

Формирование химического состава р. Камчатка под влиянием вулканических процессов

Калачева Е.Г., Волошина Е.В., Долгая А.А., Мельников Д.В.

Formation of the chemical composition of the Kamchatka River under the influence of volcanic processes

Kalacheva E.G., Voloshina E.V., Dolgaya A.A., Melnikov D.V.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: keg@kscnet.ru

Рассмотрен общий химический состав р. Камчатка на разных участках. Оценен вклад продуктов вулканической деятельности в формирование гидрохимии реки. Дается количественная оценка выноса растворенного вещества из р. Камчатка в Камчатский залив Тихого океана.

Река Камчатка – главная водная артерия Камчатского полуострова (рис. 1). Ее протяженность составляет 758 км, площадь водосбора оценивается в 55 900 км², средний многолетний расход в устье – 924 м³/с. [3]. Она формируется двумя истоками на восточном склоне Срединного хребта и предгорьях Восточного вулканического пояса. В среднем течении река огибает с западной и северной стороны Ключевскую группу вулканов, принимая воды всех постоянных и временных (сухих) рек, дренирующих склоны самых активных вулканов полуострова, а затем впадает в Камчатский залив Тихого океана в 2 км ниже пгт. Усть-Камчатск.

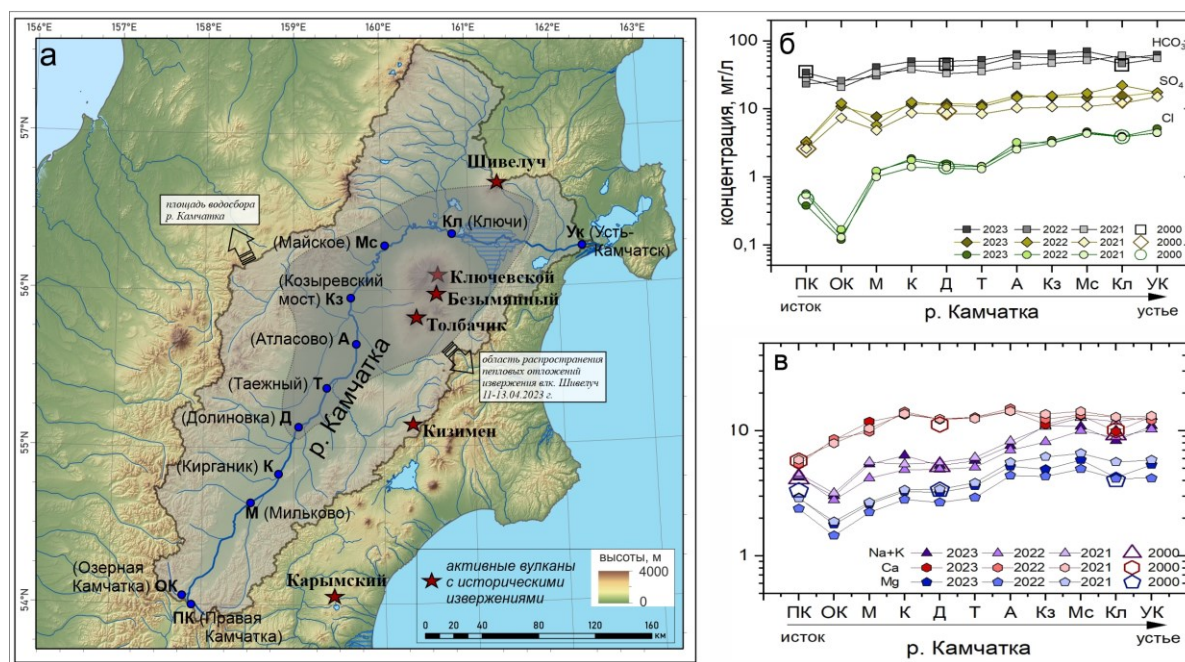


Рис. 1. Долина р. Камчатка с точками отбора водных проб (а). Изменение химического состава вдоль русла от истоков до устья: б) анионы, в) катионы.

Макрокомпонентный состав. Химический состав реки Камчатка изучается на протяжении 70 лет на нескольких гидропостах Камчатского УГМС от истока (р. Озерная Камчатка) до пос. Ключи. Опубликованные данные касаются преимущественно 1960-х гг. [1, 3]. В ходе экспедиционных работ 2021-2023 гг. нами опробована р. Камчатка от истоков до устья на ключевых участках, определяющих основные факторы формирования химического состава реки (рис. 1). Трехгодичные наблюдения в межень показали, что во всех точках опробования ее воды являются пресными, с минерализацией менее 150 мг/л и содержанием диоксида кремния 20-25 мг/л. На всем протяжении вода реки имеет близнейтральный

pH (6.4-7.5), относится к гидрокарбонатному кальциевому типу. В верхнем течении река Камчатка характеризуется низкой минерализацией, не превышающей 80 мг/л (р. Правая Камчатка) и 60 мг/л (р. Озерная Камчатка). Ниже с. Мильково, за счет впадения левых притоков (р. Кирганик и р. Большая Кимитина), минерализация увеличивается до 100 мг/л и (на фоне постепенного повышения расхода) остается достаточно постоянной до с. Таежный. После поступления с правой стороны вод р. Шапина, дренирующей очаги разгрузки одноименной крупной гидротермальной системы, а также рек Толбачик и Студенка, формирующихся на склонах активных вулканов Ключевской группы, количество растворенных солей увеличивается до 140-145 мг/л (по измерениям в с. Майское). После впадения самого крупного притока р. Еловка, характеризующейся крайне низким количеством растворенных солей, а также ряда других рек Срединного хребта, минерализация снижается. В районе пос. Ключи эта величина в водах р. Камчатка в среднем составляет 120 мг/л. В нижнем течении наблюдается некоторый рост минерализации, поставщиком минеральной компоненты служит преимущественно р. Большая Хапица, основной сток которой формируется на восточном склоне Ключевской группы вулканов.

По данным трехлетнего опробования, поэлементное распределение содержания макрокомпонентов в воде реки от истока до устья показывает хорошую сходимость (рис. 1). На графики дополнительно вынесены данные опробования в отдельных пунктах по литературным данным [4]. Эти точки также ложатся на полученные кривые, подтверждая постоянство химического состава воды реки на отдельных участках. Минимальными концентрациями ионов хлора, натрия и магния отличается один из истоков реки – р. Озерная Камчатка. Вместе с тем, в этом водотоке определены достаточно высокие концентрации SO_4^{2-} и Ca^{2+} , что может указывать на наличие выходов сульфатных подземных вод в верховьях реки. После слияния истоков в воде реки наблюдается плавный рост содержания гидрокарбонат- и сульфат-ионов. Более резкий рост выявляется в отношении Cl^- : если в верхнем течении концентрация этого элемента держалась на уровне 1 мг/л, то к устью она возрастает в 5-6 раз. На фоне многократного увеличения расхода можно говорить о значительном поступлении этого элемента в воду в среднем и нижнем течении. В катионной части наблюдается вариативность в распределении содержания отдельных элементов вдоль русла, связанная как с увеличением поступления породообразующих элементов с водотоками, дренирующими продукты современных извержений, так и с последующим разубоживанием более низкоминерализованными водами. В целом, прослеживается тренд к постоянному увеличению катионов, наиболее ярко всплеск проявляется в отношении щелочных элементов (Na+K) на участке, где река огибает Ключевскую группу вулканов.

Влияние извержения вулкана Шивелуч 11-13.04.2023 г. на гидрохимию реки. 11-13.04.2023 г. произошло эксплозивное извержение вулкана Шивелуч, в результате которого был разрушен лавовый купол вулкана [2]. Пепловая колонна поднялась до высоты 16-18 км над уровнем моря. Наиболее пострадавшими от пеплопадов оказались пос. Ключи, с. Майское, пос. Козыревск. В пос. Ключи мощность выпавшего пепла составила 8.5-11 см. Общая площадь территорий, подвергшихся пеплопаду, составляет 22 тыс. км². На карте полуострова (рис. 1) показаны границы распространения пепловых отложений, полученные на основе интерпретации спутниковых снимков.

Несмотря на масштабы произошедшего события, исходя из полученных данных по химическому составу р. Камчатка в разные годы, можно сделать вывод, что извержение вулкана Шивелуч не оказало какого-либо значимого влияния на химический состав главной водной артерии Камчатки. Содержания макрокомпонентов на всех участках реки, включая территории, подвергшиеся пеплопаду, находятся на среднестатистическом уровне. Значения остаются постоянными не только в период наших наблюдений (2021-2023 гг.), но и близки к данным опробования 2000 г. Это дает

возможность предположить, что извержения, произошедшие за этот период, также не сказались на геохимии реки. Вместе с тем, следует отметить, что свежевыпавший пепел содержит до 20 % водорастворимых комплексов. Водные вытяжки, полученные из пепла навеской 100 г, имеют сульфатно-хлоридный кальциевый состав с рН ~4 и минерализацией до 1.3 г/л. Переход основной массы компонентов в раствор при лабораторных исследованиях осуществляется в первые сутки. Натурные наблюдения выявили, что в пепловых отложениях спустя 4 месяца после извержения практически нет водорастворимых комплексов. Следовательно, учитывая выявленное обогащение рядом макрокомпонентов воды реки в районе Северной группы вулканов, наиболее вероятным сценарием воздействия продуктов извержения на состав речных вод является не прямое поступление пеплов в русло реки, а отсроченное влияние через подземные воды. Фильтрующиеся сквозь свежевыпавший пепел атмосферные осадки обогащаются минеральными компонентами и «заражают» подземные воды. В окрестностях пос. Ключи находится большое количество холодных ($T=4.7-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) источников гидрокарбонатного натриевого состава с минерализацией до 400 мг/л и рН=7.3. Все они обогащены хлор- и сульфат-ионами (до 40 и 80 мг/л, соответственно) и по соотношениям макрокатионов близки к составу водных вытяжек и вод «сухих» рек, распространенных на склонах вулкана Шивелуч.

Сток растворенных веществ в Камчатский залив. На основании данных измерений 2022 г., включая гидрохимическое опробование и гидрометрические работы, был рассчитан годовой сток растворенного вещества с водосборной площади р. Камчатка.

Ежегодно в Камчатский залив Тихого океана с водами р. Камчатка выносятся около 4 мегатонн растворенного вещества (рис. 2). Практически 85 % от общего объема поступает в водоток с поверхностными и грунтовыми водами в районе Ключевской группы вулканов. Распределение по отдельным элементам носит поступательный характер, увеличиваясь от истоков к устью. Наиболее ярко это выражается в количественных оценках летучих и породообразующих элементов.

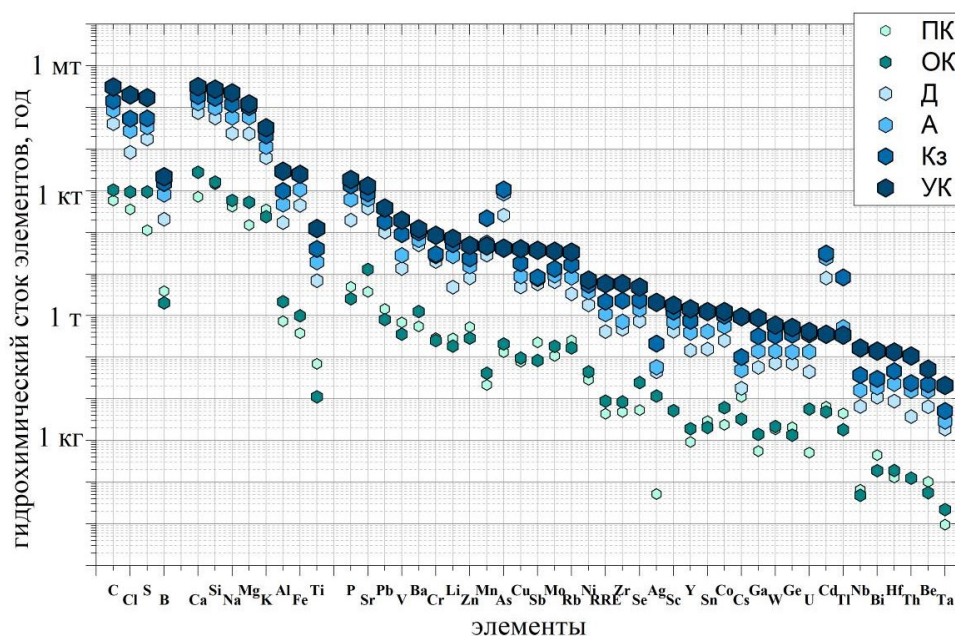


Рис. 2. Годовой элементный сток по руслу р. Камчатка на отдельных участках. Шифр проб – см. рис. 1.

Ежегодный объем основных анионогенных элементов (Cl, S и C), поступающих из р. Камчатка в Камчатский залив, составляет ~200, ~170 и ~310 Кт, соответственно. Количество бора на два порядка ниже – 2.2 Кт/год. Ежегодно в Камчатский залив

поступает ~1 Мт породообразующих элементов. Сравнение данных на разных участках показывает, что в верхнем и среднем течении катионами река Камчатка обогащается только на 20 % от общего объема выносимого растворенного вещества. Еще 40 % она набирает на участке Долиновка – Козыревский мост, остальные 40 % приходятся на нижнее течение. Индивидуальные потоки основных породообразующих элементов (Fe, Al, Na, Mg, Ca, K, Si) находятся в диапазоне от 32 Кт/год (K) до 315 Кт/год (Ca).

Количество выносимых рекой микроэлементов составляет ~4.3 Кт/год, из них 3.3 килотонны (75 % от общего объема) приобретает на Ключевском участке. Больше всего в Камчатский залив выносятся фосфора и стронция (1.9 и 1.3 Кт/год, соответственно). На участке Атласово – Козыревский мост в реке наблюдаются аномально высокие объемы мышьяка (1.3 Кт/год), тогда как сквозь створ в нижнем течении проходит только 40 т/год. Больше ста тонн свинца, ванадия и бария ежегодно поступает в Тихий океан с водами р. Камчатка, хрома и лития – по ~80 тонн, цинка, марганца, меди, молибдена – по ~40 тонн. Количество редкоземельных элементов, никеля, селена – от 4 до 7 тонн.

Заключение

Состав р. Камчатка остается неизменным уже более 70 лет. Вода ее пресная (минерализация менее 150 мг/л), относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу. Ежегодно в Камчатский залив Тихого океана с водами р. Камчатка выносятся около 4 Мт растворенного вещества. Распределение по отдельным элементам носит поступательный характер, увеличиваясь от истоков к устью.

Быстрого отклика в гидрохимии р. Камчатка на происходящие вулканические события не наблюдается. Водосборная площадь реки многократно превышает площадь построек активных вулканов и территории, на которой происходит оседание пеплов. Однако высокие фильтрационные свойства слагающих долину пород способствуют фильтрации атмосферных осадков, обогащенных за счет взаимодействия со свежими продуктами извержений сульфатными и хлоридными комплексами. «Зараженные» подземные воды разгружаются вблизи реки и могут привносить дополнительные растворенные элементы в реку. Скорость фильтрации, объемы поступления таких вод, временной отклик на события пока остается сложным и нерешаемым вопросом. Северная группа вулканов – самая активная на Камчатке. Извержения вулканов Ключевской, Безымянный и Шивелуч происходят ежегодно, иногда одно за другим. Для получения маркеров, с помощью которых можно было бы определить отклик на то или иное событие, необходимы длительные ряды наблюдения за химическим составом воды в р. Камчатка, расширенная сеть наблюдений на ее притоках, режимные наблюдения на «сухих» реках и постоянный контроль качества подземных вод, разгружающихся в ее долине.

Список литературы

1. Агафонова К.Г. Гидрохимический режим рек Камчатки // Вопросы географии Камчатки. 1964. Вып. 2. С. 46-55.
2. Гирина О.А., Лупян Е.А., Хорват А. и др. Анализ развития пароксизмального извержения вулкана Шивелуч 10-13 апреля 2023 года на основе данных различных спутниковых систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 2. С. 283-291. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-2-283-291>
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 20. Камчатка / Отв. ред. М.Г. Васьковский. Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. 367 с.
4. Dessert C., Gaillardet J., Dupre B. et al. Fluxes of high-versus low-temperature water-rock interactions in aerial volcanic areas: Example from the Kamchatka Peninsula, Russia // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2009. V. 73. P. 148-169. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.09.012>