Изотопный и химический состав вод Южно-Сахалинского грязевого вулкана после извержения 2011 г.

Ершов В.В.

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

АННОТАЦИЯ: В работе приведены результаты гидрогеохимического исследования Южно-Сахалинского грязевого вулкана, которое было проведено спустя несколько месяцев после его извержения в 2011 г. Выполнено сравнение полученных данных с результатами исследований, проведенных до извержения вулкана – в 2009 и 2010 гг. При этом отдельное внимание уделено анализу данных, полученных в разных химико-аналитических лабораториях. Установлено, что имеются некоторые различия в гидрохимических показателях до и после извержения вулкана.

Isotopic and chemical composition of waters from the Yuzhno-Sakhalinsky mud volcano after the 2011 eruption

Ershov V.V.

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, E-mail: valery_ershov@mail.ru

ABSTRACT: The results of hydrogeochemical investigation of the Yuzhno-Sakhalinsky mud volcano, carried out several months after its eruption in 2011, are presented. The data obtained were compared with the results of investigations carried out before volcano eruption in 2009 and 2010. Special attention was given to the analysis of data obtained in various analytical laboratories. It was found that there are some differences in hydrogeochemical parameters before and after volcano eruption.

ВВЕДЕНИЕ

Грязевые вулканы – это геологические образования на поверхности Земли, которые обусловлены фокусированными потоками подземных флюидов из глубинных слоев земной коры [1, 6]. Предполагается, что они представляют собой особую категорию углеводородных просачиваний, гидравлически связанных с нефтегазоносными осадочными отложениями. В некоторых случаях грязевые вулканы располагаются непосредственно на крупных разрабатываемых углеводородных месторождениях. Грязевые вулканы широко распространены на планете и встречаются как на суше, так и на морском дне. Подавляющее большинство грязевых вулканов расположено в пределах двух планетарных подвижных поясов – Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского. Общее число грязевых вулканов во всем мире точно неизвестно – по разным оценкам оно составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч.

Грязевые вулканы периодически извергаются, выбрасывая большие объемы газов (преимущественно углеводородных) и минерализованных вод, смешанных с глиной и обломками пород, образуя так называемую «сопочную брекчию». Объемы брекчии, выброшенной при наиболее сильных извержениях грязевых вулканов Азербайджана, составляют порядка 10^6 кубометров. Извержения часто сопровождаются взрывом и

горением газов, смещениями и разрывами грунта, загрязнению окружающей среды экологически опасными элементами. Грязевулканические извержения оказывают негативное воздействие не только на региональную экосистему, но и могут вызывать значительный экономический ущерб, производя повреждения инженерных сооружений.

Деятельность грязевых вулканов обычно исследуется и описывается на геологических масштабах времени. Тогда как для прогноза опасных природных явлений и снижения риска бедствий важно понимать динамику грязевых вулканов на интервалах времени в единицы и десятки лет. Извержение представляет собой мобилизацию большого количества вещества на большое расстояние и за короткое время. Можно ожидать, что процессы подготовки и реализации извержения находят отражение в гидрохимическом режиме грязевого вулкана. Ответ на этот вопрос требует проведения длительных мониторинговых наблюдений – на протяжении нескольких десятилетий. К настоящему времени такого рода исследования отсутствуют. Однако для первых суждений по обсуждаемому вопросу полезно рассмотреть случаи, когда опробования грязевых вулканов проводились до и после их извержений. На Южно-Сахалинском грязевом вулкане проводился отбор проб воды для анализа изотопного

(август 2009 г.) и химического (сентябрь 2010 г.) состава [4]. В начале 2011 г. произошло относительно слабое извержение этого вулкана [5]. В начале июня 2011 г. было проведено массовое гидрохимическое опробование этого вулкана. Цель данной работы – анализ данных об изотопном и химическом составе вод Южно-Сахалинского грязевого вулкана, полученных в 2011 г., и их сравнение с результатами предыдущих исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Южно-Сахалинский грязевой вулкан ($47,08^\circ$ с. ш., $142,58^\circ$ в. д.) расположен примерно в 18 км к северо-западу от г. Южно-Сахалинск. Вулкан приурочен к крупному субмеридиональному Центрально-Сахалинскому (Тынь-Поронай-скому) взбросо-надвику, по которому с запада на восток меловые отложения надвинуты на палеоген-неогеновые отложения. Считается, что разгрузка подземных вод на Южно-Сахалинском грязевом вулкане происходит из водоносного комплекса датско-туронских отложений [2]. Комплекс имеет широкое распространение в пределах Западно-Сахалинских

гор, образуя полосу протяжением более 500 км от широты р. Виахту на севере до широты г. Южно-Сахалинск на юге (примерно $51,5^\circ$ с. ш. и $46,9^\circ$ с. ш. соответственно). Водовмещающими породами являются песчаники с прослоями и линзами конгломератов, гравелитов, алевролитов и аргиллитов. Общая мощность комплекса достигает нескольких тысяч метров. Водоносный комплекс содержит подземные воды следующих типов: трещинные (свободные и напорные) и трещинно-жильные. Воды последнего типа приурочены к зонам дробления и интенсивной трещиноватости пород, связанных с разрывными тектоническими нарушениями. Изучены они очень слабо. В поднадвиговом крыле до глубин около 2 км погребены два водоносных комплекса: нижне-среднемиоценовых и верхнемиоценовых отложений. Теоретически они также могут давать свой вклад в водное питание Южно-Сахалинского вулкана. Здесь стоит отметить, что очаги большинства грязевых вулканов (например, Азербайджана, Керченско-Таманского региона) связаны с отложениями олигоцен-миоценового возраста.

Рис. 1. Изотопный состав подземных вод в грифонах Южно-Сахалинского грязевого вулкана в 2011 и 2009 гг. (1 и 2 соответственно), а также из родника у подножия грязевого вулкана (3)

Химический анализ водных проб в 2010 г. проводился в «Межведомственном центре аналитического контроля состояния окружающей среды» (ДВФУ, г. Владивосток). Концентрация макро- и микроэлементов определялась на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 (Shimadzu, Япония). Концентрация основных анионов и катионов определялась с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель-105М» (Люмэкс, Россия). Химический анализ водных проб в 2011 г. выполнялся в разных лабораториях, причем выборки проб частично пересекались. Одна партия проб была передана в

ДВФУ. Измеряемые гидрохимические показатели и методы их определения остались прежними. Другая партия проб была передана в лабораторию аналитической химии ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток). Концентрация макро- и микроэлементов определялась здесь на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой iCAP 6500Duo (Thermo Scientific Corporation, США) и масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7700x (Agilent Technologies, США). Изотопные отношения $^{18}O/^{16}O$ и D/H в водных пробах 2009 и 2011 г. определялись в лаборато-

рии стабильных изотопов ДВГИ ДВО РАН на масс-спектрометре Thermo Finnigan MAT 253.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Формальное сопоставление гидрохимических данных за 2010 и 2011 гг. показывает, что между ними есть заметные различия. После извержения – в 2011 г. – минерализация грязевулканических вод выше, чем в 2010 г. Медианное значение составляет 21,8 и 19,8 г/л соответственно. Если разложить эту разницу по компонентам химического состава, то хорошо видно, что в 2011 г. увеличилась концентрация Na, Cl, $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$, K. Для проб 2011 г. наблюдается более тяжелый изотопный состав (рис. 1). Очевидно, что есть несколько возможных сценариев динамики гидрогеохимического режима Южно-Сахалинского грязевого вулкана. Сценарий 1: извержение вулкана не меняет его гидрогеохимического состояния, показатели химического состава вод остаются без изменения. Сценарий 2: извержение вулкана не меняет его гидрогеохимического состояния, но в силу разных причин, не связанных с извержением, показатели химического состава вод изменяют свои значения. Сценарий 3: извержение вулкана отражается на его гидрогеохимическом состоянии, показатели химического состава вод претерпевают изменения. Сценарий 4: извержение вулкана отражается на его гидрогеохимическом состоянии, но в силу разных причин показатели химического состава вод не изменяются.

Для нас наиболее интересным является сценарий 3. Сценарии 2 и 4 можно назвать ложноположительным и ложноотрицательным соответственно. Реализация этих сценариев может быть обусловлена такими факторами, как, например, погрешности химического анализа или смешение грязевулканических вод с метеорными водами. Межлабораторные сравнительные испытания показывают, что относительная погрешность химического анализа подземных вод составляет 10-25 % [3]. Существенную роль играет также используемый метод определения того или иного компонента. В нашем случае наблюдаются заметные различия в результатах химического анализа одних и тех же проб, выполненных разными методами и в разных лабораториях. Например, в аналитическом центре ДВФУ концентрации Mg, полученные методом КЭФ в среднем на 30 мг/л выше, чем концентрации Mg, полученные методом АЭС-ИСП. Эта разница составляет примерно 15 % от измеренной концентрации Mg.

Или, например, концентрации Na, полученные методом АЭС-ИСП в ДВГИ, как правило, на 400-800 мг/л меньше, чем концентрации Na, полученные методом АЭС-ИСП в ДВФУ. Эта разница составляет 5-15 % от измеренной концентрации Na. Более легкий изотопный состав водных проб 2009 г. может свидетельствовать о подмешивании метеорных вод в грязевой вулкан. Тогда различия гидрохимических показателей в 2010 и 2011 г. тоже можно попробовать объяснить подобным разбавлением метеорными водами. Однако концентрации SO_4 в 2010 и 2011 г. примерно одинаковы – в основном 5-30 мг/л. Тогда как наши более поздние наблюдения летом 2016 г. показали, что в грифонах с высокой долей метеорных вод (около 40 об. %) концентрация SO_4 достигает 300 мг/л. Отсюда можно полагать, что обсуждаемый фактор не играет главной роли в различиях химического состава проб 2010 г. от проб 2011 г.

Рис. 2. Расчетные пластовые температуры вод Южно-Сахалинского грязевого вулкана. Вычисления сделаны по Mg-Li и Na-Li геотермометрам с использованием данных, полученных разными методами и в разных лабораториях: 1 – 2011 г., АЭС-ИСП, ДВГИ; 2 – 2011 г., АЭС-ИСП, ДВФУ; 3 – 2011 г., КЭФ, ДВФУ; 4 – 2009 г., АЭС-ИСП, ДВФУ; 5 – 2009 г., КЭФ, ДВФУ

С помощью Mg-Li и Na-Li геотермометров [7] сделана оценка температуры формирования вод Южно-Сахалинского грязевого вулкана для проб 2010 и 2011 гг. (рис. 2). Диапазон температур по совокупности геотермометров составляет 75-110 °C. Хорошо видно, что температурные оценки, полученные по данным из лаборатории ДВГИ, заметно отличаются от остальных оценок. Вероятно, их следует считать несколько завышенными. Это еще раз показывает большую роль конкретной химико-аналитической лаборатории в получаемых результатах исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы данные об изотопном и химическом составе вод Южно-Сахалинского грязевого вулкана, полученные в 2011 г. Отбор проб был проведен спустя несколько месяцев после извержения вулкана. Предыдущее опробование вулкана проводилось в 2009 и 2010 гг. Сопоставление данных показало, что часть гидрохимических показателей имеет определенные различия до и после извержения вулкана. Следовательно, в перспективе возможно получить показатели-предикторы для прогноза динамики грязевулканической деятельности. Химический анализ водных проб выполнялся в разных химико-аналитических лабораториях и с использованием разных методов. Это является аналогом распространенной ситуации, когда гидрохимические данные по какому-либо вулкану получают разные исследователи. Показано, что для одних и тех же проб значения ряда показателей, определенных разными методами и в разных лабораториях, имеют достаточно сильные отличия. Другим фактором, влияющим на результаты гидрогеохимических исследований, является разбавление грязевулканических вод метеорными водами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев Ад.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. Атлас грязевых вулканов мира. – Баку: «Nafta-Press», 2015. – 322 с.
2. Гидрогеология СССР. Том XXIV. Остров Сахалин / ред. Е.Г. Чаповский, О.В. Равдоникас. – М.: Недра, 1972. – 344 с.
3. Горяева Л.И. Проверка квалификации аккредитованных экоаналитических лабораторий по определению минерального состава воды природной // Стандартные образцы. – 2010. – № 1. – С. 22-32.
4. Ершов В.В., Никитенко О.А. Изотопный и химический состав вод Южно-Сахалинского грязевого вулкана (по результатам опробования 2009 и 2010 годов) // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2017. – № 4-1. – С. 110-120.
5. Прытков А.С., Василенко Н.Ф., Ершов В.В. Моделирование извержения Южно-Сахалинского грязевого вулкана в 2011 г. по данным GPS наблюдений // Тихоокеанская геология. – 2014. – № 3. – С. 79-87.
6. Mazzini A., Etiope G. Mud volcanism: An updated review // Earth-Science Reviews. – 2017. – V. 168. – P. 81-112.
7. Verma S.P., Pandarinath K., Santoyo E. SolGeo: A new computer program for solute geothermometers and its application to Mexican geothermal fields // Geothermics. – 2008. – V. 37. – P. 597-621.