

Вулканическое стекло в цеолит-кремнистых отложениях Паужетского геотермального месторождения (Южная Камчатка)

Рычагов С.Н., Кравченко О.В., Сандимирова Е.И., Философова Т.М.

Volcanic glass in zeolite-siliceous deposits of the Pauzhetsky geothermal field (South Kamchatka)

Rychagov S.N., Kravchenko O.V., Sandimirova E.I., Phylosofova T.M.

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

e-mail: rychns@kscnet.ru

В искусственных цеолит-кремнистых отложениях Паужетского геотермального месторождения выделены частицы вулканического стекла, имеющие необычную форму. Исследован их состав и условия образования. Показана роль этих частиц в гидротермальном минерало- и рудообразовании.

Введение

На Паужетском геотермальном месторождении из сепараторов ряда эксплуатационных скважин происходит сброс термальной воды на дневную поверхность. В течение 30-40 лет образовались и продолжают формироваться «плащи» минеральных отложений. Отложения сложены минералами кремнезема – от опала до тридимита и кристобалита, раскристаллизованных в отдельных линзах в халцедон [3]. В последнее время установлено, что в начале излива термальных вод на термодинамическом барьере образуются рентгеноаморфные минеральные фазы, отвечающие по составу цеолитам и смеси цеолитов с опалом; далее по простиранью отложения становятся полностью кремнистыми [2]. Начальные участки формирования «плащей» выделяются также повышенными концентрациями многих микроэлементов – Sb, As, Au, Ag и РЗЭ, что объясняется следующим: определенной геохимической специализацией паужетских термальных вод [3], резким изменением физико-химических условий в начале сброса гидротерм, особыми сорбционными свойствами кремнезема и цеолитов.

С целью определения минерального состава и геохимических свойств искусственных минеральных отложений Паужетского геотермального месторождения нами закартированы и опробованы все эти «плащи» (рис. 1). В результате первичной обработки проб выяснилась еще одна интересная особенность состава отложений: в первых точках опробования выделены необычные и разнообразные по форме частицы вулканического стекла, которым и посвящена данная работа.

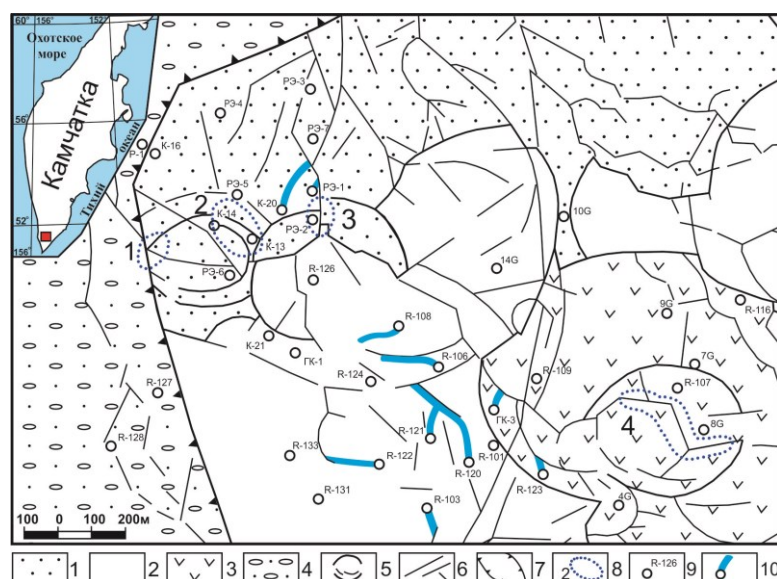


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Паужетского месторождения: 1 – туффи́ты и туфы паужетской свиты; 2 – лаво-экструзивный комплекс пород кислого состава; 3 – то же, андезиты и андезибазальты; 4 – аллювиальные отложения; 5 – кольцевые тектонические нарушения; 6 – то же, линейные; 7 – Паужетский грабен; 8 – термальные поля: 1 – Южно-, 2 – Верхне-, 3 – Нижне-, 4 – Восточно-Паужетское; 9 – скважины; 10 – кремнисто-цеолитовые «плащи».

Методика исследований

Отбор проб проведен от начала сброса термальных вод (от зумпфов) по простиранию отложений с определенной периодичностью для изучения изменения их химического и минерального составов. На участках увеличенной мощности, характеризующихся чередованием слоев с различными физическими и др. свойствами, опробован каждый слой. Наиболее детальные исследования проведены на скважинах ГК-3 и R-122 в связи с обнаружением здесь частиц вулканического стекла. Пробы объемом 0.008 м^3 высушены при температуре около $30 \text{ }^\circ\text{C}$, измельчены в чугунной ступке до размера обломков $\leq 2\text{-}5 \text{ мм}$, шлиховым анализом выделена тяжелая фракция, включающая в т.ч. зерна стекла. Изучение зерен выполнено на сканирующем электронном микроскопе в ИВиС ДВО РАН. С целью определения источников вулканического стекла проведено опробование и шлиховой анализ почвенно-пирокластических отложений в районе скважин ГК-3 и R-122 по методике, описанной выше.

Характеристика вулканического стекла

Частицы вулканического стекла выделены из кремнисто-цеолитовых отложений, образующихся непосредственно под зумпфом скважин R-122 и ГК-3 в начале сброса термальных вод. Частицы имеют сильный стеклянный блеск и разнообразную форму: идеальные или неправильные шарики, каплевидные, гантелевидные, овальные с «отростками»-иголочками, сросшиеся уплощенные и др. – самых невероятных очертаний (рис. 2). Цвет стекла от медово-желтого до бурого и черного. На сколах видно, что практически все зерна массивные, но во многих присутствуют пузырьки газа (газово-жидкие включения?). Зерна достигают $2.0\text{-}2.5 \text{ мм}$ (что наиболее характерно для гантелевидных и игольчатых), но преобладает размерность $\leq 0.1\text{-}0.5 \text{ мм}$. Из одной пробы выделено более 300 штук наиболее крупных зерен.



Рис. 2. Частицы вулканического стекла, выделенные из кремнисто-цеолитовых отложений Паужетского геотермального месторождения (скважина R-122). Снимок с использованием цифрового микроскопа Levenhuk DTX 90.

Послойное изучение отложений показало, что зерна стекла находятся, в основном, в нижнем слое и подошве цеолит-кремнистых осадков, что, по-видимому, обусловлено гравитационным характером их распределения – оседанием тяжелых частиц (плотность стекла может колебаться от 3.0 до 7.5 г/см^3) сквозь рыхлый субстрат к подошве толщи.

Согласно микронзондовым исследованиям, стекло имеет состав, близкий к таким минералам как мелилит и авгит. В стеклянной матрице выделяются шарики самородного железа и сульфидов железа (пирротина?), отмечаются включения кристаллов шпинели (с мельчайшими включениями самородного железа) и оливина. Все это свидетельствует об основном составе частиц вулканического стекла. Большой интерес представляют рудные образования, обнаруженные в кремнистой оторочке ряда зерен (рис. 3). Диагностированы: сульфиды серебра (наиболее вероятно низкотемпературная разность аргентита – акантит) с селеном и золотом, пирит и мышьяковистый пирит, ртутьсодержащий пирит, и др.

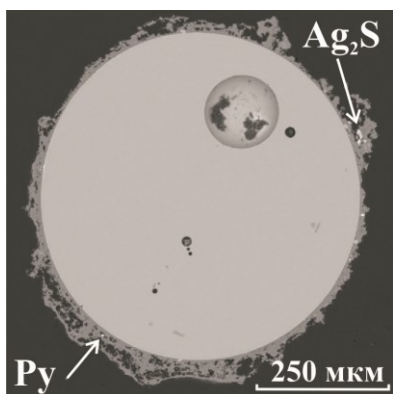


Рис. 3. Стеклообразная микросфера с газовыми пузырьками и водосодержащей (до 7 масс. %) силикатной (SiO_2 92.32; Al_2O_3 0.4; CaO 0.6 масс. %) оторочкой из кремнисто-цеолитовых отложений скважины R-122. В оторочке мелкие включения пирита (Py) и акантита (Ag_2S). Полированный срез. Снимок BSE.

Источник частиц вулканического стекла

Основным вопросом данных исследований является источник и, соответственно, происхождение обнаруженных частиц. Не вызывает сомнения, что в минеральные отложения Паужетского месторождения они попали в результате выпадения на этой территории пепла одного из действующих вулканов Южной Камчатки или Курильских островов. С целью решения этого вопроса нами опробованы слои пирокластических отложений разного возраста в районе эксплуатационного участка месторождения: пемзы Курильского озера, пеплы вулкана Ксудач, тефра вулкана Камбальный, и др. Определено, что во всех перечисленных отложениях этих частиц нет, но ими насыщены почвы, в т.ч. непосредственно возле скважин ГК-3 и R-122. Это свидетельствует о молодом возрасте (не более нескольких десятков лет) источника стекла, сопоставимого с возрастом формирования почвенного горизонта и с периодом времени, в течение которого образовались цеолит-кремнистые «плащи» Паужетского месторождения. Наиболее вероятным источником может являться пепел вулкана Алаид – активного в этом регионе за последние десятилетия: известны его крупные лаво-эксплозивные и эксплозивные извержения 1972, 1981, 2012 гг. и др., пепел которых выпадал по всему югу Камчатки, вплоть до г. Петропавловска-Камчатского.

Анализ литературных данных [1, 4] и наши микроскопические исследования (в т.ч. частиц стекол извержений вулкана Алаид 1981 и 2012 гг.) показали, что стекла, обнаруженные в кремнисто-цеолитовых отложениях, имеют сходство со стеклами извержения Алаида 2012 г. по морфометрическим характеристикам: блеску поверхности, форме, размерам, плотности (массивности, однородности), цвету, а также минеральным ассоциациям, характерным для высокощелочных пород основного состава. Это может говорить о генетическом родстве всех этих частиц.

Заключение

Зерна стекла, выделенные из кремнисто-цеолитовых отложений Паужетского геотермального месторождения, являются индикаторами определенных условий образования и переноса материала эксплозивных извержений вулканов, а также представляют большой интерес для исследования минерало- и рудообразующих процессов в геотермальной среде.

Источником вулканического стекла, вероятнее всего, служит пепел извержения вулкана Алаид 2012 г. Представляется следующий механизм образования таких, необычных по форме, зерен стекла. Капли силикатного расплава приобретали причудливые формы и закалку в активной аэродинамической влажно-воздушной среде (во время циклонов, характерных для периода извержения – ноябрь-декабрь). Частицы стекла были перенесены воздушными потоками на десятки и сотни километров (расстояние до Паужетки составляет 100 км) в типичном для осенних циклонов северо-восточном направлении. Частицы стекла имеют высокую прочность и плотность, что благоприятствовало их сохранности и переносу из почв в формирующиеся кремнисто-

цеолитовые отложения, характеризующиеся идеальной структурой для накопления тяжелого материала.

На поверхности зерен стекла образуется оторочка кремнистого и кремнисто-цеолитового состава, обладающая высокой сорбционной емкостью. Это ведет к высаживанию в оторочке рудных соединений, включая сульфиды серебра и железа, обогащенные микроэлементами (Au, Se, As, Hg, др.).

Предполагается, что в течение геологического времени такие зерна вулканического стекла могут создавать значительные концентрации в почвенно-пирокластических и различных минеральных отложениях и, соответственно, участвовать в метаморфических минерало- и рудообразующих процессах.

Авторы признательны В.А. Рашидову за предоставление пепла извержений вулкана Алаид 1981 и 2012 гг., а также В.В. Пономаревой и Л.П. Аникину за консультации.

Список литературы

1. *Рашидов В.А., Малик Н.А., Фирстов П.П. и др.* Активизация вулкана Алаид (Курильские острова) в 2012 году // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2. Вып. 20. С. 9-15.
2. *Сергеева А.В., Рычагов С.Н., Сандимирова Е.И. и др.* Минеральный состав искусственных кремнистых отложений («гейзеритов») Паужетского геотермального месторождения (Южная Камчатка) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога. 30-31 марта 2022 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2022. С. 154-157.
3. Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.
4. *Флеров Г.Б., Иванов Б.В., Андреев В.Н. и др.* Вещественный состав продуктов извержения вулкана Алаид в 1981 г. // Вулканология и сейсмология. 1982. № 6. С. 27-43.