

УДК 551.21 + 550.4

ПЕРВЫЙ ОПЫТ ВЫДЕЛЕНИЯ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ ГРЯЗЕВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

© 2017 г. О. А. Никитенко, В. В. Ершов*, член-корреспондент РАН Б. В. Левин

Поступило 08.02.2017 г.

Впервые в мировой практике реализован гидрогеохимический мониторинг на грязевом вулкане. Измерения проводили в течение полевого сезона 2015 г. из пяти грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана с различной степенью активности. Установлены статистически значимые различия химического состава сопочных вод в разных грифонах. Данные различия определяются активностью грифонов вулкана.

DOI: 10.7868/S0869565217350171

Грязевой вулканизм — геологическое явление, сопровождающееся подъёмом и выбросом на дневную поверхность глинистых масс с обломками пород, подземных вод и газов (преимущественно углеводородных). На планете известно более 2500 грязевых вулканов, которые расположены, как правило, в нефтегазоносных регионах Земли [1]. В периоды между извержениями на кратерном поле вулкана образуются грифоны и сользы, через которые происходит относительно медленная разгрузка подземных флюидов. Грязевой вулканизм — опасное природное явление, которое необходимо учитывать при хозяйственном освоении территорий.

Известно много публикаций, посвящённых вопросам формирования изотопного и химического составов грязевулканических вод. Среди них можно выделить [2–6], являющиеся региональными обобщениями гидрогеохимических данных. При этих исследованиях, как правило, проводят разовые отборы небольшого количества проб с одного грязевого вулкана. В случае повторных опробований интервал времени между отборами может составлять десятки лет. Результаты систематических гидрогеохимических наблюдений на грязевом вулкане в [7], но и тогда отбор проб проводили всего несколько раз в год и из разных грифонов. Поэтому вопросы нестабильности химического состава сопочных вод недостаточно изучены. Цель нашей работы — анализ результатов гидрохимического мониторинга на Южно-Сахалинском грязевом вулкане для выявления закономерностей формирования

химического состава грязевулканических вод и его изменений во времени.

Отбор проб проводили с мая по сентябрь 2015 г. с периодичностью один раз в две недели из 5 грифонов вулкана с разной степенью активности. Под активностью грифона понимаем скорость потока водогрязевой смеси и газа. Высокую активность наблюдали у грифона 1, низкую — у грифона 4. Грифоны 2, 5, 3 имели среднюю активность (перечислены в порядке её убывания). Все грифоны, кроме грифона 5, расположены в пределах нескольких метров друг от друга. Определение pH, удельной электропроводности, содержания основных анионов и катионов в сопочных водах выполняли в центре коллективного пользования ИМГиГ ДВО РАН. Концентрации Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} определяли методом ионной хроматографии, концентрация HCO_3^- — титриметрическим методом.

Воды во всех грифонах Южно-Сахалинского грязевого вулкана гидрокарбонатно-хлоридно-натриевого типа, их минерализация, как правило, не более 25 г/л. Наблюдаются высокие концентрации Li^+ — главным образом 5,5–7,0 мг/л. Концентрация SO_4^{2-} в большинстве проб не превышает 50, концентрация Br^- не более 6 мг/л.

Установлено, что концентрации некоторых анионов и катионов в сопочных водах статистически значимо различаются для разных грифонов вулкана (рис. 1). Похожий эффект впервые наблюдали для определения химического состава сопочных газов при газогеохимическом мониторинге на Южно-Сахалинском грязевом вулкане в 2007 г. [8]. Видно, что минерализация выше в активных грифонах, исключая случаи очевидного разбавления дождевыми водами (15 июля и 12 августа 2015 г.).

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Южно-Сахалинск

*E-mail: valery_ershov@mail.ru

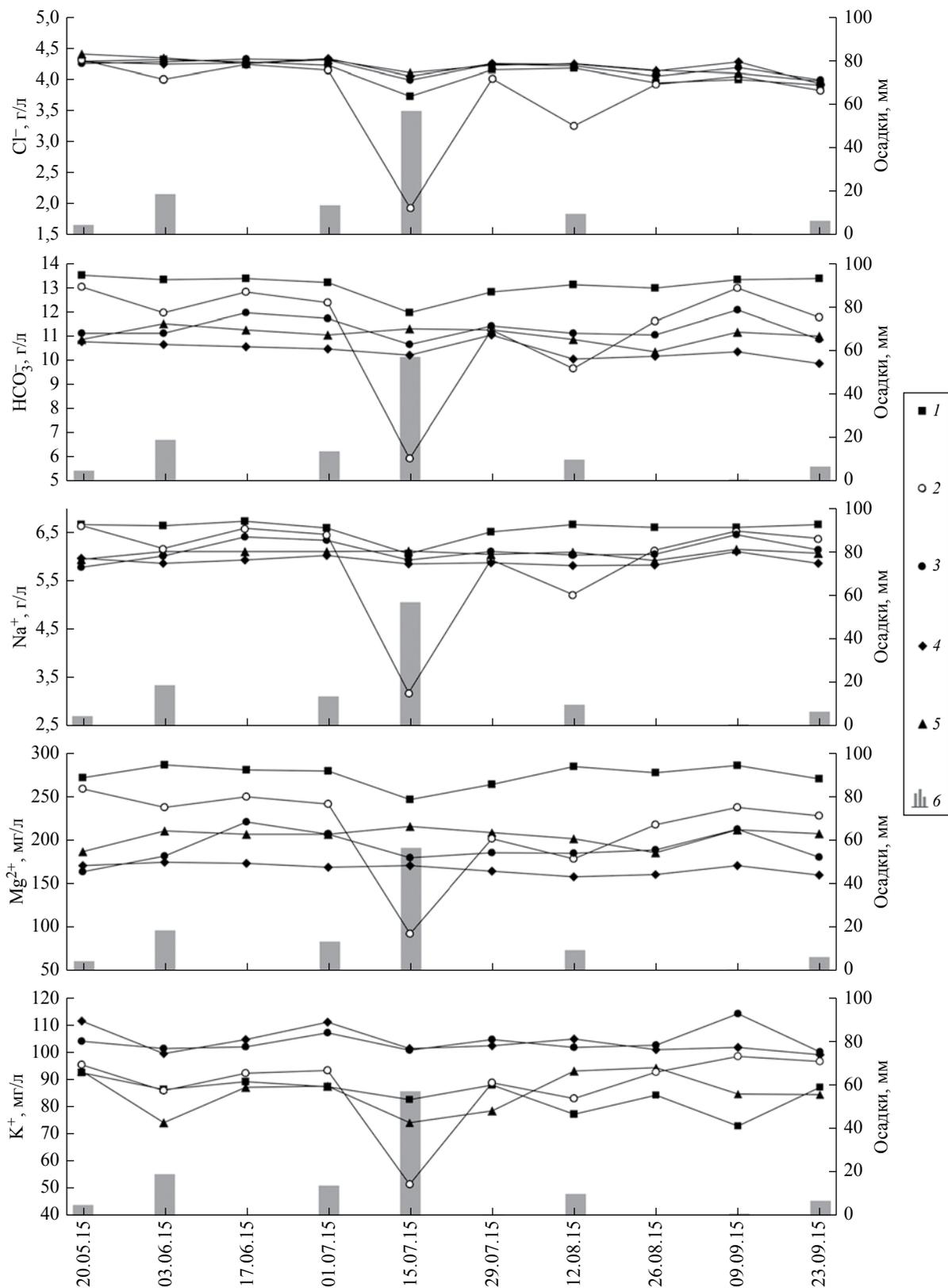


Рис. 1. Вариации химического состава вод из грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана в мае–сентябре 2015 г. 1–5 – опробованные грифоны; 6 – суммарное количество выпавших осадков за двое суток до отбора проб.

Это подтверждают и результаты измерения удельной электропроводности. В частности, в грифоне 1 медианное значение этого показателя за весь период наблюдений 21,9, тогда как в грифоне 4 всего 20,2 мСм/см. В более активных грифонах также выше концентрации Na^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- . При этом концентрация Cl^- примерно одинакова для всех грифонов, т.е. не зависит от их активности. Соответственно отсутствует зависимость между концентрациями Na^+ и Cl^- (коэффициент корреляции близок к нулю). Хлорид-ион – консервативный анион и его считают одним из показателей глубинности подземных вод [9]. Следовательно, химический состав сопочных вод контролируется активностью грифонов, а не поступлением в грифоны подземных вод с более глубоких горизонтов.

Указанные особенности мы объясняем взаимодействием в системе вода–порода–газ, которой является подводящий канал грязевого вулкана. В свободных газах Южно-Сахалинского грязевого вулкана преобладает CO_2 [8]. Увеличение потока сопочных газов через канал вулкана приводит к повышению количества растворенного CO_2 в сопочных водах. Это – причина увеличения концентрации HCO_3^- и способствует также более интенсивному гидролизу водовмещающих пород. Последнее приводит к поступлению дополнительного Na^+ , Mg^{2+} в водный раствор. Можно показать, что для вод Южно-Сахалинского грязевого вулкана Na/Cl , являющееся одним из генетических коэффициентов подземных вод, зависит от концентрации HCO_3^- (рис. 2). При уменьшении концентрации HCO_3^- до нуля Na/Cl становится равным $0,74 \pm 0,19$ (при доверительной вероятности 0,95). Это близко к значению 0,55, которое имеет Na/Cl для средней морской воды [10], т.е. поступление CO_2 в канал

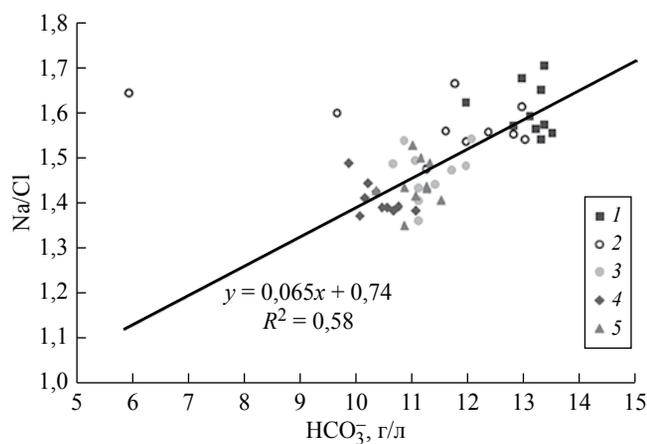


Рис. 2. Зависимость между Na/Cl и концентрацией HCO_3^- в водах из грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана (при расчёте линейного тренда исключены случаи разбавления дождевыми водами); 1–5 – опробованные грифоны.

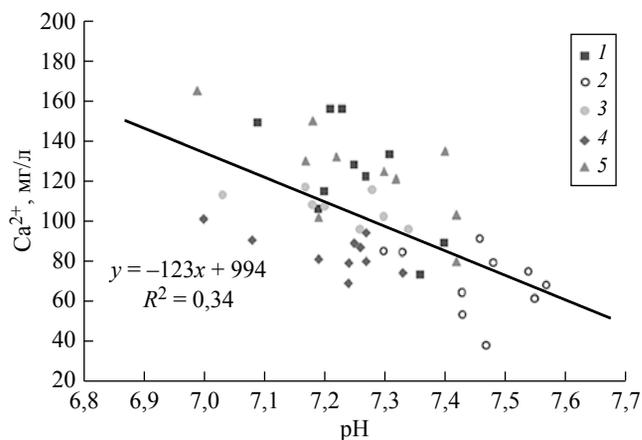


Рис. 3. Соотношение между pH и концентрацией Ca^{2+} в водах из грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана; 1–5 – опробованные грифоны.

вулкана – основной фактор метаморфизации сопочных вод, которые, по нашему мнению, изначально являются водами морского генезиса. Морские условия формирования грязевулканического вещества подтверждены и другими геолого-геохимическими данными [11, 12].

Различия концентраций Na^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- в сопочных водах из разных грифонов вулкана устойчивы во времени, что позволяет использовать эти показатели в качестве индикаторов грязевулканической активности. Очевидно, что вариации гидрохимических показателей могут быть обусловлены изменениями активности грифонов и/или разбавлением метеорными водами. Активность грифонов в период проведения мониторинга была почти неизменной. В июле 2015 г. прошли ливневые дожди, что существенно сказалось на концентрации растворённых солей в некоторых грифонах (рис. 1). Эти случаи хорошо видны на диаграмме $\text{Na}/\text{Cl}-\text{HCO}_3^-$, поскольку при разбавлении дождевыми водами происходит пропорциональное уменьшение концентраций всех ионов (Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- и др.). Соответственно Na/Cl остаётся постоянным, а концентрация HCO_3^- понижается. В случае изменения активности грифона концентрация Cl^- остается постоянной, а концентрации Na^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- изменяются.

Поведение Ca^{2+} в сопочных водах имеет свои особенности. Концентрация Ca^{2+} изменяется в более широких пределах – коэффициент вариации в некоторых грифонах ~25%. Есть некоторая тенденция к увеличению концентрации Ca^{2+} с повышением активности грифонов, но её трудно назвать строгой. Наблюдается статистически значимая связь со значениями pH грязевулканических вод – концентрация Ca^{2+} уменьшается с ростом этого показателя (рис. 3). При наблюдаемых

значениях рН содержание CO_3^{2-} на три порядка меньше содержания HCO_3^- [13]. Однако высокие концентрации HCO_3^- , Ca^{2+} приводят к тому, что воды Южно-Сахалинского грязевого вулкана оказываются пересыщенными по кальциту. С ростом рН повышается содержание CO_3^{2-} , что приводит к большему пересыщению вод кальцитом и более интенсивному его осаждению. Следовательно, концентрации Ca^{2+} в сопочных водах во многом регулируются карбонатным равновесием.

Результаты наших работ показывают возможность получения гидрогеохимических индикаторов грязевулканической активности. Канал грязевого вулкана – специфическая геохимическая система вода–порода–газ. Различия в активности вулкана закономерным образом отражаются в химическом составе разгружаемых грязевулканических вод.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15–05–01768.

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. Лаврушин В.Ю., Гулиев И.С., Киквадзе О.Е. и др. // Литология и полез. ископаемые. 2015. № 1. С. 3–29.
3. Ершов В.В., Левин Б.В. // ДАН. 2016. Т. 471. № 1. С. 82–86.
4. Dia A.N., Castrec-Rouelle M., Boulegue J., Co-meau P. // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1999. V. 63. P. 1023–1038.
5. Ray S.J., Kumar A., Sudheer A.K., et al. // Chem. Geol. 2013. V. 347. P. 102–113.
6. Chao H.C., You C.F., Liu H.C., Chung C.H. // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2013. V. 114. P. 29–51.
7. Ершов В.В. // Тихоокеан. геология. 2017. № 1. С. 79–87.
8. Ершов В.В., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И. // ДАН. 2011. Т. 440. № 2. С. 256–261.
9. Смирнов С.И. Введение в изучение геохимической истории подземных вод седиментационных бассейнов. М.: Недра, 1974. 264 с.
10. Хорн Р. Морская химия (структура воды и химия гидросферы). М.: Мир, 1972. 400 с.
11. Сырык И.М. Нефтегазоносность восточных склонов Западно-Сахалинских гор. М.: Наука, 1968. 248 с.
12. Полоник Н.С., Шакиров Р.Б., Сорочинская А.В., Обжиров А.И. // ДАН. 2015. Т. 462. № 1. С. 79–83.
13. Драйвер Дж. Геохимия природных вод. М.: Мир, 1985. 440 с.