

УДК 556.114.6

DOI: 10.46698/VNC.2024.80.62.018

Оригинальная статья

Сравнительная характеристика содержания алюминия и мышьяка в поверхностных водах Эльбрусского и Казбекского вулканических центров

Н.В. Реутова , Т.В. Реутова , Ф.Р. Дреева 

Кабардино-Балкарский научный центр РАН,
Россия, 360000, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2,
e-mail: reutova371@mail.ru

Статья поступила: 06.03.2024, доработана: 31.03.2024, принята к публикации: 01.04.2024

Резюме: Актуальность работы. В регионах Центрального и Западного Кавказа расположены и развиваются большие круглогодичные туристические кластеры основными источниками водоснабжения которых являются бассейны истоков рек Терека и Кубани. Это район четвертичного вулканизма, за счет деятельности которого поверхностные воды могут обогащаться целым рядом токсичных элементов. **Целью** данной работы является сравнительное изучение содержания мышьяка и алюминия в поверхностных водах Эльбрусского и Казбекского вулканических центров и определение возможных источников их поступления. **Материалы и методы.** В районе Эльбрусского вулканического центра (ЭВЦ) расположено 105 пунктов отбора проб. В районе Казбекского вулканического центра расположено 62 створа. Пробы воды отбирали в июле–августе в период интенсивного таяния ледников. Поскольку определяли только растворенную форму элементов, пробы фильтровали через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм. Определение содержания алюминия и мышьяка проводили с использованием атомно-абсорбционной спектроскопии. Водородный показатель определяли с помощью портативного рН-метра. **Результаты работы.** В районе ЭВЦ на ранних этапах развития имел место кислый вулканизм и преобладают кислые вулканиды. Поверхностные воды нейтральные, показатель рН не превышает 8. Вулканиды Казбекского центра являются производными основных мантийных магм и значения $\text{pH} \geq 8,0$ характерны для 30 водотоков (48,4%). Поверхностные воды Казбекского вулканического центра обеднены алюминием по сравнению с ЭВЦ. Скорее всего, это связано с целым комплексом факторов. В частности, с различиями в особенностях вулканизма – в ЭВЦ в лавы поступало верхнекоровое вещество, а в Казбекском – глубинные мантийные магмы. В районе Казбекского вулканического центра, по-видимому, происходит иммобилизация алюминия на геохимическом барьере из-за более широко распространенных карбонатных осадочных пород. Концентрации мышьяка в поверхностных водах в районе ЭВЦ (особенно в Южном Приэльбрусье) значительно выше, чем в Казбекском. Это связано с наличием геохимических аномалий.

Ключевые слова: геохимические аномалии, поверхностные воды, токсичные элементы, Центральный и Западный Кавказ.

Для цитирования: Реутова Н.В., Реутова Т.В., Дреева Ф.Р. Сравнительная характеристика содержания алюминия и мышьяка в поверхностных водах Эльбрусского и Казбекского вулканических центров. *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(2): 231–243. DOI: 10.46698/VNC.2024.80.62.018

DOI: 10.46698/VNC.2024.80.62.018

Original paper

Comparative characteristics of aluminum and arsenic content in the surface waters of the Elbrus and Kazbek volcanic centers

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

Kabardino-Balkar Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
2 Balkarova Str., Nalchik 360000, Russian Federation,
e-mail: reutova371@mail.ru

Received: 06.03.2024, revised: 31.03.2024, accepted: 01.04.2024

Abstract: Relevance. Large year-round tourist clusters are located and developing in the regions of the Central and Western Caucasus. The main sources of water supply there are the basins of the sources of the Terek and Kuban rivers. This is an area of Quaternary volcanism, due to the activity of which surface waters can be enriched with a number of toxic elements. **Aim** of this work is a comparative study of the arsenic and aluminum content in the surface waters of the Elbrus and Kazbek volcanic centers and the identification of possible sources of their intake. **Materials and methods.** There are 105 sampling points in the area of the Elbrus Volcanic Center (EVC). 62 sampling points are located in the area of the Kazbek volcanic center. Water samples were taken in July and August during the period of intense melting of glaciers. The dissolved form of the elements was determined. That is why the samples were filtered through membrane filters with a pore size of 0.45 microns. The determination of aluminum and arsenic content was carried out using atomic absorption spectroscopy. The hydrogen index was determined using a portable pH meter. **Results.** Acid volcanism took place in the EVC area in the early stages of development and acid volcanites predominate. The surface waters are neutral, the pH does not exceed 8. The volcanites of the Kazbek center are derivatives of the main mantle magmas and pH values ≥ 8.0 are typical for 30 watercourses (48.4%). The surface waters of the Kazbek volcanic center are depleted of aluminum compared to the EVC. Most likely, this is due to a range of factors, in particular, with differences in the features of volcanism – upper crust matter entered the lavas in the EVC, and deep mantle magmas in the Kazbek. In the area of the Kazbek volcanic center, aluminum appears to be immobilized at the geochemical barrier due to more widespread carbonate sedimentary rocks. Arsenic concentrations in the EVC (especially in the Southern Elbrus region) are significantly higher than in Kazbek. This is due to the presence of geochemical anomalies.

Keywords: geochemical anomalies, surface waters, toxic elements, Central and Western Caucasus.

For citation: Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R. Comparative characteristics of aluminum and arsenic content in the surface waters of the Elbrus and Kazbek volcanic centers. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2024. 14(2): 231-243. DOI: 10.46698/VNC.2024.80.62.018

Введение

В настоящее время значительное внимание уделяется развитию внутреннего туризма в Российской Федерации. Одними из наиболее привлекательных являются знаменитые туристические комплексы, расположенные на территории Кабардино-Балкарской Республики, Карачаево-Черкесской Республики и Республики Северная Осетия-Алания. Только Приэльбрусье в 2022 году посетили 1,2 млн туристов. На данных территориях планируется развитие больших туристических кластеров,

основными источниками водоснабжения которых являются бассейны истоков рек Терека и Кубани. Эти реки являются главным источником питьевой воды для населения Центрального и Восточного Кавказа, и от их качества зависит здоровье населения. Горные реки традиционно считаются образцово чистыми. Но следует иметь в виду, что это район четвертичного вулканизма, за счет деятельности которого поверхностные воды могут обогащаться целым рядом токсичных элементов. Также на этих территориях располагается большое количество источников, широко используемых как в бальнеологических целях, так и для питьевого водоснабжения. Поэтому изучение химического состава поверхностных вод данного региона – весьма актуальная проблема.

Целью данной работы является сравнительное изучение содержания мышьяка и алюминия в поверхностных водах Эльбрусского и Казбекского вулканических центров и определение возможных источников их поступления.

Химический состав поверхностных вод Эльбрусского вулканического центра в последнее время изучался достаточно интенсивно [Ermakov et al., 2020; Reutova et al., 2018, 2023]. Поверхностные воды Казбекского вулканического центра остаются крайне малоизученными [Гурбанов и др., 2016; Оказова, Катаева, 2015]. В данной работе впервые проведено исследование содержания алюминия и мышьяка, являющихся наиболее токсичными элементами, в поверхностных водах Казбекского вулканического центра.

Материалы и методы

Описание места исследования.

Эльбрусский и Казбекский вулканические центры были активны в четвертичном периоде и это единственные подобные центры в Европейской части России.

Эльбрус – молодой четвертичный вулкан, сформировавшийся в результате неоднократных извержений различного типа. Вулканический конус располагается на метаморфических породах и гранитоидах палеозойского возраста [Короновский и др., 2015]. Наиболее древними являются породы, обнажающиеся в обрывах ледникового цирка Уллукам в западной части Эльбруса (ранний плейстоцен). Их возраст, измеренный различными методами, составляет 620–667 тыс. лет. Предполагается, что это часть Палео-Эльбруса, сохранившаяся только на западе вулканического массива [Короновский и др., 2015; Короновский, Мышенкова, 2016].

Наиболее молодой комплекс вулканических пород – позднеплейстоценовый и голоценовый – связан с формированием Восточного конуса. Восточная вершина Эльбруса была создана голоценовыми извержениями [Короновский и др., 2011; 2015; Короновский, Мышенкова, 2016].

В восточной и южной частях Приэльбрусья расположены два разновозрастных пространственно-совмещенных вулканических центра – Тырныаузский, возникший в плиоценовое время на территории восточной и южной частей Приэльбрусья и четвертичный Эльбрусский. Время проявления магматической активности Тырныаузского центра – средний–поздний плиоцен (от ~ 3,0 до ~ 1,8 млн лет назад) [Чернышев и др., 2014].

Начало магматической активности самого Эльбрусского неовулканического центра приходится на эоплейстоценовое время (950–900 тыс. лет назад). Следующие три фазы его активности (225–170, 110–70 и менее 30 тыс. лет назад) связаны исключительно с извержениями стратовулкана Эльбрус [Чернышев и др., 2014].

Казбекский неовулканический центр (КВЦ) расположен в центральной части Большого Кавказа на границе России и Грузии в зоне Бокового (Хохского) хребта (истоки р. Терек и ее притоков). Фундаментом вулканических построек выступают осадочные горные породы юрского возраста, широко распространенные на территории высокогорья РСО-Алания. КВЦ включает в себя непосредственно вулкан Казбек, а также ряд экструзий и лавовых конусов. По данным В.А. Лебедева с соавторами [Лебедев, Вашакидзе, 2014] развитие новейшего вулканизма в пределах Казбекского центра происходило на протяжении последних 400–450 тыс. лет в течение четырех отдельных фаз. В I фазе, в конце раннего неоплейстоцена (395–435 тыс. лет назад), на месте современного конуса Казбека, вероятно, проявлял активность его вулкан-предшественник – Палео Казбек. Породы, относящиеся к этому периоду, с возрастом ≈ 400 тыс. лет являются самыми основными по своему составу среди всех эффузивов Казбекского центра. Извержения Палео Казбека возобновились ≈ 250 тыс. лет назад во II фазе активности Казбекского центра. В результате этих интенсивных извержений Палео Казбека произошло опустошение приповерхностной магматической камеры и образование кальдеры обрушения. Возобновление магматической активности в пределах Казбекского центра (III фаза) произошло примерно 120 тыс. лет назад. В результате сформировалась современная постройка Казбека, и была связана с повторным поступлением в очаг под вулканом новой порции глубинных основных магм, их смешением с находившимся там остаточным дацитовым расплавом. Заключительная, IV, фаза активности Казбекского центра связана с деятельностью нескольких вулканов-сателлитов. Их возраст составляет менее 50 тыс. лет. Предполагается, что возобновление магматической деятельности в IV фазе так же было связано с повторным поступлением глубинных расплавов в приповерхностный очаг [Лебедев, Вашакидзе, 2014].

В пределах Казбекской области выделяются три неовулканических центра, на территории которых локализованы четвертичные вулканы – Казбекский, Кельский и Джауский (Джавский). Эти центры различаются по типу и времени проявления активности и преобладающему составу продуктов извержений. Для Казбекского центра характерно образование крупных стратовулканов (Казбек и Кабарджин) с многочисленными побочными аппаратами; среди вулканитов доминируют андезиты [Лебедев, Вашакидзе, 2014]. Первые извержения здесь происходили около 450 тыс. лет назад, а последние – в середине голоцена. Четвертичный вулканизм на Кельском нагорье относится к ареальному типу и связан с образованием большого количества небольших кислых экструзий и лавовых конусов; состав эффузивов, главным образом, отвечает дацитам. Кельский центр был активен примерно 250–200 тыс. лет назад до голоцена [Лебедев, Вашакидзе, 2014].

Пункты отбора проб. В районе Эльбрусского вулканического центра (ЭВЦ) расположено 105 пунктов отбора проб. Из них: 37 створов в верховьях бассейна р. Кубань до 55-го км ее течения (Западное Приэльбрусье); 21 створ в верховьях бассейна р. Малка до 16-го км ее течения (Северное Приэльбрусье); 10 створов в бассейнах рек Ирик и Кыртык (Восточное Приэльбрусье, район Тырнаузского вулканического центра) и 37 створов в верховьях бассейна р. Баксан до 35-го км ее течения (Южное Приэльбрусье, район четвертичного вулканизма).

В районе Казбекского вулканического центра расположено 62 створа, 42 из которых находятся на территории самого Казбекского неовулканического центра и 20 на территории, примыкающей к Кельскому нагорью.

Отбор проб и определение химического состава. Пробы воды отбирали в июле–августе в период интенсивного таяния ледников. Пробы отбирали в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020. Все пробы фильтровали через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм. Консервацию проб осуществляли азотной кислотой (ОСЧ) из расчета 0,5% в соответствии с ГОСТ Р 57162-2016. Транспортировку и хранение проб осуществляли при температуре 2°C–5°C. Определение содержания алюминия и мышьяка проводили с использованием атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) в соответствии с ГОСТ Р 51309-99 и методикой «Количественный химический анализ вод» фирмы производителя прибора.

В пробах измеряли водородный показатель с помощью портативного рН-метра в день отбора в экспедиционных условиях, при маршрутных исследованиях в течение 24 часов.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Excel 2016.

Карты-схемы построены с использованием программного обеспечения QGIS (версия 3.28.12).

Результаты и обсуждение

Водородный показатель оказывает значительное влияние на растворимость и миграцию элементов. Даже небольшие изменения значений рН могут изменять растворимость, скорость и формы миграции алюминия и мышьяка в значительной степени.

Эльбрусский вулканический центр. В западном Приэльбрусье (верховья бассейна р. Кубань, 37 створов) значения рН варьируют в широких пределах, минимальные составляют 5,95 и максимальные – 8,42. Но, самые низкие значения 5,95-6,2 характерны для источников глубинного происхождения и родников (всего шесть пунктов отбора). Максимальные значения 8-8,3 отмечены только в трех створах – р. Енукол и два ручья в бассейне р. Уллухурзук. В остальных 28 створах значения рН варьируют в основном в пределах 6,8-7,5, причем увеличиваются вниз по течению рек. Так с 8-го по 55 км течения р. Кубань минимальные значения рН изменяются с 6,65 до 7,1. Такая же закономерность наблюдается и для притоков. Чем выше расположены притоки, тем ниже значения рН.

В северном Приэльбрусье (верховья р. Малка, 21 створ) минимальные значения 5,2-6,2 также характерны для источников и родников (5 пунктов отбора проб). В остальных пунктах в основном значения рН варьируют в пределах 6,4-7,5.

В восточном Приэльбрусье (10 створов) значения рН в основном изменяются в пределах 7,3-7,7. В южном Приэльбрусье минимальные значения 6,2, максимальные 8,2. Наиболее низкие значения характерны для гляциальных потоков, стекающих с южных склонов Эльбруса и, в основном, варьируют в пределах 6,2-6,4. Высокие значения 8,0-8,2 отмечены только для одного водотока (пос. Байдаево). В бассейне р. Терскол водородный показатель колеблется в пределах 6,5-7,7. Вниз по течению р. Баксан он возрастает с 6,6 (3,2-й км) до 7,1 (35-й км). Таким образом, в Эльбрусском вулканическом центре поверхностные воды слабокислые и нейтральные, показатель рН ≥ 8 только в четырех створах (3,8%).

По данным А.В. Парфенова с соавторами в формировании лав Эльбрусского вулканического центра значительное участие принимало верхнекорое вещество. Под Эльбрусом произошло частичное плавление верхней коры и смешивание ее с

мантийными расплавами. Кроме того, в районе Эльбрусского вулканического центра на ранних этапах развития (3,0–1,5 млн лет назад) имел место кислый вулканизм и преобладают кислые вулканиды [Лебедев, Вашакидзе, 2014; Чернышов и др., 2014].

Казбекский вулканический центр. В обследованной части бассейна р. Терек значения рН изменялись от 6,7 до 8,2. Самые низкие значения отмечены только для одного ручья и одного родника в бассейне р. Геналдон. В бассейне р. Геналдон этот показатель в основном колебался в пределах 7,7–7,9; в бассейне р. Ардон – 7,5–8,3. Всего в поверхностных водах Казбекского вулканического центра значения $\text{pH} \geq 8,0$ характерны для 14 из 42 пунктов; 7,7–7,9 – для 16 пунктов; $\text{pH} < 7$ отмечены только в трех пунктах (р. Цейдон, родник и ручей в бассейне р. Геналдон).

Кельское нагорье. В бассейне р. Большая Лиахви значения $\text{pH} < 7$ отмечены только в двух самых верхних пунктах – родник и ручей в пос. Едыс; 7,0 в р. Глидон (левый приток на 8,5 км), 7,4 в р. Каласанидон (тоже пос. Едыс). В остальных 16 створах рН варьирует в пределах 8,0–8,4.

Таким образом, в обследованных районах Казбекского вулканического центра значения $\text{pH} < 7$ отмечены только в 5 пунктах из 62 и это родники и ручьи; $\text{pH} \geq 8,0$ характерны для 30 водотоков (48,4%); 7,7–7,9 – для 22 пунктов (35,5%).

По данным А.В. Парфенова с соавторами Казбекский неовулканический центр расположен на пересечении двух крупнейших региональных тектонических нарушений – Главного Кавказского взброса и Казбек-Цхинвальского разлома. В результате, на этом участке литосфера проницаема для глубинных магм. В отличие от Эльбрусского вулканического центра в Казбекском имела место только ограниченная ассимиляция корового вещества. Значительную роль в происхождении казбекских вулканидов играли процессы смешения магм. В начале II, III и IV фаз в магматический очаг под Казбекским центром поступали новые порции глубинных мантийных магм базальтового состава, которые смешивались там с остаточными расплавами дацитового состава. Вулканиды Казбекского центра являются производными основных мантийных магм [Лебедев, Вашакидзе, 2014; Парфенов и др., 2019], в Эльбрусском вулканическом центре преобладают умеренно-кислые образования, а на более ранних этапах магматизма доминировали кислые [Лебедев, Вашакидзе, 2014].

Алюминий. Это один из самых распространенных в природе элементов, занимает третье место после кислорода и кремния. Несмотря на такое широкое распространение, алюминий оказался одним из наиболее токсичных элементов. Он оказывает негативное влияние на почки, центральную нервную систему, кости, легкие. Существует положительная корреляция между содержанием алюминия в питьевой воде и болезнью Альцгеймера. Отмечено, что риск возникновения деменции с возрастом выше у лиц, проживающих в регионах, где концентрации алюминия в питьевой воде превышали $0,05 \text{ мг/дм}^3$. Даже при низких уровнях поступления алюминий накапливается в организме человека и больше из него не выводится даже при смене места жительства. Биодоступность алюминия, поступающего с питьевой водой, выше, чем при поступлении из других источников. В России ПДК для питьевой воды $0,2 \text{ мг/дм}^3$ (СанПиН 1.2.3685-21). Кларк алюминия в речной воде составляет 50 мкг/дм^3 [Гордеев, 1983].

На рисунке 1 приведены карты распределения алюминия и мышьяка в поверхностных водах Эльбрусского вулканического центра. При построении карт (рис. 1, 2)

был использован принцип сравнения концентраций со среднемировым уровнем их содержания, кларками речной воды [Гордеев, 1983]. Установлены следующие градации кларков концентраций: пониженный уровень содержания при значении концентрации менее половины кларка; фоновый – от 0,5 до 2 кларков; слабо повышенный составляет 2-5 кларков; повышенный соответствует 5-10 кларкам; высокий от 10 до 50 кларков и экстремальный более 50 кларков.

В Эльбрусском вулканическом центре концентрации алюминия выше кларкового содержания отмечались в 73 створах из 105 (87,6%). В верховьях бассейна р. Кубань (Западное Приэльбрусье) в 19 створах (51,3%) концентрации алюминия превышали кларковые значения. Это бассейн р. Уллухурзук – самые верховья бассейна р. Кубань. В западной части Приэльбрусья расположены пять изолированных разновозрастных вулканических центров (рис. 1А). Предполагается, что все эти пять изолированных выходов вулканитов отвечают самостоятельным центрам извержений, не связанных с Эльбрусом [Короновский, Мышенкова, 2016]. Наиболее обогащен алюминием бассейн р. Уллухурзук. Максимальные превышения более чем в 10 раз выявлены в районе р. Битиктебе, являющейся правым притоком р. Уллухурзук. Бассейн именно этой реки расположен в непосредственной близости от одного из пяти центров извержения флюидолитов, который находится в верховьях долины Битиктебе и располагается на ее правом склоне (рис. 1А). Максимальные концентрации алюминия 1756 и 1500 мкг/дм³ выявлены в двух родниках (рН=6,2 и 7,7 соответственно). Также высокие концентрации этого элемента 860 и 681 мкг/дм³ характерны для трех ручьев, впадающих в р. Битиктебе и Уллухурзук (рН 7,2 и 8,1 соответственно). Все это приводит к повышению концентраций алюминия в самой р. Битиктебе (926,8 мкг/дм³, рН=7,9) и р. Уллухурзук (496,7 мкг/дм³, рН 7,0-7,9).

Верховья р. Малка (Северное Приэльбрусье) это также район четвертичного вулканизма (рис. 1А). В 19 пунктах из 21 (90,4%) концентрации этого элемента превышали кларковые значения, а в 9 пунктах и ПДК для питьевой воды концентрации 200 мкг/дм³. Содержание алюминия в них варьировало в пределах 209,5-316,0 мкг/дм³. Все створы с высоким содержанием алюминия приурочены к самым верховьям бассейна реки Малка – поляне Эммануэля и Джилы-Су. Значения рН колебались в пределах 6,9-7,5.

Концентрации алюминия в поверхностных водах бассейна р. Баксан в 35 створах (74,4%) превышали кларковые значения. Наиболее высокие концентрации более 500 мкг/дм³ характерны для истока р. Баксан и р. Гарабаши (2 пункта). Обогащен алюминием бассейн р. Терскол с ее притоками (9 пунктов), а также сама р. Баксан. Значения рН для всех указанных створов варьируют в пределах 6,3–7,5. Все перечисленные реки стекают непосредственно со склонов Эльбруса. Четко прослеживается снижение концентраций вниз по течению самой р. Баксан, а также в ее притоках и родниках по мере удаления от истоков.

В гляциальных потоках ледника Гарабаши концентрации алюминия варьируют в пределах 50-80 мкг/дм³, а в самой р. Гарабаши составляют уже 531 мкг/дм³. Это свидетельствует о том, что основным источником поступления алюминия в поверхностные воды этого региона являются горные породы, а не атмосферные выпадения.

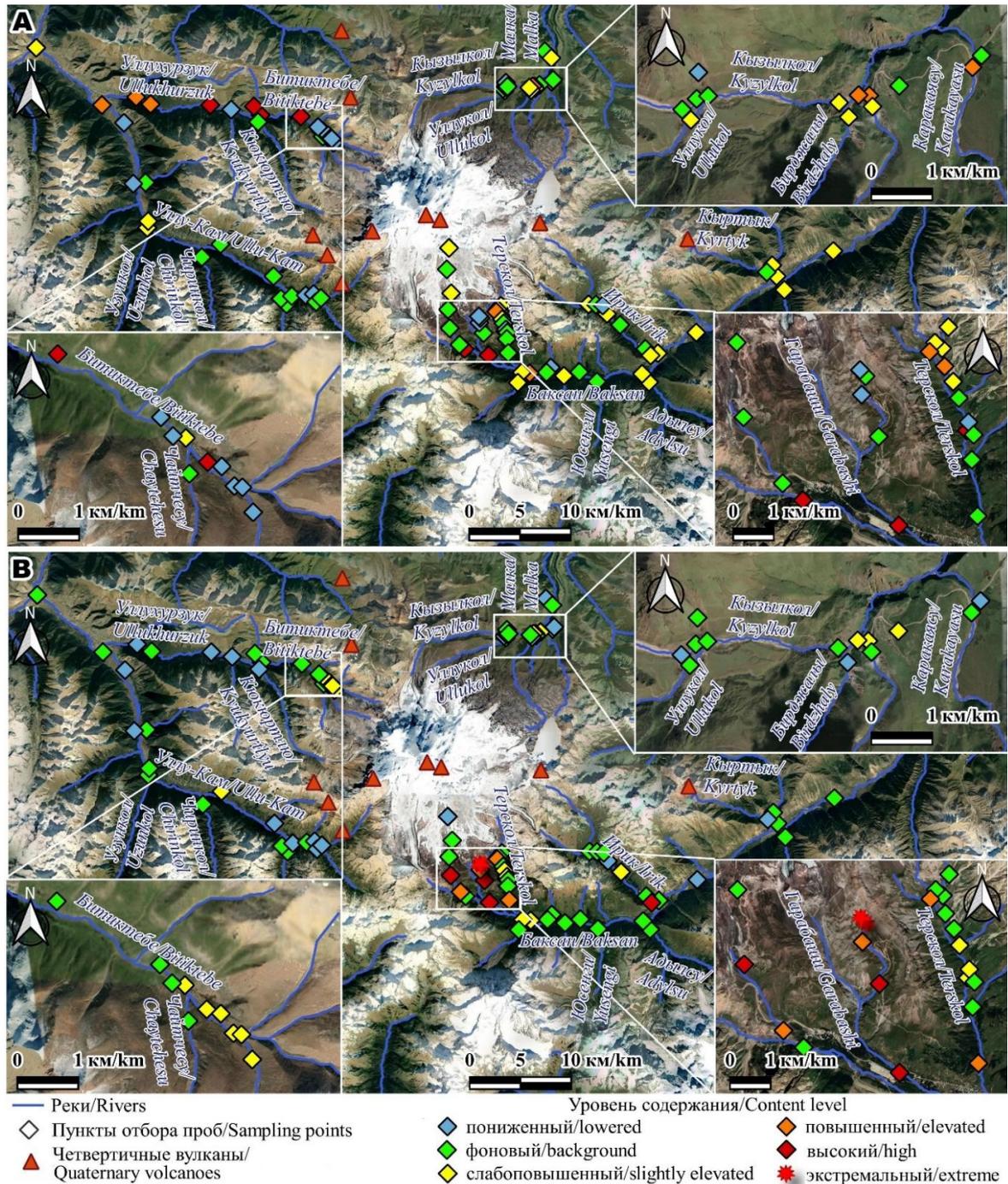


Рис. 1. Уровни содержания алюминия (А) и мышьяка (В) в поверхностных водах Эльбурского вулканического центра /

Fig. 1. Levels of aluminum (A) and arsenic (B) in the surface waters of the Elbrus Volcanic Center

В бассейне р. Терек (Казбекский вулканический центр, рис. 2А) в 17 пунктах из 42 (40,4%) концентрации алюминия превышали кларковые значения. Наибольшие концентрации отмечены в двух левых притоках р. Льядон, расположенных в пос. Ецна ($247,7 \text{ мкг/дм}^3$, $\text{pH}=8,1$) и пос. Сахсат ($420,2 \text{ мкг/дм}^3$, $\text{pH}=8,0$). Несколько большие концентрации отмечены в водах ледниковых рек Терек и Ардон. Также сравнительно более высокие концентрации алюминия отмечены в родниках бассейна р. Геналдон.

В бассейне р. Большая Лиахви (Кельское нагорье, рис. 2А) в 8 пунктах из 20 (40,0%) содержание алюминия в поверхностных водах превышало кларковые значения. Наибольшая концентрация отмечалась в р. Каласанидон, где она составила 392,2 мкг/дм³ (рН=7,4).

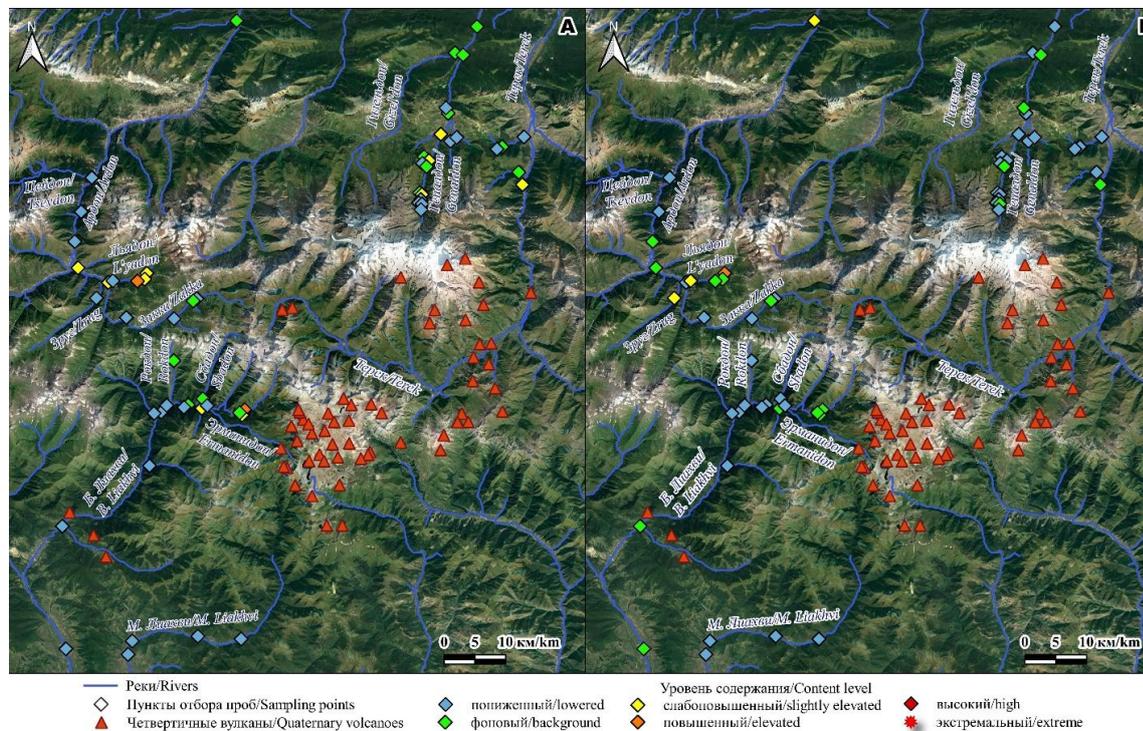


Рис. 2. Уровни содержания алюминия (А) и мышьяка (В) в поверхностных водах Казбекского вулканического центра /

Fig. 2. Levels of aluminum (A) and arsenic (B) in the surface waters of the Kazbek Volcanic Center

Таким образом, поверхностные воды Казбекского вулканического центра обесчелены алюминием по сравнению с ЭВЦ (рис. 1А, 2А). Всего в 25 пунктах из 62 (40,3%) они не более чем в два раза превышали кларковые значения. Скорее всего, это связано с целым комплексом факторов. В частности, с различиями в особенностях вулканизма – в ЭВЦ в лавы поступало верхнекоровое вещество, а в Казбекском – глубинные мантийные магмы. В ЭВЦ преобладают умеренно-кислые образования, а на более ранних этапах магматизма доминировали кислые. В Казбекском – основные базальты. Растворимость соединений алюминия уменьшается с увеличением рН. В ЭВЦ воды нейтральные, а в верховьях, где отмечены самые высокие концентрации алюминия, слабокислые, в Казбекском – слабощелочные. Миграционная активность алюминия заметно увеличивается даже при изменении рН в небольших пределах, и уже при достижении значений рН=6,6 содержание алюминия в речных водах превышает ПДКрыб.хоз. (Савенко, Савенко, 2018б). В районе Казбекского вулканического центра, по-видимому, происходит иммобилизация алюминия на геохимическом барьере из-за более широко распространенных карбонатных осадочных пород (Савенко, Савенко, 2018а).

Мышьяк. Является одним из самых токсичных элементов для всех групп живых организмов. По данным ВОЗ он вызывает как канцерогенные, так и неканцерогенные заболевания. Концентрации мышьяка в питьевой воде ≥ 50 мкг/дм³ являются

причиной возникновения рака легких, печени, почек, мочевого пузыря и кожи. Наличие мышьяка в питьевой воде в концентрациях ≥ 5 мкг/дм³ приводит к снижению IQ у детей и наличию мышьяковой нейропатии у взрослых. ПДК для питьевой воды составляет 10 мкг/дм³, кларк для речной воды 2 мкг/дм³.

В ЭВЦ концентрации мышьяка, превышающие кларковые значения, отмечены в 51 створе (48,6%). Содержание мышьяка в поверхностных водах верховий р. Кубань в 14 створах из 37 превышало кларковые значения (рис. 1В). Причем пять из этих створов родники. Еще три водотока с повышенным содержанием мышьяка – р. Битиктебе, ее исток и поток с перевала Пали-Баши – берут свое начало со склонов Эльбруса. В верховьях бассейна р. Малка содержание мышьяка более чем в половине створов было ниже кларковых значений (рис. 1В). Более высокие концентрации характерны для ряда источников, расположенных в самых верховьях реки, и для небольших рек, расположенных в том же районе.

В верховьях бассейна р. Баксан в 32 створах (86,5%) концентрации мышьяка выше кларковых значений, что указывает на обогащение поверхностных вод этого региона мышьяком (рис. 1В). Очень высокие концентрации до 8 ПДК для питьевой воды характерны для р. Гарабаши и водопада Девичьи косы (южные склоны Эльбруса), являющихся популярными рекреационными объектами. Чрезвычайно высокие концентрации мышьяка до 23 ПДК обнаружены в истоках водопада Девичьи косы, имеющих подземное происхождение. В водопаде Азау и водопаде Терскол концентрации мышьяка достигают 15,31 и 31,52 мкг/дм³ соответственно. Также высокие концентрации мышьяка характерны для родника (14,01 мкг/дм³), расположенного в бассейне р. Терскол. Все это приводит к повышенному содержанию мышьяка в водах верховий р. Баксан. В талых водах языка ледника Гарабаши средняя концентрация мышьяка невысокая, не превышает 2 мкг/дм³. Эти концентрации значительно ниже тех, которые характерны для водотоков, стекающих с южных склонов Эльбруса. Следовательно, обогащение этих вод связано не с атмосферными выпадениями.

В Казбекском вулканическом центре в верховьях бассейна р. Терек концентрации мышьяка оказались очень низкими, в основном не превышали 1 мкг/дм³, что значительно ниже кларковых значений (рис. 2В). Только в водах р. Ардон (6,60 мкг/дм³ и 6,37 мкг/дм³) и двух ее притоков (р. Льядон – 8,23 и 10,00 мкг/дм³) концентрации этого элемента значительно выше, что может быть связано с наличием множественных месторождений и проявлений металлических руд различных рангов.

Концентрации мышьяка в районе Кельского нагорья крайне низкие и варьируют в пределах 0,2-1,99 мкг/дм³, что в 1,1-10 раз ниже кларковых значений (рис. 2В). Только в источнике Багиат они составляют 4 ПДК для питьевой воды.

Таким образом, концентрации мышьяка в водах ЭВЦ (особенно в Южном Приэльбрусье) значительно выше, чем в Казбекском (рис. 1В, 2В). Это связано с наличием геохимических аномалий, а именно рудопоявление Азау мышьяковое, расположенное в двух километрах выше пос. Терскол. Оно представлено тремя рудными зонами: Северной, Центральной и Восточной. По данным Объяснительной записки к Государственной геологической карте содержание мышьяка в этих зонах достигает 9,52-10%. Основные рудные минералы – реальгар и аурипигмент, образующиеся при вулканических извержениях. Для жителей, получающих питьевую воду из скважин, расположенных у южного подножия Эльбруса, канцерогенный риск для взрослых составил $4,51 \times 10^{-4}$, который неприемлем для населения в целом.

Неканцерогенный риск составил 1,00 – риск предельно допустимый, вызывающий беспокойство [Reutova et al., 2023]. В Казбекском вулканическом центре подобных аномалий нет. Влияние наличия геохимических аномалий на компоненты ландшафтов отмечали и другие авторы [Парада, 2018].

Выводы

1. Поверхностные воды Эльбрусского вулканического центра являются более кислыми по сравнению с водами Казбекского вулканического центра, что связано с особенностями формирования горных пород. Вулканиды Казбекского центра являются производными основных мантийных магм, а в Эльбрусском вулканическом центре преобладают умеренно-кислые образования, на более ранних этапах магматизма доминировали кислые.

2. В ЭВЦ содержание алюминия в поверхностных водах выше, чем в Казбекском, что, по-видимому, связано с особенностями вулканизма в этих областях. В районе Казбекского вулканического центра, по-видимому, происходит иммобилизация алюминия на геохимическом барьере из-за более широко распространенных здесь карбонатных осадочных пород.

3. Обогащение поверхностных вод ЭВЦ мышьяком связано с наличием геохимических аномалий, образовавшихся в результате вулканической деятельности. Концентрации мышьяка в питьевой воде могут угрожать здоровью населения, но не туристов, кратковременно пребывающих в данном районе Южного Приэльбрусья. В Казбекском вулканическом центре таких аномалий нет и концентрации мышьяка в поверхностных водах в основном ниже кларковых значений для речных вод.

Литература

1. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М: Наука, – 1983. 160 с.
2. Гурбанов А.Г., Винокуров С.Ф., Газеев В.М., Лексин А.Б., Лолаев А.Б., Дзэбоев С.О., Оганесян А.Х., Цуканова Л.Е., Гурбанова О.А. Содержание макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках в районе деятельности Садонского свинцово-цинкового комбината (Республика Северная Осетия-Алания, РФ). // Вестник Владикавказского научного центра. – 2016. – Т. 16. № 2. – С. 42–54.
3. Короновский Н.В., Демина Л.И., Мышенкова М.С. Флюидолиты северного Приэльбрусья. // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2011. – № 1. – С. 8–14.
4. Короновский Н.В., Мышенкова М.С., Брянцева Г.В. Вулкан Эльбрус, Северный Кавказ. // Жизнь Земли. – 2015. – Т. 37. – С. 12–20.
5. Короновский Н.В., Мышенкова М.С. Строение западного склона вулкана Эльбрус и Приэльбрусья. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 2. – С. 60–73.
6. Лебедев В.А., Вашакидзе Г.Т. Четвертичные вулканы Большого Кавказа и их каталогизация на основе геохронологических, вулканологических и изотопно-геохимических данных. // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 2. – С. 29–45. DOI: 10.7868/S0203030614020047.
7. Оказова З.П., Катаева М.В. Изменение удельного комбинаторного индекса загрязненности воды реки Терек Республики Северная Осетия-Алания. // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 12. – С. 150–154.
8. Парада С.Г. Закономерности размещения цветных и благородных металлов в пределах Малкинского ультрабазитового массива (Кабардино-Балкарская Республика). // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – № 1. – С. 69–78.
9. Парфенов А.В., Лебедев В.А., Чернышев И.В., Вашакидзе Г.Т., Якушев А.И., Гольцман Ю.В., Чугаев А.В., Олейникова Т.И., Канунникова Е.М., Габарашвили К.А. Петроло-

го-геохимические характеристики лав, источники и эволюция магматических расплавов Казбекского неовулканического центра (Большой Кавказ). // *Петрология*. – 2019. – Т. 27. № 6. – С. 658–689. DOI: 10.31857/S0869-5903276658-689.

10. Савенко А.В., Савенко В.С. Иммобилизация алюминия на карбонатном геохимическом барьере. // *Наукоемкие технологии*. – 2018а – Т. 19. № 1. – С. 44–47.

11. Савенко А.В., Савенко В.С. Кислотная мобилизация алюминия из минералов и горных пород. // *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. – 2018б. – № 5. – С. 79–83.

12. Чернышев И.В., Бубнов С.Н., Лебедев В.А., Гольцман Ю.В., Байрова Э.Д., Якушев А.И. Два этапа эксплозивного вулканизма Приэльбрусья: геохронология, петрохимические и изотопно-геохимические характеристики вулканитов и их роль в неоген-четвертичной истории Большого Кавказа. // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. – 2014. – Т. 22. № 1. – С. 100–130.

13. Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Degtyarev A.P., Danilova V.N., Gulyaeva U.A., Dogadkin D.N. Formation of Biogeochemical Anomalies in the Baksan River Basin. // *Geochemistry International*. – 2020. – Vol. 58. – No. 10. – pp. 1097–1109. DOI: 10.1134/S0016702920100067.

14. 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. DOI: 10.1134/S1070363218130091.

15. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Khutuev A.M. Arsenic in Surface Waters in the Central Part of the North Caucasus and Correspondent Health Risk Assessment. // *Geography, Environment, Sustainability* – 2023. – Vol. 4. No. 16. – pp. 52–62. DOI: 10.24057/2071-9388-2023-2748.

References

1. Gordeev V.V. River flow into the ocean and the features of its geochemistry. Moscow. Nauka. 1983. 60 p. (In Russ.)

2. Gurbanov A.G., Vinokurov S.F., Gazeev V.M., Laksin A.B., Lolaev A.B., Dzeboev S.O., Oganessian A.H., Tsukanova L.E., Gurbanova O.A. The content of macro- and microelements in surface watercourses in the area of activity of the Sadon lead-zinc industrial complex (Republic of North Ossetia-Alania, Russian Federation). *Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center*. 2016. Vol. 16. No. 2. pp. 42–54. (In Russ.)

3. Koronovsky N.V., Demina L.I., Myshenkova M.S. Fluidolites of the northern Elbrus region. *Bulletin of the Moscow University. Series 4: Geology*. 2011. No. 1. pp. 8–14. (In Russ.)

4. Koronovsky N.V., Myshenkova M.S., Bryantseva G.V. Volcano Elbrus, North Caucasus. *Zhizn Zemli (Life of the Earth)*. 2015. Vol. 37. pp. 12–20. (In Russ.)

5. Koronovsky N.V., Myshenkova M.S. Geological feature of the western slope of the Elbrus volcano and Prielbrusye. *Geology and geophysics of Russian South*. 2016. No. 2. pp. 60–73. (In Russ.)

6. Lebedev V.A., Vashakidze G.T. Quaternary volcanoes of the Greater Caucasus and their cataloging based on geochronological, volcanological and isotope-geochemical data. *Volcanology and Seismology*. 2014. No. 2. pp. 29–45. DOI: 10.7868/S0203030614020047 (In Russ.)

7. Okazova Z.P., Kataeva M.V. Change in the specific combinatorial index of water pollution of the Terek River of the Republic of North Ossetia-Alania. *Advances in current natural sciences*. 2015. No. 12. pp. 150–154. (In Russ.)

8. Parada S.G. Density regularities of the colored and noble metals in the borders of the Malkin ultrabasic massive (Kabardino-Balkarian Republic). *Geology and geophysics of Russian South*. 2018. No. 1. pp. 69–78. (In Russ.)

9. Parfenov A.V., Lebedev V.A., Chernyshev I.V., Vashakidze G.T., Yakushev A.I., Goltsman Yu.V., Chugaev A.V., Oleinikova T.I., Kanunnikova E.M., Gabarashvili K.A. Petrological-

geochemical characteristics of lavas, sources and evolution of magmatic melts of the Kazbek neovolcanic center (Greater Caucasus). *Petrology*. 2019. Vol. 27. No. 6. pp. 658–689. DOI: 10.31857/S0869-5903276658-689 (In Russ.)

10. Savenko A.V., Savenko V.S. Immobilization of aluminum at the carbonate geochemical barrier. *High-tech technologies*. 2018. Vol. 19. No. 1. pp. 44–47. (In Russ.)

11. Savenko A.V., Savenko V.S. Acid mobilization of aluminum from minerals and rocks. *Moscow University Geology Bulletin*. 2018. No. 5. pp. 79–83. (In Russ.)

12. Chernyshev I.V., Bubnov S.N., Lebedev V.A., Goltsman Yu.V., Bairova E.D., Yakushev A.I. Two stages of explosive volcanism of the Elbrus region: geochronology, petrochemical and isotope-geochemical characteristics of volcanites and their role in the Neogene-Quaternary history of the Greater Caucasus. *Stratigraphy. Geological correlation*. 2014. Vol. 14. No. 1. pp. 100–130. (In Russ.)

13. Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Degtyarev A.P., Danilova V.N., Gulyaeva U.A., Dogadkin D.N. Formation of Biogeochemical Anomalies in the Baksan River Basin. *Geochemistry International*. 2020. Vol. 58. No. 10. pp. 1097–1109. DOI: 10.1134/S0016702920100067.

14. 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. DOI: 10.1134/S1070363218130091.

15. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Khutuev A.M. Arsenic In Surface Waters In The Central Part Of The North Caucasus And Correspondent Health Risk Assessment. *Geography, Environment, Sustainability*. 2023. Vol. 4. No. 16. pp. 52–62. DOI: 10.24057/2071-9388-2023-2748.