

Особенности химического состава поверхностных вод национального парка Приэльбрусье

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

*Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр РАН»
г. Нальчик, 360010, Кабардино-Балкарская Республика, Российская Федерация
E-mail: reutova371@mail.ru*

Аннотация

Исследован химический состав рек, родников и озёр, расположенных на территории национального парка Приэльбрусье. Все изученные водоёмы, кроме двух родников, являются маломинерализованными. Уровень содержания кальция и магния в их водах ниже рекомендуемого для физиологически полноценных питьевых вод. Также очень низким является содержание ионов натрия и хлора. При этом концентрации меди и цинка в воде повсеместно превышают ПДК для рыбохозяйственных водоёмов. В некоторых родниках на склонах Эльбруса выявлены повышенные (до двух ПДК) концентрации мышьяка. Повышенное содержание алюминия в воде, скорее всего, связано с проявлениями современного вулканизма в Эльбрусской неовулканической области. Использование этих вод для питья может представлять угрозу для здоровья местного населения.

Ключевые слова: поверхностные воды, химический состав, макрокомпоненты, тяжёлые металлы, Приэльбрусье.

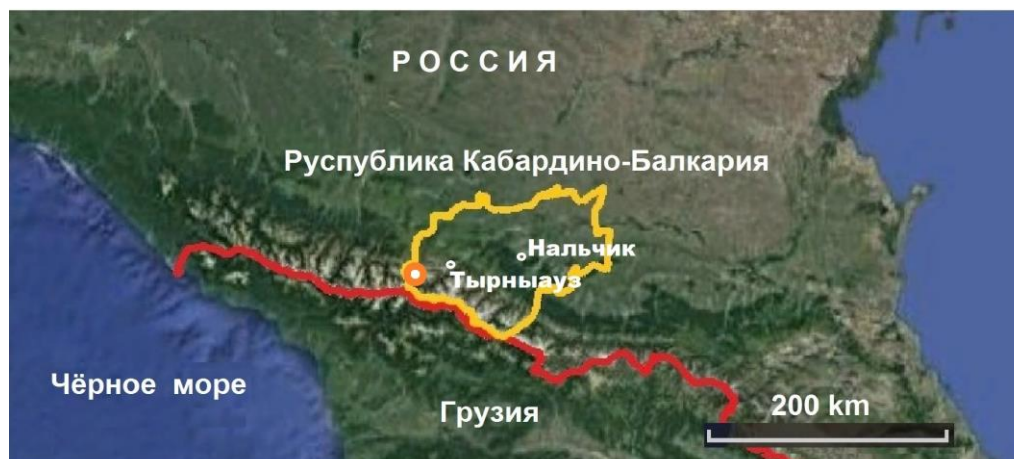
Введение. Национальный парк Приэльбрусье был учреждён в 1986 г. Он является одним из самых высокогорных парков в России и Европе и одним из наиболее посещаемых парков и заповедников России (более 150 тыс. посетителей в год, и эта цифра неуклонно увеличивается)¹. Парк расположен на южных, восточных и северных склонах спящего вулкана Эльбрус (Эльбрусская неовулканическая область) (рис. 1) [Чернышев и др., 2014; Кюль, 2018].

Основная масса разнообразных водных объектов национального парка Приэльбрусье имеет ледниковое происхождение. Многие из них являются рекреационными зонами и популярными питьевыми источниками не только у туристов, но и у местного населения. По 5–7

* Сведения об авторах. Все авторы — сотрудники Центра географических исследований Федерального научного центра «Кабардино-Балкарский научный центр РАН», г. Нальчик. Реутова Нина Васильевна, д-р биол наук, внс, e-mail: reutova371@mail.ru; Реутова Татьяна Васильевна, снс, e-mail: reuttat@yandex.ru; Дреева Фатима Робертовна, нс, e-mail: f.dreeva@mail.ru; Хутуев Ахъед Махмутович, мнс, e-mail: khutuev.a.m@mail.ru; Керимов Ахмат Азретович, нс, e-mail: 89287206000@mail.ru.

¹ Топ-10 самых посещаемых национальных парков и заповедников России. / URL: <https://regnum.ru/news/society/2779719.html> (13.03.2020).

выходов нарзанов расположено в двух локальных районах, на небольших «нарзанных площадках» — поляне Нарзанов и в урочище Джилысу — с южной и северной стороны Эльбруса, на высотах 2–2,5 тыс. м над уровнем моря [Балкаров, Туаев, 1960]. Множество источников пресных питьевых вод находятся в ущельях рек Адылсу, Ирик, Баксан.



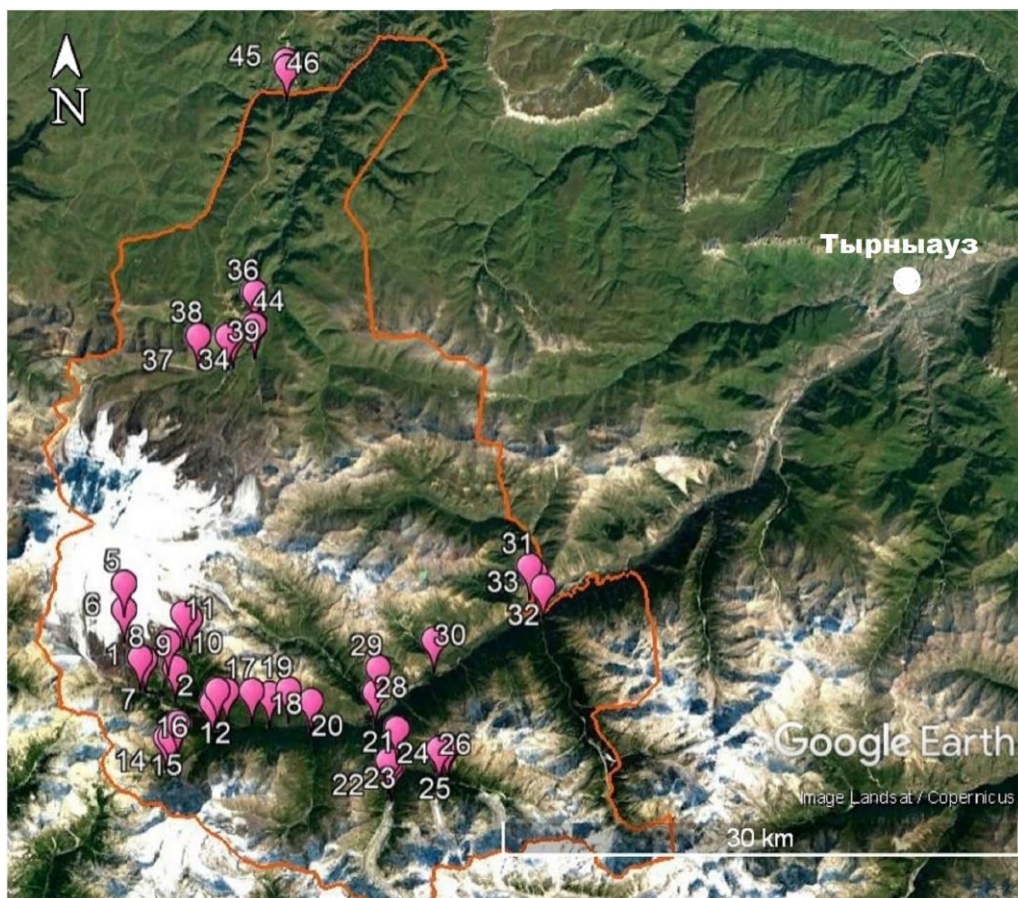
Примечание: оранжевым кружком обозначено расположение национального парка «Приэльбрусье» в Кабардино-Балкарии [The location of the Prielbrusye National Park in Kabardino-Balkaria is indicated by an orange circle].

Рисунок 1 — Месторасположения национального парка «Приэльбрусье»
Figure 1 — Location of the Prielbrusye National Park

Цель настоящего исследования — изучение гидрохимического состава поверхностных вод национального парка Приэльбрусье.

Материалы и методы. Речная сеть на территории национального парка Приэльбрусье очень густая, благодаря большому количеству атмосферных осадков и наличию ледников. Она представлена короткими, длиной до 12 км, многоводными в летний период реками и ручьями ледникового происхождения. К этой группе относится большинство изученных нами водных объектов: бассейны главных рек региона Баксан и Малка¹, проходящих по территории национального парка 30–35 километров, водопады, родники, источники и озёра, расположенные на территории парка. Пункты отбора проб показаны на рисунке 2. Очи находятся на расстоянии от 100 м до 2 км от ледников до устьевых зон малых рек длиной 8–22 км от истоков до устья.

¹ Бассейны рек Баксан и Малка относятся к бассейну реки Терек.



Примечание [Note]: цифрами обозначены номера точек отбора проб [numbers on the map indicate the numbers of sampling points]: 1 — р. Баксан [Baksan R.] (3,3 км) здесь и далее в круглых скобках — расстояние точки отбора проб от истока в км [here and below, the numbers in parentheses indicate the distance from the source in km]; 2 — р. Баксан [Baksan R.] (8 км); 3 — р. Баксан [Baksan R.] (18 км); 4 — р. Баксан [Baksan R.] (35 км); 5 — руч. Гарабашы [stream Garabashi]; 6 — руч. Мир [stream Mir]; 7 — вдп. Азау [waterfall Azau]; 8 — вдп. Девичьи Косы [waterfall Devichiyi Kosy]; 9 — р. Гарабашы [Garabashi R.]; 10 — р. Терскол [Terskol R., 7 км]; 11 — вдп. Терскол [waterfall Terskol]; 12 — р. Терскол [Terskol R.] (8,1 км); 13 — руч. Медвежий [stream Medvezhiy]; 14 — оз. Донгуз-Орун [Lake Donguz-Orun]; 15 — родн. Четег [spring Cheget]; 16 — р. Донгуз-Орун [Donguz-Orun R.]; 17 — руч. Иткол [stream Itkol]; 18 — р. Когутай [Kogutay R.]; 19 — руч. Байдаево [stream Bajdaevo]; 20 — р. Юсеньги [Yusen'gi R.]; 21 — безымянный родн. на заставе [spring at the outpost]; 22 — руч. Геологов [stream Geologov]; 23 — р. Шхельда [Shkhelda R.] (1,6 км); 24 — р. Шхельда (4,2 км); 25 — родн. Джантуган [spring Dzhantugan]; 26 — р. Кашкаташ [Kashkatash R.]; 27 — р. Адылсу [Adylsu R.] (5,6 км); 28 — р. Адылсу (11,8 км); 29 — р. Ирик [Irik R.]; 30 — ист. Нейтрино [spring Neutrino]; 31 — р. Сылтран [Syltran R.]; 32 — р. Кыртык [Kyrtyk R.]; 33 — р. Адырсу [Adyrsu R.]; 34 — р. Малка [Malka R.] (11 км); 35 — р. Малка (13 км); 36 — р. Малка (16 км); 37 — р. Уллукол [Ullukol R.]; 38 — ист. Белый Нарзан [spring Belyu Narzan]; 39 — р. Бирджалы [Birdzhaly R.] (7), а также пункты 40–43, расположенные вблизи источника Белый Нарзан: вода питьевая поляны Джылысу, р. Султангорасу (1,6 км), р. Каракаюсу (7,8 км), родник, приток р. Каракаюсу (0) [as well as points 40–43 close to the spring Belyu Narzan: drinking water glades Dzhylisu, Sultangorasu (1,6 km), Karakayasu R. (7,8 km), spring, tributary of the Karakayasu R. (0)]; 44 — руч. Сирх [stream Sirh]; 45 — р. Харбас [Harbas R.]; 46 — руч. Красные Граниты [stream Krasnye Granity].

Рисунок 2— Расположение пунктов отбора проб воды
Figure 2 — Location of water sampling sites

Наряду с ледниковыми реками есть немало водотоков, непосредственно не связанных с ледниками, питающихся преимущественно подземными водами, поступающими с разной глубины, хотя истоки большинства из них находятся на абсолютных высотах более 3 тыс. м (№№ 8, 11, 15, 17, 19, 22, 40, 44), некоторых на уровне примерно 2 тыс. м (№№ 21, 25, 43, 45, 46). Также обследовано одно моренное озеро (№ 14). В задачи данного исследования не входило рассмотрение химического состава вод железосодержащих источников Поляны Нарзанов и Джилысу, хорошо изученных сотрудниками Пятигорского НИИ курортологии¹ [Чернышев и др., 2014]. Необходимо отметить, что источники вокруг Эльбруса могут исчезать, так как их часто заносит сели, но могут и возникать, например, два минеральных углекислых источника в бассейнах рек Баксан (Нейтрино, № 30) и Малка — (Белый Нарзан, № 38), появившиеся недавно.

Отбор проб проводили ежегодно с 2013 г. по 2018 г., в период интенсивного таяния ледников (конец июня — июль). Отбор, обработку и консервацию проб осуществляли в соответствии с действующим ГОСТ Р 51592-2000. Определение концентраций тяжёлых металлов проводили с использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с ГОСТ Р 51309-99. Величину pH измеряли методом прямой потенциометрии. Содержание главных ионов и ионов-микропримесей определяли методом капиллярного ионофореза. Статистическую обработку данных проводили в программе Excel. Для определения ионов лития (предел определения 1,5 мкг/л) и фтора (предел определения 10 мкг/л), обладающих высокой биологической активностью, применяли метод капиллярного ионофореза, который обладает достаточной чувствительностью для определения в большинстве природных вод таких ионов.

Результаты. Содержание солей в обследованных водных объектах, рассчитанное как сумма главных ионов, варьирует в широком диапазоне, несмотря на то, что вся территория национального парка находится в высокогорной зоне в режиме избыточного увлажнения. Наименьшие значения от 12 до 26 мг/л отмечено в потоках талых вод ледников, таких как Кашкаташ в ущелье Адылсу, Азау и Гарабаши на южном склоне Эльбруса, а также в ледниковых реках на первых двух-трёх километрах их течения, иногда сохраняясь до 8 км (Баксан, Уллукол, Бирджалы). Максимальные величины суммы ионов (110–250 мг/л) почти в 10 раз превышали минимальные и относились к водам

¹ <https://skfmba.ru/pniik>.

большинства неледниковых рек и ручьёв и многих родников. В минеральных источниках Белый Нарзан и Нейтрино содержание солей составило около 0,5 г/л, и по этому показателю они принадлежат к группе столовых вод. Воды, содержащие менее 26 мг/л солей, составили 25 % от их общего количества, и почти столько же содержали более 100 мг/л ионов. Для половины водных объектов характерные значения суммы ионов находились в пределах 30–90 мг/л. Среди них в основном находятся ледниковые реки, имеющие притоки не ледникового происхождения, а также несколько родников, сформированных как в зоне альпийских лугов (№ 15, 40), так и в лесной зоне (№ 21, 46), и моренное озеро Донгуз-Орун.

Реакция поверхностных вод в основном нейтральная и слабощелочная (рН 6,8–7,6). Воды нескольких объектов имели рН $\leq 6,5$. В их число входили маломинерализованные талые ледниковые воды, образующие истоки рек Донгуз-Орун, Терскол, Баксан и Малка, и воды обоих обследованных минеральных источников (рН 6,1–6,4), содержащих свободную углекислоту. Реже встречались воды, у которых рН ≥ 8 . Это были воды неледниковых ручьев с отрогов Эльбруса (№ 17, 19, 44), а также отдаленной р. Харбас, протекающей по северо-западной границе парка, и ручья Геологов в ущелье Шхельды. Все эти объекты отличались и повышенной минерализацией (сумма ионов).

Данные об ионном составе (средне сезонных концентраций за период 2013–2018 годы) бассейнов двух главных рек региона — Баксан и Малка — представлены в таблицах 1 и 2 для.

Таблица 1. Концентрации ионов (мг/л) в водных объектах бассейна р. Баксан
Table 1. Ion concentrations (mg/l) in the waters of the Baksan River basin

№	Название (расстояние от истока, км)	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺
1	р. Баксан (3,3)	12,26	3,42	0,41	0,089	2,81	0,82	1,00	0,44	0,0043
2	р. Баксан (8)	13,02	5,19	1,29	0,113	3,20	0,98	1,82	0,48	0,0062
3	р. Баксан (18)	25,72	7,66	1,41	0,089	5,25	1,72	2,03	0,73	0,0065
4	р. Баксан (35)	43,19	11,64	1,12	0,136	9,30	2,26	1,51	0,67	0,0039
Притоки										
5	руч. ст. Гарабаши (0)	9,66	0,71	1,03	0,072	3,77	0,28	0,69	0,26	0
6	руч. ст. Мир (0)	11,65	0,40	0,63	0,025	6,21	0,33	0,61	0,28	0
7	вдп. Азау (3)	4,30	1,46	1,17	0,105	0,80	0,22	2,31	0,46	0,0093
8	вдп. «Девичьи косы» (1,6)	42,58	27,50	21,50	0,497	4,40	2,51	25,18	1,44	0,0825
9	р. Гарабаши (4,3)	28,98	16,23	12,42	0,287	3,75	1,98	14,89	1,10	0,0691
10	р. Терскол (2,7)	7,96	0,53	0,38	0,106	1,42	0,23	1,15	0,31	0,0058
11	вдп. Терскол (0,8)	11,38	3,76	2,88	0,281	1,87	0,51	4,28	0,78	0,0135
12	р. Терскол устье (8,1)	18,10	4,49	1,14	0,173	3,79	1,08	2,10	0,53	0,0062

№	Название (расстояние от истока, км)	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺
13	руч. с лдн Медвежий (2,6)	23,69	8,40	0,29	0,070	6,05	1,57	0,49	0,54	0
14	оз. Донгуз-Орун	20,49	6,26	0,24	0,090	4,79	1,23	0,44	0,45	0
15	родн. на г. Чегет (0,15)	26,45	13,45	0,49	0,044	7,18	4,05	0,79	0,63	0
16	р. Донгуз-Орун (8)	19,28	5,05	0,33	0,051	4,03	1,44	0,35	0,54	0
17	руч. Иткол (2,3)	133,30	19,28	0,36	0,069	21,44	13,32	1,48	0,86	0,0015
18	р. Когутай (3,5)	21,79	24,49	0,20	0,025	6,63	3,34	0,47	0,44	0
19	руч. Байдаево (3,2)	96,27	18,39	0,43	0,553	20,52	8,30	1,42	0,40	0,0031
20	р. Юсеньги (7,65)	29,23	7,07	0,42	0,033	5,49	1,93	0,48	0,61	0
21	родн. на заставе	50,22	11,59	0,39	0,322	14,64	2,64	0,99	0,70	0
22	руч. Геологов (1,7)	91,16	95,05	0,27	0,081	33,08	16,86	1,00	0,60	0
23	р. Шхельда (1,6)	18,94	7,13	0,36	0,173	5,36	0,96	0,56	0,75	0
24	р. Шхельда (4,2)	22,69	7,17	0,56	0,154	6,09	1,09	0,51	0,74	0
25	родн. Джантуган	82,16	22,99	0,71	0,483	23,04	4,77	2,39	1,44	0,0023
26	р. Кашкаташ (0,8)	16,32	4,60	0,38	0,089	6,02	0,73	0,34	0,34	0
27	р. Адьлсу (5,6)	33,39	10,57	0,44	0,203	11,28	1,50	0,74	0,72	0
28	р. Адьлсу (11,8)	26,97	7,88	0,99	0,156	7,31	1,16	0,92	0,70	0,0028
29	р. Ирик (13,4)	41,19	9,04	1,26	0,093	7,72	1,97	1,20	0,81	0,0018
30	ист. Нейтрино	309,74	46,49	43,35	0,344	63,07	17,58	38,68	4,80	0,1884
31	р. Сылтран (8,3)	61,52	8,81	0,60	0,036	12,51	3,57	1,15	0,98	0,0047
32	р. Кыртык (21,7)	54,72	20,90	0,59	0,048	12,65	4,58	1,61	1,11	0,0044
33	р. Адьрсу (16,1)	30,74	12,31	0,35	0,088	9,32	1,64	0,70	0,81	0

Таблица 2. Концентрации ионов (мг/л) в водных объектах бассейна р. Малка
Table 2. Ion concentrations (mg/l) in the waters of the Malka River basin

№	Название (расстояние от истока, км)	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺
34	р. Малка (11)	18,49	1,10	2,49	0,122	5,65	1,53	3,64	1,45	0,0092
35	р. Малка (13)	37,82	2,07	2,47	0,173	5,53	1,65	3,75	1,28	0,0126
36	р. Малка (16)	46,95	5,87	3,67	0,158	7,49	2,73	4,62	1,17	0,0215
Притоки										
37	р. Улдукол (8,6)	5,17	0,94	0,79	0,052	1,31	0,46	2,95	0,70	0,0069
38	ист. «Белый нарзан»	305,40	4,12	4,83	0,252	70,97	21,34	13,27	3,48	0,0508
39	р. Бирджалы (7)	14,64	0,97	1,88	0,066	2,04	0,75	3,12	0,50	0,0078
40	вода питьев. поляна Джылысу	53,63	3,00	6,72	0,437	5,91	2,44	9,41	2,18	0,0480
41	р. Султангорасу (1,6)	38,72	3,08	2,33	0,391	4,29	2,01	5,60	1,51	0,0183
42	р. Каракаясу (7,8)	29,79	5,11	2,75	0,151	6,22	2,03	3,21	1,22	0,0134
43	родн. приток р. Каракаясу (0)	111,43	8,98	15,54	0,264	21,24	7,95	15,72	2,55	0,0676
44	руч. Сирх (1,1)	150,16	11,12	0,73	0,140	29,07	16,64	3,87	1,31	0,0015
45	р. Харбас (10,7)	63,99	38,34	1,22	0,064	17,26	8,97	2,80	0,92	0,0035
46	руч. «Красные граниты» (1,2)	32,00	3,96	0,84	0,038	6,53	2,79	0,96	1,06	0,0015

Для большинства водных объектов характерна невысокая степень межгодовой изменчивости ионного состава. В основном коэффициент вариации концентраций за шестилетний период наблюдений составлял для катионов 0,1–0,3, для анионов 0,15–0,35. Некоторые, преимущественно в приледниковой зоне, отличались нестабильностью (коэффициент вариации 0,5–0,8), связанной с интенсивностью таяния на момент отбора проб и низкими концентрациями определяемых компонентов в этих объектах.

Концентрации ионов HCO_3^- варьировали от 4–5 мг/л до 300 мг/л. Если исключить минеральные источники, то уровень повышенных концентраций составит 80–150 мг/л. В этой группе водных объектов находятся только неледниковые ручьи и родники (№№ 17, 19, 22, 25, 43, 44). Среди ледниковых рек наибольшим содержанием гидрокарбонатов отличались Кыртык и его приток Сылтран, стекающие с восточных отрогов Эльбруса. Наиболее часто встречающиеся концентрации HCO_3^- находились в пределах 20–50 мг/л (медиана 30 мг/л). В эту обширную группу входили самые разные водные объекты. Минимальные концентрации до 16 мг/л были характерны для начальных участков русел ледниковых рек и вод приледникового стока. Минимальное содержание ионов SO_4^{2-} — менее 1 мг/л, максимальное 95 мг/л. Самые высокие концентрации этих ионов 95,0; 46,5 и 38,3 мг/л обнаружены в трёх водных объектах (№№ 44, 30, 45), условия формирования которых и местонахождение совершенно разные. По аналогии с гидрокарбонатами можно выделить группу повышенных концентраций, исключив выше приведенные максимальные, типичных средних и минимальных. Для сульфатов соответствующие диапазоны составили от 27 до 13,5 мг/л, от 12 до 3 мг/л (медиана 7 мг/л) и менее 2 мг/л. В первую группу вошли водные объекты не ледникового происхождения, но кроме них ледниковые реки Кыртык (№ 32) и Когутай (№18). Последний находится в районе Поляны Нарзанов. Группы с минимальными концентрациями сульфатов и гидрокарбонатов почти совпадали. Некоторые водотоки (№№ 43, 44) с повышенным содержанием ионов HCO_3^- оказались во второй группе по концентрациям SO_4^{2-} , а в первую попали р. Гарабаши и её приток водопад Девичьи Косы, не отличавшиеся высоким содержанием гидрокарбонатов.

Концентрации ионов Cl^- находятся на низком уровне, 75 % вод содержали менее 1,5 мг/л ионов Cl^- , половина из них – менее 0,5 мг/л. На этом фоне выделились несколько водных объектов. Это минеральный

источник в пос. Нейтрино, содержащий 43,3 мг/л хлоридов, и два водотока с подземным питанием. Один из них (№ 8) находится на южном склоне Эльбруса на высоте 3 тыс. м, другой (№ 43) на северном склоне на высоте 2,3 тыс. м. На северном склоне многие водные объекты, в том числе короткие ледниковые реки, содержали больше хлорид-ионов по сравнению с аналогичными на южном, но концентрация Cl^- в источнике Белый Нарзан в 9 раз ниже, чем в источнике Нейтрино, схожем с ним по другим показателям.

Основными противоионами к гидрокарбонатам в поверхностных водах суши служат ионы кальция. Это подтверждает и их аналогичное распределение по территории. Максимальные концентрации Ca^{2+} равные 71 и 63 мг/л принадлежат водам минеральных источников. Относительно повышенным содержанием 15–30 мг/л характеризуются неледниковые ручьи, на границе повышенных и средних значений находятся концентрации в реках Кыртык и Сылтран. Диапазон средних концентраций кальция, в который попадает большинство вод, составил 4–12,5 мг/л с медианой 6 мг/л. Менее 2 мг/л (нижний уровень ПДК, установленный только для Ca^{2+}) содержат около 11 % от общего числа водных объектов. В общем, почти все концентрации Ca^{2+} кроме 4–5 максимальных значений являются низкими.

Нижний уровень концентраций Mg^{2+} составил 0,22–0,28 мг/л, верхний 17–21 мг/л, т.е. наблюдается 80–100-кратное превышение максимальных концентраций над минимальными. Два максимальных значения относятся к минеральным источникам, но такие пресноводные водотоки, как ручей Геологов и р. Сирх содержат Mg^{2+} в таких же количествах. Распределение водных объектов по группам с повышенными (8–17 мг/л), средними (1–4 мг/л) и минимальными концентрациями магния в общих чертах повторяет распределение кальция, но в то же время соотношение $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ важное для сбалансированного поступления элементов в организм изменяется в широких пределах: от 13–19 в талых стоках ледников до 1,6–1,8 в обогащенных магнием неледниковых ручьях на Эльбрусе и Чегете (№№ 8, 15, 17, 44).

Измеренные концентрации Na^+ находились в пределах 0,3–38 мг/л, медиана составила 1,5 мг/л, но более 40 % вод содержали 1 мг/л натрия и меньше. Распределение ионов Na^+ отличается от Ca^{2+} и Mg^{2+} и повторяет распределение Cl^- , коэффициент парной корреляции 0,97. Так же максимальные концентрации относятся к источнику в пос. Нейтрино и

водопаду Девичьи Косы, повышенные — к поверхностным водам на северном склоне Эльбруса и водопаду Терскол, в группе минимальных концентраций наряду с короткими ледниковыми потоками оказались р. Когутай и руч. Геологов, входящие по содержанию Ca^{2+} и Mg^{2+} в группу вод со средними и высокими концентрациями.

Содержание ионов K^+ в разных водных объектах оказалось относительно стабильным. Воды минеральных источников обогащены этим элементом. Концентрации составили 4,8 мг/л (№ 30) и 3,5 мг/л (№ 38). Еще два родника на поляне Джилысу (№№ 40, 43) содержали 2,2–2,5 мг/л калия. Все остальные концентрации находились в пределах 1,5–0,3 мг/л, т. е. различались в 5 раз, а отношение абсолютного максимума к минимальной концентрации составило 18.

Максимальные концентрации F^- порядка 0,4–0,5 мг/л зарегистрированы в высокогорных водотоках подземного питания (№№ 8, 19, 40) и одной речке смешанного питания (№ 41) на склонах Эльбруса, южном и северном, а также в воде родника в ущелье Адылсу (№ 25). Минеральные источники, большинство родников и ледниковая река Гарабаши, получившая фтор от своего притока (№ 8), составили группу с повышенными концентрациями (0,25–0,35 мг/л). Большая часть водных объектов содержала 0,07–0,20 мг/л F^- , медианное значение 0,1 мг/л. Причем именно в эту группу, а не в группу минимальных концентраций, вошли многие потоки ледниковых талых вод (№№ 5, 13, 23, 26). Минимальные концентрации (0,025–0,050 мг/л) отмечались в самых разных водных объектах, среди которых были и реки Когутай и Кыртык (№№ 18, 22) с относительно высоким содержанием макрокомпонентов. Для лития установлена ПДК_{питьев.} = 0,03 мг/л. В 9 водных объектах этот норматив превышен в 1,6–2,7 раз. Эти объекты находятся на склонах Эльбруса и имеют подземное питание, один из них (№ 40) является основным источником питьевой воды для популярной рекреационной зоны Джилысу. Абсолютный максимум (6,3 ПДК) относится к воде скважины в пос. Нейтрино, т. е. по этому показателю минеральная вода должна быть отнесена к лечебно–столовым. Около 1/3 от общего числа обследованных объектов не содержали Li^+ , и все они являлись правыми притоками р. Баксан, что может свидетельствовать о связи лития с Эльбрусским вулканическим центром.

Мы также определяли содержание 11 тяжёлых металлов – Ag, Al, As, Cd, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb и Zn. Речные воды характеризуются высокой вариабельностью этих показателей, что отразилось на значениях

коэффициента вариации в таблицах 5 и 6. Такая изменчивость является нормой для речных вод [Никаноров, 2011]

Целый ряд металлов встречались практически в следовых количествах, поэтому они не включены в таблицы 3 и 4. Так, в течение всего периода наблюдений концентрации серебра составляли 0,1–0,2 мкг/л, редко поднимаясь в некоторых створах до значений 0,3–0,4 мкг/л. На порядок ниже были концентрации кадмия — 0,01–0,03 мкг/л. Содержание хрома, никеля и свинца в основном не превышало 1 мкг/л.

Таблица 3. Концентрации (мкг/л) тяжёлых металлов в водных объектах бассейна р. Баксан (коэффициент вариации)

Table 3. Concentrations (µg/l) of heavy metals in water of the Baksan River basin (coefficient of variation)

№	Название (расстояние от истока км)	As	Al	Cu	Mn	Mo	Zn
1	р. Баксан (3,3)	0,72 (0,65)	886,05 (0,96)	3,30 (0,76)	8,25 (0,35)	0,15 (1,71)	26,72 (1,04)
2	р. Баксан (8)	1,57 (0,05)	315,80 (1,54)	2,35 (0,96)	6,61 (0,49)	0,20 (1,30)	11,33 (1,09)
3	р. Баксан (18)	1,83 (0,92)	364,16 (0,90)	7,45 (0,95)	7,54 (0,70)	0,48 (0,83)	19,87 (0,85)
4	р. Баксан (35)	1,15 (0,51)	205,16 (0,97)	4,84 (0,60)	7,56 (0,35)	0,64 (0,97)	35,69 (0,89)
5	руч. ст. Гарабаши (0)	0,70	238,11 (0,70)	7,21 (0,05)	2,96 (0,51)	0,69 (0,27)	15,09 (0,56)
6	руч. ст. Мир (0)	0,90	148,41 (0,51)	7,35 (0,86)	2,90 (0,59)	0,16 (2,24)	14,25 (0,82)
7	вдп. Азау (3)	8,81	30,02	7,15	1,09	0,77	67,56
8	вдп. «Девичьи косы» (1,6)	97,33 (0,15)	78,97 (0,29)	2,15 (0,82)	1,20 (0,65)	4,06 (0,34)	11,84 (0,74)
9	р. Гарабаши (4,3)	65,19 (0,26)	768,36 (1,26)	3,95 (1,22)	3,02 (0,75)	2,72 (0,49)	31,63 (0,60)
10	р. Терскол (2,7)	1,20 (1,49)	441,57 (1,25)	4,27 (0,76)	2,04 (0,88)	0,17 (0,71)	69,76 (1,19)
11	вдп. Терскол (0,8)	11,22 (0,57)	388,82 (0,13)	4,29 (0,59)	2,88 (0,19)	0,81 (0,47)	45,03 (0,40)
12	р. Терскол устье (8,1)	2,42 (0,03)	1196,49 (1,47)	4,14 (0,57)	5,13 (0,21)	0,61 (0,72)	20,98 (0,58)
13	руч. с лдн Медвежий (2,6)	1,53 (1,20)	454,43 (0,88)	4,41 (1,19)	15,97 (0,90)	0,34 (0,89)	25,02 (0,79)
14	оз. Донгуз-Орун	0,81 (1,41)	361,29 (1,21)	2,66 (0,90)	6,21 (0,62)	0,22 (1,94)	21,72 (0,57)
15	родн. на г. Чегет (0,15)	0,12 (1,41)	109,23 (0,23)	2,59 (0,05)	3,10 (0,26)	0,24 (1,41)	43,73
16	р. Донгуз-Орун (8)	0,91 (1,41)	222,11 (0,90)	3,24 (0,13)	5,45 (0,25)	0,15 (0,98)	16,61 (0,54)
17	руч. Иткол (2,3)	0,31 (0,73)	243,48 (1,48)	3,96 (0,67)	1,31 (0,64)	0,88 (1,02)	26,58 (0,39)
18	р. Когутай (3,5)	1,14 (0,43)	158,50 (0,28)	3,08 (0,48)	8,02 (0,64)	0,50 (1,91)	21,94 (0,80)
19	руч. Байдаево (3,2)	0,80 (0,11)	73,95 (0,81)	3,66 (0,55)	1,25 (0,58)	1,67 (0,49)	20,60 (0,37)

№	Название (расстояние от истока км)	As	Al	Cu	Mn	Mo	Zn
20	р. Юсеньги (7,65)	0,55 (1,41)	126,89 (0,19)	5,57 (0,87)	8,27 (0,48)	0,25 (1,09)	28,14 (0,47)
21	родн. на заставе	0,64	106,08 (1,38)	2,19 (0,37)	1,70 (0,64)	1,40 (0,92)	24,01 (0,52)
22	руч. Геологов (1,7)	0,49	59,20 (0,79)	2,01 (0,47)	4,40 (1,22)	0,67 (0,95)	19,03 (0,95)
23	Шхельда (1,6)	0,47	133,65 (1,11)	6,14 (0,98)	9,80 (0,81)	0,86 (1,21)	14,94 (0,38)
24	Шхельда (4,2)	0,58 (1,00)	420,96 (0,98)	3,87 (0,52)	10,14 (0,40)	0,60 (1,07)	34,68 (0,43)
25	родн. Джантуган	0,27	84,02 (0,73)	2,48 (0,45)	2,18 (0,69)	0,69	25,49 (0,54)
26	р. Кашкаташ (0,8)	0,32	231,16 (0,62)	1,56 (0,57)	8,51 (0,31)	0,65 (0,44)	25,78 (0,78)
27	р. Адылсу (5,6)	0,64 (1,41)	531,04 (0,80)	4,00 (0,88)	12,12 (0,54)	1,00 (0,63)	19,60 (0,58)
28	р. Адылсу (11,8)	0,56 (0,55)	299,29 (0,69)	3,91 (0,61)	12,85 (0,48)	0,71 (0,59)	24,20 (0,30)
29	р. Ирик (13,4)	1,02 (0,94)	480,41 (1,02)	2,90 (0,55)	10,44 (0,45)	0,81 (0,71)	27,23 (0,53)
30	ист. Нейтрино	0,00	125,38 (0,28)	3,98 (0,71)	28,73 (0,72)	0,23 (1,73)	57,57 (0,60)
31	р. Сылтран (8,3)	0,54 (1,41)	135,27 (0,95)	5,41 (1,05)	5,27 (0,57)	0,03 (1,41)	55,37
32	р. Кыртык (21,7)	1,19 (0,32)	202,25 (0,44)	6,35 (0,83)	10,11 (0,77)	0,27 (0,29)	38,32 (0,93)
33	р. Адырсу (16,1)	1,19 (0,51)	213,38 (0,60)	5,12 (0,78)	10,04 (0,25)	0,61 (0,63)	21,90 (0,35)

Таблица 4. Концентрации (мкг/л) тяжёлых металлов в водных объектах бассейна реки Малка (коэффициент вариации)

Table 4. Concentrations (µg/l) of heavy metals in water of the Malka River basin (coefficient of variation)

№	Название (расстояние от истока км)	As	Al	Cu	Mn	Mo	Zn
34	р. Малка (11)	0,00	39,67 (0,27)	1,72 (1,17)	24,09 (0,49)	0,21 (1,41)	13,33
35	р. Малка (13)	0,49 (0,26)	315,66 (1,31)	2,54 (0,65)	15,09 (0,26)	0,56 (0,22)	23,59 (0,39)
36	р. Малка (16)	1,46 (0,69)	327,11 (1,34)	1,23 (0,51)	11,73 (0,63)	0,46 (0,48)	29,04 (0,75)
Притоки							
37	р. Уллукол (8,6)	0,90 (0,68)	300,19 (1,10)	2,60 (1,21)	2,83 (0,51)	0,11 (1,41)	22,47 (0,46)
38	ист. Белый нарзан	1,40 (0,42)	66,61 (0,28)	3,65 (1,19)	228,68 (0,03)	0,09 (1,41)	44,13 (0,98)
39	р. Бирджалы (7)	0,44 (1,41)	195,54 (1,36)	1,35 (0,70)	7,89 (0,24)	0,28 (0,62)	13,58 (0,59)
40	вода питьев. пол. Джыльгёсу	3,28 (0,31)	558,48 (0,46)	2,46 (1,19)	6,94 (0,68)	1,02 (0,28)	34,04
41	р. Султангорасу (1,6)	3,10 (0,14)	405,79 (1,30)	2,40 (0,87)	3,35 (0,91)	0,28 (0,74)	16,03 (0,30)

№	Название (расстояние от истока км)	As	Al	Cu	Mn	Mo	Zn
42	р. Каракаясу (7,8)	1,04 (0,38)	437,85 (1,32)	2,19 (0,98)	20,63 (0,54)	0,35 (1,02)	17,82 (0,06)
43	родн. приток р. Каракаясу (0)	0,61 (0,83)	63,65 (0,67)	1,65 (0,57)	8,96 (0,04)	0,19 (0,72)	17,82 (0,27)
44	руч. Сирх (1,1)	0,60 (0,56)	280,83 (1,41)	2,42 (0,76)	4,78 (0,67)	0,12 (1,29)	34,77 (0,76)
45	р. Харбас (10,7)	0,00	459,97 (1,32)	3,99 (0,74)	6,13 (0,88)	0,12 (1,23)	49,49 (1,30)
46	руч. Красные граниты (1,2)	0,22 (1,41)	409,20 (1,44)	1,73 (0,64)	3,44 (0,66)	0,08 (1,60)	21,16 (0,44)

Высокими концентрациями мышьяка (As) отличаются популярные у туристов водопады, стекающие с южных и юго-восточных склонов Эльбруса — Азау (№ 7) и Терскол (№ 11). Стабильно экстремально высокие концентрации мышьяка (коэффициент вариации 0,15), в два раза превышающие ПДК для питьевой воды, характерны для водопада Девичьи Косы (№ 8). Этот поток имеет подземное происхождение. Он впадает в р. Гарабаши (№ 9) за счёт чего в этой речке также отмечены высокие концентрации этого элемента, превышающие ПДК_{питьев.} В бассейне р. Малка (северный склон Эльбруса) таких высоких концентраций мышьяка не наблюдалось.

Во всех пробах концентрации алюминия значительно превышают ПДК для рыбохозяйственных водоёмов (40 мкг/л), а в ряде случаев и ПДК для питьевой воды (500 мкг/л). Наиболее высокие концентрации характерны для рек, стекающих непосредственно со склонов Эльбруса. Также абсолютно во всех пробах концентрации меди и цинка выше ПДК для рыбохозяйственных водоёмов, которая составляет 1 мкг/л для меди и 10 мкг/л для цинка. Содержание меди в поверхностных водах бассейна р. Баксан заметно выше, чем в бассейне р. Малка.

Поверхностные воды бассейна р. Малка обогащены марганцем по сравнению с р. Баксан. Заметно выделяются по содержанию марганца два источника. Это источники Нейтрино (№ 30) и особенно Белый Нарзан на поляне Эммануэля (№ 38). В последнем концентрация марганца в 2,3 раза превышает ПДК_{питьев.}

Поскольку молибден является приоритетным загрязнителем для Кабардино-Балкарской Республики, и ниже национального парка расположено разрабатывавшееся более 60 лет Тырнаузское вольфрамо-молибденовое месторождение, мы привели в таблицах данные по этому металлу. Высокие концентрации молибдена отмечены в водопаде Девичьи Косы и в р. Гарабаши, в которую он впадает.

Обсуждение. Общей чертой всех водотоков национального парка Приэльбрусье является высокая скорость течения, низкая температура в течение всего года, каменистое ложе, малая степень минерализации и крайне бедная биота. Все это создает неравновесные условия формирования химического состава вод и крайне низкую способность к самоочищению. Несмотря на то, что вся территория национального парка находится в высокогорной зоне, в режиме избыточного увлажнения, содержание солей в обследованных водных объектах широко варьирует. Кроме того, в горных регионах в результате вулканической деятельности природные воды могут быть естественно перенасыщены рядом элементов. Это хорошо видно из приведённых результатов — многообразие ландшафтов национального парка Приэльбрусье [Кюль, 2018] обусловило и значительную дифференциацию вод по химическому составу. По многим компонентам отношение максимальной концентрации к минимальной достигало 100. В распределении по территории HCO_3^- и SO_4^{2-} , также как Ca^{2+} и Mg^{2+} , много общего. Как правило, группы водных объектов с максимальными и минимальными концентрациями этих ионов совпадают, но внутри них имеются существенные отличия. Иное распределение ионов Na^+ и Cl^- , их слабая корреляционная связь с другими главными ионами и характер водных объектов с высокими концентрациями свидетельствуют о поступлении этих ионов с большей глубины. Также от других ионов отличаются источники поступления в воды фторидов. Все указывает на быстрое обогащение вод при контакте с горными породами и участие вод глубинных слоев в формировании химического состава поверхностных вод. Тем не менее все изученные воды, кроме двух минеральных источников, являются маломинерализованными пресными водами. Уровень содержания кальция и магния в большинстве водных объектов ниже рекомендуемого (25–130 мг/л Ca и 5–65 мг/л Mg) для физиологически полноценных питьевых вод¹. Помимо абсолютного содержания этих важных элементов, большое значение имеет их соотношение. При рекомендованном соотношении Ca/Mg от 1:0,33 до 1:0,40 примерно в половине водных объектов оно значительно ниже, в 17 % выше. Всё же на территории национального парка существует целый ряд сбалансированных по содержанию Ca^{2+} и Mg^{2+} вод, но концентрации в большинстве из них очень низкие. Лишь несколько водотоков подземного происхождения (№№ 19, 43) приближаются по составу к физиологически

¹ СанПиН 2.1.4.1116-02 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества.

полноценным водам. Воды углекислых источников (№№ 30, 38) и ручей Геологов в Шхельдинском ущелье (№ 22) содержат достаточное количество кальция и обогащены магнием, но они мало известны и не пользуются такой популярностью как другие родники. Также крайне низким является содержание ионов натрия и хлора, но их дефицит с избытком восполняется за счет употребления людьми поваренной соли. Вопросам минерального питания домашних и диких животных в национальном парке достаточного внимания не уделяется.

На фоне пониженных концентраций макрокомпонентов в изученных водах повышены концентрации некоторых токсичных микроэлементов. Как известно, мышьяк является одним из самых токсичных элементов [Zeng, Zhang, 2020]. На южном склоне Эльбруса в водопаде Девичьи Косы отмечено превышение содержания мышьяка до двух ПДК. Кафе и гостиницы, расположенные на поляне Азау, используют в качестве питьевой воды подземные воды в виде родников, выходящих на ближайшие склоны Эльбруса. Более того, все поселки, гостиницы и турбазы, расположенные ниже поляны Азау и до поселка Эльбрус, получают питьевую воду из скважины, расположенной немного ниже этой поляны. Поскольку там тоже может много мышьяка, необходимо изучить химический состав вод этого района.

Ещё одним токсичным микроэлементом является алюминий. Избыточное поступление алюминия в организм является причиной целого ряда нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Паркинсона, Альцгеймера, старческой деменции и нарушения когнитивных функций [Flaten, 2001; Kawahara, Kato-Negishi, 2011]. По литературным данным, безопасной считается концентрация алюминия в питьевой воде 100–200 мкг/л [Rondeau et al., 2009; Martyn et al., 1989; 1997]. Поскольку мы уже отмечали ранее, что не только реки, расположенные на территории национального парка Приэльбрусье, но и практически все водоёмы высокогорных районах Кабардино-Балкарской Республики обогащены алюминием [Reutova et al., 2018], необходима проверка источников питьевой воды в этих районах на содержание тяжёлых металлов.

Наиболее высокие концентрации марганца характерны для минеральных источников (№ 30 и особенно № 38). Сравнительно большим содержанием этого элемента отличаются также реки Адылсу (№№ 27 и 28) и Ирик (№ 29), выходящие в Баксанское ущелье напротив друг друга из тектонического разлома (рис. 2). Для этих рек характерно наличие минеральных источников по берегам, а в случае р. Адылсу они находятся прямо в русле реки. Видимо за счет родников речные воды обогащаются этим элементом.

Несмотря на то, что концентрации меди и цинка во всех створах всегда выше ПДК для рыбохозяйственных водоёмов, они практически никогда не превышают ПДК для питьевой воды.

Природные концентрации молибдена в воде водопада Девичьи Косы и р. Гарабаши высоки и сопоставимы с загрязнением от Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината ниже по течению р. Баксан.

Воды в Приэльбрусье, как и во всей горной части Кабардино-Балкарии, содержат недостаточно фтора. На территории парка имеется несколько водных объектов (№№ 8, 19, 25, 40, 41), в которых его концентрации близки к нижней границе норм потребления, но один из них (Девичьи Косы, № 8) перенасыщен мышьяком, а другой (питьевой водовод на поляне Джилысу, № 40) алюминием.

Заключение. На небольшой территории национального парка Приэльбрусье находятся водные объекты, существенно различающиеся по химическому составу. Большинство поверхностных вод не обеспечивают физиологической потребности человека в кальции и магнии. Часто по тому или иному показателю они не удовлетворяют санитарным нормам безопасного потребления. В водных объектах, расположенных на территории национального парка Приэльбрусье, имеет место значительное природное насыщение целым рядом тяжёлых металлов и металлоидов. Выявлены локальные очаги крайне высокого содержания мышьяка в водотоках на склонах Эльбруса, имеющих подземное происхождение. Значительное содержание алюминия, скорее всего, связано с зоной современного вулканизма (Эльбрусская неовулканическая область). Если для туристов, кратковременно пребывающих на территории Приэльбрусья, это не опасно, то для здоровья населения, постоянно проживающего на данной территории, может представлять угрозу.

Учитывая планы интенсивного развития туристического и рекреационного комплекса в пределах национального парка, большую проблему представляет поиск качественных питьевых вод. В Приэльбрусье имеется возможность обеспечить сбалансированное поступление в организм эссенциальных элементов благодаря многочисленным минеральным источникам. Однако для этого должны быть выработаны рекомендации по употреблению имеющихся минеральных вод. Этот вопрос требует подробного изучения.

Литература

- Балкаров М. И., Туаев Н. А. Нарзаны Эльбруса. — Нальчик: Кабардино-Балкарское книжное изд-во, 1960. 99 с.
- Кюль Е. В. Национальный парк «Приэльбрусье»: краткое описание, проблемы и пути решения // Биота и среда заповедных территорий. 2018. № 2. С. 66–84.
- Никаноров А. М. Региональная гидрохимия. — Ростов-на-Дону: НОК, 2011. 308 с.
- 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. Том 22. № 1. С. 100–130.
- Flaten P. T. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. // Brain Research Bulletin. 2001. Vol. 55. Issue 2. P. 187–196. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0361-9230\(01\)00459-2](https://doi.org/10.1016/S0361-9230(01)00459-2).
- Kawahara M., Kato-Negishi M. Link between Aluminum and the Pathogenesis of Alzheimer's Disease: The Integration of the Aluminum and Amyloid Cascade Hypotheses. // International Journal of Alzheimer's Disease. 2011. Article ID 276393 P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.4061/2011/276393>.
- Rondeau V., Jacqmin-Gadda H., Commenges D., Helmer C., Dartigues J.-F. Aluminum and Silica in Drinking Water and the Risk of Alzheimer's Disease or Cognitive Decline: Findings From 15-Year Follow-up of the PAQUID Cohort. // Am. J. Epidemiol. 2009. Vol. 169. № 4. P. 489–496. DOI: <https://doi.org/10.1093/aje/kwn348>.
- Martyn C. N., Osmond C., Edwardson J. A., Barker D. J. P., Harris E. C., Lacey R. F. Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminium in drinking water // The Lancet. 1989. Vol. 333. Issue 8629. P. 61–62.
- 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. Vol. 8. No 3. P. 281–286.
- 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 Caucasus // Russian Journal of General Chemistry. 2018. Vol. 88. № 13. P. 2884–2892. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070363218130091>.
- Zeng Q., Zhang A. Assessing potential mechanisms of arsenic-induced skin lesions and cancers: Human and in vitro evidence // Environ. Pollut. 2020. 260. 113919. P. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113919>.

**Peculiarities of the chemical composition of surface waters
of the Prielbrusye National Park**

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

*Federal scientific center "Kabardino-Balkar scientific center
of the Russian Academy of Sciences"*

Nalchik, 360010, Kabardino-Balkar Republic, Russian Federation

E-mail: reutova371@mail.ru

Abstract

Chemical composition of waters in rivers, waterfalls, springs and lakes located in the National Park was studied. Sampling was conducted annually from 2013 to 2018 during the period of intensive glacier melting (July). Concentration of heavy metals was analyzed by AAS method. Main ions we identified by capillary iontophoresis. Waters in studied waters objects, except for two mineral springs were found to be low-mineralized. The concentrations of

calcium and magnesium in most water samples were lower than these recommended for drinking water. Concentration of sodium and chlorine ions is also extremely low. The waters studied are significantly contaminated with some trace elements. Concentrations of copper and zinc everywhere exceed the maximum permissible levels for fisheries reservoirs. Two springs on the Elbrus slope are found to be extremely contaminated with arsenic, exceeding twice MAC for drinking water. Significant aluminum contamination is most likely associated with the modern volcanism in the Elbrus neovolcanic area. That may pose a threat to health for local people.

Keywords: surface water, chemical composition, macroelements, trace elements, Prielbrusye.

References

- Balkarov M. I., Tuaeв N. A., 1960, *Narzany Ėl'brusa* [Narzans of Elbrus], 99 p., Kabardino-Balkarskoe knizhnoe izd-vo, Nal'chik. [In Russian].
- Kyul E. V., 2018, "Prielbrusye" National Park: brief description, problems and directions of development. *Biodiversity and Environment of Protected Areas*, no. 2, pp. 66–84. [In Russian].
- Nikanorov A. M., 2011, *Regional'naya gidrokimiya* [Regional hydrochemistry], 308 p., NOK, Rostov-na-Donu. [In Russian].
- Chernyshev I. V., Bubnov S. N., Lebedev V. A., Gol'tsman Yu. V., Bairova E. D., Yakushev A. I., 2014., Dva ehtapa ehksplozivnogo vulkanizma Priehl'brus'ya: geokhronologiya, petrokhimicheskie i izotopno-geokhimicheskie kharakteristiki vulkanitov i ikh rol' v neogen-chetvertichnoj istorii Bol'shogo Kavkaza [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*, vol. 22, no. 1, pp. 100–130. [In Russian].
- Flaten P. T., 2001, Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water, *Brain Research Bulletin*, vol. 55, issue 2, pp. 187–196. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0361-9230\(01\)00459-2](https://doi.org/10.1016/S0361-9230(01)00459-2).
- Kawahara M., Kato-Negishi M., 2011, Link between Aluminum and the Pathogenesis of Alzheimer's Disease: The Integration of the Aluminum and Amyloid Cascade Hypotheses, *International Journal of Alzheimer's Disease*, Article ID 276393 pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.4061/2011/276393>.
- Rondeau V., Jacqmin-Gadda H., Commenges D., Helmer C., Dartigues J.-F., 2009, Aluminum and Silica in Drinking Water and the Risk of Alzheimer's Disease or Cognitive Decline: Findings From 15-Year Follow-up of the PAQUID Cohort, *Am. J. Epidemiol.*, vol. 169, no. 4, pp. 489–496. DOI: <https://doi.org/10.1093/aje/kwn348>.
- Martyn C. N., Osmond C., Edwardson J. A., Barker D. J. P., Harris E. C., Lacey R. F., 1989, Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminium in drinking water, *The Lancet*, vol. 333, issue 8629, pp. 61–62.
- Martyn C. N., Coggon D. N., Inskip H., Lacey R. F., Young W. F., 1997, Aluminum concentrations in drinking water and risk of Alzheimer's disease, *Epidemiology*, 8(3), pp. 281–286.
- Reutova N. V., Reutova T. V., Dreeva F. R., Khutuev A. M., Kerimov A. A., 2018, Features of aluminum concentrations in rivers of the mountain zone of the Central Caucasus, *Russian Journal of General Chemistry*, vol. 88, no. 13, pp. 2884–2892. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070363218130091>.
- Zeng Q., Zhang A., 2020, Assessing potential mechanisms of arsenic-induced skin lesions and cancers: Human and in vitro evidence, *Environ. Pollut.*, 260, 113919, pp. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.113919>.

Приложение. Станции отбора проб в Приэльбрусье.

Supplement materials. Some sampling sites within the Elbrus area.

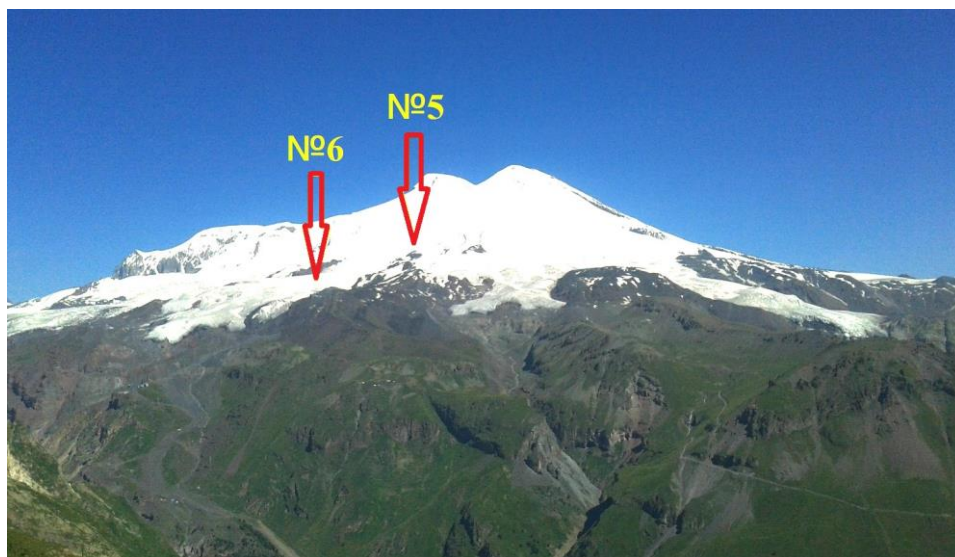
*Автор фото Ф. Р. Дреева.*

Рисунок 1 — Пункты отбора проб на станции канатной дороги «Гарабаши» (№ 5) и «Мир» (№ 6)
Figure 1 — Sampling sites on ropeway stations "Garabashi" (No. 5) and "Mir" (No. 6)

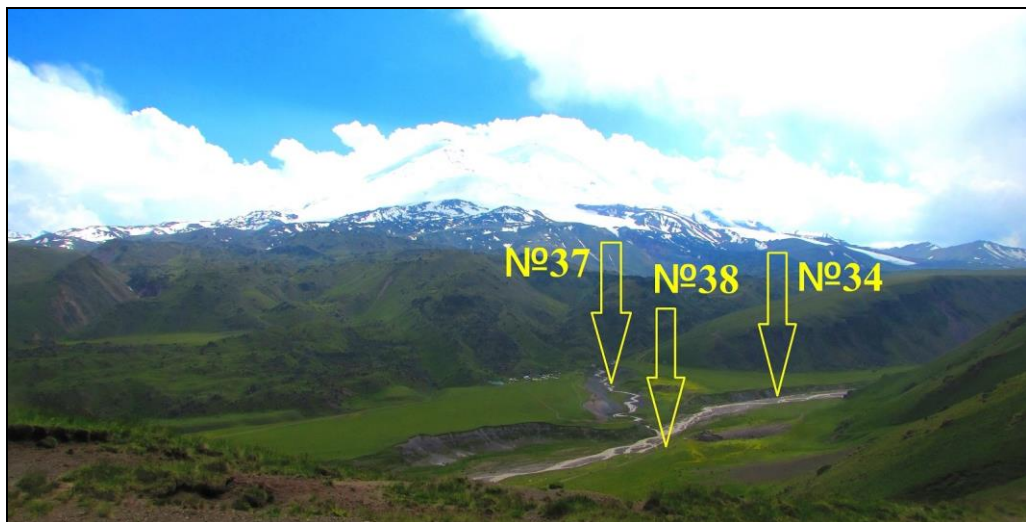
*Автор фото Ф. Р. Дреева.*

Рисунок 2 — Водопад Девичьи Косы (пункт отбора № 8)
Figure 2 — Waterfall Devich'i Kosy (sampling site No. 8)



Автор фото Ф. Р. Дреева.

Figure 3 — Моренное озеро Донгуз-Орун-Кель (пункт отбора № 14)
Figure — Moraine Lake Donguz-Orun-Kel (sampling site No. 14)



Примечание: № 34 — р. Малка [Malka River] 11-й км; № 37 — р. Уллукол [Ullukol River]; № 38 — источник Белый Нарзан [mineral spring Bely Narzan].

Автор фото Ф. Р. Дреева.

Рисунок 4 — Пункты отбора проб на поляне Эммануэля
Figure 4 — Sampling sites on the Emmanuel's meadow