

УДК 551.21+550.4

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВЕЩЕСТВЕННОМ СОСТАВЕ ПРОДУКТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

© 2016 г. В. В. Ершов*, член-корреспондент РАН Б. В. Левин**

Поступило 15.02.2016 г.

Изложены результаты современных исследований изотопного и химического составов сопочных вод и брекчии, выбрасываемых грязевыми вулканами Керченского п-ова. Установлено, что воды опробованных вулканов – слабосоленые, хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые, с повышенным содержанием ^{18}O . Брекция обогащена органическим веществом и рядом микроэлементов – Li, Se, Hg и др. Среди петрогенных элементов отмечено деплетирование Ca в брекчии.

DOI: 10.7868/S0869565216310182

Грязевые вулканы – одно из самых интересных проявлений разгрузки подземных флюидов в разломных зонах земной коры. Помимо фундаментальной научной составляющей изучение грязевого вулканизма имеет и практическое значение, поскольку это опасное природное явление, требующее учета при строительстве и эксплуатации инженерных объектов. На территории б. СССР известно несколько крупных грязевулканических провинций – на Керченском, Таманском п-овах, в Азербайджане. Масштабные геолого-геохимические исследования проводили там в 60–80-е годы XX в. [1]. Исследованиями последних лет были охвачены грязевые вулканы Азербайджана, Таманского п-ова [2–6]. Для Керченского п-ова современные исследования проводили на отдельных вулканах [7]. В 2014 г. между ИМГиГ ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск) и ТНУ (г. Симферополь) заключен договор о научном сотрудничестве. Цель работы – получение и анализ новых данных о составе продуктов грязевулканической деятельности, позволяющих судить об очагах грязевых вулканов Керченского п-ова.

На Керченском п-ове находится более 20 грязевых вулканов [8]. Многие из них сейчас пассивны и не имеют грифонной деятельности. В сентябре 2014 г. обследованы 9 грязевых вулканов (рис. 1), часть из которых имеет отдельные эруп-

тивные центры: Чонгелекский (1); Бурашский (2); Больше-Тарханский (3); Мало-Тарханский (4) – сопки Шилова (4/1), Трубецкого (4/2); Булганакский (5) – сопки Андрусова (5/1), Павлова (5/2), Вернадского (5/3), Ольденбургского (5/4), Центральное оз. (5/5), Обручева (5/6), Тищенко (5/7); Еникальский (6); Андреевский (7); Джарджава, или Восходовский (8); Никитский, или Солдатско-Слободской (9). Из грифонов вулканов отбирали пробы свежей водогрязевой смеси, которую затем разделяли на жидкую и твердую фазы.

Определение D и ^{18}O в сопочных водах выполнено на лазерном инфракрасном анализаторе Picarro L-2120-i (“Picarro Inc.”, США) в Ресурсном центре “Геомодель” при СПбГУ (Санкт-Петербург). Масс-спектральное и атомно-эмиссионное изучение элементного состава сопочных вод и брекчии выполнено в ИПТМ РАН (Черноголовка) и ВИМС (Москва). В ИМГиГ ДВО РАН методом ионной хроматографии определяли концентрацию Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} в сопочных водах, концентрацию HCO_3^- , CO_3^{2-} – титриметрическим методом. Там же на анализаторе углерода TOC-L CSN (“Shimadzu”, Япония) и при помощи приставок TNM-L, SSM-5000A измерено содержание неорганического углерода IC в сопочных водах и брекчии, общего азота TN в сопочных водах, общего углерода TC и общего органического углерода TOC в брекчии.

Воды исследованных вулканов – слабощелочные, хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые, богатые В (до 546 мг/л), минерализация 13.2–17.6 г/л (табл. 1). Полученные данные довольно суще-

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

* E-mail: valery_ershov@mail.ru

** E-mail: levinbw@mail.ru

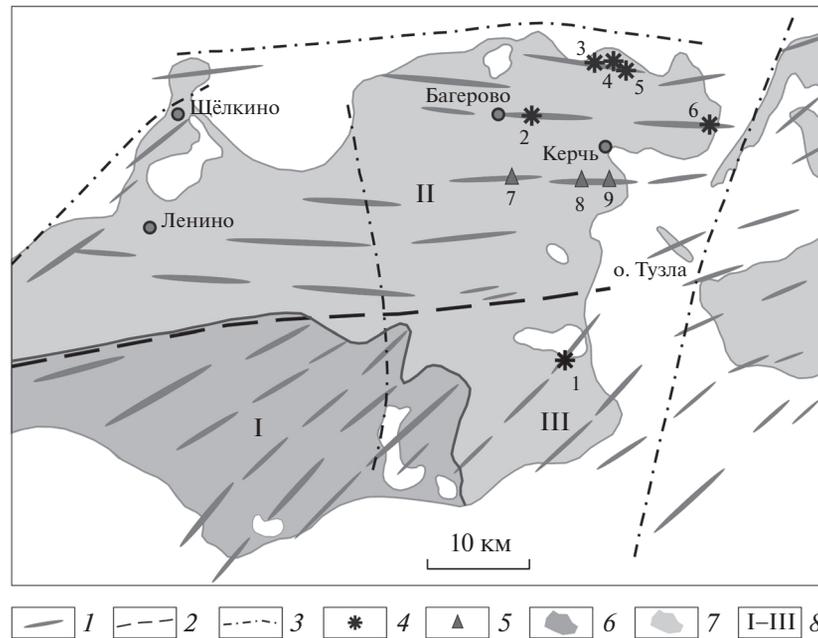


Рис. 1. Основные структурно-тектонические элементы Керченского п-ова [8] с указанием обследованных в сентябре 2014 г. грязевых вулканов. 1 – антиклинальные складки; 2, 3 – достоверные и предполагаемые разрывные нарушения соответственно; 4 – активные вулканы; 5 – пассивные вулканы; 6 – майкопские отложения; 7 – другие кайнозойские отложения; 8 – геоструктурные единицы: I – Юго-Западная равнина, II – Внепарпатская область, III – Керченско-Таманский поперечный прогиб. Арабскими цифрами на карте обозначены грязевые вулканы (пояснения в тексте).

ственно отличаются от результатов предыдущих исследований [9] по минерализации и концентрации отдельных компонентов. В частности, не подтверждается высокое содержание SO_4^{2-} . Причиной этих расхождений могла бы являться неоднородность химического состава сопочных вод в пределах одного грязевого поля. Однако гидрохимические показатели двух проб из разных грифонов сопки Ольденбургского практически идентичны. В связи с этим мы полагаем, что химический состав сопочных вод характеризуется сильной изменчивостью во времени.

Согласно [6], наиболее подходящий для вод грязевых вулканов – “Mg–Li-геотермометр” [10], а “Na–Li-геотермометр” [10] можно использовать в качестве дублирующего (табл. 2). По Mg–Li-геотермометру температура генерации сопочных вод Керченского п-ова выше, чем аналогичный показатель для вод большинства грязевых вулканов Таманского п-ова. Среди последних близкие температуры характерны для вулканов Шуго, Семигорский, Гладковский, Карабетовский [4]. Они же имеют наибольшие значения интегрального показателя глубинности, демонстрирующего относительную глубину корней таманских вулканов [2]. Использование “Na–K-

геотермометра” [11] приводит к более низким оценкам температуры формирования сопочных вод. Однако разные геотермометры имеют различную скорость достижения равновесных концентраций, к чему чувствительны медленно восходящие подземные воды.

Воды керченских грязевых вулканов обогащены дейтерием и ^{18}O (рис. 2). Только небольшая часть таманских вулканов имеет схожие значения $\delta^{18}O$ и δD – упомянутые выше Шуго, Семигорский, Гладковский, Карабетовский. Высокие значения изотопных параметров можно объяснить большей глубиной заложения грязевулканических очагов. Расчеты по гидрохимическим геотермометрам не противоречат такому выводу. Возможно, однако, что сопочные воды происходят из карбонатных коллекторов. Например, высокие значения $\delta^{18}O$ (10–14‰ SMOW) для некоторых таманских вулканов объясняют изотопным обменом с осадочными карбонатами при температуре около 150°C [5].

Сопочная брекчия по гранулометрическому составу представлена в основном алевритовыми и пелитовыми частицами. Концентрация ТОС в брекчии (табл. 3) в основном выше среднего значения для глин различных фациальных зон –

Таблица 1. Изотопный и химический составы сопочных вод грязевых вулканов Керченского п-ова

| Показатель | Место отбора | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3a | 3b | 4/1 | 5/1 | 5/2 | 5/4a | 5/4b | 5/7 |
| $\delta^{18}\text{O}$, ‰ SMOW | -1.7 | 4.5 | 8.9 | 11.2 | 8.2 | 10.5 | 10.6 | 9.3 | 9.5 | 9.7 |
| δD , ‰ SMOW | -23 | -17 | -17 | -21 | -23 | -20 | -20 | -17 | -20 | -20 |
| pH | 9.0 | 8.1 | 7.8 | 7.7 | 8.1 | 9.1 | 8.1 | 8.0 | 8.0 | 8.2 |
| УЭП, мСм/см | 20.8 | 21.8 | 20.7 | 16.8 | 17.8 | 16.7 | 16.3 | 15.7 | 15.7 | 17.4 |
| TN | 33.6 | 8.86 | 19.6 | 19.7 | 2.73 | 8.06 | 16.5 | 24.2 | 23.9 | 14.6 |
| IC | 700 | 370 | 910 | 710 | 770 | 720 | 890 | 940 | 930 | 1050 |
| Cl^- | 5790 | 7100 | 5450 | 4480 | 4350 | 3690 | 3470 | 3360 | 3380 | 3500 |
| HCO_3^- | 3300 | 2500 | 5700 | 4600 | 4600 | 2750 | 4650 | 5650 | 5650 | 5500 |
| CO_3^{2-} | 600 | 100 | 0 | 0 | 300 | 1600 | 550 | 150 | 150 | 650 |
| SO_4^{2-} | 25 | 22 | 4.3 | 0.3 | 180 | 58 | 95 | 6.0 | 5.9 | 29 |
| Br^- | 64.5 | 21.3 | 15.3 | 12.1 | 16.8 | 15.5 | 14.7 | 14.1 | 14.2 | 15.4 |
| Na | 5830 | 4190 | 5550 | 4440 | 4830 | 4450 | 4280 | 4250 | 4450 | 4990 |
| K | 50.6 | 26.7 | 133 | 106 | 26.6 | 34.5 | 60.7 | 55.8 | 60.1 | 49.3 |
| Ca | 27.6 | 58.4 | 99.4 | 98.2 | 15.8 | 52.8 | 49.2 | 49.8 | 46.4 | 57.8 |
| Mg | 44.7 | 60.8 | 60.0 | 50.5 | 70.5 | 28.0 | 32.7 | 35.4 | 33.8 | 73.7 |
| B | 18.7 | 258 | 546 | 423 | 496 | 486 | 450 | 419 | 419 | 428 |
| Si | 3.74 | 5.76 | 9.56 | 14.2 | 13.6 | 15.4 | 31.1 | 35.4 | 34.4 | 15.3 |
| S | 7.27 | 5.63 | 1.67 | < 0.6 | 37.9 | 13.9 | 17.7 | 2.12 | 1.78 | 10.5 |
| Li | 0.84 | 1.06 | 3.56 | 2.83 | 1.38 | 2.23 | 2.72 | 2.12 | 2.36 | 1.41 |
| Sr | 1.99 | 1.97 | 3.36 | 3.92 | 1.71 | 2.52 | 3.95 | 9.65 | 10.4 | 2.08 |
| Ba | 0.68 | 1.24 | 2.75 | 3.82 | 0.96 | 1.17 | 1.85 | 1.68 | 1.95 | 1.14 |
| As | 6.48 | 6.29 | 8.11 | 4.07 | 12.9 | 31.8 | 32.0 | 3.91 | 35.3 | 3.88 |
| Rb | 12.1 | 10.9 | 374 | 347 | 8.12 | 6.25 | 24.8 | 23.8 | 21.2 | 11.1 |
| Zr | 15.0 | 13.4 | 17.6 | 11.3 | 6.31 | 20.1 | 12.0 | 9.82 | 1.60 | 19.1 |
| Cs | 0.34 | 0.46 | 42.5 | 89.4 | 0.13 | 0.09 | 0.31 | 0.13 | 0.10 | 0.15 |

Примечание. TN–Ba (мг/л); As–Cs (мкг/л).

Таблица 2. Значения пластовых температур по гидрохимическим геотермометрам для грязевых вулканов Керченского п-ова

| Место отбора | Температура, °С | | |
|--------------|-----------------|-------|------|
| | Mg–Li | Na–Li | Na–K |
| 1 | 72 | 71 | 32 |
| 2 | 74 | 90 | 20 |
| 3a | 106 | 127 | 84 |
| 3b | 102 | 127 | 84 |
| 4/1 | 79 | 95 | 14 |
| 5/1 | 103 | 117 | 27 |
| 5/2 | 107 | 127 | 55 |
| 5/4a | 99 | 116 | 51 |
| 5/4b | 102 | 119 | 53 |
| 5/7 | 79 | 94 | 38 |

Таблица 3. Содержание различных форм углерода (мас. %) в сопочной брекчии грязевых вулканов Керченского п-ова

| Место отбора | ТС | IC | ТОС |
|--------------|------|------|------|
| 1 | 2.87 | 1.08 | 1.79 |
| 2 | 1.86 | 0.72 | 1.14 |
| 3a | 2.34 | 1.45 | 0.88 |
| 4/1 | 1.68 | 0.82 | 0.86 |
| 5/1 | 1.65 | 0.94 | 0.71 |
| 5/2 | 1.59 | 0.82 | 0.77 |
| 5/4a | 1.38 | 1.04 | 0.34 |
| 5/4b | 1.42 | 1.04 | 0.38 |
| 5/7 | 1.77 | 0.84 | 0.93 |
| 6 | 2.50 | 1.23 | 1.27 |

0.67 мас. % [14]. Для Чонгелекского вулкана, рядом с которым наблюдаются множественные выходы нефти, этот показатель превышает 1.37 мас. % – среднее значение для глин нефтеносных районов [14]. Это подтверждает распространенную точку зрения, что корни вулканов залегают в отложениях майкопской свиты – регионально осадочного комплекса глинистых пород мощностью до 3 км. Нижняя часть майкопской

свиты обладает хорошими нефтегазоматеринскими свойствами.

Валовый элементный состав брекчии нормировался на кларки элементов в осадочном слое континентальной коры [15]. Брекчия обогащена Li, Se, встречаются повышенные содержания As, Hg, Pb, Bi (рис. 3). Вероятно, эти элементы накапливаются в брекчии посредством сорбции на глинистом материале. По крайней мере, фракция <1 мкм из брекчии таманских вулканов характеризуется еще высоким содержанием Li [4] – его отношение к кларковому значению до 7.3. Пониженные содержания в брекчии наблюдаются для Mg, Ag, Cd, Sn, Tl. Отдельно отметим низкое содержание Са в брекчии. Этот показатель тесно связан с концентрацией IC в брекчии (коэффициент корреляции 0.98), т.е. Са находится в брекчии главным образом в виде карбонатных минералов. По нашему мнению, пониженное содержание Са обусловлено постоянным растворением Са-содержащих минералов и дальнейшим выносом этого элемента из грязевулканических очагов, а карбонаты в брекчии – вторичные минералы, отлагающиеся при декомпрессии в процессе подъема подземных флюидов.

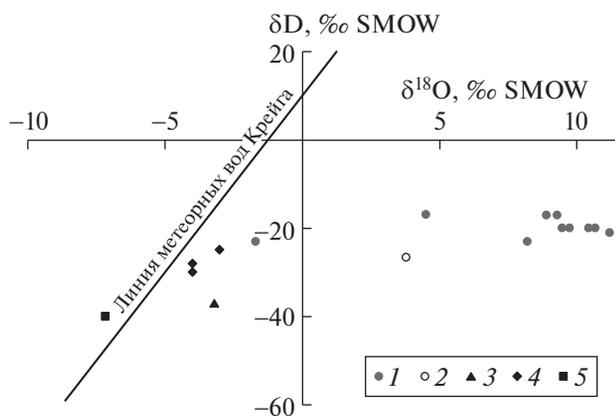


Рис. 2. Соотношение изотопов кислорода и водорода сопочных, морских и метеорных вод Керченско-Таманской области. 1 – сопочные воды керченских вулканов, 2 – среднее для сопочных вод таманских вулканов [3], 3 – воды Азовского моря [12], 4 – воды Черного моря [13], 5 – среднегодовое значение для атмосферных осадков Ялты [13].

Полученные данные послужат основой для создания системы геохимических индикаторов, маркирующих эруптивные выходы грязевых вулканов. Это особенно необходимо в тех случаях, когда вулканы находятся на дне морских акваторий и недоступны для визуального наблюдения.

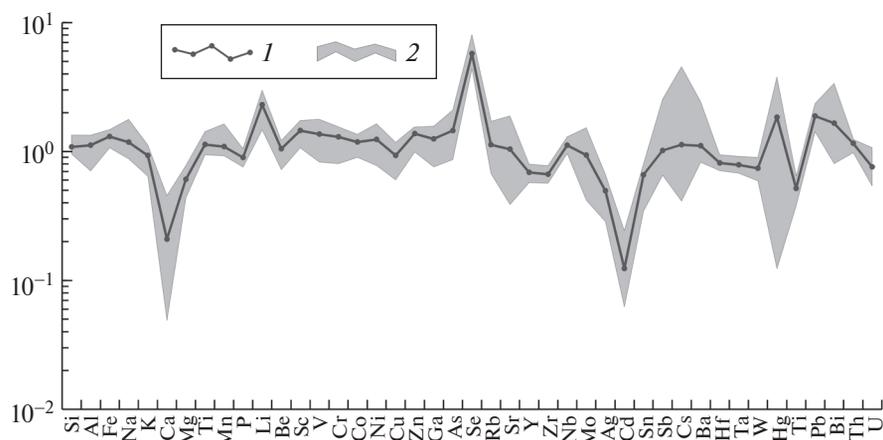


Рис. 3. Элементный состав брекчии грязевых вулканов Керченского п-ова, нормированный на кларки элементов в осадочном слое континентальной коры [15]. 1 – средние значения по опробованным грязевым вулканам, 2 – наблюдаемый диапазон вариаций.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15–05–01768).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якубов А.А., Григорьянц Б.В., Алиев Ад.А. и др. Грязевой вулканизм Советского Союза и его связь с нефтегазоносностью. Баку: Элм, 1980. 167 с.
2. Лаврушин В.Ю., Поляк Б.Г., Прасолов Э.М., Каменский И.Л. // Литология и полез. ископаемые. 1996. № 6. С. 625–647.
3. Лаврушин В.Ю., Дубинина Е.О., Авдеенко А.С. // Литология и полез. ископаемые. 2005. № 2. С. 143–158.
4. Лаврушин В.Ю., Корф А., Дейhle А., Степанец М.И. // Литология и полез. ископаемые. 2003. № 2. С. 147–182.
5. Буюкайте М.И., Лаврушин В.Ю., Покровский Б.Г. и др. // Литология и полез. ископаемые. 2014. № 1. С. 52–59.
6. Лаврушин В.Ю., Гулиев И.С., Киквадзе О.Е. и др. // Литология и полез. ископаемые. 2015. № 1. С. 3–29.
7. Kokh S.N., Shnyukov Y.F., Sokol E.V., et al. // Sediment. Geol. 2015. V. 325. P. 26–40.
8. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области: атлас. Киев: Наук. думка, 1986. 152 с.
9. Куришко В.А., Месяц И.А., Тердовидов А.С. // Геол. журн. 1968. Т. 28. № 1. С. 49–59.
10. Kharaka Y.K., Mariner R.H. Thermal History of Sedimentary Basins. N.Y.: Springer-Verlag, 1989. P. 99–117.
11. Arnorsson S., Gunnlaugsson E., Svavarsson H. // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1983. V. 47. P. 567–577.
12. Nevinsky I., Nevinsky V., Panyushkin V., et al. // Radiat. Meas. 2001. V. 34. P. 349–353.
13. Ветштейн В.Е. Изотопы кислорода и водорода природных вод СССР. Л.: Недра, 1982. 216 с.
14. Ронов А.Б. // Геохимия. 1958. № 5. С. 409–423.
15. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 383 с.