

Минералого-геохимические особенности грязевого вулканизма кальдеры Узон (Камчатка)

Г.А. Карпов, Н.П. Богатко, К.В. Тарасов, М.А. Назарова

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: karpovga@kscnet.ru

Введение

Грязевой вулканизм довольно широко распространен на Земле. Известно, по крайней мере, порядка 50 районов его современного проявления, где насчитывается в общей сложности свыше 700 грязевых вулканов. Практически все они приурочены к областям вулканической деятельности как в геологическом прошлом, так и в регионах проявления современного вулканизма. Больше всего их в узкой зоне Альпийского, Гималайского и Тихоокеанского подвижных поясов [7]. Газо-водно-литокластитовые грязевые вулканы давно известны на Южном Сахалине [6]. Интерес к ним вызван, главным образом, их частой приуроченностью к нефтегазоносным структурам. Таковы Керченско-Таманская, Апшеронская, Сахалинская геологические провинции. В последнее время обнаружены следы грязевого вулканизма в мезо-кайнозойской зоне Байкальского региона. Там участки развития грязевого вулканизма захватывают огромные территории. Возраст и общая геология этих структур различны. Но объединяет их одно – приуроченность к сети разрывных нарушений. Существует довольно обширная литература по исследованиям древних и молодых грязевулканических проявлений. Гораздо меньше научных публикаций по грязевым вулканам областей современного вулканизма, где этот тип извержений приурочен к современным высокотемпературным гидротермальным системам. Крупнейшей из таких систем на Камчатке является кальдера Узон.

Геолого-структурная позиция проявлений грязевых вулканов в кальдере Узон

Кальдера Узон занимает западный сектор крупной Узон-Гейзерной вулканотектонической структуры – депрессии, представляющей собой сильно раздробленный блок сложнопостроенного вулканического массива, обрушенного по кольцевым разломам. В фундаменте этой структуры залегает толща вулканогенно-осадочных пород плиоцена. В среднем-верхнем плейстоцене в районе были извергнуты огромные массы игнимбритов, и в результате обрушения центральной части вулканической постройки образовалась кальдера овальной формы. В посткальдерный этап здесь выжимались экструзивные купола кислого состава, возник маар (озеро Дальнее) и интенсивно накапливались туфогенные и озерно-болотные образования. В результате активной постмагматической деятельности (фумаролы, сольфатары, горячие источники), на протяжении последних 40 000 лет в кальдере сформировалась толща гидротермально-измененных пород аргиллизитовой и более глубинной аргиллизит-пропилитовой формаций с As-Sb-Hg оруденением [3]. Современная гидротермальная деятельность в кальдере Узон проявляется в узкой зоне, трассируя основной глубинный разлом субширотного простирания в северном секторе кальдеры. Здесь на поверхность выходят многочисленные термальные источники, фиксирующие зоны сочленения глубинного разлома с оперяющими трещинами С-З и, преимущественно, С-В простирания (рис. 1). Грязево-вулканические проявления обнаруживают четкую приуроченность именно к трещинным зонам С-В простирания (термальные поля Восточное и Оранжевое). Эти же зоны характеризуются повышенными содержаниями ртути в аргиллизитах [1, 3].

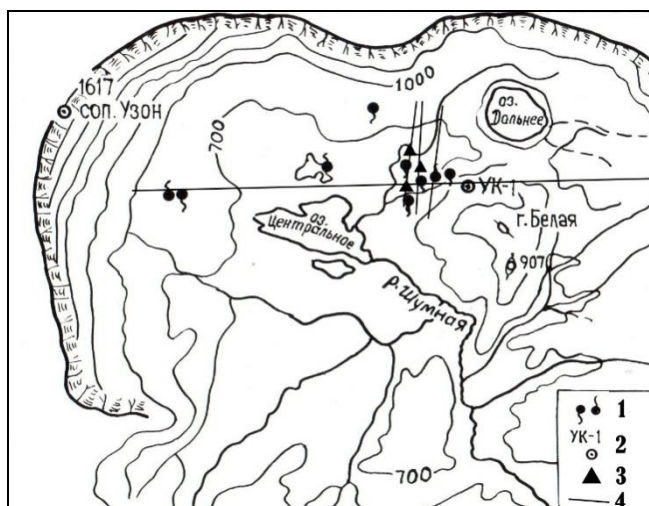


Рис. 1. Схематическая карта кальдеры Узон с участками термопроявлений (1), местом скв. УК-1 (2), скоплений грязевых вулканчиков (3) и зонами разломов (4).

Морфология построек грязевых вулканов

Узонские грязевые вулканчики обычно имеют конусовидную форму и небольшие размеры. Нередко из круглого кратера происходят выплески грязевого материала, который в виде маломощных потоков наращивает тело вулканчика (рис. 2). Из свежееизверженного глинистого вещества очень быстро выседают возгоны квасцов белого и желто-оранжевого цвета. Иногда наблюдается перемещение выводного канала в постройке и образование группы из слившихся конусов. С угасанием активности конических построек, на их месте возникают колодезидные провалы, преобразующиеся со временем в грязевые котлы.



Рис. 2. Извержение грязевого вулканчика 14 сентября 2010 г.

Физические характеристики глин грязевых вулканчиков кальдеры Узон

В глинистой массе практически всех исследованных нами грязевых вулканчиков преобладает фракция <0.05 мм (в среднем, 70 %). Фракция <0.01 мм занимает, в среднем, 15 % (в одной пробе – 35.3 %). Собственно глинистых фракций 0.001-0.005 мм в глине содержится всего порядка 6-7 %, изредка – 20 %. Такие глины характеризуются максимальной плотностью в обезвоженном состоянии. Вариации влажности и пористости имеют, в общем, согласованные величины. В связи с разным содержанием собственно каолинитовой и галлуазит-монтмориллонитовой компоненты, глины имеют удельный вес между 2.11-2.36 (в глине много галлуазита) и 2.56-2.78 (каолинит-диккитовый состав). Соответственно, сильно варьирует и их объемный вес, в общем, согласованно с вариациями удельного веса.

Химический состав и минералогия глин

Химический состав глин очень разнообразен. В зависимости от структуры и состава исходных пород, в поле которых проявляется грязевой вулканизм, а также от интенсивности процессов кислотного выщелачивания в приповерхностной зоне, испытывают большие вариации содержания SiO_2 и Al_2O_3 . В пробах, отобранных непосредственно из построек грязевых вулканчиков, глинистая масса содержит максимальное количество каолинита. В приповерхностной зоне глины имеют преимущественно каолинит-опаловый состав. В изливающимся из действующих вулканчиков суспензированном глинистом материале преобладает монтмориллонитовая компонента.

Геохимические особенности глин грязевых вулканов

В глинах грязевых вулканчиков кальдеры Узон определены практически все микроэлементы, за исключением урана. Но их содержания очень сильно варьируют. Максимально высокие содержания характерны для As (до 900-1480 г/т) и Ba (до 1134 г/т), в меньшей степени – для Sr (до 375 г/т), V (до 301 г/т) и Zr (до 398 г/т). Причем подмечено, что, чем более глинистая масса суспензирована, т.е. насыщена водой, тем выше в ней и содержание Ba и As. Это особенно заметно в пробах из грязевого вулкана на Восточном термальном поле. Здесь в источниках изливаются мышьяк-содержащие гидротермы хлоридно-натриевого состава, в составе свободных газов которых присутствует H_2S . Логично предположить, что в поровых пространствах пород зоны окисления серы формируется сернокислотная среда, под воздействием которой вмещающие породы превращаются в глины. Соответственно, их масса наследует высокое содержание As. Ранее в разрезе именно этого термального поля были обнаружены минералы сульфидов мышьяка, а также барита [3]. С приповерхностной зоной окисления связаны и повышенные содержания Ba в глинах.

Практически во всех пробах глин грязевых вулканчиков и грязевых котлов наблюдаются заметные содержания редкоземельных элементов – La (до 41 г/т) и Ce (до 58 г/т), отношения которых укладываются в порядок 0.7. Нам представляется, что они наследуют отношения этих элементов в исходных породах (туфах кислого состава). Для сравнения – в свежих андезитах Карымского вулкана $\text{La/Ce}=0.5$, а в риодацитах кратера Токарева 1996 г. $\text{La/Ce}=0.9$. Ранее мы отмечали четкую зависимость содержаний La и Ce в гидротермах от значений pH и генетическую связь этих элементов с изверженными породами [4, 5]. В связи с отмеченным нами высоким содержанием As и Ba в глинах, мы исследовали их парные отношения. Оказалось, что высокие отношения $\text{As/Ce}=42-47$ наблюдаются во всех пробах глин, где основное место имеет каолинитовая минерализация. Отношение Ba/Ce выдерживается в пределах 8.5-11.2 в тех же глинах, но сильно увеличивается с увеличением опаловой компоненты. Отношение $\text{Rb/Ce}=0.08-0.13$ во всех пробах глин, но тоже отмечено увеличение содержания Rb (и соответственно отношения) в более опализированных глинах. Обращает на себя внимание устойчивое отношение $\text{Th/Rb}=0.8$ во всех глинах, что свидетельствует об их совместном переносе глубинными гидротермами, питающими зоны аргиллизации. О совместном переносе в гидротермах и согласованном отложении Th и As свидетельствует и выдержанность отношений Th/As в пределах 0.004-0.006. Характерно, что, чем слабее каолинитизация, тем более отношение Th/As приближается к значению в исходных изверженных породах, где, например, в андезитах вулкана Двор [2] оно равно 0.02-0.03. В этой связи, La, Ce, As, Ba, Rb и Th можно считать индикаторами глубинности источника питания, а их повышенные содержания обусловлены накоплением в кислых средах каолинитовых глин.

Химический состав водной и газовой фаз участков грязевого вулканизма

Показательны составы растворов, отобранных нами на участках развития глин грязевых вулканчиков. В анионной части растворов преобладает сульфат-ион, что

отличает их от хлоридно-натриевых гидротерм глубинного формирования. Естественно, растворы из зоны каолинитизации имеют низкий pH (2.0-3.5) и достаточно высокие плюсовые значения Eh. Промежуточные характеристики имеет раствор Банного озера. С одной стороны, в его бортах имеются участки каолинитизации, обусловленные локально проявившимися процессами сернокислотного выщелачивания и интенсивно идущими у бортов процессами окисления самородной серы. Но основное питание озеро получает за счет притока глубинных гидротерм с высоким содержанием хлор-иона. Состав свободных газов также имеет характерные отличия от существенно глубинных эманаций. В газах грязевых котлов, на фоне преобладания CO₂, имеющего глубинный генезис, заметно более высокое содержание O₂, иногда N₂, что свидетельствует о контаминации с воздухом атмосферы. Несколько повышенное содержание метана, вероятно, связано с поступлением его из зон нефтепроявлений.

Основные результаты исследований

1. Проявления грязевого вулканизма в кальдере Узон имеют четкую приуроченность к зонам пересечения разрывных нарушений С-В простирания и глубинного субширотного разлома.

2. Максимальное развитие грязевых вулканчиков и грязевых котлов, наследующих их при снижении температуры и напора глубинных гидротерм, наблюдается в центральной зоне Восточного термального поля, характеризующегося высокой трещиноватостью и выходами перегретых гидротерм Cl-Na состава.

3. Формирование конической постройки грязевых вулканчиков обусловлено локальным прорывом газов (прежде всего CO₂, N₂, CH₄) на участках гидротермально-измененных пород с преобладающим содержанием каолинитовой компоненты.

4. Синтез глинистых минералов каолинитовой группы происходит в приповерхностной зоне термальных участков под воздействием поровых сульфатных растворов, образовавшихся в результате окислительных реакций серосодержащих соединений на глубинах 0-1.5 м.

5. Основными факторами проявления грязевого вулканизма в кальдере Узон являются: наличие активных (открытых) трещин, по которым фильтруются гидротермы хлоридно-натриевого состава; периодически повышающийся напор глубинных газов; предварительная каолинитизация материнских пород на участках термальных полей.

6. Аномально-высокие содержания As, Ba, La, Ce наблюдаются в глинах с высоким содержанием каолинит-опаловой компоненты.

Список литературы

1. Ероцев В.А., Набоко С.И., Золотарев Б.П. и др. Процессы постэруптивного современного вулканизма и их роль в седименто-литогенезе // Доклады Академии Наук. 2000. Том 371. №1. С. 67-69.
2. Иванов Б.В. Андезиты Камчатки. М.: Наука, 2008. 470 с.
3. Карпов Г.А. Современные гидротермы и ртутно-сурьмяно-мышьяковое оруденение. М.: Наука, 1988. 183 с.
4. Карпов Г.А., Николаева А.Г., Алехин Ю.В. Содержание и источники редкоземельных элементов в современных вулканогенных гидротермальных системах Камчатки // Петрология. 2011. Том 21. № 2. С. 163-176.
5. Карпов Г.А., Шредер П.А., Николаева А.Г. Геохимия редкоземельных элементов (La, Ce) в гидротермах и породах Узон-Гейзерной гидротермальной системы (Камчатка) // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 8. С. 1152-1163.
6. Мельников О.А. Южно-Сахалинский газоволитокластитовый («грязевой») вулкан – уникальный объект Природы на Дальнем Востоке России. Южно-Сахалинск, 2002. 46 с.
7. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. Атлас. Киев: Наукова Думка, 1986. 150 с.