

ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ БУЛГАНАКСКОГО СОПОЧНОГО ПОЛЯ (КРЫМ)

© 2021 г. А. Е. Козаренко^{а, *}, Ю. Л. Мельчаков^{б, **}, В. Т. Суриков^{с, ***}

^аМосковский Городской Педагогический Университет,

2-ой Сельскохозяйственный проезд, д. 4, корп. 1, Москва, 129226 Россия

^бУральский государственный педагогический университет, просп. Космонавтов, д. 26, г. Екатеринбург, 620017 Россия

^сИнститут химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук, сокращенно ИХТТ УрО РАН,
ул. Первомайская, д. 91, ГСП, г. Екатеринбург, 620990 Россия

*e-mail: emil52@list.ru

**e-mail: melchakov_y_l@mail.ru

***e-mail: surikov@ihim.uran.ru

Поступила в редакцию 27.08.2019 г.

После доработки 07.02.2020 г.

Принята к публикации 07.02.2020 г.

Проведена оценка возможных источников поступления химических элементов в грязевые вулканы. С этой целью глины отбирались в пределах Булганакского очага (Керченский полуостров). Собранные образцы анализировали методом масс-спектрометрии с аргонной индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) посредством масс-спектрометра ELAN 9000. По полученным данным определена геохимическая специализация продуктов извержения. Выявлено, что в майкопских глинах окрестностей Керчи и удаленной от города Лисьей бухте валовые концентрации большинства химических элементов практически одинаковы. Почти половина химических элементов в сопочной глине и майкопских глинах имеет близкие концентрации. Концентрации Ca, V, Cr, Mn, Ni, Nb, Sn, I, Ba в сопочной грязи в 3.0–23.3 раза выше, чем в майкопских глинах, а Ta больше на два порядка. В сопочной глине преобладают водорастворимые соединения. Данные по большому спектру химических элементов позволяют сделать вывод о том, что сопочная глина мало зависит от элементного состава морской воды. В нефти концентрации многих химических элементов в сотни раз ниже, чем в водной вытяжке из сопочной глины, а концентрация большинства химических элементов в нефти в тысячи раз меньше. Ряды убывания химических элементов из сравниваемых объектов близки для главных элементов: Fe, Na, Ca, Mg и Ti. Видимо, нефть Керченского полуострова вносит незначительный вклад в элементный состав сопочной глины.

Ключевые слова: грязевые вулканы, геохимия, Булганакское сопочное поле, коэффициенты концентрации, нормирование по верхней части континентальной земной коры и почвам, водные вытяжки, морская вода, нефть, минеральные воды

DOI: 10.31857/S0016752521060042

ВВЕДЕНИЕ

Природа грязевых вулканов и их распространение описаны в целом ряде источников (Холодов, 2012; Шнюков и др., 2005 и др.). Грязевые вулканы в России находятся в северо-западной части Кавказа, в Крыму, на Сахалине, на дне озера Байкал и в других местах. В образовании вулканической глины принимают участие процессы седиментации, диагенеза, созревания рассеянного органического вещества, истирания, дробления пород, и многие другие малоизученные процессы.

Известно, что грязевой вулканизм является одним из источников процесса дегазации земных

недр. Однако вопрос об источниках вещества этих образований в настоящее время не решен. Есть данные, что источниками химических элементов в вулканической глине грязевых вулканов являются нефть, морская вода (Оленченко и др., 2015), подземные минеральные воды и предположительно глубинные флюиды. Часть химических элементов, содержащихся в майкопских глинах, в прошлом, когда эти глины формировались, привносилась с прилегающих территорий (Федоров и др., 2011).

Нами были изучены грязевые вулканы Булганакского грязевулканического очага (рис. 1). Считается, что корни Керченских грязевых вулканов располагаются на глубине от 5–8 и до 25 и



Рис. 1. Булганакское сопочное поле Керченского полуострова.

более км (Собисевич, Горбатиков и др., 2008; Шнюков и др., 2005), а выносимый материал содержит всю совокупность пронизывающих горных пород, главной частью которых являются майкопские глины. Поэтому нами были взяты за местный фон именно майкопские глины в городе Керчь и на значительном удалении в Лисьей бухте.

Геологическое строение под Булганак во многом неясное. Скважинам на глубине около 5 км вскрыты карбонатные горные породы мела. Майкопские отложения здесь достигают трех-пяти км. (Шнюков и др., 2005; Юдин, 2011 и др.).

Известно, что глины обладают высокой сорбционной способностью. Майкопские глины на 70% состоят из монтмориллонита, 20% каолинита, а остальная часть приходится на долю других минералов. Наименьшей катионообменной емкостью обладает каолинит, наибольшей – монтмориллонит, у которого сильно выражена способность к обмену катионами (Савоненков, Андерсон и др., 2012). В состав сопочных глин входят хлорит, монтмориллонит, гидрослюда. Монтмориллонит составляет около 10% (Ершов, Перстнева, 2018).

МЕТОДЫ

Собранные образцы анализировали методом масс-спектрометрии с аргонной индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) посредством масс-спектрометра ELAN 9000 (PerkinElmer-Sciex,

USA-Canada) (ELAN 9000, 2005). Методика определения подробно приводится в работе (Козаренко и др., 2019). Вещество проб вводили в плазменный источник ионов (ИСП) в виде мелкодисперсного аэрозоля, получаемого пневматическим аргонным распылением растворенных проб угловым (перекрестным) распылителем (Суриков, 2010; Ivalidi, Slavin, 1990). Анализ выполняли при стандартных оптимизированных параметрах прибора (в частности: частота и мощность ИСП – 40 МГц и 1.1 кВт; расход аргона (л/мин) – на охлаждение плазменной горелки 15, на плазмообразование 1, на распыление растворов и транспорт аэрозоля в плазму 0.9).

На анализ поступали пробы двух типов. Первые представляли собой обломки разной крупности светло-серого цвета, были сухие и механически непрочные. Вторые представляли собой существенно увлажненную пульпу серого цвета. Последние предварительно высушивали при температуре 60°C. Затем все пробы измельчали в агатовой ступке до состояния пудры. Для их растворения использовали смесь концентрированных азотной, хлороводородной и фтороводородной кислот (ОСЧ) в соотношении 2 : 2 : 1. Химическая стойкость проб в этой смеси оказалась довольно низкой, поэтому их растворение выполняли открытым способом в стеклоглеродных чашках, подогреваемых на электроплите. Для дальнейшего разбавления полученных продуктов использовали бидистиллированную воду. Для распыления

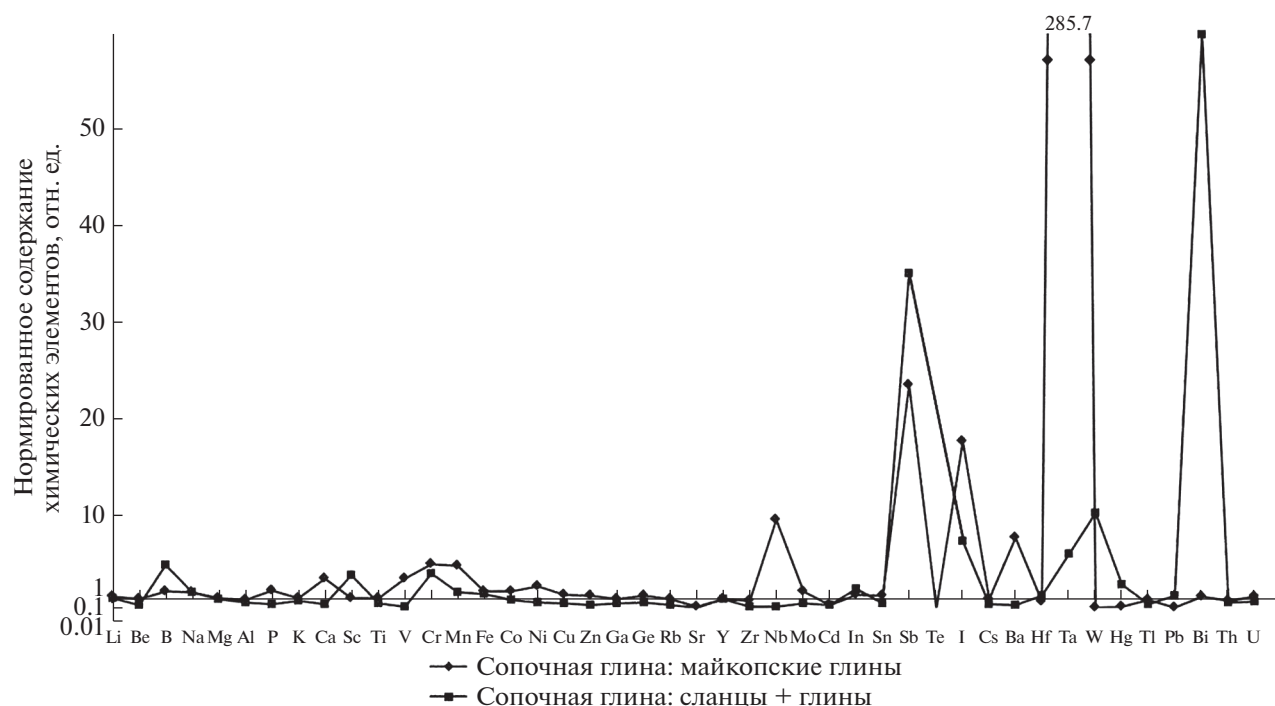


Рис. 2. Валовые концентрации химических элементов в сопочной глине, нормированные на их содержания в майкопских глинах и сланцах + глинах (В.А. Алексеенко, 2000): 1 сопочная глина : майкопские глины (данные авторов), 2 сопочная глина : сланцы + глины В.А. Алексеенко, 2000).

в ИСП концентрацию растворенных проб довели до 100 мг/л. Эти растворы хранили в мерных полипропиленовых или тефлоновых колбах и вводили в распылитель перистальтическим насосом. Для одновременного определения концентрации примесных элементов в пробах использовали программу TotalQuant, обеспечивающую относительную стандартную инструментальную погрешность $\pm 10\text{--}30\%$. Концентрацию главных элементов определяли количественно с использованием групповых и индивидуальных стандартных растворов для концентрационного градуирования измерений для каждого элемента, что обеспечивало относительную стандартную инструментальную погрешность $\pm 1\text{--}3\%$.

Водные вытяжки анализировались теми же методами. Они имеют примерно нейтральную реакцию. При этом вытяжки слегка мутноватые, т.к. не произошло полного растворения. Вместе с ионами химических элементов в них присутствуют коллоидные частицы и части элементов, которым это свойственно. Анализировались майкопские глины окрестностей города Керчь и Лисьей бухты, а также сопочная грязь без выделения мельчайших обломков горных пород. В крупных обломках химические элементы не определялись. Отобрано сопочных глин 6 образцов, майкопских глин — 15. Используются средние арифметические значения концентраций химических элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В сопочной грязи и в майкопских глинах были определены валовые концентрации 43 химических элементов, из которых 7 главные, а остальные рассеянные (Добровольский, 1983). В тех же объектах химические элементы определялись в водных вытяжках. Выявлено, что в майкопских глинах окрестностей Керчи и удаленной от города Лисьей бухте валовые концентрации большинства химических элементов практически одинаковы.

Из рис. 2 видно, что почти половина химических элементов в сопочной глине и майкопских глинах имеет близкие концентрации. Однако есть и существенное отличие. Валовые концентрации Ca, V, Cr, Mn, Ni, Nb, Sn, I, Ba в сопочной грязи в 3.0–23.3 раза выше, чем в майкопских глинах, а Ta больше на два порядка. Концентрации Sr, Cd, W, Hg, Pb в 5–10 раз более низкие. Следовательно, по валовым концентрациям большинства изученных химических элементов майкопские глины и глины грязевых вулканов Булганака близки, что указывает на их родство. Отличия показывают на иные источники химических элементов.

При сравнении сопочной грязи со сланцами + глинами (В. А. Алексеенко, 2000) (рис. 2) выяснилось, что сопочная грязь содержит в 2–60 раз больше B, Sc, Cr, In, Sn, I, Ta, W, Hg, Bi и меньше

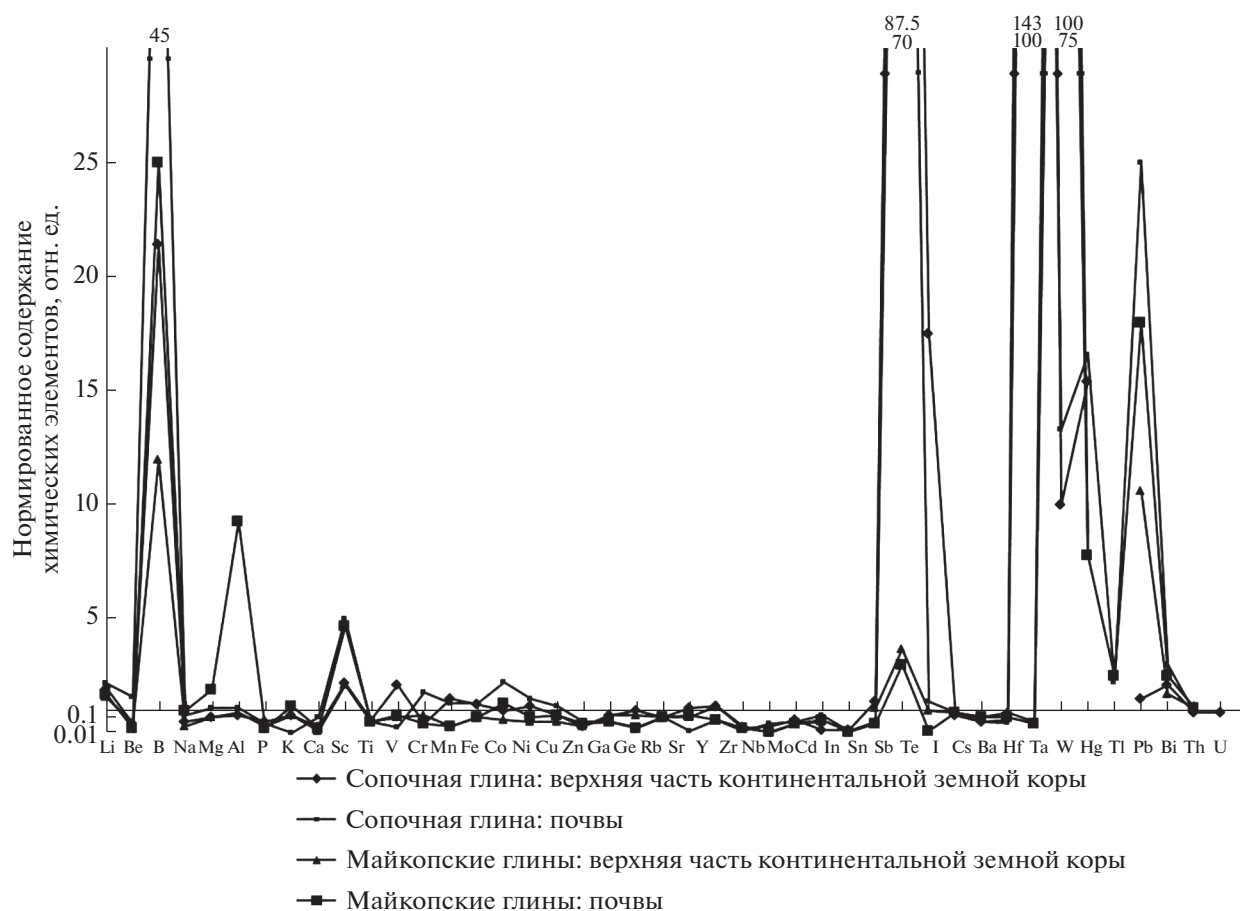


Рис. 3. Валовые концентрации химических элементов в сопочной глине и в майкопских глинах, нормированные на их содержания в верхней части земной коры и почвах (Григорьев, 2009, Алексеенко В.А., Алексеенко А.В., 2013): 1 сопочная глина : верхняя часть континентальной земной коры, 2 сопочная глина : почвы (Алексеенко В.А., Алексеенко А.В., 2013), 3 майкопские глины : верхняя часть континентальной земной коры (Григорьев, 2009), 4 майкопские глины : почвы (Алексеенко В.А., Алексеенко А.В., 2013).

в 2–5 раз Be, P, Ca, Ti, V, Cu, Zn, Ga, Rb, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Cs, Ba, Ta. Остальные химические элементы содержатся примерно в равных количествах в сопочной грязи и в сланцах + глинах. Следовательно, сопочная грязь существенно отличается от усредненных показателей сланцев + глин.

При нормировании химических элементов в майкопских глинах на верхнюю часть континентальной земной коры (Григорьев, 2009) хорошо заметно, что концентрации B, W, Pb в 10 и более раз выше, чем в коре (рис. 3). Концентрации Be, Na, P, Ti, Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Sr, Zr, Mo, Cd, In, Sn, Ba и Tl в 2–10 раз меньше в майкопских глинах. Концентрации же остальных химических элементов близки. Следовательно, майкопские глины обеднены почти половиной изученных химических элементов в сравнении с верхней частью континентальной земной коры, половина их близка по концентрациям.

При нормировании химических элементов в сопочной глине на верхнюю часть континенталь-

ной земной коры заметно, что концентрации B, Sb, I, Ta, W, Hg в 10 и более раз выше в сопочных глинах Булганака. Концентрации Li, Sc, V, Co, Bi в сопочных глинах в 2 раза превышают таковые в верхней части континентальной земной коры. Концентрации Be, Na, P, Ca, Cr, Zn, Nb, Zr, Ba в сопочных глинах от 2 до 5 раз более низкие, чем в верхней части континентальной земной коры. Содержание остальных химических элементов примерно одинаково. Таким образом, по содержанию многих химических элементов отмечается значительное отличие сопочных глин от верхней части континентальной земной коры. Вместе с тем, майкопские глины Керченского полуострова и его окрестностей по содержанию большинства химических элементов отличаются от верхней части континентальной земной коры в большей степени, чем сопочная глина, что подчеркивает ее своеобразие.

Сравнение майкопских глин с почвами (Алексеенко В.А., Алексеенко А.В., 2013) показало, что

Таблица 1. Средние концентрации химических элементов в водной вытяжке, массовая доля, %

Химический элемент	Сопочная глина (6 образцов)	Майкопские глины (7 образцов)	Химический элемент	Сопочная глина	Майкопские глины
Li	0.0037	0.002	Sr	0.015	0.005
Be	0.0001	0.00001	Y	0.0009	0.003
B	0.025	—	Zr	0.002	0.0015
Na	0.8	0.3	Nb	0.00024	0.00014
Mg	0.6	0.24	Mo	0.0003	0.00009
Al	2.1	1.1	Cd	—	—
P	0.02	0.009	In	0.000006	—
K	0.8	0.54	Sn	0.0001	0.0001
Ca	0.71	0.26	Sb	0.001	0.004
Sc	0.002	0.001	Te	—	—
Ti	0.11	0.03	J	0.0005	0.00001
V	0.0035	0.0009	Cs	0.0003	0.0003
Cr	0.0047	0.002	Ba	0.012	0.0065
Mn	0.038	0.013	Hf	—	0.00006
Fe	1.4	0.64	Ta	0.0005	0.000026
Co	0.001	0.0005	W	0.0003	0.0046
Ni	0.004	0.001	Hg	0.002	0.001
Cu	0.0007	—	Tl	0.000015	0.000023
Zn	—	0.0008	Pb	—	—
Ga	0.00096	0.0006	Bi	0.00094	0.0001
Ge	0.0001	0.00003	Th	0.00017	0.0001
Rb	0.004	0.004	U	0.000034	0.000018

Примечания. — Меньше чувствительности определения.

глины обогащены В, V и Pb более чем в 10 раз (рис. 3), Al, Sc, Sb, Hg, Tl, Bi в 2–9 раз. В майкопских глинах меньше, чем в почвах Nb, In, I в 10–25 раз, Be, P, Ca, Ti, Cr, Mn, Zn, Ga, Ge, Zr, Mo, Sn, Ta, в 2–5 раз. Около половины остальных химических элементов содержится примерно в равных количествах.

Сопочная глина содержит в 2–100 раз больше, чем почвы В, Sc, Co, Sb, Ta, W, Hg, Tl, Pb, Bi, и в 2–10 раз меньше P, Ti, V, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, In, Sn, Ba, Hf. Концентрации примерно половины химических элементов в сопочной глине и почвах равны. В целом и майкопские, и сопочные глины значительно отличаются от средних значений концентраций химических элементов в почвах.

Как считают А.Н. Скорик, В.В. Байраков (2007), майкопские отложения различных горизонтов по содержаниям химических элементов идентичны. Результаты спектрального анализа майкопских отложений указанных авторов по большинству химических элементов вполне сопоставимы с нашими данными. Указанные авторы считают, что источником ряда микроэлементов майкопских отложений является терригенный материал, поступивший в геологическом прошлом с Приазовского щита и Горного Крыма. Однако в сопочной глине не концентрируются важнейшие химические элементы из этих регионов: Be, Cu, Sc, Pb, Zn, Ni.

В ней концентрируются Co, Mo, La, Yb, Ag, Sn, переносимые в прошлом из перечисленных регионов в майкопские глины.

Сравнение полученных нами результатов по валовым концентрациям химических элементов в сопочной глине Булганак с результатами изучения продуктов грязевых вулканов Таманского полуострова (Скорик, Байраков, 2007) показало близкие результаты. Для сопочной брекчии грязевых вулканов острова Сахалин, нормированной к верхней части континентальной земной коры, отмечены, как и в нашем случае, коэффициенты концентрации от 1.3 до 4.2 для Li, Sc, V, Ni, Sn, и 0.7–1.3 для Ga, Rb, Sr, Y, Cs, Pb, Th, U (Сорочинская, Шакиров и др., 2015). Предварительные данные позволяют заключить, что сопочная глина грязевых вулканов различных регионов имеют близкие параметры по концентрациям ряда химических элементов. Некоторое сходство сопочных глин Керченского, Таманского полуостровов и о. Сахалин по отдельным химическим элементам может быть связано с влиянием глубинных флюидов, что требует дальнейшей проработки. Требуется дальнейшее изучение широкого спектра не только валовых концентраций химических элементов, но и в различных вытяжках продуктов извержения грязевых вулканов.

В табл. 1 приведены средние концентрации химических элементов в водных вытяжках из со-

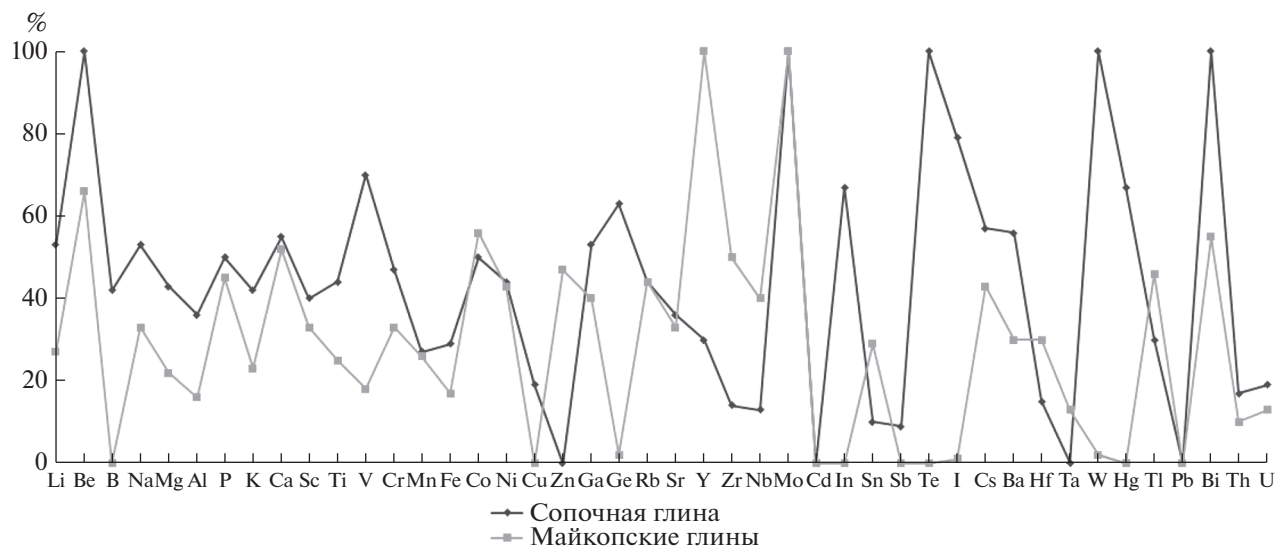


Рис. 4. Процент водорастворимых соединений химических элементов от их валовых концентраций: 1 сопочная глина, 2 майкопские глины.

почной глины Булганак и майкопских глин Керченского полуострова. Для 15 химических элементов концентрации примерно равны. Для большинства химических элементов в водной вытяжке из сопочной глины концентрации более высокие и превышают от 2 до 10 раз. Концентрации же Be, B, Cu и I превышают таковые в майкопских глинах в 10 раз. Следовательно, в сопочных глинах преобладают водорастворимые соединения химических элементов. Особенно наглядно это видно из рис. 4, где показан процент водорастворимых соединений химических элементов от их валовых концентраций. Многие химические элементы в изученных объектах находятся преимущественно в водорастворимых формах.

Водорастворимые соединения в сопочной глине преобладают (50% и более) для 15 химических элементов, перечисленных по убыванию их концентраций: Be, Mo, W, V, In, Ge, Cs, Ba, Ca, Ga, Li и Na, Co, P. В майкопских глинах преобладают Mo, Y, Co, Zr, Nb.

В сопочной глине и в майкопских глинах водорастворимые соединения преобладают для Mo, Be, Co и Ca. В сопочной глине в сравнении с майкопскими глинами концентрация водорастворимых соединений для большинства элементов выше. Исключение составляют Zn, Y, Nb, Sn, Hf. Одна из особенностей сопочной глины – высокое содержание водорастворимых соединений химических элементов.

Сравнение концентраций химических элементов в водной вытяжке из сопочной глины с морской водой (по П. Хендерсону (1985) с дополнениями А.И. Перельмана (1982) – цит. по В.А. Алексеенко, 2000) показало, что в водной вытяжке из сопоч-

ной глины в 1000 и более раз выше, чем в морской воде концентрации Be, Na, Mg, Al, Sc, Ti, Mn, Fe, Y, W. Больше (от 100 до 1000 раз) в водной вытяжке, чем в морской воде K, Ca, Cr, Co, Ga, Zr, Nb, In, Sn, Hf, Ta, Hg, Bi, Th. Больше в водной вытяжке, чем в морской воде K, Ca, Cr, Co, Ga, Zr, Nb, In, Sn, Hf, Ta, Hg, Bi, Th, а в морской воде присутствует больше Li, B, Zn, Be, Rb, Sr, Mo, U. Предварительные данные по большому спектру химических элементов позволяют сделать вывод о том, что сопочная грязь мало зависит от элементного состава морской воды. О том же говорят ряды убывания химических элементов в водной вытяжке из сопочной грязи и в морской воде (рис. 5). Некоторые авторы (Федоров и др., 2011) считают, что в сопочной глине присутствует не захороненная морская вода, а вода, высвобождающаяся в результате катагенетической трансформации глинистых толщ.

Сравнение элементного состава водной вытяжки из сопочной глины с имеющимися данными по нефти показало, что нефть концентрирует Pb, Zn, Cu, Hg, Au, V, Ni, Co, Cr и Fe (Маслов и др., 2015; Федоров и др., 2012), что не согласуется с концентрациями элементов в водной вытяжке из сопочной глины. Ряды убывания химических элементов из сравниваемых объектов близки для главных элементов: Fe, Na, Ca, Mg и Ti (рис. 5). Однако содержание этих элементов в десятки и сотни раз ниже, чем в водной вытяжке из сопочной глины, а концентрация большинства рассеянных элементов в нефти в тысячи раз меньше. Следовательно, можно предположить, что нефть Керченского полуострова вносит незначительный вклад в элементный состав сопочной глины. Вероятно, не последнюю роль играет сорбция

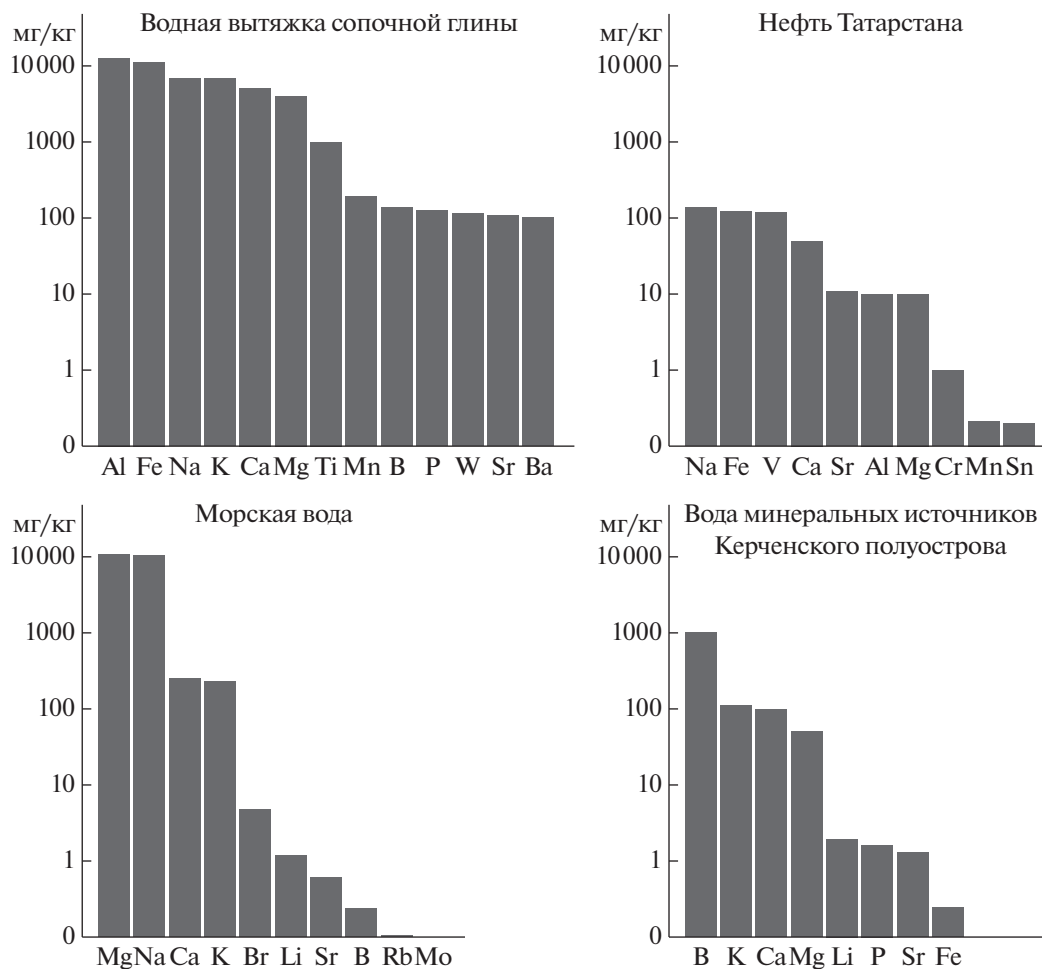


Рис. 5. Ряды убываний концентраций химических элементов в различных объектах.

многих химических элементов глинистыми минералами сопочной глины.

Углекислые воды минеральных источников Крыма не связаны с нефтью (Геология СССР, т. VIII, 1974). Воды Керченского полуострова, возможно, связаны с глубоко залегающими породами мезозоя и палеозоя. Имеющиеся данные по водам минеральных источников (рис. 5) показывают существенное различие рядов убывания химических элементов в водной вытяжке сопочной глины. Сравнение же их абсолютных концентраций показало, что в минеральных водах больше на порядок и выше U, Hg и Fe. Остальных же химических элементов в водной вытяжке из сопочной грязи больше. Вероятно, элементный состав легкорастворимых соединений в сопочных глинах мало зависит от такового минеральных вод Керченского полуострова.

Нами рассчитан массоэлементоперенос химических элементов в глинах (в разных формах). Изученные грязевые вулканы выносят на поверхность за один год: сотни тонн Al и Fe, десятки

тонн Na, Mg, K, Ca; единицы тонн – B, P, Ti, Cr, Mn, Sr, Y, Zr; сотни кг Li, Ni, Cu, Rb, Ba; десятки кг Sc, V, Co, Zn, Ga, Sb, I, Cs, Pb, Th; единицы кг Be, Ge, Nb, Hf, Ta, W, Te, Bi, U; менее кг – Mo, Cd, In, Te, Hg.

Также рассчитан аналогичный массоперенос водорстворимых форм за один год: десятки и единицы тонн Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, Ti и Mn; сотни кг P, Sr, Ba, W, Li, B, Cr; десятки кг Sc, V, Co, Ni, Rb, Zr, Sb, Hg; единицы кг Be, Cu, Ga, Ge, Y, Nb, Mo, Sn, I, Cs, Ce, Th; менее 1 кг Hf, Ta, Tl, U, I. Все перечисленные химические элементы в водорастворимых формах могут быстро мигрировать в прилегающих ландшафтах.

Широко известны лечебные свойства Чокракского озера, расположенного недалеко от Булганакского сопочного поля. Ряд авторов (Холодов, 2012 и др.) сообщают о грязевых вулканах, расположенных на дне озера. Целебные свойства глин грязевых вулканов Таманского полуострова давно известны. Поэтому более широкое использо-

вание таких лечебных свойств грязей вулканов, весьма перспективно.

ВЫВОДЫ

1. В майкопских глинах окрестностей Керчи и удаленной от города Лисьей бухте валовые концентрации большинства химических элементов практически одинаковы. Почти половина химических элементов в сопочной глине и майкопских глинах имеет близкие концентрации, что свидетельствует о том, что основной поставщик химических элементов в грязевые вулканы – майкопские глины. Концентрации Ca, V, Cr, Mn, Ni, Nb, Sn, I, Ba в сопочной грязи в 3.0–23.3 раза выше, чем в майкопских глинах, а Ta больше на два порядка, что указывает на иные источники поступления этих химических элементов.

2. Сопочная глина в сравнении со сланцами и глинами содержит в 2–60 раз больше В, Sc, Cr, In, Sn, I, Ta, W, Hg, Bi и в 2–5 раз меньше Be, P, Ca, Ti, V, Cu, Zn, Ga, Rb, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Cs, Ba, Ta, что свидетельствует о существенном отличии сопочной глины от усредненных показателей сланцев + глин.

3. Майкопские глины обеднены почти половиной изученных химических элементов в сравнении с верхней частью континентальной земной коры. Половина химических элементов близка по концентрациям. Концентрации В, W, Pb в 10 и более раз выше, чем в верхней части континентальной земной коры. По содержанию многих химических элементов отмечается значительное отличие сопочных глин от верхней части континентальной земной коры. Концентрации В, Sb, J, Ta, W, Hg в 10 и более раз выше в сопочных глинах Булганака, чем в коре. Концентрации Li, Sc, V, Co, Bi в сопочных глинах в 2 раза превышают таковые в коре. Содержание же Be, Na, P, Ca, Cr, Zn, Nb, Zr, Ba в сопочных глинах от 2 до 5 раз более низкие, чем в верхней части континентальной земной коры.

4. Майкопские глины по сравнению с почвами обогащены В, V и Pb более чем в 10 раз, Al, Sc, Sb, Hg, Tl, Bi в 2–9 раз. Вместе с тем эти глины обеднены Nb, In, I в 10–25 раз, Be, P, Ca, Ti, Cr, Mn, Zn, Ga, Ge, Zr, Mo, Sn, Ta в 2–5 раз. Сопочная глина содержит в 2–100 раз больше, чем почвы В, Sc, Co, Sb, Ta, W, Hg, Tl, Pb, Bi, и в 2–10 раз меньше P, Ti, V, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, In, Sn, Ba, Hf. Концентрации примерно половины химических элементов в сопочной глине и почвах равны.

5. В сопочной глине в сравнении с майкопскими глинами преобладают водорастворимые соединения химических элементов. Данные по большому спектру химических элементов позволяют сделать вывод о том, что сопочная глина ма-

ло зависит от элементного состава морской воды, нефти и местных минеральных вод. Схожесть сопочных глин из грязевых вулканов разных районов (Керченского и Таманского полуостровов, острова Сахалин) по спектру химических элементов свидетельствует об общих источниках, или источнике.

6. Установлено, что массоэлементоперенос химических элементов в глинах (в разных формах) составляет за один год: сотни тонн Al и Fe, десятки тонн Na, Mg, K, Ca; единицы тонн – В, Р, Ti, Cr, Mn, Sr, Y, Zr; сотни кг Li, Ni, Cu, Rb, Ba; десятки кг Sc, V, Co, Zn, Ga, Sb, I, Cs, Pb, Th; единицы кг Be, Ge, Nb, Hf, Ta, W, Te, Bi, U; менее кг – Mo, Cd, In, Te, Hg. Все перечисленные химические элементы в водорастворимых формах могут быстро мигрировать в прилегающих ландшафтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.А. (2000) *Экологическая геохимия*. М.: Логос, 627 с.
- Алексеев В.А., Алексеев А. В. (2013) Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв сельтебных ландшафтов. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 388 с.
- Геология СССР (1974), VIII. Крым, 200 с.
- Григорьев Н.А. (2009) *Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры*. Екатеринбург: УрО РАН, 382 с.
- Добровольский В.В. (1983) *География микроэлементов: Глобальное рассеяние*. М.: Мысль, 272 с.
- Ершов В.В., Перстнева Ю.А. (2018) Литохимическая характеристика сопочной брекчии грязевых вулканов мира. *Отечественная геология*. 4. 72-83.
- Козаренко А.Е., Мельчаков Ю.Л., Суриков В.Т. (2019) Лантаноиды в грязевых вулканах Крыма. *Журн. Вестник МГПУ, серия естественные науки*. 1(33). 45-53.
- Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Изотов В.Г. Ситдикова Л.М. (2015) Микроэлементы в нефтях некоторых месторождений сателлитов Ромашкинского нефтяного поля (Татарстан). *Литосфера*. 3, 53-64.
- Мельчаков Ю.Л., Козаренко А.Е., Суриков В.Т. (2017) Геохимический эффект грязевого вулканизма Булганаковского сопочного поля (Крым). *X междунар. школа "Соврем. проблемы состояния и эволюции таксонов биосферы"*, посвящ. 70-летию ГЕОХИ РАН. 12–15 июля 2017. Тр. Биогеохим. лаборатории ГЕОХИ РАН. М.: ГЕОХИ РАН. 2017. 26, 355-360.
- Оленченко В.В., Шнюков Е.Ф., Гаськова О.Л., Кох С.Н. и др. (2015) Динамика извержения грязевого вулкана на примере сопки Андрусова (Булганаковский грязевулканический очаг, Керченский полуостров) *ДАН*. 464, 2, 214-219.
- Пупышев А.А., Суриков В.Т. (2006) *Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Образование ионов*. Екатеринбург: УрО РАН, 276 с.
- Савоненков В.Г., Андерсон и др. (2012) Глины как геологическая среда для изоляции радиоактивных отходов. СПб, 215 с

- Скорик А.Н., Байраков В.В. (2007) Геолого-геохимические особенности алевролитов майкопа Керченского полуострова. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 10, 112-117.
- Собисевич А.Л., Горбатов А.В., Овсяченко А.Н. (2008) Глубинное строение грязевого вулкана горы Карабетовка. *ДАН (геофизика)*. 422(4), 542-546.
- Сорочинская А.В., Шакиров Р.Б., Веникова А.Л., Пестрикова Н.Л. (2015) Элементы-примеси в современной сопочной брекчии грязевых вулканов о. Сахалин. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. Вып. 25(1)*, 211-242.
- Суриков В.Т. (2010) Пневматические распылители с пересекающимися потоками для спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. *Аналитика и контроль*. 14(3), 108-156.
- Федоров Ю.Н., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л. (2011) Систематика элементов-примесей в продуктах извержений ряда грязевых вулканов Керченско-Таманской области (по данным isр-ms) *Литосфера*. 5, 117-123.
- Федоров Ю.Н., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П. и др. (2012) Микроэлементная характеристика сырых нефтей Вогулкинского и Тюменского резервуаров нефтегазового района: сопоставление. *Литосфера*. 2, 141-151.
- Холодов В.Н. (2012) Грязевые вулканы: распространение и генезис. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 4(30), 5-27.
- Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслакова Н.А. и др. (2005) *Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона*. Краснодар, ГлавМедиа, 176 с.
- Юдин В.В. (2011) Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙ-ПИ, 336 с.
- ELAN 9000 (2005) Hardware guide. Edition PerekinElmer SCIEX, 68 p.
- Ivaldi J.C., Slavin W. (1990) Cross-flow nebulisers and testing procedures for inductively coupled plasmas nebulisers. *J. Anal. At. Spectrom.* 5(5), 359-363.