

Кинетика вымывания растворимых солей из пепла вулкана Шивелуч, апрельское извержение 2023 года

М.А. Назарова, А.В. Сергеева, А.А. Кузьмина, Е.В. Карташева, Д.О. Мартыненко

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия
anastavalers@gmail.com*

В результате пароксизмального эксплозивного извержения вулкана Шивелуч в апреле 2023 года, на дневную поверхность поступили большие объемы вулканического пепла, и близко расположенные к вулкану поселки оказались покрыты толстым слоем вулканического материала, вместе с которым на поверхность поступили растворимые соли. Для выяснения влияния пепла на качество питьевых вод поселков, оказавшихся в зоне пеплопада, были отобраны пробы пепла, исследован их состав, состав растворимой части. Для выяснения вопроса о длительности воздействия растворимых веществ пепла на водные ресурсы поселков были выполнены эксперименты по кинетике вымывания солей из него. Обнаружено немонотонное, но довольно быстрое промывание пепла, а в природе пиковые концентрации растворимых солей достигались в течение нескольких дней. В естественных условиях, толща пепла, промываемая метеорными водами, за весенне-летний сезон потеряла до 90% растворимых солей, и влияние пепла на водные ресурсы поселков снизилось.

Ключевые слова: Шивелуч, извержение вулкана, вулканический пепел, Камчатка, сульфаты, хлориды, водные ресурсы

Kinetics of soluble salt leaching from the ash of Shiveluch volcano, April 2023 eruption

Maria A. Nazarova, Anastasia V. Sergeeva, Anna A. Kuzmina, Elena V. Kartasheva, Darina O. Martynenko

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

As a result of the paroxysmal explosive eruption of Shiveluch volcano in April 2023, large volumes of volcanic ash were deposited on the day surface, and the settlements close to the volcano were covered with a thick layer of volcanic material, along with which soluble salts were deposited on the surface. To clarify the influence of ash on the quality of drinking water in the settlements located in the ashfall zone, ash samples were taken, their composition and soluble part composition were investigated. Experiments on the kinetics of salt leaching from ash were carried out to clarify the issue of duration of ash soluble substances impact on water resources of settlements. Non-monotonic, but rather fast washing of ash was found, and in nature peak concentrations of soluble salts were reached within several days. Under natural conditions, the ash column washed by meteoric waters lost up to 90% of soluble salts during the spring-summer season, and the influence of ash on water resources of settlements decreased. The paper discusses the influence of conditions on the input of soluble salts from ash.

Keywords: Shiveluch, volcanic eruption, volcanic ash, Kamchatka, sulfates, chlorides, water resources

Введение

Вулкан Шивелуч, расположенный в северной части Центрально-Камчатской впадины, является одним из самых активных на полуострове. В апреле 2023 г. на вулкане Шивелуч произошло пароксизмальное эксплозивное извержение, с сильными выбросами пепла (Гурина и др., 2023), в зону пеплопада попали некоторые населенные пункты, интенсивный пеплопад был в поселках Ключи, Козыревск, Майское, где суммарно проживает порядка 5600 человек.

Вместе с пеплом, при извержениях на поверхность поступают различные соединения, в том числе тех элементов, содержание которых нормируется для потребителя, например, мышьяк, медь, цинк, кадмий, ртуть, свинец, стронций, барий и др. Выпадающие пеплы

приводят к повышению содержания в водоемах хлоридов, фторидов, ряда микроэлементов, в том числе тяжелых металлов и других токсичных примесей.

Ранее было выяснено, что в течение сезона, с апреля по август, пепел вулкана Шивелуч на 90% промывается метеорными водами – дождями и тальми водами, и его влияние на водозаборы населенных пунктов носит кратковременный характер (*Sergeeva et al., 2024*). Токсичные примеси, поступившие с пеплом, также уносятся с водами и в зависимости от своей химической природы соосаждаются в той или иной форме.

Пепел, выпавший на грунт, постепенно промывается дождевыми и тальми водами, а пепел, который попал в водоемы, находится в контакте с водой непрерывно. Поэтому в настоящей работе исследована кинетика промывания пепла, как в непрерывном режиме, так и в дискретном/порционном. Целью работы было установить скорость, с которой из пепла будут вымыты растворимые соли, под влиянием естественных погодных условий (*Sergeeva et al., 2024*).

Материалы и методы

Образцы пепла отобраны в окрестностях поселка Ключи непосредственно во время извержения в апреле 2023 года. Водные вытяжки свежего пепла были получены путем смешения 100.0 г пепла с 1.0 л воды, после чего взвесь размешивали на магнитной мешалке, отстаивали, фильтровали. Полученная вытяжка была использована для определения макро- и микроэлементного состава.

Эксперимент, имитирующий промывание пеплов в водоеме, организован следующим образом. Навеску пепла массой 50.0 г размешивали на магнитной мешалке в 500.0 мл воды с погруженным во взвесь солемером-кондуктометром Combo (Hanna), по времени записывали электропроводность, автоматически выполнялся пересчет в содержание хлорида натрия.

Дискретное промывание пепла, соответствующее выпадению осадков, организовано следующим образом. Навеска пепла массой 100.0 г промывалась на фильтре порциями 50.0 мл воды. Фильтрат собирали и высушивали до сухого остатка при температуре 105 °С, взвешивали на аналитических весах с точностью до 4 знака после запятой.

Результаты и обсуждение

Пепел представлен совокупностью обычных для Шивелуча породообразующих минералов, плагиоклазами, анортотоклазом и магнезиальной роговой обманкой. Растворимые соли пепла представлены хлоридом натрия и менее растворимым сульфатом кальция. Сульфаты и хлориды аммония, магния, калия, алюминия, железа и др. находятся в существенно меньших количествах (рис. 1). Растворимость сульфата кальция в кислых и в слабокислых средах повышается, а соли алюминия и железа (III) обеспечивают понижение рН благодаря гидролизу.

На рис. 2 показаны временные зависимости массы/концентрации вымываемых солей при дискретном промывании водой (пепел промывается дождем) и при постоянном нахождении в воде (пепел попал в водоем). При дискретном промывании водой наблюдается экстремум массы высвобождаемых солей, видимо, исходно, до контакта с водой, растворимые соли пепла были представлены не только сульфатом кальция и хлоридом натрия, но и хлоридом кальция с сульфатом натрия. Между ними протекает реакция с образованием сульфата кальция и галита, и можно отметить избыток хлорида кальция над сульфатом натрия. На рис. 1. видно, что в составе сухого остатка присутствуют следы гидратов хлорида кальция, в то время как сульфата натрия не наблюдается. А между тем, сульфат натрия это типичный минерал приповерхностных вулканических эксгальций, и его присутствие в составе разрушенного купола представляется весьма вероятным (*Сапрыкина и др., 2018*). Видимо, при контакте с водой сульфат натрия практически полностью переходит в сульфат кальция.

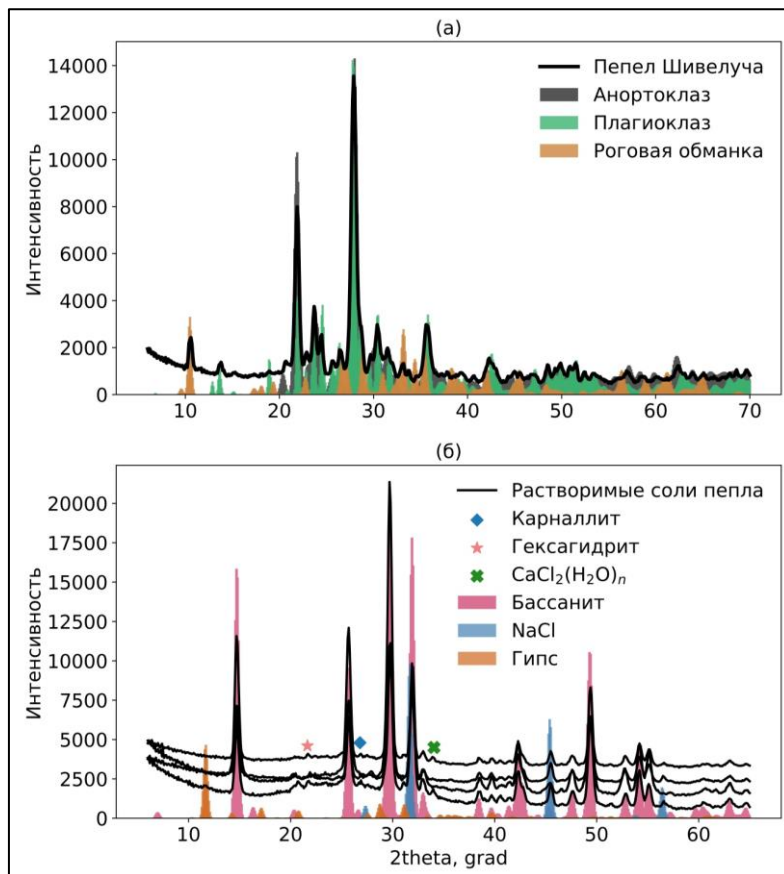


Рисунок 1 – Минеральный состав пепла Шивелуча от извержения апреля 2023 года (а), солевой состав сухого остатка водной вытяжки пепла

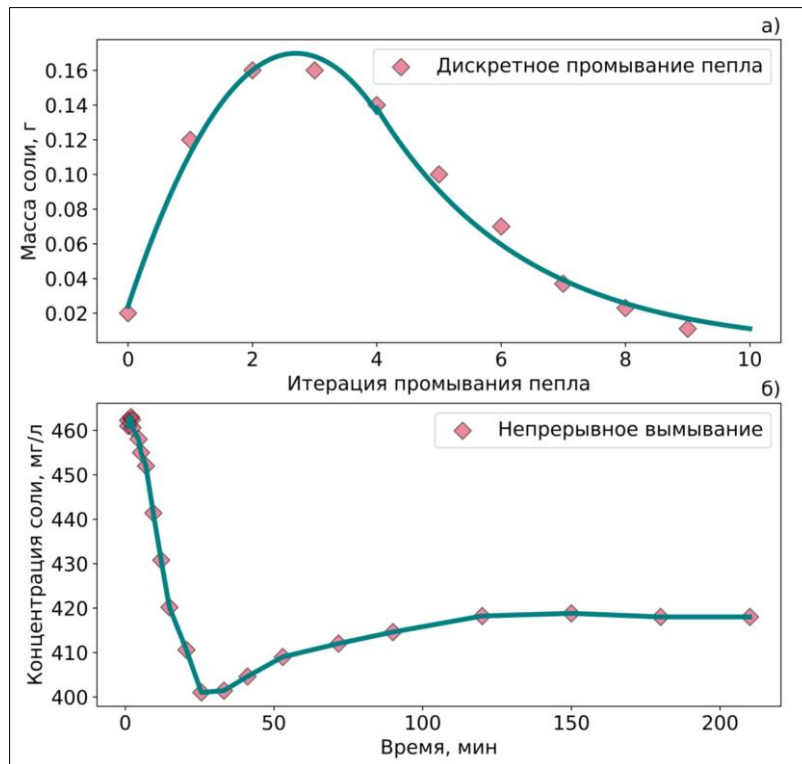


Рисунок 2 – Масса вымываемой соли в зависимости от количества промываний (а) и зависимость концентрации солей в пересчете на NaCl от времени (б)

В эксперименте с непрерывным промыванием пепла наблюдаем резкое возрастание концентрации в первые минуты контакта, затем следует плавное снижение, после которого содержание солей слегка увеличивается, асимптотически приближаясь к плато (рис. 2). Первые минуты знаменуют собой поступление солей в раствор, но затем между ними начинается реакция с образованием плохо растворимого сульфата кальция в виде гипса: $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2 + 2\text{NaCl}$, с чем и связано падение электропроводности/солесодержания. Осаждение гипса, либо образование малорастворимой взвеси на его основе приводит к соосаждению ряда элементов, например, стронция и бария, таким образом, химическая природа солей пепла Шивелуч позволяет говорить о самоочищении контактных вод от некоторых токсичных элементов.

По данным сайта Gismeteo (<https://www.gismeteo.ru/>), с апреля по август в поселке Ключи выпало порядка 287 мм осадков, что составляет 287 кг воды на квадратный метр поверхности. С учетом того, что масса пепла в поселке колебалась в пределах 30 – 60 кг/м², соотношение пепла и метеорной воды по массе варьируется в пределах 1:5 – 1:10, что оказалось вполне достаточно для промывания.

Заключение

Промывание пепла от солей метеорными водами осуществляется за несколько месяцев, при условии выпадения осадков, которые по массе в пять – десять раз превышают массу выпавшего пепла, в расчете на единицу площади. В ходе промывания возможны химические реакции между солями пепла, в результате может происходить самоочищение вод от некоторых компонентов.

Работа выполнена при поддержке РФФ по проекту № 23-27-00127

Список литературы

1. *Гирина О.А.* Анализ развития пароксизмального извержения вулкана Шивелуч 10–13 апреля 2023 года на основе данных различных спутниковых систем / *О.А. Гирина, Е.А. Лупян, А. Хорват и др.* // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 2. С. 283–291.
2. *Sergeeva A.V.* The Ash Discharged by Sheveluch Volcano (Kamchatka, Russia) in April 2023 As a Source of Water-Soluble Salts / *A.V. Sergeeva, O.A. Girina, M.A. Nazarova, E.V. et al.* // J. Volcanolog. Seismol. 2024. V. 18. p. 307–322.
3. *Сапрыкина О.Ю.* Термическое расширение Na_2SO_4 (Стсм) и других полиморфов сульфата натрия / *О.Ю. Сапрыкина, Р.С. Бубнова, С.К. Филатов* // Физика и химия стекла. 2018. Т. 44. №. 6S. С. 87–91.