

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 556.531

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ ВОД В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. КУБАНЬ

© 2025 г. Т. В. Реутова^{1,*}, Ф. Р. Дреева¹, Н. В. Реутова¹¹Кабардино-Балкарский научный центр РАН, ул. Балкарова 2, Нальчик, 360017 Россия

*E-mail: reuttat@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.08.2024 г.

После доработки 25.10.2024 г.

Принята к публикации 20.02.2025 г.

Проведено полномасштабное обследование водных объектов, различающихся по происхождению и условиям формирования, на территории верхнего течения р. Кубань и бассейне ее главного притока р. Теберда (90 пунктов наблюдения). Цели — определение типичных и атипичных уровней содержания широкого круга примесей в водах, выявление реальных источников поступления компонентов, их миграции, распределения и возможных ассоциаций. Концентрации главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) и ионов микропримесей (F^- , Li^+ , Sr^{2+}) определяли методом капиллярного ионофореза, микроэлементов (Al, As, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) — атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией. На основании анализа данных методами порядковой статистики установлены региональные повышенные, высокие и экстремально высокие концентрации и выявлено распределение соответствующих водных объектов на изучаемой территории с использованием ГИС. Пространственный анализ показал, что в большинстве случаев, но не всегда, они совпадают по местоположению с рудопоявлениями и шлейфами рассеяния (As, Mo), зонами современного вулканизма под западной вершиной Эльбруса (Al, Li, F, Mg, SO_4^{2-}), пиритизации (SO_4^{2-}), распространения осадочных карбонатных и гипсоносных пород (Ca, Mg, Sr, SO_4^{2-}). В большей части водных объектов (50–75%) концентрации почти всех компонентов ниже кларков речных вод. Они настолько обеднены эссенциальными элементами F, Ca, Mg, K, что не отвечают критериям физиологически полноценных вод. В некоторых водных объектах природное загрязнение As, Al и Li достигает опасного уровня, риски повышаются на фоне дефицита главных катионов.

Ключевые слова: природные воды, главные ионы, потенциально токсичные элементы, региональные уровни содержания/региональное распределение концентраций, р. Кубань, р. Теберда

DOI: 10.31857/S0869780925020048 EDN: EPUFTT

ВВЕДЕНИЕ

Кубань — главная река западной части Северного Кавказа, ее роль невозможно переоценить, и изучение химического состава вод Кубани и ее крупных притоков имеет важнейшее значение. Государственная служба наблюдений Росгидромета осуществляет контроль содержания загрязняющих веществ (ЗВ) в бассейне Кубани и ежегодно публикует обобщенные характеристики и оценки состояния качества вод в реке Кубани и устьях ее крупных притоков [5], включающие случаи превышения ПДК отдельными ЗВ и их частоту, комплексные показатели загрязненности с выделением характерных загрязнителей и распределение вод по классам качества согласно рекомендациям [12].

К сожалению, верхняя часть бассейна Кубани на регулярной основе не обследуется, верхний пункт наблюдений находится на участке Кара-чаевск—Черкесск. Этот участок на протяжении последних 5 лет характеризуется как наименее загрязненный, но отмечается устойчивое загрязнение $\text{Fe}_{\text{общ}}$ до 2–4 ПДК. Первый из обследованных притоков р. Большой Зеленчук впадает в Кубань в г. Невинномысск, хотя и выше по течению река принимает достаточно крупные притоки, самый значительный из которых — р. Теберда. Лишь одна группа исследователей [3, 10] периодически проводит определение 16 нормируемых компонентов химического состава вод на 9–11 створах по р. Кубань, начиная от 30-го км ее течения (выше г. Ка-

рачаевск 5 пунктов) до г. Черкесск, и на 5 створах по р. Теберда, первый из которых находится ниже пос. Домбай (6-й км от истока р. Аманауз), а последний — в устье. Воды оценивались 2–3 классами качества, на р. Кубань до впадения Теберды наблюдалось устойчивое загрязнение Fe, Mn, Cu, Zn, для р. Теберда характерно устойчивое загрязнение Fe (по всей длине), Mn (в верхних створах), устойчивое Cu и единичное Zn. Авторы утверждают, что естественные “эколого-геологические” причины повышения концентраций тяжелых металлов отсутствуют, относят все случаи превышения ПДК исключительно к антропогенному воздействию, пос. Домбай в 5–6 км от истока считают основным загрязнителем Теберды. Однако химический состав поверхностных вод суши является результатом совокупного влияния природно-климатических условий, среди которых геологическое строение и минералогический состав горных пород, количество атмосферных осадков и подземная составляющая стока, тип почв на водосборе, эпизодические паводки и наводнения, и антропогенных факторов, включающих степень хозяйственного освоения, специфику человеческой деятельности, уровень антропогенной нагрузки, а иногда аварийные ситуации на предприятиях и очистных сооружениях [14]. Верхняя часть бассейна Кубани до г. Карачаевск малонаселенная, в настоящее время промышленные предприятия отсутствуют (действует одна лесопилка в пос. Учкулан). Техногенная нагрузка представлена хвостохранилищем бывшего Эльбрусского горно-обогатительного комбината и заброшенными штольнями с ничтожно малым стоком. Население занято в сельском хозяйстве, основой которого является отгонное и пастбищное животноводство, площади обрабатываемых земель незначительны. Расширенная часть долины Теберды более населена. В ее верхней части находится г. Теберда — один из старейших климатических курортов России, и обслуживающие его предприятия коммунального хозяйства, ниже расположено несколько поселков. В зоне истока реки находится популярный туристический и горнолыжный кластер Домбай с небольшой численностью постоянно проживающего населения и нерегулярной загруженностью, резко возрастающей в пиковые сезоны. Помимо сельскохозяйственного производства и обслуживания курорта работают небольшие предприятия по добыче стройматериалов (мрамор).

Водосборная площадь в верховьях горных рек, таких как Кубань и ее притоки первого и второго порядка, протекающие в высокогорной и среднегорной зоне, имеет сложное геологическое строение [1, 2]. Здесь представлены разнообразные горные породы: древние метаморфические, разновозрастные магматические интрузивы и эффузивы, осадочные, существуют многочисленные зоны тектонического дробления, а также месторождения и рудопоявления целого ряда элементов (Cu,

Pb, Zn, W, Mo, Au, As с аксессуарными элементами) и минеральные источники. Обширная речная сеть глубоко врезана в рельеф, и водоносные породы полностью ею дренируются [8], для зоны Главного и Передового хребта характерны трещинно-жильные воды коры выветривания и трещинно-грунтовые воды, а в нижележащей зоне распространены трещинные и трещинно-пластовые воды, приуроченные к разломам. На примере верховий притока Кубани р. Белой в пос. Гузерипль на границе Кавказского государственного природного биосферного заповедника, выше которого антропогенный фактор сведен к минимуму, при сопоставлении концентраций Cu и поступления в русло реки взвешенного и влекомого материала от обвалов и оползней показано, что стабильно высокие концентрации Cu (1.5–7 мкг/л) в воде притоков р. Кубань, вероятно, связаны с природными факторами, в первую очередь с почвами и горными породами. Эпизодически фиксируемые случаи экстремально высокого загрязнения воды соединениями Cu (превышающие ПДК в 50 раз и более) могут быть обусловлены попаданием в воду большого количества грунта с селевыми или оползневыми потоками [7].

Авторы [4] отмечают, что при эколого-гигиенической оценке водоемов за рамками остаются “сведения о других существенных источниках загрязнений” помимо антропогенных последствий. Аномально высокие фоновые концентрации Cu, Zn и Fe в верховьях Кубани, “поскольку эта часть реки наименее населена и не имеет крупных, а тем более “грязных” предприятий”, связывают с загрязнением атмосферных осадков и пылевым загрязнением ледников за счет дальнего переноса.

Все исследования, проводимые в верхней части бассейна Кубани (до г. Черкесск), узконаправлены и имеют целью санитарно-гигиеническую оценку русел главных рек по небольшому числу показателей, среди которых почти не представлены потенциально токсичные элементы. Они не отражают реальную гидрохимическую обстановку в этом уникальном по разнообразию условий формирования состава природных вод регионе, имеющем перспективы развития в качестве рекреационных территорий. Однако сведения о содержании широкого круга компонентов химического состава вод речной сети необходимы для решения как важных фундаментальных задач в области гидрохимии и геоэкологии, так и практических, связанных с поиском водных объектов, пригодных в качестве источников питьевого водоснабжения (централизованного и нецентрализованного), и их оценкой с точки зрения безопасности для здоровья и физиологической полноценности.

В связи с этим была поставлена цель на основании детального обследования водотоков в верхнем течении Кубани и бассейне ее главного притока

р. Теберда определить типичные и атипичные уровни содержания широкого круга примесей в водах, выявить реальные источники поступления различных компонентов, их миграцию и зональное распределение, взаимные связи и возможные ассоциации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходя из поставленных задач, с 2017 по 2023 г. были обследованы многочисленные водные объекты, различающиеся по происхождению и условиям формирования, в бассейне Кубани и Теберды, от истоков обеих основных рек до г. Черкесск, где проходит граница горной и равнинной части [8]. Наблюдения проводили в 87 пунктах/створах, 40 из которых представляли ледниковые и 47 неледниковые водные объекты. На начальном этапе (2017 г.) были выбраны створы на основных реках перед впадением крупных притоков, начиная от максимально приближенных к истокам (Кубань 6-й км, Теберда 4-й км), и в устьях многих притоков, как мощных ледниковых потоков, так и родниковых ручьев и малых рек неледникового происхождения. В дальнейшем (2018–2019 гг.) по такому же принципу были включены пункты в бассейнах притоков, имеющих собственную разветвленную речную сеть и приобретающих популярность в качестве рекреационных центров: Учкулан, Гоначхир, Уллухурзук. Последнему, водосбор которого занимает западный склон Эльбрусского неовулканического центра, было уделено особое внимание. Пробоотбор проводили во время интенсивного таяния ледников при отсутствии атмосферных осадков в течение 5–6 дней, чтобы склоновый дождевой сток не искажал результаты.

Водосборы большей части обследованных рек занимают наиболее возвышенную область Западного Кавказа к северу от Главного хребта и к югу от Передового и включают наиболее высокий из основных хребтов Боковой и Центральную депрессию с абсолютными высотами в истоках рек до 3 тыс. м, в долинах более 1.5 тыс. м. Истоки нескольких рек, самая значительная из которых — Худес, и небольшие левые притоки Теберды ниже пос. Верхняя Теберда находятся на северных склонах Передового хребта на высотах ~2 тыс. м и стекают в Северо-Юрскую депрессию. Они занимают промежуточное положение между высокогорными и среднегорными реками. Оледенения в их истоках не наблюдается. Немногочисленные реки среднегорья (Джалонкол, Аминкол, Индыш, Мара) начинаются на южных склонах Скалистого хребта, лишь бассейн Джегуты относится к его северному склону и Меловой депрессии. Карта расположения пунктов наблюдений, представленная на рис. 1, составлена в программе QGIS 3.28 на основе полной базы данных по результатам обследования водных объектов.

Пробы отбирали согласно ГОСТ Р 59024-2020, фильтровали на месте отбора через мембранные фильтры с размером пор 0.45 мкм. Определение концентраций главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) и ионов микропримесей (F^- , Li^+ , Sr^{2+}) проводили методом капиллярного ионофореза, микроэлементов (МЭ: Al, As, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) — атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией, измеряли pH.

Из значений средних концентраций (в каждом пункте 3–6 проб за период наблюдений) были составлены ранжированные ряды и проведена элементарная статистическая обработка, выделены значения квартилей (Q_1 , Q_2 , Q_3) и интерквартильных диапазонов (IQR) для всего массива данных и дополнительно для ледниковых и неледниковых водных объектов. Также в общем массиве выявлены незначительные выбросы, когда концентрации выше Q_3 на 1.5 IQR, и значительные, отличающиеся от Q_3 на 3 IQR.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значения выделенных диапазонов концентраций определяемых компонентов, характеризующих их распределение в водных объектах речной сети на территории верхнего течения Кубани, представлены в табл. 1 (главные ионы и ионы-микропримеси) и табл. 2 (потенциально токсичные элементы). Для сравнения в таблицах приведены величины кларков речной воды (K_p) и ПДК для питьевой воды и водоемов рыбохозяйственного назначения. При этом для диапазонов выбросов приведены не расчетные концентрации, а действительно существующие в вариационном ряду, попадающие в расчетный диапазон. Они отличаются от расчетных, иногда значительно. Пункты, в которых зарегистрированы экстремально высокие ($C_{\text{экс}}$ — значительные выбросы) и высокие ($C_{\text{выс}}$ — незначительные выбросы) концентрации, отмечены на рис. 1 химическими символами соответствующих компонентов. Концентрации в интервале “ Q_3 — незначительный выброс” рассматриваются как региональные повышенные ($C_{\text{пов}}$).

Межгодовая изменчивость концентраций компонентов ионного состава, в том числе микропримеси F^- , характеризуется для пунктов следующими значениями коэффициентов вариации: минимальные 0.003–0.02, в большинстве случаев составляют 0.20–0.35 и увеличиваются до 0.6–0.7 при низком содержании на уровне предела определения (ПО). Для МЭ, из которых концентрация многих находится на уровне ПО, они выше (0.5–0.8), но в пунктах с повышенным содержанием могут быть сравнимы с характерными для ионов, а для As составляли 0.02–0.16. Наибольшую межгодовую вариабельность наблюдали для Cu и Al.

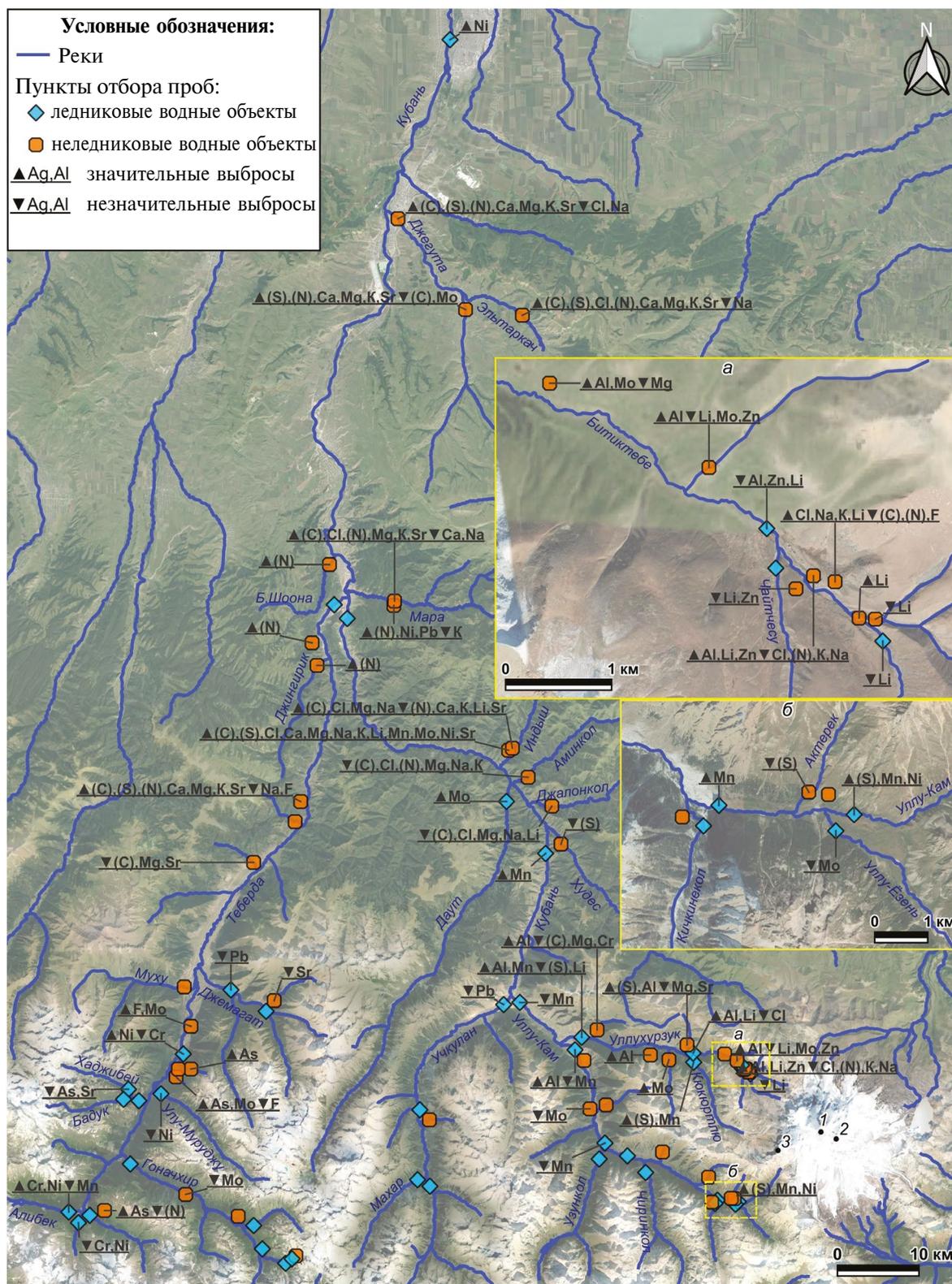


Рис. 1. Карта расположения пунктов наблюдений (отбора проб) и распределения высоких и экстремально высоких концентраций компонентов химического состава в водах: *a* – бассейн р. Битиктебе, *б* – бассейн р. Теберда. Вулканические постройки: вершины г. Эльбрус: 1 – западная, 2 – восточная; 3 – г. Кукуртли-Колбаши, высшая точка экструзивного массива Кюкюртли одновозрастного с извержениями вулкана Палео-Эльбрус; (C) – ион HCO_3^- ; (N) – ион NO_3^- ; (S) – ион SO_4^{2-} .

Таблица 1. Распределение концентраций компонентов ионного состава природных вод верхней части бассейна Кубани

Статистический показатель	Концентрации компонентов ионного состава										
	Главные и биогенные ионы (мг/л)								Микропримеси, (мкг/л)		
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Sr ²⁺	Li ⁺	F ⁻
C_{макс} В т.ч. в объектах:	70.1	29.8	41.7	9.7	358.7	96.6	21.0	17.6	882	159.7	405
ледниковых	20.4	7.4	11.8	2.2	69.0	84.4	6.57	1.9	97	49.9	218
неледниковых	70.1	29.8	41.7	9.7	358.7	96.6	21.0	17.6	882	159.7	405
C_{мин}	1.6	0.3	0.5	0.1	5.8	0.7	0.3	<ПО (6)	≈ПО (26)	≈ПО (50)	≈ПО (5)
В т.ч. в объектах:											
ледниковых	2.4	0.3	0.5	0.3	5.8	1.1	0.24	<ПО (1)	<ПО (4)	<ПО (18)	3
неледниковых	1.6	0.4	4.1	0.1	14.2	0.7	0.32	<ПО (1)	<ПО (1)	<ПО (12)	5
C_{мед} В т.ч. в объектах:	9.8	2.3	1.9	1.0	41.4	6.7	1.1	0.7	28	1.5	110
ледниковых	5.5	1.0	1.2	0.7	20.2	5.8	0.73	0.6	10	0.25	89
неледниковых	15.4	4.2	4.1	1.5	6.2	10.9	1.48	1.1	45	1.6	134
IQR	<u>18.1</u> <u>5.8</u>	<u>4.8</u> <u>0.9</u>	<u>5.7</u> <u>1.2</u>	<u>1.9</u> <u>0.7</u>	<u>68.9</u> <u>20.1</u>	<u>13.4</u> <u>4.5</u>	<u>2.3</u> <u>0.6</u>	<u>1.2</u> <u>0.4</u>	<u>67</u> <u>11</u>	<u>8.2</u> <u><ПО</u>	<u>150</u> <u>70</u>
В т.ч. в объектах:											
ледниковых	<u>7.6</u> <u>4.4</u>	<u>2.2</u> <u>0.5</u>	<u>2.1</u> <u>0.7</u>	<u>1.0</u> <u>0.6</u>	<u>32.6</u> <u>16.1</u>	<u>8.0</u> <u>4.0</u>	<u>1.2</u> <u>0.5</u>	<u>0.7</u> <u>0.3</u>	<u>20.5</u> <u>6.5</u>	<u>3.8</u> <u><ПО</u>	<u>121</u> <u>49</u>
неледниковых	<u>26.6</u> <u>10.9</u>	<u>11.3</u> <u>2.3</u>	<u>9.7</u> <u>1.8</u>	<u>0.3</u> <u>0.9</u>	<u>144.4</u> <u>50.7</u>	<u>19.7</u> <u>5.3</u>	<u>3.0</u> <u>0.9</u>	<u>2.9</u> <u>0.6</u>	<u>117</u> <u>29</u>	<u>12.8</u> <u>0.3</u>	<u>194</u> <u>78.5</u>
Выбросы:											
незначительные	<u>50.9</u> <u>49.1</u> (2)	<u>15.5</u> <u>11.3</u> (6)	<u>17.2</u> <u>13.4</u> (6)	<u>4.9</u> <u>4.1</u> (3)	<u>204.1</u> <u>151.2</u> (6)	<u>29.2</u> <u>28.0</u> (2)	<u>7.4</u> <u>5.5</u> (5)	<u>3.4</u> <u>2.5</u> (5)	<u>181</u> <u>142</u> (4)	<u>34.9</u> <u>20.2</u> (8)	<u>362</u> <u>291</u> (4)
значительные	≥61.8 (5)	≥16.8 (6)	≥20.6 (2)	≥5.4 (7)	≥217.8 (5)	≥39.9 (8)	≥10.6 (5)	≥5.4 (9)	≥251 (5)	≥41.9 (5)	≥405 (1)
Кларки речных вод	12	2.9	5	2	40	12	5.5	–	50	2.5	100
ПДК _{пит.}	100*	50*	–	12*	–	500	350	45	7000	30	1500
ПДК _{рыб.}	180	40	120	50* 10**	–	100	300	40	400	80	750

Примечание: * – согласно нормативам, принятым в ЕС; ** – при минерализации до 100 мг/л. Здесь и в табл. 2 в скобках указано число пунктов наблюдений.

Таблица 2. Распределение концентраций потенциально токсичных элементов в природных водах верхней части бассейна Кубани

Статистический показатель	Концентрации потенциально токсичных элементов (мкг/л)								
	Al	As	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
C_{макс} В т.ч. в объектах:	1756.3	142.00	1.03	7.76	216.2	6.60	4.88	1.76	133.2
ледниковых	926.8	5.81	1.03	6.60	216.2	2.35	4.88	1.29	82.4
неледниковых	1756.3	142.00	0.99	7.76	7.66	6.60	3.71	1.76	133.2
C_{мин}	3.1	<ПО (3)	0.03	<ПО (4)	0.12	<ПО (20)	<ПО (10)	0.21	<ПО (5)
В т.ч. в объектах:									
ледниковых	3.3	0.23	0.06	<ПО (4)	0.12	<ПО (8)	<ПО (5)	0.21	<ПО (2)
неледниковых	3.1	<ПО (2)	0.03	0.07	0.27	<ПО (12)	<ПО (4)	0.06	<ПО (3)
C_{мед} В т.ч. в объектах:	52.1	1.41	0.33	1.96	2.24	0.29	0.54	0.67	29.5
ледниковых	79.9	1.47	0.34	2.48	3.69	0.20	0.65	0.68	29.5
неледниковых	32.2	1.31	0.35	1.73	1.61	0.32	0.45	0.66	35.2
IQR	<u>92.9</u> <u>16.1</u>	<u>2.9</u> <u>0.9</u>	<u>0.45</u> <u>0.27</u>	<u>4.24</u> <u>0.79</u>	<u>4.00</u> <u>1.30</u>	<u>0.50</u> <u>0.10</u>	<u>0.85</u> <u>0.21</u>	<u>0.79</u> <u>0.56</u>	<u>41.4</u> <u>20.7</u>
В т.ч. в объектах:									
ледниковых	<u>112.5</u> <u>32.4</u>	<u>2.39</u> <u>1.00</u>	<u>0.48</u> <u>0.27</u>	<u>4.48</u> <u>0.97</u>	<u>7.87</u> <u>2.19</u>	<u>0.39</u> <u>0.11</u>	<u>1.50</u> <u>0.25</u>	<u>0.77</u> <u>0.58</u>	<u>41.4</u> <u>20.1</u>
неледниковых	<u>62.5</u> <u>13.0</u>	<u>3.28</u> <u>2.46</u>	<u>0.44</u> <u>0.28</u>	<u>4.25</u> <u>0.80</u>	<u>2.41</u> <u>1.07</u>	<u>0.78</u> <u>0.04</u>	<u>0.73</u> <u>0.17</u>	<u>0.83</u> <u>0.55</u>	<u>45.4</u> <u>24.0</u>
Выбросы:									
незначительные	<u>243.7</u> <u>243.7</u> (1)	<u>9.0</u> <u>6.0</u> (0)	<u>0.79</u> <u>0.72</u> (4)	<u>14.6</u> <u>9.4</u> (0)	<u>13.4</u> <u>9.6</u> (4)	<u>1.56</u> <u>1.26</u> (5)	<u>2.47</u> <u>1.94</u> (2)	<u>1.29</u> <u>1.17</u> (3)	<u>82.4</u> <u>73.7</u> (3)
значительные	≥388.7 (9)	≥25.9 (3)	≥0.99 (2)	≥14.6 (0)	≥23.9 (6)	≥1.96 (6)	≥3.13 (5)	≥1.76 (1)	≥133.2 (1)
Кларки речных вод	160	2	1	7	10	1	2.5	1	20
ПДК _{пит.}	200	10	50	1000	100	250	20	10	1000
ПДК _{рыб.}	40	50	20	1	10	1	10	6	10

Территория исследования — регион гидродинамических и гидрохимических аномалий, обусловленных сложными тектоническими условиями, глубокой эрозионной изрезанностью поверхности, где наряду с субгоризонтальными региональными потоками подземных вод имеются зоны субвертикальных межпластовых перетоков [1], а также контрастным распределением атмосферных осадков и наличием ледников. Речные воды отличаются

большим разнообразием химического состава, что подтверждается полученными данными: широким варьированием концентраций практически каждого компонента и их соотношений, в том числе в близко расположенных водных объектах разного генезиса.

Большинство вод имеют нейтральную реакцию (pH 6.5–7.5), некоторые из них являются слабо-

щелочными (величины рН в табл. 1 и 2 не приведены). Переход от нейтральных к слабощелочным водам наблюдается в ледниковых реках, формирующихся на Передовом хребте и ниже, начиная от правобережной зоны бассейна р. Уллухурзук и к северу от Тебердинской котловины до р. Дзегута. Максимальное разовое значение рН составило 8.4, минимальное — 6.3.

Минерализация была рассчитана по сумме ионов. Для большей части исследуемой территории характерны воды очень малой и малой минерализации согласно классификации О.А. Алекина [9]. Воды всех ледниковых рек относятся к очень маломинерализованным (<0.1 г/л). Исключение составляли реки, формирующиеся непосредственно на склонах Эльбруса, а именно: р. Уллухурзук и ее истоки — Битиктебе и Кюкюртлю, а также р. Кубань/Уллу-Кам в створе 6-й км. Здесь минерализация составила 0.12–0.16 г/л, что соответствует водам малой минерализации. Минерализация вод родников, ледниковых ручьев и малых рек изменяется в широких пределах и прослеживается ее зависимость от высотного положения водного объекта. Наименьшие значения суммы ионов (до 0.1 г/л), сравнимые с минерализацией ледниковых рек, относятся к высокогорной зоне. В среднегорной зоне минерализация закономерно повышается, и воды рек, стекающих с северного и южного склонов Скалистого хребта, среднеминерализованные. Однако в трех правых притоках р. Битиктебе под южным склоном Передового хребта воды тоже относились к среднеминерализованным. Количество водных объектов со средним содержанием солей (0.2–0.5 г/л) составило 14% от общего числа.

Гидрокарбонат-ион (HCO_3^-) доминировал над остальными компонентами как в массовых концентрациях, так и в большинстве случаев в относительном ионном составе. При значительных отличиях водных объектов $C_{\text{мед}}$ совпадает с K_p . Вследствие широкого диапазона варьирования при относительно небольшом IQR многие концентрации были квалифицированы как выбросы. Почти все они относились к ледниковым рекам, водосбор которых находится на склонах Скалистого хребта, где распространены карбонатные породы, но в двух случаях относительно высокие концентрации (но в пределах IQR) были отмечены в правых притоках р. Битиктебе, т.е. под южным склоном Передового хребта.

Содержание HCO_3^- в ледниковых реках ниже медианы за исключением нижнего створа на Кубани (150-й км) и устья р. Битиктебе. В последнем повышении концентрации вызвано углекислыми источниками (лечебная местность Джыллысу Западный). Относительный ионный состав вод на территории исследования характеризуется абсолютным преобладанием HCO_3^- (75–94%-экв

анионов) примерно в 40 пунктах наблюдений, представляющих ледниковые водные объекты разных высотных зон с разным уровнем содержания HCO_3^- , и 5 на ледниковых реках (4 левых притока Кубани в высокогорной зоне и вышеупомянутая р. Битиктебе, правый приток 2-го порядка). В анионном составе большинства ледниковых рек доля HCO_3^- составляла 50–75%-экв. Менее 50%-экв HCO_3^- содержалось в истоках Теберды и Кубани. Понижение доли ионов HCO_3^- не всегда связано с уменьшением их абсолютных концентраций. Так, во всех трех пунктах в бассейне р. Дзегута при $C_{\text{выс}}$ и $C_{\text{экс}}$ относительное содержание HCO_3^- составило 63–66%-экв анионов, как в большинстве ледниковых рек с низкими концентрациями HCO_3^- .

Сульфат-ион (SO_4^{2-}). В основном содержание сульфатов в водах невысокое, $C_{\text{мед}}$ вдвое ниже K_p , примерно на его уровне концентрация Q_3 . Водные объекты с $C_{\text{пов}}$, $C_{\text{выс}}$ и $C_{\text{экс}}$, как показано на рис. 1, сосредоточены на небольшом участке в правобережье Кубани. Это ледниковые реки: Дзегута с притоком, Худес с северного склона Передового хребта и ручей с его южного склона — правый приток р. Битиктебе. Кроме того, $C_{\text{экс}}$ порядка 60–80 мг/л обнаружены в ледниковых реках Кюкюртлю и Уллу-Кам (6-й км). В этих реках SO_4^{2-} абсолютно доминирует в анионном составе (75–80%-экв). Обе реки берут начало на оставшемся от вулкана Палео-Эльбрус экструзивном массиве Кюкюртлю, в изверженных породах которого представлена элементная сера. Ее ориентировочные запасы составляют 25 тыс. т, а содержание в цементе лавобрекчий — до 14% [1]. Далее загрязнение за счет окисления серы прослеживается до устья р. Уллухурзук (52%-экв анионов), принимающей воды Кюкюртлю, и створа на 8-м км Кубани (60%-экв). В нескольких правых притоках Уллу-Кама, впадающих в 7–24 км от истока (30–45%-экв), отмечались $C_{\text{пов}}$ и $C_{\text{выс}}$. Источники SO_4^{2-} в бассейне Дзегуты — гипсоносные осадочные породы, распространенные в зоне Скалистого и Пастбищного хребта, а в р. Худес и притоке р. Битиктебе — пиритизированные породы, связанные с рудными полями минерагенической зоны Передового хребта [1]. Очень малые концентрации SO_4^{2-} 1–4 мг/л характерны для ледниковых и ледниковых водотоков в зоне истоков основных рек.

Хлорид-ион (Cl^-). Воды высокогорных рек региона отличаются низким и очень низким содержанием Cl^- . Особенно обеднены Cl^- воды в бассейне Теберды, его наибольшая концентрация в роднике в нижней части бассейна составила 3.2 мг/л, в остальных водных объектах содержалось <2 мг/л. Концентрации, достигшие и несколько превысившие K_p , на общем фоне считаются $C_{\text{выс}}$, а 10–20 мг/л расцениваются как $C_{\text{экс}}$. Водные объекты с таким содержанием Cl^- образовали две группы (см. рис. 1). В одну входят 5 среднегорных

рек, истоки 4-х из них (Мара, Индыш, Аминкол, Джаланкол) на Скалистом хребте, бассейн еще одной (р. Дзегута) занимает его северные склоны и котловину в Меловой депрессии. Все они находятся в зоне куэст на водоразделе Азово-Черноморского и Каспийского бассейнов и имеют смежные водосборные площади. Другая группа занимает весь бассейн ледниковой р. Битиктебе. Здесь, как в неледниковых ручьях и родниках, так и самой реке вплоть до устья, принимающей р. Уллухурзук, зарегистрированы $S_{\text{макс}}$, несколько $S_{\text{выс}}$ и целый ряд $S_{\text{пов}}$. Повышенное содержание Cl^- в этом случае связано с влиянием молодого вулкана Эльбрус, поскольку на южном и северном его склонах наблюдалось еще более выраженное обогащение вод Cl^- [13].

Фтор-ион (F^-). Среднемировой уровень содержания F^- в речных водах низкий (0.1 мг/л) и не обеспечивает норм потребления этого микроэлемента. Критерию физиологической полноценности соответствуют концентрации 0.5–1.2 мг/л [11]. В районе исследования нижняя граница IQR в 1.5 раза ниже, а верхняя в 1.5 раза выше K_p , т.е. весь регион испытывает дефицит фтора, но подавляющее большинство измеренных концентраций находится в пределах 0.04–0.30 мг/л, типичных для вод рек, пресных озер и артезианских [9]. В лучшем случае его концентрации в нескольких водных объектах составляли 50–80% от нижней границы рекомендованных. Это родник в труднодоступном месте в бассейне Битиктебе и 3 родниковых ручья в бассейне Теберды рядом с автотрассой. Они показаны на рис. 1, поскольку для региона входят в группу выбросов. Два из них активно используются населением, но самый верхний загрязнен As.

Кальций-ион (Ca^{2+}). Большинство водных объектов обеднены Ca^{2+} . Принятый уровень его содержания для физиологически полноценных вод составляет 25–130 мг/л [11], ему соответствует всего 16% от общего числа изученных водных объектов, $S_{\text{макс}}$ попадает в центральную часть этого диапазона. Из них в высокогорье находится 3 водотока, 2 — в ущелье Уллу-Хурзук в малодоступных местах и 1 — ниже г. Теберда. Остальные — это реки среднегорной зоны. Таким образом, население высокогорной зоны испытывает крайний дефицит Ca^{2+} . В родниках, которые в некоторых местах являются единственным источником питьевой воды, содержалось в основном 10–15 мг/л Ca^{2+} , максимум 20 мг/л, минимально 1.5–3.0 мг/л.

Магний-ион (Mg^{2+}). Уровень содержания Mg^{2+} в водных объектах на территории исследования также понижен. Кларку, который совпадает с нижней границей концентраций для физиологически полноценных вод (5–50 мг/л) [11], соответствует значение Q_3 . Все $S_{\text{пов}}$ (5–8 мг/л) и часть $S_{\text{выс}}$ относились к водотокам в правобережье Кубани с 6-го (р. Актерек) по 50-й км (р. Худес), и в большинстве

они были сосредоточены в бассейне р. Уллухурзук. Их источником являются, по-видимому, молодые изверженные породы. Остальные водные объекты с $S_{\text{выс}}$ и $S_{\text{экс}}$ являются правыми притоками Кубани в среднегорной зоне, и во всех концентрации Cl^- и HCO_3^- также расцениваются как выбросы. Воды в бассейне Теберды, большая часть территории которого сложена древними кристаллическими породами, содержат Mg^{2+} в крайне низких концентрациях, из 32 пунктов наблюдений в 17 концентрации ниже Q_1 , 8 входят в IQR, но значения ниже $S_{\text{мел}}$ и в 5 — выше $S_{\text{мел}}$. Только в 2 водных объектах в нижнем течении реки отмечены $S_{\text{выс}}$ и $S_{\text{экс}}$.

Натрий-ион (Na^+). Как и в случае сульфат- и хлорид-ионов, почти все измеренные значения Na^+ выше K_p расцениваются на общем фоне как $S_{\text{пов}}$. В группе значительных выбросов 2 водных объекта. При этом $S_{\text{макс}}$, вдвое выше следующего по ранжиру, неожиданно относился к самому высокогорному роднику-водоводу в бассейне р. Битиктебе. Пространственное распределение Na^+ во многом схоже с распределением Mg^{2+} . Также выделяется бассейн р. Уллухурзук и те же несколько среднегорных рек, являющихся правыми притоками Кубани. Крайне обеднены Na^+ воды в бассейне Теберды. В половине водных объектов концентрации были ниже Q_1 , остальные входят в IQR.

Калий-ион (K^+). По сравнению с среднемировым уровнем содержание K^+ в водах столь же низкое, как и Na^+ . Нижняя граница $S_{\text{пов}}$ находится на уровне K_p , и только воды в диапазоне Q_3 – $S_{\text{макс}}$ соответствуют нормам физиологически полноценных вод (2–20 мг/л) [11]. Среди родников, используемых для питья, этому критерию удовлетворяли 4 водовода на территории Джылысу Западный и 1 в низовьях Теберды. В остальных концентрации составляли 0.1–1.4 мг/л. Диапазоны содержания SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ , иногда Ca^{2+} и NO_3^- , в которые попадают конкретные водные объекты, как правило, те же или выше тех, в которые они попадают по содержанию K^+ . Таким образом, в пространственном распределении K^+ прослеживаются аналогии с вышеперечисленными ионами при минимальном вкладе K^+ в ионный состав 2–5.5%-экв катионов.

В относительном катионном составе доминирует Ca^{2+} , что соответствует типичным маломинерализованным водам [9]. В большинстве водных объектов ($n = 60$) на его долю приходилось 50–75%-экв катионов при широком варьировании абсолютных концентраций от 2–4 до 60–70 мг/л. Более 75%-экв Ca^{2+} содержали воды 9 объектов, расположенных в верхней части бассейна Теберды ($n = 7$), и двух притоках р. Уллу-Кам, но абсолютные концентрации в этой группе совпадали с IQR. Для части водотоков доля Ca^{2+} составила менее половины суммы эквивалентов катионов ($n = 20$), причем в 5 из них вклад Ca^{2+} был менее 25%-экв,

а содержание Ca^{2+} в них могло быть как низким, так и высоким. Кальций оставался доминирующим ионом по массовой концентрации до его относительного содержания 40%-экв. За исключением нескольких среднегорных рек, притоков Теберды и Кубани до их слияния, все пункты, где вклад Ca^{2+} в эквивалентный ионный состав был менее 50%, находились в бассейне р. Битиктебе, включая результирующий створ в устье р. Уллухурзук. В среднегорных реках основным конкурентом Ca^{2+} является Mg^{2+} , а в родниковых ручьях непосредственно в долине р. Битиктебе и в самой реке максимальный вклад вносил Na^+ . Его доля составляла 40–55%-экв, а доля Ca^{2+} всего 17–24%-экв при том, что суммы ионов составляли 0.07–0.16 г/л (макс. 0.41 г/л).

Стронций-ион (Sr^{2+}). Потенциально токсичный Sr^{2+} не являлся характерной примесью в поверхностных водах. Во всех ледниковых реках, включая Теберду на всем протяжении и Кубань с 8-го по 55-й км, эти ионы или не были обнаружены, или появлялись спорадически. То же наблюдалось в некоторых неледниковых водотоках в зоне истоков основных рек. Значение Q_1 совпадает с ПО, $C_{\text{мед}}$ равняется 3 ПО, т.е. в значимых концентрациях Sr^{2+} содержится в половине пунктов наблюдения. Концентрации Sr^{2+} выше $C_{\text{мед}}$ на ледниковых реках наблюдались всего в 5 створах. Содержание в водах р. Кюкюртлю, устье Битиктебе и Кубани в г. Карачаевск не выходило за пределы IQR. На Кубани в створах 6-й и 150-й км отмечены $C_{\text{пов}}$ (0.08–0.10 мг/л), и это было связано с увеличением концентраций SO_4^{2-} до $C_{\text{пов}}$ в нижнем створе и $C_{\text{экс}}$ в верхнем. Примерно треть из обследованных водных объектов содержала Sr^{2+} в концентрациях выше K_p ($C_{\text{пов}}$ соответствует 1.4–2.4 K_p ; $C_{\text{выс}}$ — 3–3.5 K_p). В группе с $C_{\text{экс}}$, в которую входили 2 правых притока Кубани и водовод в низовье Теберды, формирующиеся на склонах Скалистого хребта, значения широко варьировали от 5 K_p (р. Мара) до 17 K_p в бассейне Джегуты. Воды этой реки от верхнего створа до устья, а также ее основного притока (р. Эльтаркач), не удовлетворяли критерию ПДК_{рыб}, превышая его до 2.2 раз. Токсичность Sr^{2+} определяется не только его концентрацией, но и соотношением Ca/Sr , значение этого показателя не должно быть ниже 100 [6]. На территории наблюдений отношение Ca/Sr от 70 до 100 наблюдалось в тех же трех пунктах в бассейне р. Джегута, причем концентрации Ca^{2+} в них были максимальными. Наименьшее значение этого отношения, связанное с низким содержанием Ca^{2+} , равнялось 110 (2.9 мг/л Ca^{2+}), а в других водных объектах с $C_{\text{выс}}$, отмеченных на рис. 1, оно составляло 125–320.

Литий-ион обычно содержится в пресных водах суши в очень низких концентрациях. Для Li^+ K_p ниже, чем для Cu , Mn , Zn (см. табл. 1). На изучаемой

территории в 2/3 водных объектов концентрации Li^+ не достигли K_p . В абсолютном большинстве из них Li^+ не был обнаружен или зарегистрирован спорадически. Медиана совпадала с ПО. В бассейне Теберды к ним относились все водные объекты за исключением трех левых притоков в нижнем течении, но ни в одном концентрации не могли считаться повышенными. На Кубани до впадения р. Уллухурзук и в бассейне р. Учкулан Li^+ не являлся постоянной примесью ни в одном водном объекте. Исключение составили 2 верхних створа (13.7 и 3.8 мкг/л в створах 6-ой и 8-ой км) и правый приток между ними (12.2 мкг/л). Ниже устья р. Уллухурзук, содержащей 20.2 мкг/л Li^+ , до нижнего створа концентрации Li^+ в воде Кубани составляли 3–4.5 мкг/л. В относительно небольшой группе значимых концентраций (>2 ПО) содержание Li^+ начинает быстро возрастать от 1–2 K_p в верхней части диапазона IQR к $C_{\text{пов}}$ (4–7 K_p), $C_{\text{выс}}$ (8–14 K_p) и $C_{\text{экс}}$ (17–20 K_p). Все водотоки, формирующиеся под западной вершиной Эльбруса, включая ледниковые реки с большим расходом воды, содержали более 5 K_p Li^+ . В части из них, а именно: во всех питьевых родниках в бассейне р. Битиктебе и трех створах на этой реке, была превышена ПДК_{пит} от 1.2–1.7 до 5–6 раз. Абсолютный максимум — единичное значение 2023 г., равное 192 мкг/л (77 K_p) — зарегистрирован в одном из питьевых водоводов в долине р. Битиктебе. Кроме того, воды с 5 K_p и более относились к правым притокам Кубани в среднегорной зоне от р. Джалонкол до рек Мара и Эльтаркач (приток 2-го порядка). Безусловно, повышение концентраций Li^+ в поверхностных водах отражает влияние вулканизма, прежде всего неовулканического Эльбрусского центра в бассейне р. Битиктебе и истоке Кубани. Другие реки Мара, Индыш, Джалонкол имеют на водосборе более древние вулканические постройки [1].

Потенциально токсичные элементы в природных водах верхней части бассейна Кубани

Почти в 60% пунктов наблюдений превышена ПДК_{рыб}, но по сравнению со среднемировым уровнем содержания алюминия (Al) обогащенными этим элементом можно признать всего 14% от общего числа, и примерно в 11% водотоков концентрации превысили ПДК_{пит}. Они составляют диапазон $C_{\text{выс}} - C_{\text{экс}}$ (см. табл. 2). Как показал пространственный анализ (см. рис. 1), эти водные объекты расположены на ограниченной площади, большинство находится в бассейне р. Уллухурзук. Из 17 пунктов наблюдений в бассейне этой реки 9 попадают в диапазон $C_{\text{выс}} - C_{\text{экс}}$ и превышают ПДК_{пит} от 2 до 8.5 раз, и некоторые водотоки используются для питья. Преимущественно это водотоки в правобережной зоне р. Битиктебе (правая составляющая р. Уллухурзук). Больше на территории исследования за исключением створа 21-й км на Кубани ($C_{\text{пов}}$ 187 мкг/л) концентрации Al не достигали K_p .

В остальных пунктах наблюдений в бассейне р. Уллухурзук концентрации находились в пределах IQR и ниже. Вне бассейна р. Уллухурзук, находящегося на территории, сложенной изверженными породами четвертичного возраста под западной вершиной Эльбруса, где в наибольшей степени Al были загрязнены водные объекты подземного происхождения, более высокие концентрации были характерны для ледниковых рек. Для них IQR составил 52–95 мкг/л, а для неледниковых водотоков 8–46 мкг/л. Повышение содержания Al в водах региона вероятно связано с его выщелачиванием маломинерализованными агрессивными водами из первичной коры выветривания горных пород, преимущественно разновозрастных магматических [15].

Мышьяк. В общем уровень содержания токсичного As на территории наблюдений невысокий (см. табл. 2). Около 2/3 водных объектов содержали его в концентрации ниже K_p , в нескольких As не был обнаружен. Зарегистрировано 3 объекта с $C_{экс}$, превышающими ПДК_{пит}. Все они расположены в правобережье р. Теберды в ее верхнем течении (см. рис. 1). Самый верхний пункт — это ручей на склоне г. Мусат-Чери, где находятся канатные дороги курорта Домбай (2.5 ПДК_{пит}). Проба была отобрана на высоте 2.3 тыс. м н. у. м., исток расположен еще выше. Вода используется в качестве питьевой в многочисленных кафе и гостиницах вокруг станций канатных дорог. Вероятно, $C_{экс}$ связана с пунктом мышьяковой минерализации, обнаруженным в районе одноименного хребта (водораздел рек Домбай-Ульген и Гоначхир) [1], который она завершает. Ниже впадения в Теберду р. Гоначхир в районе р. Улу-Муруджу находится зона лито-геохимической аномалии по As, она представлена обширным ореолом вторичного рассеяния, пунктами мышьяковой и золотомышьяковой (до 5.7% As) минерализации [1]. Здесь в двух водотоках были обнаружены $C_{экс}$, достигшие 3.1 ПДК_{пит} в р. Шумка и 14.1 ПДК_{пит} в питьевом водоводе между реками Улу-Муруджу и Шумка, популярном у местного населения и туристов. Кроме того, $C_{пов}$ (2–2.5 K_p) отмечались и в многоводной ледниковой р. Улу-Муруджу к югу от вышеотмеченных пунктов, оз. Каракель и питающем его ручье, протекающем к северу от аномальной зоны. В левобережной части бассейна Теберды в верховьях р. Хаджибей также существуют проявления и пункт минерализации мышьяка, и в этой реке выявлено до 3 K_p As в верховье и 2 K_p в устье. Проявилась гидрохимическая аномалия по содержанию As в водотоках под западной вершиной Эльбруса в бассейне ледниковой р. Битиктебе. Во всех трех створах на самой реке и в ее притоках подземного происхождения отмечено 2–2.5 K_p , что соответствует $C_{пов}$. Согласно геологической карте [2], в этой зоне проявлений As не зарегистрировано.

Медь. Все исследователи отмечают медь как характерный или устойчивый загрязнитель вод Кубани. Действительно, если сравнивать найденное в наших исследованиях содержание Cu с крайне жестким ПДК_{рыб}, то почти 70% водных объектов на изучаемой территории следует признать загрязненными этим элементом (см. табл. 2). При этом величина K_p была превышена в единственном пункте — среднегорной р. Большая Шоона. Для верхней части бассейна Кубани $C_{пов}$ можно считать 4 мкг/л и выше, зарегистрированные в р. Кубань на 8-ом и 21-ом км от истока, ее притоках на том же отрезке и нижних створах на Кубани (55-й и 150-й км). В бассейне Теберды $C_{пов}$ отмечены в р. Гоначхир, начиная от истока р. Северный Клухор в 1.5 км от ледника. Постоянное население и активная хозяйственная деятельность здесь отсутствует, но для всего изучаемого региона характерно Cu–Zn и полиметаллическое оруденение [1, 2]. Особенно выделяется субширотная полоса от р. Учкулан до отрогов Эльбруса к истоку р. Малка, где на территории бассейнов рек Учкулан, Даут, Худес имеются месторождения, несколько десятков проявлений и пунктов минерализации меди [1]. Многочисленные рудопроявления и ореолы рассеяния Cu привели к тому, что ее пространственное распределение относительно однородно по сравнению с другими элементами, коэффициент вариации по территории был равен 0.8, в то время как, например, для Mn и As приближался к 4. Концентрации ни в одном пункте наблюдений не достигли уровня $C_{выс}$, т.е. не являются выбросами, а содержание Cu 1–4 мкг/л отражает региональный геохимический фон.

Цинк. Почти весь район исследования относится к минералогическим зонам Главного и Передового хребтов с широким развитием цинковых руд. Также Zn сопровождает медное и свинцовое оруденение [1, 2]. Естественно, что речные воды обогащены цинком. Значение Q_1 находится на уровне K_p , а $C_{пов}$ и $C_{выс}$ составляют 2–4 K_p . Почти в 90% обследованных водных объектов отмечается превышение ПДК_{рыб}. Тем не менее влияние рудоносности на содержание Zn в поверхностных водах неоднозначно. Так, на общем повышенном фоне выделяется узкая зона под западной вершиной Эльбруса вдоль долины р. Битиктебе, в водных объектах которой зарегистрирован единственный случай $C_{экс}$, 3 случая $C_{выс}$ и 2 — $C_{пов}$ (см. рис. 1). Здесь геохимических проявлений Zn не отмечалось. В бассейне Теберды в неледниковых водных объектах в ущелье р. Гоначхир и р. Домбай-Ульген, а также в бассейне Кубани в реках Даут, Джалонкол и верхнем створе на р. Дзегуга наблюдались $C_{пов}$ до 3 K_p , возможно, связанные с наличием оруденений в виде пунктов минерализации и шлиховых потоков Zn. В то же время в р. Худес, весь бассейн которой занимает обширное рудное поле Cu–Zn и Pb–Zn специализации, включая одно

разведанное и одно отработанное месторождение, концентрация Zn находится в пределах IQR. К сожалению, на реке имелся только 1 пункт наблюдений в устьевой зоне.

Свинец. Как уже упоминалось, на изучаемой территории находится множество Pb–Zn месторождений, проявлений и пунктов минерализации, но в отличие от Zn концентрации Pb на всей территории низкие и отличаются однородным пространственным распределением (коэффициент вариации — 0.36). Единственная $C_{\text{экс}}$ для региона не достигает 1.8 мкг/л, диапазон $C_{\text{экс}}^{\text{пов}}$ фактически находится на уровне K_p , а $C_{\text{мин}}^{\text{пов}}$ составила 0.2 K_p . Это может быть связано с низкой миграционной способностью свинца.

Молибден. Общий уровень концентраций Mo, как и Pb, низкий. Водные объекты с концентрациями ниже ПО составили 20%, величину K_p , совпадающую с ПДК_{рыб}, превышают только немногие концентрации, признанные выбросами (см. табл. 2). Концентрации в диапазоне $C_{\text{выс}}$ мало отличаются друг от друга и от K_p , составляя 1.3–1.6 K_p . За исключением одного водного объекта (оз. Каракель), $C_{\text{экс}}$ составляли 2–3 K_p . В водах оз. Каракель и питающего его ручья концентрации за период наблюдений варьировали от 4 до 7.5 мкг/л (абсолютный максимум для региона). При этом в верховьях Кубани известно множество рудопоявлений и ореолы молибдена. Практического интереса самостоятельные проявления Mo не представляют. Как сопутствующий элемент Mo широко представлен в вольфрамовых рудах, а W является типоморфным элементом Большекавказской минерагенической провинции. Во всех представленных на изучаемой территории минерагенических зонах (Бечасынской, Главного и Передового хребтов, Центрально-Кавказской области) ведущим является вольфрамовое оруденение, все известные рудные поля которого пространственно связаны с магматическими системами, в которых присутствуют граниты, специализированные на W и Mo [1]. В бассейне Теберды отмечено всего несколько проявлений и пунктов минерализации по этим элементам, приуроченных к водоразделу рек Аксат и Теберда, и речные воды здесь отличаются пониженным содержанием Mo. Большинство водных объектов, в которых Mo не был обнаружен, находятся в бассейне Теберды, но зарегистрированы 3 объекта с $C_{\text{экс}}$, расположенные в правобережье Теберды на расстоянии менее 10 км друг от друга (см. рис. 1а) В этом районе не отмечено молибденового оруденения, но существует аномальная зона по As, и в этих трех объектах наблюдается ассоциация по повышенным или высоким концентрациям As, F, Mo. На водосборе Кубани до ее слияния с Тебердой многочисленны проявления Mo и W (несколько десятков) сосредоточены в непосредственной близости от западного и северо-западного сектора

Эльбрусского вулканического центра в зоне истока р. Уллу-Кам и в бассейне р. Уллу-Хурзук, где выделено геохимическое поле полиэлементного состава. Среди находящихся здесь постоянных водотоков в нескольких обнаружены $C_{\text{выс}}$ и $C_{\text{пов}}$. Три водных объекта подземного происхождения являются притоками р. Уллухурзук, два впадают в р. Уллу-Кам в 6 км и один — в 25 км от ее истока. Концентрации в остальных пунктах ниже 0.3 мкг/л, а во многих ниже ПО. Ниже по течению Кубани были выделены Учкуланское и Даутское рудные поля и Индыш-Аминкольское проявление, для которых подсчитаны запасы вольфрама и молибдена [1, 2]. Именно с ними связаны $C_{\text{экс}}$ в р. Даут, в верховьях которой отмечен достаточно обширный вторичный геохимический ореол рассеяния, и в ручье из пробной штольни на правом берегу р. Индыш. В самих реках Индыш и Аминкол концентрации оказались на уровне от ПО до 0.3 мкг/л. Что касается р. Учкулан и ее притоков, то наличие рудного поля не сказалось на содержании Mo в водах, наибольшая концентрация, отмеченная в р. Махар, составила 1.1 мкг/л, в остальных водных объектах — 0.2–0.5 мкг/л.

Хром. Воды на территории исследования крайне обеднены хромом, уровня K_p достигло всего одно значение в р. Алибек, расцениваемое на фоне общего массива данных как $C_{\text{выс}}$.

Никель. В регионе практически не представлено никелевое оруденение, но этот элемент может быть аксессуарным в вольфрамовых рудах. Для речных вод также было характерно пониженное содержание Ni. Весь диапазон $C_{\text{экс}}$ – $C_{\text{выс}}$ находится в пределах 1–2 K_p . Пункты с такими концентрациями в основном сосредоточены в верховьях Теберды — это реки Аманауз, Алибек, Улу-Муруджу и створ на 23-м км р. Теберда после слияния всех этих рек. В бассейне Кубани $C_{\text{экс}}$ зарегистрированы в совершенно разных местах: верхнем и нижнем створах на самой реке в 6 и 150 км от истока соответственно, притоке р. Мара, а также абсолютный максимум, равный 50.7 мкг/л (см. табл. 2 представлен отдельно от диапазона $C_{\text{экс}}$), в ручье из штольни на р. Индыш.

Марганец. В целом уровень содержания Mn в водах верхней части бассейна Кубани понижен. Концентрации, признанные $C_{\text{выс}}$, были отмечены в 4 пунктах и соответствовали 1–1.3 K_p , который совпадает с ПДК_{рыб}. В группе из 6 $C_{\text{экс}}$ значения широко варьировали, наименьшее составило 2.4 ПДК_{рыб}, а $C_{\text{макс}}$ более чем в 20 раз превысила ПДК_{рыб} и вдвое ПДК_{пит}. В распределении Mn четко выделяется первичный источник загрязнения — молодые изверженные породы Эльбрусского вулканического центра. Это хорошо прослеживается по характеру изменения его концентраций по течению Кубани. Исходная концентрация, измеренная на 6-м км от истока, составила 216.2 мкг/л, уже че-

рез несколько километров она уменьшилась в 3.5 раза, а к 20-му км снизилась примерно до 10 мкг/л и сохранялась на этом уровне до створа на 31-м км. Ниже по течению наблюдался постепенный подъем почти в 2.5 раза после впадения р. Уллухурзук, концентрация Mn в которой составила 52.2 мкг/л и, в свою очередь, повысилась после впадения р. Кюкюртлю, содержащей 68 мкг/л Mn. Как уже упоминалось, именно эти две реки берут начало непосредственно от массива Кюкюртли. Все створы на Кубани до 55-го км и в бассейне ее притока Уллухурзук, а также ручей из штольни составляют группу $C_{\text{выс}} - C_{\text{экс}}$ и отмечены на рис. 1б. К моменту выхода реки из высокогорной зоны (89-й км) и в нижнем створе (150-й км) воды содержали уже 4 и 3 мкг/л Mn. В бассейне р. Теберда только в одном пункте р. Алибек концентрация составила 10.8 мкг/л, т.е. была на уровне $C_{\text{выс}}^2$, K_p и ПДК_{рыб} (см. табл. 2). Кроме того, в бассейне Теберды отмечено несколько водных объектов с $C_{\text{пов}}$ (5–7 мкг/л). Это р. Аманауз, принятая за исток Теберды, 2 водотока в зоне истока р. Гоначхир и Теберда после слияния рек Аманауз и Гоначхир.

ВЫВОДЫ

На основании анализа данных методами порядковой статистики установлены региональные повышенные, высокие и экстремально высокие концентрации примесей и выявлено распределение соответствующих водных объектов на изучаемой территории с использованием ГИС. Пространственный анализ показал, что в большинстве случаев, но не всегда, они совпадают по местоположению с рудопроявлениями и шлейфами рассеяния (As, Mo), зонами современного вулканизма под западной вершиной Эльбруса (Al, Li, F, Mg, SO_4^{2-}), пиритизации и распространения осадочных карбонатных и гипсоносных пород (Ca, Mg, Sr, SO_4^{2-}). В основном содержание почти всех компонентов, а именно концентрации в 50–75% водных объектов, ниже кларка. Наблюдается повсеместный дефицит F, содержание Ca, K и Mg в зоне от южного склона Передового до Главного хребта за исключением нескольких водотоков, связанных с Эльбрусским вулканическим центром, не удовлетворяет критерию физиологически полноценных вод.

Вследствие большого количества Cu–Zn и Pb–Zn месторождений, проявлений и пунктов минерализации, концентрации Zn в 80% пунктов наблюдений выше кларка.

Химический состав поверхностных вод в верховьях Кубани в наибольшей степени определяют именно геологические факторы, наличие литохимических аномалий, рудопроявлений, гидрогеологические условия региона, древний и современный магматизм.

Концентрации компонентов ионного состава, включая микропримеси, во всех выделенных диапазонах значительно выше в неледниковых водных объектах. В особых случаях, а именно, в истоках ледниковых рек на западных склонах Эльбруса, концентрации Cl^- , SO_4^{2-} , Li^+ представляли собой выбросы. Распределения концентраций микроэлементов в ледниковых и неледниковых водных объектах отличаются друг от друга. Одну группу составили Cr, Cu, Pb, Zn, для которых не наблюдалось заметных различий между двумя видами водотоков. В другой группе Al, Mn и в некоторой степени Ni активно выщелачивались из горных пород агрессивными маломинерализованными водами гляциальных потоков, и их концентрации в верховьях ледниковых рек систематически выше концентраций в родниковых ручьях и малых реках неледникового происхождения. В то же время $C_{\text{экс}}$ и в общем более высокий уровень содержания As и Mo были характерны для неледниковых водотоков.

В некоторых водных объектах природное загрязнение As, Al и Li достигает опасного уровня, риски повышаются на фоне физиологической неполноценности ультрапресных вод, обедненных главными катионами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист К-38-1, VI (Кисловодск). Объяснительная записка / А.Н. Письменный, А.Н. Пичужков, М.А. Зарубина и др. М.: Московский филиал ФГБУ "ВСЕГЕИ", 2013.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист К-37-VI, (XII) (Карачаевск). Объяснительная записка / И.Н. Семенуха, В.И. Черных, В.В. Соколов, М.Г. Деркачева и др. М.: Московский филиал ФГБУ "ВСЕГЕИ", 2021.
3. Дега Н.С. Геоэкологическая оценка водосборного бассейна реки Кубани на территории Карачаево-Черкесской республики // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. XIII. М.: ИИЕТ РАН, 2023. С. 480–485.
4. Дементьев М.С., Дементьева Д.М. Аномальность фоновое содержания тяжелых металлов в водах верховьев реки Кубань // Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека / под ред. Ю.А. Рахманина. М.: НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысина, 2016. Т. 1. С. 167–169.
5. Ежегодники и обзоры [Электронный ресурс]. Гидрохимический институт. 2015. URL: <https://gidrohim.com/node/44> (дата обращения: 18.06.2024)
6. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник: в 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова. Кн. 1: S-элементы. М.: "Недра", 1994. 304 с.

7. Комаров Р.С. Природный фактор как возможная причина экстремально высоких концентраций ионов меди в воде притоков реки Кубань // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: сб. тр. конференции. Ч. 1. Ростов-на-Дону: ФГБУ “Гидрохимический институт”, 2020. С. 210–214.
8. Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань. Гидрография и режим стока. СПб: Гидрометеиздат, 2005. 498 с.
9. Никаноров А.М. Гидрохимия. Ростов-на-Дону: “НОК”, 2008. 462 с.
10. Онищенко В.В., Дега Н.С., Гербекова Д.Ю. Медико-экологическая парадигма курортно-оздоровительного и рекреационного бассейна реки Теберды Карачаево-Черкесской Республики // Экология человека. 2016. № 10. С. 3–9.
11. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 19 марта 2002 г. N 12 “О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов “Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1116-02” (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс] / ГАРАНТ.РУ: [сайт]. [1990]. <https://base.garant.ru/4178351/> (дата обращения: 18.06.2024)
12. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Методика комплексной оценки и степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 49 с.
13. 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.
14. Решетняк О.С., Комаров Р.С. Тенденции изменчивости химического состава и степени загрязненности воды реки Кубань // Вода и экология: проблемы и решения. 2021. № 1 (85). С. 30–40.
15. 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. V. 88. № 13. P. 2884–2892.

HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF NATURAL WATERS IN THE UPPERCOURSE OF THE KUBAN RIVER

T. V. Reutova^{a,#}, N. V. Reutova^a, F. R. Dreeva^a

^a*Kabardin-Balkar Scientific Center, Russian Academy of Sciences
ul. Balkarova 2, Nalchik, 360017 Russia*

[#]*E-mail: reuttat@yandex.ru*

A full-scale survey of water bodies differing in origin and formation conditions was conducted in the upper reaches of the Kuban River and the basin of its main tributary, the Teberda River (about 90 observation points). The purpose was to determine typical and atypical levels of a wide range of impurities in water, to identify the real sources of impurities entering watercourses, their migration, spatial distribution of water bodies with increased concentrations, and possible associations of ingredients. Concentrations of major ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) and ions of trace elements (F^- , Li^+ , Sr^{2+}) were determined by capillary ionophoresis, trace elements (Al, As, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn), by atomic absorption method with electrothermal atomization. Based on the data analysis by methods of order statistics, i.e. five-number summary with adding internal and external upper adjacent values, regional elevated, high and extremely high concentrations were distinguished and the distribution of relevant water bodies in the studied area using GIS was revealed. Spatial analysis has shown that in most cases, but not always, they coincide in location with ore occurrences and scattering plumes (As, Mo), zones of modern volcanism under the western peak of Elbrus (Al, Li, F, Mg, SO_4^{2-}), of pyritization (SO_4^{2-}), zones with prevalence of sedimentary carbonate and gypsum-bearing rocks (Ca, Mg, Sr, SO_4^{2-}). In most of the water bodies (50–75%) the concentrations of almost all components are below the river water clarks. They are so depleted of essential elements (F, Ca, Mg, K) that they do not meet the criteria of physiological usefulness for drinking water. Due to the large number of Cu–Zn and Pb–Zn deposits, manifestations and mineralization points, Zn concentrations in 80% of the observation points are higher than clark. In some water bodies, natural pollution of As, Al and Li reaches dangerous levels exceeding MPC of drinking water up to 5 times for Li, 8.5 times for Al and 14 for As and habitants and tourists use them for drinking. The risks increase against the background of a deficiency of the main cations inherent in these waters.

Keywords: *natural waters, major ions, potentially toxic elements, regional levels of content /regional distribution of concentrations, Kuban River, Teberda River*

REFERENCES

1. [The State Geological Map of the Russian Federation on a scale of 1:200 000. The second edition. The Caucasian series. Sheet K-38-I, VI, (Kislovodsk). Explanatory note] A.N. Pis'mennyi, A. N. Pichuzhkov, M. A. Zarubina, et al. (Eds.). Moscow, Moscow branch of FSBI VSEGEI, 2013. (in Russian)
2. [The State Geological Map of the Russian Federation on a scale of 1:200 000. The second edition. The Caucasian series. Sheet K-37-VI, (XII) (Karachaevsk). Explanatory note]. I.N. Semenukha, V.I. Chernykh, V.V. Sokolov, et al. (Eds.). Moscow, Moscow branch of FSBI VSEGEI, 2021. (in Russian)
3. Dega, N.S. [Geoecological assessment of the drainage basin of the Kuban River in the territory of the Karachay-Cherkess Republic]. In: [Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Vol. XIII]. Moscow, IHST RAS Publ., 2023. pp. 480–485. (in Russian)
4. Dement'ev, M.S., Dement'eva D.M. [Anomaly of the background content of heavy metals in the waters of the upper reaches of the Kuban River]. In: [Modern methodological problems of studying, evaluating and regulating environmental factors affecting human health] Moscow, Scientific Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene named after A.N. Sysin, 2016. vol. 1. pp. 167–169. (in Russian)
5. [Yearbooks and reviews]. Available at: <https://gidrohim.com/node/44> (accessed 18.06.2024) (in Russian)
6. Ivanov, V.V. [Ecological geochemistry of elements. Reference book: In 6 books. Book 1: S-elements.], E.K. Burenkov, Eds. Moscow, "Nedra" Publ., 1994, 304 pp. (in Russian)
7. Komarov, R.S. [Natural factor as a possible cause of extremely high concentrations of copper ions in the water of tributaries of the Kuban River]. In [Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality. Part 1]. Rostov-on-Don, Federal State Budgetary Institution "Hydrochemical Institute", 2020, pp. 210–214. (in Russian)
8. Lurie, P.M., Panov, V.D., Tkachenko, Yu.Yu. [Kuban River. Hydrography and flow regime]. St. Petersburg, Hydrometeoizdat Publ., 2005. 498 p. (in Russian)
9. Nikanorov, A.M. [Hydrochemistry]. Rostov-on-Don, "NOK" Publ., 2008, 462 p. (in Russian).
10. Onishchenko, V.V., Dega, N.S., Gerbekova, D.Yu. [Medico-ecological paradigm of a health resort and recreational Teberda River basin of the Karachay-Cherkess Republic]. *Ehkologiya cheloveka*, 2016, no. 10, pp. 3–9. (in Russian)
11. [Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated March 19, 2002 No. 12 "On the introduction of sanitary and epidemiological rules and regulations "Drinking water. Hygienic requirements for the quality of water packaged in a container. Quality control. SanPiN 2.1.4.1116-02" (with amendments and additions)]. Available at: <https://base.garant.ru/4178351/> (accessed 18.06.2024) (in Russian)
12. [Guidance document 52.24.643-2002. Methodological guidelines. Methodology of complex assessment and degree of contamination of surface waters by hydrochemical indicators]. St. Petersburg, Hydrometeoizdat Publ., 2002. 49 p. (in Russian)
13. 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]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2022, no. 6 (110), pp. 144–157. (in Russian)
14. Reshetnyak, O.S., Komarov, R.S. [Trends in the variability of the chemical composition and water pollution level in the Kuban River]. *Voda i ehkologiya: problemy i resheniya*, 2021, no. 1 (85), pp. 30–40. (in Russian)
15. 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, no. 13, pp. 2884–2892.