ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ МИРА

Никитенко О.А.

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Южно-Сахалинск, Россия, E-mail: nikitenko.olga@list.ru

АННОТАЦИЯ: Работа посвящена обобщению и анализу опубликованных данных о химическом составе вод около 150 наземных грязевых вулканов мира. Обобщение большого числа литературных данных показало, что воды большинства грязевых вулканов мира являются в основном слабощелочными. Минерализация сопочных вод составляет преимущественно от 5 до 25 г/л. Наиболее часто в грязевых вулканах встречаются воды хлоридно-гидрокарбонатно-натриевого типа, реже – хлоридно-натриевого типа. Проанализировано распределение концентраций основных анионов и катионов в грязевулканических водах.

1. ВВЕДЕНИЕ

Грязевой вулканизм представляет собой широко распространенное геологическое явление, которое обусловлено процессами дефлюидизации Земли в разломных зонах земной коры. Основными фундаментальными проблемами изучения процессов грязевого вулканизма является выяснение источников и механизмов генерации грязевулканического вещества. Разрешение указанных проблем представляется возможным на основе геохимических исследований продуктов грязевулканической деятельности.

В настоящее время в литературе накоплен достаточно большой объем данных, касающихся вопросов химического состава грязевулканических вод. Однако анализ глобальных закономерностей химического состава этих вод не проводился. Интерес к изучению процессов грязевого вулканизма обусловлен еще и тем, что это опасное природное явление, которое необходимо учитывать при хозяйственном освоении территорий. В связи с этим необходимо своевременно распознавать потенциально опасные участки проявлений грязевых вулканов и проводить мониторинг грязевулканической активности. В некоторых случаях грязевые вулканы плохо выражены в рельефе или вообще недоступны для визуального наблюдения (например, на дне морских акваторий). Для идентификации разгружаемых подземных вод необходимо иметь реперные значения соответствующих геохимических параметров.

Целью данной работы является систематизация и анализ данных химического состава сопочных вод в разных регионах Земли для выяснения характера распределения основных компонентов ионно-солевого состава в этих водах.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В настоящей работе проанализированы опубликованные сведения [1, 3-7 и др.] о химическом составе вод около 150 наземных грязевых вулканов, расположенных в разных странах мира – Азербайджане, Тайване, Индии (Андаманские о-ва), России (о. Сахалин, Таманский п-ов, Керченский п-ов), Грузии, Китае, США (Аляска), Туркменистане, Италии, Тринидаде и Тобаго. Для работы использовались результаты исследований различных авторов, которые были сведены в общую базу данных. В общей сложности собрано более 300 проб химического состава сопочных вод. Анализ систематизированных данных проводился с помощью методов математической статистики.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ собранных материалов позволил выявить специфические особенности химического состава грязевулканических вод, а также определить общие закономерности его формирования.

Из построенных гистограмм видно, что воды большинства грязевых вулканов мира характеризуются в основном нейтральными, слабощелочными и щелочными значениями pH (рис. 1ж). Небольшая доля сопочных вод (около 7 % проб) отличается слабокислой реакцией среды. Степень минерализации грязевулканических вод варьируется в более широких пределах. Среди вод грязевых вулканов есть как пресные, так и соленые воды, а также рассолы. Для большей части проанализированных образцов – около 78 % – характерна минерализация от 5 до 25 г/л (рис. 1з). Доля пресных вод (до 1 г/л) составляет менее 1.5 % от числа общемировых данных.

Рис. 1. Распределение частоты встречаемости для основных гидрохимических параметров грязевых вулканов Земли.

Воды с такой крайне низкой минерализацией встречаются в грязевых вулканах Тамани и Тайваня и, по-видимому, имеют конденсационное

происхождение. Около 5.5 % образцов грязевулканических вод представляют собой градиацию от очень слабых до крепких рассолов, с содержа-

ем растворенных солей от 35 до 250 г/л. Крепкие рассолы встречаются в грязевых вулканах Азербайджана и Туркменистана. Вероятно, формирование таких высокоминерализованных вод обусловлено региональными гидрогеологическими особенностями или процессами эвапоритизации.

Основным катионом грязевулканических вод является натрий (рис. 1а). Его концентрация для 95 % проб составляет более 80 %-экв. Второстепенными катионами в грязевулканических водах являются калий, кальций и магний. Содержание K^+ в сопочных водах не превышает 9 %-экв, при этом для большей части грязевулканических вод характерно содержание K^+ до 2.5 %-экв. Концентрация Ca^{2+} в водах грязевых вулканов мира в основном менее 6 %-экв (рис. 1д). Содержание Ca^{2+} в грязевулканических водах, вероятно, регулируется карбонатным равновесием. При высоких концентрациях HCO_3^- сопочные воды будут пересыщены относительно $CaCO_3$, что приводит к удалению Ca^{2+} из водного раствора. Около 96.5 % всех проб сопочных вод содержат магния не более 10 %-экв.

Анионный состав вод грязевых вулканов мира характеризуется преобладанием Cl^- и HCO_3^- (рис. 1б и 1г). При этом около 90 % грязевулканических вод характеризуются высоким содержанием Cl^- (от 50 до 100 %-экв). Высокие концентрации HCO_3^- (от 50 до 80 %-экв) отмечаются только примерно в 10 % проб. Содержание SO_4^{2-} в грязевулканических водах незначительно и для большинства проб составляет не более 1 %-экв (рис. 1е).

Как мы видим, воды грязевых вулканов мира достаточно разнородны по химическому составу. Однако чаще всего в грязевых вулканах встречаются воды хлоридно-гидрокарбонатно-натриевого типа.

Статистический анализ общемировых данных показал, что для большинства вод грязевых вулканов Земли характерна высокая положительная корреляция между концентрациями Na^+ и Cl^- (коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен 0.92). Указанная связь между содержанием Na^+ и Cl^- считается одним из признаков того, что основным источником вод грязевых вулканов являются воды морского генезиса. При этом отношение Na/Cl для 45 % проб находится в интервале 0.4 до 0.7, что мы считаем близким к значению аналогичного показателя для морской воды (0.55). Чуть более 50 % проб сопочных вод характеризуются более высоким отношением Na/Cl , чем в морской воде. Для вод

грязевых вулканов мира выявлена также положительная связь между отношением Na/Cl и концентрацией HCO_3^- (коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен 0.76). Таким образом, можно предположить, что поступление большого количества натрия в сопочные воды может быть обусловлено растворением CO_2 , который переводит водный раствор в более кислотную область, способствуя интенсивному гидролизу алюмосиликатных минералов (например, альбита).

Если предположить, что источником водной фазы продуктов грязевулканической деятельности изначально являются морские воды, то воды грязевых вулканов должны соответствовать солености морских вод. Однако по показателям общей минерализации, большинство вод грязевых вулканов мира преснее морской воды (рис. 1з). Следовательно, исходные седиментационные воды подвергаются разбавлению пресными водами. Это хорошо согласуется с моделью развития грязевого вулканизма как следствия элизионных процессов, которые сопровождаются выделением в поровое пространство маломинерализованных кристаллизационных вод. Также опреснение первичных седиментационных вод может быть связано с поступлением инфильтрационных вод. Стоит отметить для небольшой части проб уровень минерализации в несколько раз превышает морскую соленость, что косвенно может указывать либо на процессы подземного испарения, либо растворения залежей галита.

Важнейшими показателями специфики грязевулканических вод является содержание ряда микрокомпонентов. Воды большинства грязевых вулканов мира обогащены бромидом и бором. Отношение Cl/Br используется для определения генезиса и степени метаморфизма подземных вод. В водах грязевых вулканов мира отношение Cl/Br в среднем составляет от 50 до 450. При этом около 30 % проанализированных проб имеют значения коэффициента Cl/Br близкое к этому показателю для морской воды. Для 50 % проб характерны значения Cl/Br существенно ниже, чем в морской воде. Такие низкие значения Cl/Br могут указывать, например, на процессы выщелачивания соляных отложений ($NaCl$). Степень обогащенности вод бором характеризует коэффициент Cl/B . Более чем 80 % проб характеризуются отношением Cl/B от 2 до 400. Менее чем для 20 % проб значение коэффициента Cl/B находятся в интервале от 400 до 1500. На основании этого можно сделать вывод, что большая часть грязевулканических вод обогаще-

на бором относительно морской воды. Рост концентраций бора в сопочных водах может отражать участие дегидратационных вод в водном питании грязевых вулканов. Также подобное распределение величин Cl/V может соответствовать высокотемпературным условиям формирования грязевулканических вод [2]. Стоит отметить, что между концентрацией гидрокарбоната и содержанием бора в грязевулканических водах установлена положительная зависимость (коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен 0.49). Можно предположить, что для грязевулканических вод, содержащих достаточно большое количество HCO_3^- , происходит более интенсивный переход бора в водный раствор.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа собранных материалов по химическому составу вод около 150 наземных грязевых вулканов Земли получены эмпирические плотности распределений основных гидрохимических показателей сопочных вод. Определены типичные диапазоны содержания основных химических компонентов грязевулканических вод. Установлено, что воды грязевых вулканов мира характеризуются в основном нейтральными, слабощелочными и щелочными значениями pH. Минерализация сопочных вод находится преимущественно в диапазоне от 5 до 25 г/л. Чаще всего в грязевых вулканах встречаются воды хлоридно-гидрокарбонатно-натриевого типа. Полученную информацию о характерных значениях гидрохимических показателей можно использовать, по нашему мнению, при маркировке эруптив-

ных выходов грязевых вулканов геохимическими методами.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-35-00177.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаврушин В.Ю., Kopf A., Deyhle A., Степанец М.И. Изотопы бора и формирование грязевулканических флюидов Тамани (Россия) и Кахетии (Грузия) // Литология и полезные ископаемые. – № 2. – 2003. – С. 147-182.
2. Лаврушин В.Ю. Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления. – М.: ГЕОС, 2012. – 348 с.
3. Лаврушин В.Ю., Гулиев И.С., Киквадзе О.Е., Алиев Ад. А., Покровский Б. Г., Поляк Б.Г. Воды грязевых вулканов Азербайджана: изотопно-химические особенности и условия формирования // Литология и полезные ископаемые. – № 1. – 2015. – С. 3-29.
4. Chao H.C., You C.F., Liu H.C., Chung C.H. The origin and migration of mud volcano fluids in Taiwan: Evidence from hydrogen, oxygen, and strontium isotopic compositions // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – Vol. 114. – 2013. – P. 29-51.
5. Dia A.N., Castrec-Rouelle M., Boulegue J., Comeau P. Trinidad mud volcanoes: Where do the expelled fluids come from? // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – Vol. 63. – № 7-8. – 1999. – P. 1023-1038.
6. Motyka R.J., Pobeda R.J., Jeffrey A. Geochemistry, isotopic composition, and origin of fluids emanating from mud volcanoes in the Copper River basin, Alaska // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – Vol. 53. – № 1. – 1989. – P. 29-41.
7. Nakada R., Takahashi Y., Tsunogai U., Guodong G., Shimizu H., Hattori K.H. A geochemical study on mud volcanoes in the Junggar Basin, China // *Applied Geochemistry*. – Vol. 26. – 2011. – P. 1065-1076.
8. Ray S.J., Kumar A., Sudheer A.K. et al. Origin of gases and water in mud volcanoes of Andaman accretionary prism: implications for fluid migration in forearcs // *Chemical Geology*. – Vol. 347. – 2013. – P. 102-113.

GENERAL PATTERNS IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF MUD VOLCANOES WATERS IN THE WORLD

Nikitenko O.A.

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, E-mail: nikitenko.olga@list.ru

ABSTRACT: The work is devoted to the generalization and analysis of published data on the chemical composition of the waters from about 150 world surface mud volcanoes. A generalization of a large number of literary data has shown that the waters of most mud volcanoes in the world are mostly slightly alkaline. Mineralization of mud-volcanic water is preferably from 5 to 25 g/l. Most often in mud volcanoes there are waters of chloride-hydrocarbonate-sodium type, more rarely – chloride-sodium type. The author analyzed the distribution of concentrations of the main anions and cations in mud volcanic waters.