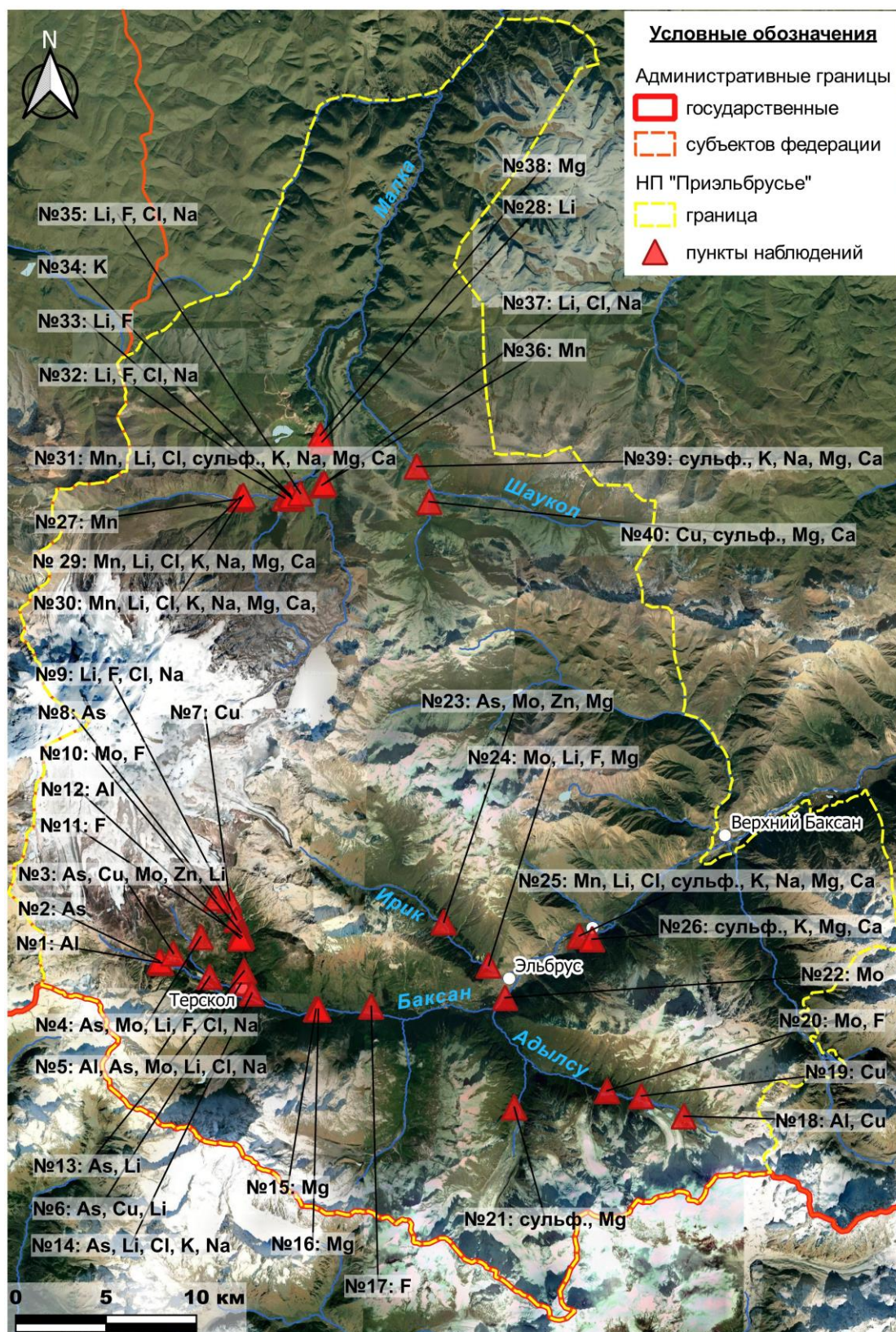


Рис. 1. Местоположение аномальных водных объектов на территории национального парка «Приэльбрусье» и ассоциации примесей в гидрохимических аномалиях.

Fig. 1. Location of anomalous water bodies on the territory of the Elbrus National Park and associations of impurities in hydrochemical anomalies.

ВЫВОДЫ

Сравнительный анализ содержания широкого круга компонентов химического состава с целью выявления гидрохимических аномалий в природных водах высокогорной зоны Центрального Кавказа показал, что наиболее высокие из зарегистрированных концентраций As, Li, Cu, Mo, Mn, также Na и Cl, включая абсолютные максимумы, большинство концентраций, признанных аномальными и входящих в верхний квартиль, относятся к водным объектам на территории национального парка «Приэльбрусье». Все водные объекты, являющиеся аномалиями по содержанию As, F, Li, Mn, Mo, а также Cl, Na и K, представляют собой водотоки преимущественно подземного происхождения, сформированные на склонах Эльбруса.

Несмотря на большое разнообразие химического состава водных объектов, выявлено несколько типичных ассоциаций примесей, распространенных на определенных территориях. Таким образом, в составе природных вод отражаются достаточно обширные или локальные глубинные геохимические комплексные аномалии.

Во многих обследованных водных объектах превышены ПДК_{рыб} по Zn и Cu более чем в 90 %, Al – в 80 %, Mo и Mn в – 15–20 % случаев и в единичных водных объектах по As. Максимальное превышение в реках составляло 14–17 ПДК алюминия, 10–12 ПДК меди, 5–6,5 ПДК цинка, 2–3 ПДК марганца и молибдена, 1,4 ПДК мышьяка.

Среди водных объектов, признанных аномальными, имеется целый ряд таких, которые не удовлетворяют требованиям к питьевым водам, но используются как для централизованного водоснабжения, так и в качестве питьевых вод на туристических стоянках и маршрутах. Следует обратить особое внимание на эти воды, поскольку гостиницы и кафе на поляне Азау берут питьевую воду из водоводов на склоне Эльбруса, а пос. Терскол и все нижележащие гостиницы получают питьевую воду из водозабора в пос. Терскол, где содержится до 1,5 ПДК_{пит.} Li и As. Для приезжих туристов такая вода опасности не представляет в силу кратковременности их пребывания, но для местного населения, постоянно употребляющего эту питьевую воду, опасность для здоровья существует. При этом относительно высокое содержание макрокомпонентов, прежде всего кальция и магния, в питьевых и родниковых водах обычно не снижает их качества, а скорее приближает их к уровню физиологически полноценных.

В водах минеральных источников поляны Джилысу и скважины в пос. Нейтринно концентрации Mn в несколько раз выше ПДК_{пит.}, а по Li превышение составило от 1,5 до 6–12 ПДК_{пит.}. Такие воды не должны использоваться для постоянного питья, а расцениваться как лечебно-столовые и приниматься дозированно, что должно быть доведено до сведения населения.

Все выявленные аномалии имеют природное происхождение, большинство связано с активностью Эльбрусского вулканического центра.

Работа выполнена в рамках тем 122041400236-1 «Изучение особенностей химического состава поверхностных вод Эльбрусского и Казбекского вулканических центров» и 4-22-118-1 «Оценка современного состояния водных природных экосистем на территории национального парка «Приэльбрусье».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балкаров М. И., Туаев Н. А. Нарзаны Эльбруса. Нальчик: Каб.-Балк. книжное изд-во, 1960. 99 с.
2. Чернышев И. В., Бубнов С. Н., Лебедев В. А., Гольцман Ю. В., Баирова Э. Д., Якушев А. И. Два этапа эксплозивного вулканизма Приэльбрусья: геохронология, петрохимические и изотопно-геохимические характеристики вулканитов и их роль в неоген-четвертичной истории Большого Кавказа // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 1. С. 100–130. DOI: 10.7868/S0869592X14010025.

3. Воробьева Т. И., Жинжакова Л. З., Чередник Е. А., Реутова Т. В., Гущина Л. П. Динамика содержания токсичных загрязняющих веществ в водах рек Баксан и Черек // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2011. № 5(43). С. 49–56.
4. Газаев М. А., Агоева Э. А., Жинжакова Л. З. Сравнительный анализ речных вод высокогорной зоны Баксанского и Черекского ущелий // Вода: химия и экология. 2014. № 6 (72). С. 3–7.
5. Бортников Н. С., Богатилов О. А., Карамурзов Б. С., Гурбанов А. Г., Шаззо Ю. К., Газеев В. М., Докучаев А. Я., Лексин А. Б., Цуканова Л. Е., Петренко Д. Б., Шевченко А. В. Результаты исследования воздействия захороненных промышленных отходов Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината на воду р. Баксан и ее притоков // Вестник Владикавказского научного центра. 2013. Т. 13. № 3. С. 22–30.
6. Reutova T. V., Dreeva F. R., Reutova N. V. Pollutant Concentrations in Mountain River Waters in the Upper Baksan Area (Prielbrus'e National Park) and Their Seasonal Variations // Water Resources. 2018. Vol. 45. No. 1. Pp. 120–126. DOI: 10.1134/S0097807818010153.
7. Ермаков В. В., Тютиков С. Ф., Дегтярев А. П., Данилова В. Н., Гуляева У. А., Догадкин Д. Н. Формирование биогеохимических аномалий в бассейне р. Баксан // Геохимия. 2020. № 65(10). С. 955–968. DOI: 10.31857/S0016752520100064.
8. Шагин С. И., Шамарина М. А., Татаренко Н. В. Геоэкологическая характеристика участка реки Малка от города Прохладный до устья // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. 2020. № 3. С. 72–77. DOI: 10.17308/geo.2020.3/3026.
9. Реутова Н. В., Реутова Т. В., Дреева Ф. Р., Хутуев А. М., Керимов А. А. Особенности содержания алюминия в реках горной зоны Центрального Кавказа // Экологическая химия. 2018. Т. 27. № 3. С. 124–134.
10. Реутова Н. В., Реутова Т. В., Дреева Ф. Р. Сравнительная характеристика микроэлементного состава рек, берущих начало со склонов Эльбруса // Экологическая химия. 2019. Т. 28. № 6. С. 318–325
11. Реутова Н. В., Реутова Т. В., Дреева Ф. Р., Хутуев А. М. Микроэлементный состав поверхностных вод бассейна реки Малка и геохимические особенности региона // Геология и геофизика Юга России. 2021. Т. 11. № 3. С. 172–184. DOI: 10.46698/VNC.2021.20.60.014.
12. Flaten P. T. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water // Brain Research Bulletin. 2001. Vol. 55. No. 2. Pp. 187–196. DOI:10.1016/S0361-9230(01)00459-2.
13. Martyn C. N., Coggon D. N., Inskip H., Lacey R. F., Young W. F. Aluminum concentrations in drinking water and risk of Alzheimer's disease // Epidemiology. 1997. No. 8(3). P. 281–286.
14. Тулакина Н. В., Новиков Ю. В., Плитман С. И., Ярошев В. В. Алюминий в питьевой воде и здоровье населения // Гигиена и санитария. 1991. № 11. С. 12–14.
15. Farzan S. F., Karagas M. R., Chen Y. In utero and early life arsenic exposure in relation to long-term health and disease // Toxicol. Appl. Pharmacol. 2013. No. 272(2). P. 384–390.
16. Goswami R., Kumar M., Biyani N., Shea P. J. Arsenic exposure and perception of health risk due to groundwater contamination in Majuli (river island). Assam, India // Environ. Geochem. Health. 2020. No. 42. P. 443–460. DOI:10.1007/s10653-019-00373-9.
17. Middleton D.R.S., McCormack V. A., Watts M. J., Schüz J. Environmental geochemistry and cancer: a pertinent global health problem requiring interdisciplinary collaboration // Environ. Geochem. Health. 2020. No. 42. P. 1047–1056. DOI:10.1007/s10653-019-00303-9.
18. Eman M. A., Gordon A. F. Heavy metal poisoning and cardiovascular disease // J. Toxicol. 2011. Article ID 870125. DOI: 10.1155/2011/870125.
19. Jomova K., Valko M. Advances in metal-induced oxidative stress and human disease // Toxicology. 2011. Vol. 283. No. 2–3. Pp. 65–87.

Информация об авторах

Реутова Татьяна Васильевна, ст. науч. сотр. Центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

reuttat@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0651-7230>

Реутова Нина Васильевна, д-р биол. наук, вед. науч. сотр. Центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

reutova371@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9609-5870>

Дреева Фатима Робертовна, науч. сотр. Центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

f.dreeva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5119-9695>

Хутуев Ахмед Махмутович, науч. сотр. Центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

khutuev.a.m@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1215-8230>

Керимов Ахмат Азретович, науч. сотр. Центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

89287206000@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/>

REFERENCES

1. Balkarov M.I., Tuaev N.A. *Narzany El'brusa* [Elbrus mineral water springs]. Nalchik: Kabardino-Balkarskoe knizhnoe izdatelstvo, 1960. 99 p. (In Russian)
2. Chernyshev I.V., Bubnov S.N., Lebedev V.A., Goltsman Y.V., Bairova E.D., Yakushev A.I. Two stages of explosive volcanism of the Elbrus area: geochronology, petrochemical and isotopic-geochemical characteristics of volcanic rocks, and their role in the neogene-quaternary evolution of the greater Caucasus. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*. 2014. Vol. 22. No. 1. Pp. 100–130. DOI: 10.7868/S0869592X14010025. (In Russian)
3. Vorobeva T.I., Zhinzhakova L.Z., Cherednik E.A., Reutova T.V., Gushhina L.P. The dynamics of the content of toxic impurities in the waters of Baksan and Cherek rivers. *News of Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2011. No. 5(43). Pp. 49–56. (In Russian)
4. Gazaev M.A., Agoeva E.A., Zhinzhakova L.Z. Comparative analysis of river water composition within highland area of Baksansky and Chereksky gorges. *Voda: himiya i ekologiya* [Water: chemistry and ecology]. 2014. No. 6 (72). Pp. 3–7. (In Russian)
5. Bortnikov N.S., Bogatkov O.A., Karamurzov B.S., Gurbanov A.G., Shazzo Yu.K., Gazeev V.M., Dokuchaev A.Ya., Leksin A.B., Czukanova L.E., Petrenko D.B., Shevchenko A.V. The results of a study of the impact of buried industrial wastes of the Tyrnyauz tungsten-molybdenum plant on the water of the river. Baksan and its tributaries. *Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra* [Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center]. 2013. Vol. 13. No. 3. Pp. 22–30. (In Russian)
6. Reutova T.V., Dreeva F.R., Reutova N.V. Pollutant Concentrations in Mountain River Waters in the Upper Baksan Area (Prielbrus'e National Park) and Their Seasonal Variations. *Water Resources*. 2018. Vol. 45. No. 1. Pp. 120–126. DOI: 10.1134/S0097807818010153.
7. Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Degtyarev A.P., Danilova V.N., Gulyaeva U.A., Dogadkin D.N. Formation of Biogeochemical Anomalies in the Baksan River Basin. *Geohimiya*. 2020. 65(10). Pp. 955–968. DOI: 10.31857/S0016752520100064.
8. Shagin S.I., Shamarina M.A., Tatarenko N.V. Geocological characteristics of the Malka river section from the city of Prokhladny to the mouth. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2020. No. 3. Pp. 72–77. DOI: 10.17308/geo.2020.3/3026. (In Russian)

9. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Khutuev A.M., Kerimov A.A. Features of aluminum concentrations in rivers of the mountain zone of the Central Caucas. *Ekologicheskaya himiya* [Environmental chemistry]. 2018. Vol. 27. No. 3. Pp. 124–134. (In Russian)
10. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R. Comparative characterization of the microelement composition of the rivers originating from the Elbrus slopes. *Ekologicheskaya himiya* [Environmental chemistry]. 2019. Vol. 28. No. 6. Pp. 318–325. (In Russian)
11. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Khutuev A.M. Microelements in the surface waters of the Malka River basin and geochemical features of the region. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii* [Geology and geophysics of the South of Russia]. 2021. Vol. 11. No. 3. Pp. 172–184. DOI: 10.46698/VNC.2021.20.60.014. (In Russian)
12. Flaten P.T. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Research Bulletin*. 2001. Vol. 55. No. 2. P. 187–196. DOI:10.1016/S0361-9230(01)00459-2.
13. Martyn C.N., Coggon D.N., Inskip H., Lacey R.F., Young W.F. Aluminum concentrations in drinking water and risk of Alzheimer's disease. *Epidemiology*. 1997. No. 8(3). Pp. 281–286.
14. Tulakina N.V., Novikov Yu.V., Plitman S.I., Yaroshev V.V. Aluminum in drinking water and public health. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 1991. No. 11. Pp. 12–14. (In Russian)
15. Farzan S.F., Karagas M.R., Chen Y. In utero and early life arsenic exposure in relation to long-term health and disease. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2013. No. 272(2). Pp. 384–390.
16. Goswami R., Kumar M., Biyani N., Shea P.J. Arsenic exposure and perception of health risk due to groundwater contamination in Majuli (river island). Assam, India. *Environ. Geochem. Health*. 2020. No. 42. Pp. 443–460. DOI:10.1007/s10653-019-00373-9.
17. Middleton D.R.S., McCormack V.A., Watts M.J., Schüz J. Environmental geochemistry and cancer: a pertinent global health problem requiring interdisciplinary collaboration. *Environ. Geochem. Health*. 2020. No. 42. Pp. 1047–1056. DOI:10.1007/s10653-019-00303-9.
18. Eman M.A., Gordon A.F. Heavy metal poisoning and cardiovascular disease. *J. Toxicol.* 2011. Art. 870125. DOI: 10.1155/2011/870125.
19. Jomova K., Valko M. Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology*. 2011. Vol. 283. No. 2–3. Pp. 65–87.

Information about the authors

Reutova Tatyana Vasilievna, Senior Researcher, Center for Geographical Research of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

reuttat@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0651-7230>

Reutova Nina Vasilievna, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Center for Geographical Research of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

reutova371@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9609-5870>

Dreeva Fatima Robertovna, Researcher, Center for Geographical Research of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

f.dreeva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5119-9695>

Khutuev Akhed Makhmutovich, Researcher, Center for Geographical Research of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

khutuev.a.m@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1215-8230>

Kerimov Akhmat Azretovich, Researcher, Center for Geographical Research of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

89287206000@mail.ru