

Влияние вулканизма на гидролого-геохимические показатели в речных бассейнах в современных климатических условиях

Кобыльченко (Куксина) Л.В.^{1,2}

The influence of volcanism on hydrological and geochemical conditions in river basins in the current climate conditions

Kobylchenko (Kuksina) L.V.

¹ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, г. Москва;*

e-mail: ludmilakuksina@gmail.com

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

Рассмотрены примеры влияния вулканических извержений на компоненты природной среды. Выполнено обобщение сведений о гидролого-геохимической обстановке в бассейне р. Камчатка в современных климатических условиях.

Вулканические извержения оказывают значительное, а порой определяющее воздействие на параметры природной среды, включая характеристики почвенно-растительного покрова, атмосферного воздуха и осадков, гидрологических объектов. Это воздействие может осуществляться как прямым, так и косвенным путем в различных пространственно-временных масштабах. В условиях текущих климатических изменений это влияние может носить неоднозначный характер.

Вулканические извержения способны провоцировать глобальное сокращение количества осадков, причем над океаном ощутимый отклик сохраняется на протяжении 5 лет после извержения, а над сушей – порядка 3 лет [13], что в свою очередь сказывается на перераспределении стока воды [12]. Это подтверждается результатами экспериментов, согласно которым, вулканические извержения приводят к заметному сокращению речного стока на севере Южной Америки, в Центральной Африке, в высоких широтах Азии и во влажных тропиках и субтропиках и провоцируют его увеличение на юго-западе Северной Америки и юге Южной Америки [12].

Вулканические аэрозоли, микроэлементы и водорастворимые комплексы, сорбированные на поверхности пепловых частиц, оказывают влияние на геохимические характеристики водных объектов, включая собственно воду, а также состав донных отложений. Оценка концентрации микроэлементов в донных отложениях озер, расположенных в зоне воздействия вулканизма [11], показала, что минимальное или умеренное обогащение наблюдается в глубоких озерах ближе к вулканическим комплексам, в то время как значительное и высокое загрязнение характеризует мелкие озера на удалении от последних, причем концентрации ряда микроэлементов (As, Cr и Ni) оказались на уровне, опасном для жизнедеятельности донной биоты.

При оценке влияния вулканизма на качество природных вод необходимо также учитывать поступление большого количества пепловых частиц непосредственно в водные объекты и на поверхность речных водосборов, что способно существенно снизить качество воды и сделать ее непригодной для хозяйственно-бытового использования вследствие крайне высокой мутности, повышенной кислотности, загрязнения фторидами и др. [17].

В период вулканических извержений в атмосферу поступает огромное количество вулканических газов, включая CO₂, HF, CO, SO₂, H₂S, HCl, способных оказывать воздействие в радиусе десятков километров от центра извержения [16] и существенно влиять также и на состав атмосферных осадков [15].

В последние годы существенно возросло количество работ, посвященных исследованиям геохимических характеристик природных сред в районах воздействия активного вулканизма. В частности, такие работы выполнялись для территории полуострова Камчатка, где было показано, что почвы, растительность, донные

отложения и поверхностные воды вблизи действующих вулканов отличаются повышенным геохимическим фоном [2, 3, 6-8].

Исследования почвенного покрова в бассейне р. Камчатка показывают, что наиболее обогащенными химическими элементами являются почвы в среднем и нижнем течении, что обусловлено постоянным поступлением на поверхность продуктов вулканических извержений, где в состав приоритетных входят многие элементы, включая Mg, Cr, Ca, Co, Ni, Fe, V, Sc, Cu, Al и другие [3] (рисунок).

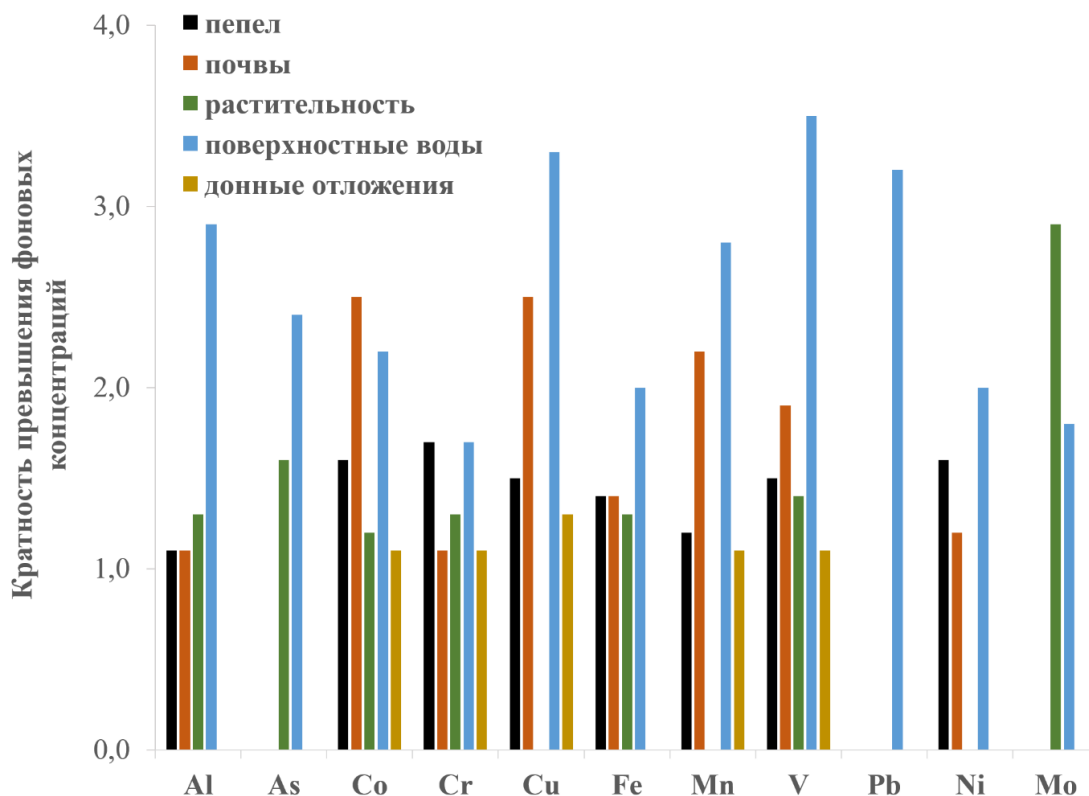


Рисунок. Превышение фоновых концентраций некоторых ТМ в различных компонентах природной среды в среднем и нижнем течении бассейна р. Камчатка.

Аналогичная ситуация характерна для растительного покрова в той части бассейна р. Камчатка, где в наибольшей степени сказывается питание растительности насыщенными специфическими микроэлементами водными растворами вследствие поступления продуктов извержений. Так, в состав приоритетных химических элементов в растениях входят Ca, Mg, Mn, P, Cu, Zn и Sr, что характерно также для пеплов и почвенного покрова территории [4].

Исследование состава донных отложений в бассейне р. Камчатка [5] показало повышенное содержание Zr, характерного также для почв района, а также вхождение в число приоритетных Ca и Mg, в максимальных количествах содержащихся в пеплах и почвах районов активного современного вулканизма. В число приоритетных входят и редкоземельные элементы (РЗЭ) (Yb, Lu, Tm, Er, Dy, Ho, Gd, Y, Sm, Eu, Pr), что также подтверждает связь с районами молодого вулканизма и снижением их концентраций при удалении от действующих вулканов [5].

Согласно выполненному исследованию химического состава поверхностных вод на территории полуострова Камчатка [8], наиболее богатым химическим составом (39 из 57 изученных компонент) характеризуются притоки р. Камчатка в среднем и нижнем течении, что связано с непосредственным воздействием вулканов Северной группы. Максимальные превышения по сравнению со средним содержанием элементов в речных водах установлены для V, Tb, La, Eu и Fe (рисунок). Ведущая роль активного вулканизма в формировании химического состава вод притоков р. Камчатка

подтверждается повышенным содержанием в составе приоритетных практически всех РЗЭ [8].

Последние работы по изучению состава природных вод р. Камчатка [6] показали, что основная масса микроэлементов в речные воды поступает также в районе Северной группы вулканов, причем наибольшая доля приходится на Р, Sr, As, Pb, V, Ba, Cr, Li, Zn, Mn, Cu, Mo [6], при этом по ряду микроэлементов (Al, V, Mn, Fe, Cu, Zn, As) наблюдается превышение величины ПДК (наибольшая величина превышения отличает содержание As) [7].

Сезонная изменчивость потоков биогенных веществ и органического углерода [9] указывает на непосредственную связь зафиксированных в течение 2023 г. экстремумов содержания органического и неорганического фосфора, растворенного органического углерода с воздействием извержения вулкана Шивелуч в апреле 2023 г.

В большинстве случаев транспорт поступающих в период извержений микроэлементов и водорастворимых комплексов происходит при участии воды. При этом доступность водных ресурсов и особенности их пространственно-временной изменчивости в условиях природы Камчатки определяются воздействием как климатических, так и эндогенных факторов.

Так, извержения вулканов могут служить ключевой причиной сезонного и многолетнего перераспределения стока, когда в бассейнах малых рек, в частности, дренирующих склоны активных вулканов, сокращение или уничтожение ледников и многолетних снежников в период мощных извержений может полностью лишать отдельные реки питания или существенно уменьшать его. При извержениях в зимне-весенний период, когда запасы снега на склонах вулканов достигают максимальных значений, напротив, может наблюдаться нехарактерное увеличение расходов воды, что, в частности, имело место во время извержения вулкана Безымянный в марте 1956 г. и привело к формированию мощных лахаров [1].

Последние исследования климатических изменений на Камчатке показывают, что рост среднегодовой температуры воздуха на полуострове составил 1.5 °С [10], причем наибольшие значения характеризуют, в том числе, бассейн р. Камчатка, где, согласно данным наблюдений на метеорологических постах в п. Долиновка и п. Ключи, средняя температура воздуха увеличилась на 1.6 °С за период с 1970 по 2015 гг. А увеличение повторяемости антициклонов в теплый период года в 2010-2020 гг. [14] провоцирует значительное усиление ледниковой абляции по сравнению с концом XX в., что в свою очередь способствует повышению стока рек горных районов. В то же время в ряде районов полуострова отмечается снижение количества осадков. Описываемые изменения оказывают значительное прямое и косвенное влияние на гидрологический режим водотоков и характеристики речного стока и таким образом влияют на растворение и транспорт химических веществ, как с жидким, так и с твердым стоком за счет увеличения (в горных районах) и снижения (на равнинах) поверхностного смыва частиц.

Таким образом, изменение климатических и гидрологических условий в совокупности с вулканическими извержениями на территории Камчатки способно воздействовать на транспорт твердых частиц и ассоциированных с ними водорастворимых комплексов.

Результаты исследования получены при финансовой поддержке проекта Правительства Российской Федерации, реализуемого в рамках Соглашения № 075-15-2025-008 от 27.02.2025 г. (анализ опубликованных данных по геохимии в бассейне р. Камчатка), и по теме НИР № FWME-2024-0009 (анализ климатических изменений в бассейне р. Камчатка).

Список литературы

1. Гориков Г.С., Богоявленская Г.Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения (1955-1963 гг.). М: Наука, 1965. 172 с.
2. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Сообщение 1. Геохимические особенности вулканических приповерхностных пеплов // Вулканология и сейсмология. 2019. № 2. С. 34-44. <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019440-51>
3. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Сообщение 2. Специфика формирования элементарного состава вулканических почв в холодных гумидных условиях // Вулканология и сейсмология. 2019. № 3. С. 25-33. <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019325-33>
4. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Сообщение 3. Элементарный состав растительности вулканических экосистем // Вулканология и сейсмология. 2019. № 4. С. 40-51. <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019440-51>
5. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Особенности геохимии донных отложений речной сети полуострова Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018. № 4. Вып. 40. С. 23-37.
6. Калачева Е.Г., Волошина Е.В., Долгая А.А. и др. Формирование химического состава р. Камчатка под влиянием вулканических процессов // Материалы XXVII конференции, посвященной Дню вулканолога 27-29 марта 2024 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2024. С. 284-287.
7. Калачева Е.Г., Долгая А.А., Волошина Е.В. Изучение эколого-геохимических характеристик поверхностных вод с применением геоинформационных технологий (на примере р. Камчатка) // Материалы XXVIII конференции, посвященной Дню вулканолога 24-29 марта 2025 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2025. С. 358-361.
8. Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.С. Гидрогеохимическое районирование речной сети Камчатки // Водные ресурсы. 2020. № 2. Т. 47. С. 182-195. <https://doi.org/10.31857/S0321059620020091>
9. Семкин П.Ю., Павлова Г.Ю., Лобанов В.Б. и др. Сезонная изменчивость биогенных элементов (P, N, Si, C) в реках Камчатка и Авача (п-ов Камчатка) в 2023 г. // Материалы XXVII конференции, посвященной Дню вулканолога 27-29 марта 2024 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2024. С. 325-328.
10. Шкаберда О.А. Современные тенденции изменения климата Камчатки. Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. Казань, 2015. 22 с.
11. Apestegui A., Juncos R., Daga R. et al. Trace element distribution and pollution status of surface sediments in lakes impacted by volcanic activity // Journal of Soils and Sediments. 2023. Is. 23. P. 1552-1567. <https://doi.org/10.1007/s11368-023-03429-7>
12. Iles C.E., Hegerl G.C. Systematic change in global patterns of streamflow following volcanic eruptions // Natural Geosciences. 2015. V. 8. Is. 11. P. 838-842. <https://doi.org/10.1038/ngeo2545>
13. Iles C.E., Hegerl G.C., Schurer A. et al. The effect of volcanic eruptions on global precipitation // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2013. V. 118. Is. 16. P. 8770-8786.
14. Korneva I.A., Toropov P.A., Muraviev A.Y. et al. Climatic factors affecting Kamchatka glacier recession // International Journal of Climatology. 2024. V. 44. Is. 2. P. 345-369. <https://doi.org/10.1002/joc.8328>
15. Stefánsson A., Stefánsdóttir G., Keller N.S. et al. Major impact of volcanic gases on the chemical composition of precipitation in Iceland during the 2014-2015 Holuhraun eruption // Journal of Geophysical Research: Atmosphere. 2017. V. 122. Is. 3. P. 1971-1982. <https://doi.org/10.1002/2015JD024093>
16. Stewart C., Damby D.E., Horwell C.J. et al. Volcanic air pollution and human health: recent advances and future directions // Bulletin of Volcanology. 2021. V. 84. Is. 11. <https://doi.org/10.1007/s00445-021-01513-9>
17. Stewart C., Johnston D.M., Leonard G.D. et al. Contamination of water supplies by volcanic ashfall: A literature review and simple impact modelling // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2006. V. 158. P. 296-306.