

УДК 550.93+550.42

## ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СТРОНЦИЯ В ВОДАХ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2021 г. А. С. Айдаркожина<sup>1,2,\*</sup>, В. Ю. Лаврушин<sup>1,2</sup>, член-корреспондент РАН А. Б. Кузнецов<sup>3</sup>,  
Э. В. Сокол<sup>2</sup>, А. Ю. Крамчанинов<sup>3</sup>

Поступило 03.02.2021 г.

После доработки 10.03.2021 г.

Принято к публикации 24.03.2021 г.

Определен изотопный состав стронция в водах 17 грязевых вулканов Северо-Западного Предкавказья. Значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в водах варьируют от 0.70734 до 0.71076 и положительно коррелируют с величинами  $\delta^{18}\text{O}$  и температурами флюидогенерации, определенными по Mg–Li-геотермометру. Полученные данные позволяют сделать вывод об изолированности грязевулканических систем Керченско-Таманской области от флюидных систем нижележащих мезозойских комплексов осадочного чехла Западно-Кубанского прогиба. Важная роль в водном балансе грязевулканических систем принадлежит дегидратационным водам, выделявшимся в ходе реакции иллитизации смектитов. Весь комплекс изотопных данных указывает как на локализацию геохимических процессов в толще отложений майкопской серии, так и на геохимическую неоднородность верхней части осадочного чехла Западно-Кубанского прогиба.

*Ключевые слова:* грязевые вулканы, изотопы стронция, Предкавказье, Керченско-Таманская провинция

10.31857/S2686739721070021

### ВВЕДЕНИЕ

Определение геохимических характеристик грязевулканических эманаций позволяет получить представление о геохимических особенностях глубинных флюидных систем нефтегазоносных бассейнов. Однако до сих пор остаются дискуссионными вопросы оценки глубин формирования газовой и водной составляющих грязевулканических выбросов, а также механизмов обогащения вод микрокомпонентами и формирования на глубине больших объемов глинистой пульпы. Эти вопросы актуальны и в отношении грязевых вулканов Керченско-Таманской области, локализованных в южной части Западно-Кубанского прогиба, примыкающей к горным сооружениям Большого

Кавказа и Крыма. Верхний структурный этаж Западно-Кубанского бассейна сложен отложениями кайнозойского возраста, большая часть мощности которых (до 4–6 км) приходится на глинистые осадки майкопской серии олигоцен-раннемиоценового возраста. Их подстилают карбонатные и терригенные отложения мела и юры. В отношении глубин расположения “корней” грязевых вулканов этой территории имеются весьма противоречивые точки зрения. Е.Ф. Шнюков и соавт. [16] полагают, что питание этих грязевулканических систем обеспечивают мезозойские и даже более древние толщи, залегающие на глубинах более 5 км. Однако многочисленные оценки температур флюидогенерации, полученные по гидрохимическим геотермометрам, согласованно указывают на относительно небольшие температуры формирования грязевулканических вод в этом регионе – от 20–40 до 80–120°C [4–7]. Такие температуры флюидогенерации соответствуют интервалу глубин от 1 до ~4 км, где залегают майкопские толщи.

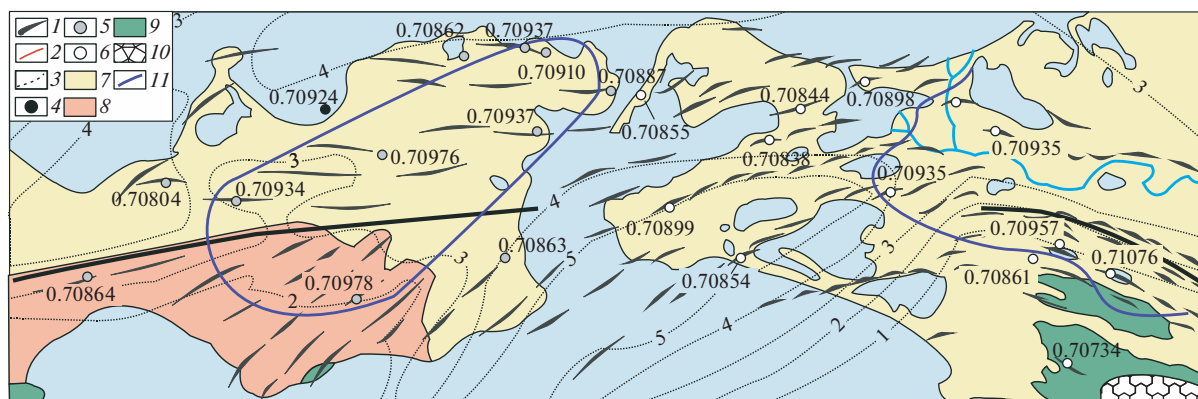
Исследование изотопного состава Sr в солевом составе вод позволяет определить природу геохимического резервуара [5] и таким образом независимо подтвердить или опровергнуть связь грязевулканических вод региона с карбонатными коллекторами мезозоя. Осадочные карбонаты

<sup>1</sup> Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: altin.echo@mail.ru



**Рис. 1.** Значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в водах Керченско-Таманской грязевулканической области. Информация о геологическом строении дана по [18]. Условные обозначения: 1 – антиклинальные складки; 2 – разрывные нарушения; 3 – изолинии мощностей отложений майкопской серии по [17]; 4–6 – пункты опробования вод на  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : 4 – вода Азовского моря, 5 – вулканы Керченского полуострова (см. табл. 1, 2), 6 – вулканы Таманского полуострова по [10]; 7–9 – выходы отложений разного возраста: 7 – позднемiocен-четвертичного, 8 – майкопской серии, 9 – мелового возраста; 10 – антиклинорий Большого Кавказа; цифрами на рисунке; 11 – границы области значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.709$  (цифры приведены на рисунке).

мелового возраста характеризуются пониженными значениями  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (до 0.707) [18], что резко отличает их как от кайнозойских карбонатов, так и от алюмосиликатного материала разновозрастных глинистых пород ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.709$ ) [10]. Ранее изотопный состав Sr был определен в водах 11 грязевых вулканов Таманского полуострова [12]. В 2015 и 2017 г. авторами было обследовано еще 17 объектов на Керченском полуострове (рис. 1). В результате было охарактеризовано 30 вулканов региона, что впервые позволило выявить общие закономерности изменения значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в водах всей Керченско-Таманской области развития грязевого вулканизма.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На вулканах отбирались образцы глинистой пульпы, которая после отстаивания в пластиковых бутылках в течение суток отфильтровывалась через фильтр 0.45 мкм. Проба консервировалась концентрированной  $\text{HNO}_3$ . Определение изотопного состава Sr в пробах грязевулканических вод было выполнено в ИГД РАН (Санкт-Петербург). Аликвота воды упаривалась досуха, после чего остаток растворялся в 8М  $\text{HNO}_3$  и центрифугировался. Выделение Sr проводилось с использованием анионита SrResin. Изотопный анализ выполнен на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI (табл. 1). Среднее значение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в стандарте SRM-987 составило  $0.710250 \pm 0.000009$  ( $n = 12$ ). В коллекции проб воды и газов, отобранных на этих же объектах, в ГИН РАН (Москва) был определен ряд изотопных характеристик:  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{2}\text{H}$  в  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  в  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  в  $\text{CH}_4$

и  $\text{CO}_2$ . Для оценки температур флюидогенерации использовался Mg–Li-гидрохимический геотермометр [4–11].

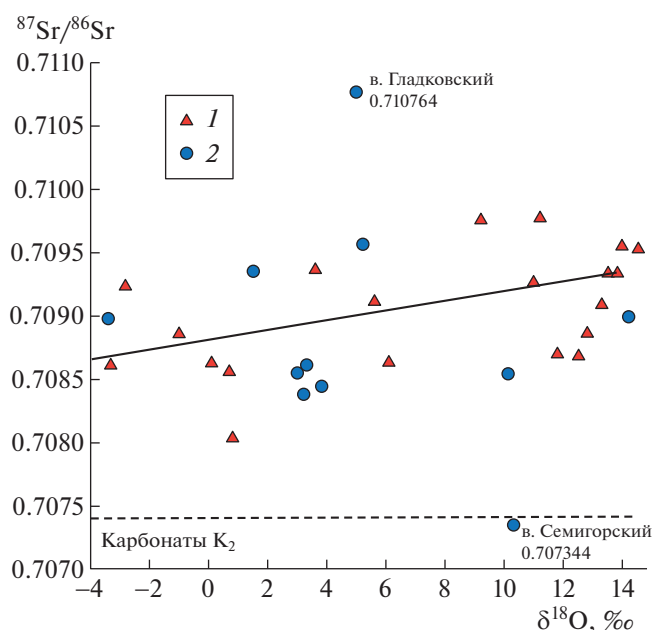
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Воды грязевых вулканов Керченско-Таманской области характеризуются довольно специфическим составом. Их pH варьирует от 7.0 до 8.9, а Eh – от –220 до –110 мВ. Минерализация вод в большинстве вулканов меняется от 5 до 20 г/л ( $\text{Min}_{\text{средн.}} = 12.6 \pm 3.5$  г/л;  $n = 78$ ). Большинство вод относится к Cl– $\text{HCO}_3^-$ –Na-типу. Концентрация  $\text{HCO}_3^-$  зачастую меняется от 1.4 до 9.2 г/л ( $\text{HCO}_3^-_{\text{ср.}} = 4.5 \pm 1.8$  г/л;  $n = 82$ ). Характерной особенностью изученных вод является их обогащение бором, нередко достигающее ураганных величин (от 0.6 мг/л до 1.64 г/л, среднее – 310 мг/л) [4, 7, 15].

Содержание Sr в грязевулканических водах региона варьирует в широком интервале значений (0.1–42 мг/л). Самые высокие его концентрации характерны для минерализованных вод вулканов Гладковский, Королевский и Тобечик, принадлежащих к Cl–Na- и Cl–Na–Ca-типам. Для большинства объектов, воды которых относятся к Cl– $\text{HCO}_3^-$ –Na-типу, содержание Sr резко снижается с ростом концентрации  $\text{HCO}_3^-$  и, вероятно, контролируется равновесием с  $\text{SrCO}_3$ . Следует отметить, что повышенные концентрации Sr помимо нескольких грязевых вулканов, изливающих воды Cl–Na-типа, также характерны и для объектов, расположенных в предгорьях Большого Кавказа (например, Семигорский и Шуго). Значения от-

Таблица 1. Изотопный и химический состав грязевулканических вод Керченского полуострова

№ Обр.	Название	Мин., г/л	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	Cl <sup>-</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	Mg <sup>2+</sup> , мг/л	Na <sup>+</sup> , мг/л	K <sup>+</sup> , мг/л	Li, мкг/л	Sr, мг/л	δ <sup>18</sup> O, ‰	δ <sup>2</sup> H, ‰	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr
2-15	озеро Чокрак, сероводородный ист.	23	—	—	6486	503	8360	148	1199	22	—	—	0.70862
5-15	в. Булганакский, центр. сальза	14	5246	3830	27	36	4336	85	3175	4	13.3	-22	0.70910
9-2-15	в. Еникльский	12	6710	1433	3	26	2982	45	1242	2	12.8	-30	0.70887
10-15	Арма-Эли	11	2440	5886	14	37	3914	29	1320	1	6.1	-22	0.70864
11-15	Насырский	12	2562	7446	32	71	5057	32	958	2	0.8	-25	0.70804
13-15	Королевский	15	2684	21205	23	188	10928	214	24437	27	13.8	-4	0.70934
16-15	Бурашский	—	1708	5815	64	52	3216	34	764	2	3.6	-19	0.70937
19-15	Чонгеленский	—	4270	6170	58	52	4348	67	881	2	0.1	-29	0.70863
21-15	Борух-Оба	7	7808	1773	224	10	4184	14	1246	1	11.2	-14.2	0.70978
23-15	ист. Сеит-Эли	—	4514	1872	141	77	2595	111	2612	2	9.2	-38	0.70976
201-1-17	Булганакский, сальза № 2	—	7564	55141	49	26	6187	74	7244	3	11	-14.6	0.70927
202-2-17	Ольденбургского, сальза № 2	17	5856	3368	0	35	4097	66	2762	11	12.5	-20.0	0.70869
202-3-17	Ольденбургского, сальза № 3	13	5856	3191	0	36	3855	64	2619	10	11.8	-22.5	0.70870
203-17	Андрусова	13	5978	3368	16	27	4112	32	2489	2	13.5	-23.8	0.70870
204-17	Большой Тарханский вулкан, сальза № 1	—	4270	4609	0	51	3937	110	3535	3	14	-21.7	0.70870
204-2-17	Большой Тарханский, сальза № 3	16	4270	4255	0	57	3633	106	3333	4	14.5	-22.4	0.70870
205-1-17	Тобечик	14	3660	35708	350	1669	22860	582	1451	15	0.7	-29.0	0.70870
208-1-17	Еникальский	11	3904	2659	501	110	2578	29	762	2	-1.0	-44.4	0.70870
ss-17-1-6	Солдатско-Слободской	25	3050	3900	0	13	3072	9	131	0	5.6	-24.3	0.70870



**Рис. 2.** Соотношение значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в водах грязевых вулканов Керченского (1) и Таманского (2) полуостровов. Пунктирной линией показаны максимальные значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  для карбонатов верхнемелового возраста [7].

носительных коэффициентов  $K_{\text{Sr}}$ , характеризующих степень концентрирования стронция в грязевулканических водах относительно морской воды ( $K = (\text{Sr}/\text{Cl})_{\text{обр}}/(\text{Sr}/\text{Cl})_{\text{море}}$ ), для большинства вулканов находятся в диапазоне от 0.1 до 2. Однако в водах отдельных вулканов (Гладковского, Шуго, Семигорского, Королевского, Ольденбургского) величины  $K_{\text{Sr}}$  возрастают до  $\sim 5$ –9.

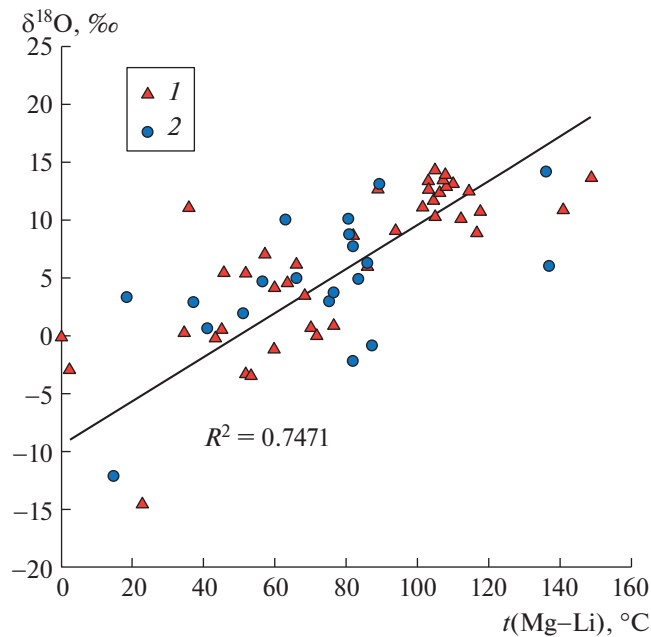
Значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в большинстве проб воды варьируют в относительно узком интервале от 0.70804 до 0.70978 (табл. 1). На фоне этой достаточно однородной выборки выделяются два вулкана с аномально высокой (0.71076 в Гладковском) и аномально низкой (0.70734 в Семигорском) величинами  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Оба объекта расположены на Тамани в предгорьях Большого Кавказа. В целом в пределах Керченско-Таманской области выявлена зональность в распределении значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в водах грязевых вулканов. Более высокие значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ( $>0.709$ ) характерны для объектов, расположенных в западной части Таманского полуострова и центральной части Керченского полуострова (рис. 1). Тогда как воды вулканов, тяготеющих к побережью Керченского пролива и горным сооружениям Большого Кавказа и Крыма, отличаются пониженными значениями  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ( $<0.709$ ).

Величины  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в водах связаны положительной зависимостью (рис. 2). Иными сло-

вами, обогащение грязевулканических вод радиогенным  $^{87}\text{Sr}$  и тяжелым  $^{18}\text{O}$  происходит сопряженно. Воды с максимальными значениями  $\delta^{18}\text{O}$  (от +11 до +14.5‰ VSMOW) и величинами  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.709$  также обладают и аномально высокими содержаниями бора ( $\sim 330$ –1200 ppm). Это является отличительной особенностью объектов наиболее крупного на Керченском полуострове Булганакского очага, с глубинами заложения корней грязевых вулканов до 3.5 км. Доля изотопно-тяжелой воды в их составе достигает 52–74% [15]. Для сравнения, в водах грязевых вулканов Тамани этот показатель составляет около 30% [7]. Вышеназванные показатели выявляют высокую степень дигенетической зрелости толщ, питающих крупные грязевые вулканы Керченского полуострова, для которых характерны воды с величинами  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.709$ . На этом основании можно предполагать, что обогащение грязевулканических вод радиогенным изотопом  $^{87}\text{Sr}$  осуществляется в процессе их взаимодействия с вмещающими силикатными породами, обогащенными этим изотопом. Например, в процессе конгруэнтного растворения глинистого материала при перекристаллизации смектита в иллит количество мобильного Sr, переходящего в поровые воды, может достигать 10–40% [10].

В общем случае рост величин  $\delta^{18}\text{O}$  в грязевулканических водах может быть следствием обменных процессов как с карбонатными, так и с силикатными (глинистыми) минералами [9–11]. Анализ потенциальных механизмов обогащения грязевулканических вод Таманского полуострова изотопом  $^{18}\text{O}$  показано в [11] и, вероятнее всего, наибольшее влияние на величину  $\delta^{18}\text{O}$  оказывает процесс трансформации глинистых минералов. Переход смектита в иллит, осуществляющийся при диагенезе глинистых толщ, сопровождается выделением во флюидную фазу части структурно-связанной изотопно-тяжелой воды [2, 13]. Действительно, анализ взаимосвязи концентраций Cl-иона и значений  $\delta^{18}\text{O}$  в водах грязевых вулканов Керченско-Таманского региона показывает, что воды, максимально обогащенные тяжелым изотопом кислорода, характеризуются минимальными концентрациями хлоридов. Такое соотношение между концентрацией Cl и величинами  $\delta^{18}\text{O}$  может быть следствием только процесса дегидратации смектитов. Следует заметить, что если бы обогащение вод тяжелым изотопом кислорода  $^{18}\text{O}$  было следствием только взаимодействия с карбонатными породами, то между концентрацией Cl-иона и величиной  $\delta^{18}\text{O}$  в воде связь бы отсутствовала.

Грязевулканические воды с самыми высокими значениями  $\delta^{18}\text{O}$  характеризуются более высокими температурами ( $T_{\text{Mg-Li}}$ ) флюидогенерации



**Рис. 3.** Зависимость значений  $\delta^{18}\text{O}$  от расчетных значений Mg–Li-температур в водах грязевых вулканов Керченского (1) и Таманского (2) полуостровов.

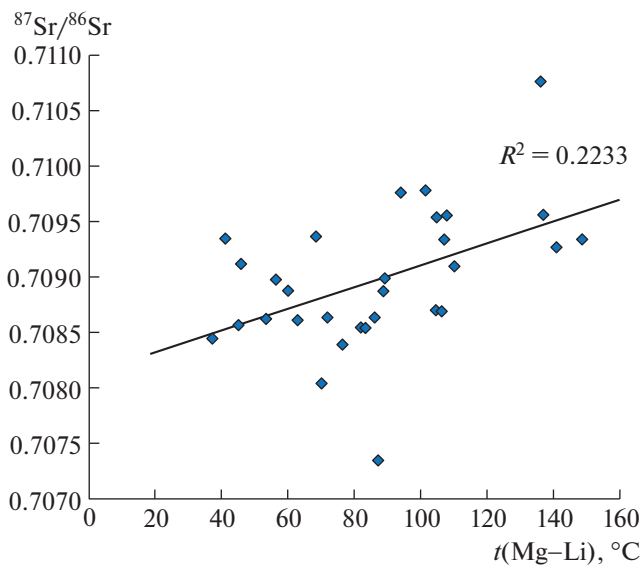
(рис. 3). Значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  также чувствительны к изменению  $\delta^{18}\text{O}$  (рис. 2) и демонстрируют положительную зависимость от величины ( $T_{\text{Mg-Li}}$ ) (рис. 4). С учетом локального геотермического градиента 30–35°C/км [14] наиболее высоким

температурам флюидогенерации (80–120°C) отвечают глубины 2.5–3.5 км, где расположены среднемайкопские толщи.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для грязевых вулканов Керченско-Таманского региона установлено, что воды с пониженными значениями  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , которые можно было бы генетически связать с процессами их взаимодействия с мезозойскими карбонатными породами, в действительности являются более “холодными” и, следовательно, малоглубинными. Таким образом, данные изотопно-геохимического анализа вступают в противоречие с гипотезой Е.Ф. Шнюкова и соавт. [18] об участии в составе грязевулканических вод Керченско-Таманской области флюидных систем подмайкопских отложений, контактирующих с мезозойскими карбонатными толщами.

Вместе с тем вопрос о природе пониженных значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в грязевулканических водах с более низкими величинами температур флюидогенерации ( $T_{\text{Mg-Li}}$ ) остается открытым. Мы предполагаем, что зависимости  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\delta^{18}\text{O}-T_{\text{Mg-Li}}$ , выявленные нами в грязевулканических водах (рис. 2, 3 и 4), отражают не только температурную эволюцию их состава, но и являются объективным отражением общей геохимической неоднородности верхней части осадочного чехла Западно-Кубанского прогиба. Его формирование происходило в тесной связи с развитием горных



**Рис. 4.** Соотношение изотопного состава стронция и расчетных значений Mg–Li-температур в водах Керченско-Таманской грязевулканической области.

систем Кавказа и Крыма. Считается [7], что активные процессы горообразования в пределах Большого Кавказа начались в миоцене. Вероятно, именно с этого времени массивы карбонатных комплексов юры и мела, слагающие горные сооружения Большого Кавказа и Крыма, начали подвергаться активной денудации. Поэтому верхняя часть осадочного чехла Западно-Кубанского прогиба должна содержать продукты их размыва. Необходимо также учитывать и покровно-надвиговую структуру северного склона Большого Кавказа [15]. В предгорных районах наличие пологих надвигов обеспечивает перекрытие майкопских отложений более древними мезозойскими комплексами (в том числе и карбонатными). Эти факты способны объяснить низкие значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в некоторых малоглубинных водах грязевых вулканов.

В целом проведенные исследования изотопного состава стронция в водах грязевых вулканов Керченско-Таманского региона не выявили признаков поступления в них флюидов из мезозойских комплексов осадочного чехла Западно-Кубанского прогиба. Новые данные об изотопном составе стронция в грязевулканических водах хорошо согласуются с принятой нами моделью, согласно которой наряду с седиментационными водами важный вклад в водный баланс грязевулканических систем региона вносят изотопно-тяжелые дегидратационные воды – продукты реакции иллитизации смектитов. Эти воды активно взаимодействуют с матриксом пород, извлекая из него радиогенный стронций  $^{87}\text{Sr}$ .

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены за счет средств Российского научного фонда, проект № 17-17-01056П.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dählmann A., de Lange G.J.* Fluid-sediment Interactions at Eastern Mediterranean Mud Volcanoes: A Stable Isotope Study from ODP Leg 160 // *Earth and Planetary Science Letters*. 2003. V. 212 (3–4). P. 377–391.
2. *Giggenbach W.F.* Variations in the Chemical and Isotopic Composition of Fluids Discharged from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1995. V. 68. P. 89–116.
3. *Veizer J., Bruckschen P., Buhl D., Bruhn F., Carden G.A.F., Diener A., Ebner S., Jasper T., Korte C., Pawellek F., Podlaha O.G., Strauss H., Ala D., Azmy K., Godderis Y.*  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  Evolution of Phanerozoic Seawater // *Chemical Geology*. 1999. V. 161. P. 59–88.
4. *Kikvadze O.E., Lavrushin V.Yu., Polyak B.G.* Chemical Geothermometry: Application to Mud Volcanic Waters of the Caucasus Region // *Frontiers of Earth Sciences*. 2020. № 6. P. 31–50.
5. *Sokol E.V., Kokh S.N., Kozmenko O.A., Lavrushin V.Y., Belogub E.V., Khvorov P.V., Kikvadze O.E.* Boron in an On-shore Mud Volcanic Environment: Case Study from the Kerch Peninsula, the Caucasus Continental Collision Zone // *Chemical Geology*. 2019. V. 525. P. 58–81.
6. *Sokol E., Kokh S., Kozmenko O., Novikova S., Khvorov P., Nigmatulina E., Belogub E., Kirillov M.* Mineralogy and Geochemistry of Mud Volcanic Ejecta: A New Look at Old Issues (A Case Study from the Bulganak Field, Northern Black Sea) // *Minerals*. 2018. V. 8. P. 344.
7. Большой Кавказ в альпийскую эпоху / Под. ред. Ю.Г. Леонова. М.: ГЕОС, 2007. 368 с.
8. *Буякайте М.И., Лаврушин В.Ю., Покровский Б.Г., Киквадзе О.Е., Поляк Б.Г.* Изотопные системы стронция и кислорода в водах грязевых вулканов Таманского полуострова (Россия) // *Литология и полезные ископаемые*. 2014. № 1. С. 52–59.
9. *Горохов И.М., Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Аракелянц М.М., Ковач В.П., Константинова Г.В., Турченко Т.Л., Васильева И.М.* Изотопная систематика и возраст аутигенных минералов в аргиллитах инзерской свиты Южного Урала // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2019. Т. 27. № 2. С. 3–30.
10. *Ершов В.В., Левин Б.В.* Новые данные о вещественном составе продуктов деятельности грязевых вулканов Керченского полуострова // *ДАН*. 2016. Т. 471. № 1. С. 82–86.
11. *Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М.* Стронциевая изотопная хемотратиграфия: основы метода и его современное состояние // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2018. Т. 26. № 4. С. 3–23.
12. *Лаврушин В.Ю.* Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления / *Тр. ГИН РАН*. Вып. 599. Отв. ред. Б.Г. Поляк М.: ГЕОС, 2012. 348 с.
13. *Лаврушин В.Ю., Дубинина Е.О., Авдеенко А.С.* Изотопный состав кислорода и водорода вод грязевых вулканов Тамани (Россия) и Кахетии (Восточная Грузия) // *Литология и полезные ископаемые*. 2005. № 2. С. 143–158.
14. *Науменко А.Д., Науменко М.А.* Основные закономерности распределения перспективных на нефть и газ объектов в северо-восточном секторе черного моря // *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2008. № 4. С. 49–58.
15. *Попков В.И.* Чешуйчато-надвиговое строение Северо-Западного Кавказа // *ДАН*. 2006. Т. 411. № 2. С. 223–226.
16. *Селецкий Ю.Б.* Дегидратация глин как возможный фактор формирования изотопного состава глубоких подземных вод // *Водные ресурсы*. 1978. № 3. С. 148–152.
17. *Туголесов Д.А., Горшков А.С., Мейснер Л.Б., Соловьев В.В., Хахалев В.И.* Тектоника мезо-кайнозойских отложений Черноморской Впадины. М: Недра, 1985. 215 с.
18. *Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И., Науменко П.И., Кутный В.А.* Грязевые вулканы Керченско-Таманской области (атлас). Киев: Наукова Думка, 1986. 148 с.

## Sr ISOTOPE COMPOSITION OF MUD VOLCANIC WATERS IN THE KERCH-TAMAN PROVINCE

**A. S. Aydarkozhina<sup>a, b, #</sup>, V. Yu. Lavrushin<sup>a, b</sup>, Corresponding Member of the RAS A. B. Kuznetsov<sup>c</sup>,  
E. V. Sokol<sup>b</sup>, and A. Yu. Kramchaninov<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> *Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>b</sup> *V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>c</sup> *Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, Sankt-Peterburg, Russian Federation*  
<sup>#</sup> *E-mail: altin.echo@mail.ru*

Waters at seventeen mud volcanoes (MV) of the Kerch-Taman province in the Northwestern Fore-Caucasus region have been analyzed for Sr isotope composition. The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios vary from 0.70734 to 0.71076 and show direct correlation with  $\delta^{18}\text{O}$ , as well as with fluid generation temperatures estimated using the Mg–Li geothermometer. The results revealed that the MV system of the province was separated from the fluid systems of deeper Mesozoic sedimentary strata that fill the West Kuban basin. The MV water budget includes a major contribution from dehydration waters that release during illitization of smectite, which occurs within the Maykop shale sedimentary sequence. At the same time  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios reflect lithological and geochemical heterogeneity of shallow sedimentary strata of the West Kuban basin.

*Keywords:* mud volcanoes, Sr isotope composition, Fore-Caucasus region, Kerch-Taman mud volcanic province