

УДК 553.3.071

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.96.09>

Н. Бабаев, проф., д-р геол.-минералог. наук,  
E-mail: [nibabayev@yandex.ru](mailto:nibabayev@yandex.ru);  
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,  
Пр. Свободы, 20, Баку, AZ1010, Азербайджан

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОПОЧНЫХ БРЕКЧИЯХ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ АЗЕРБАЙДЖАНА (АБШЕРОНСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, ГОБУСТАНА)

(Представлено членом редакционной коллегии д-ром геол. наук, доц. С.С. Шнюковым)

На основании современных полевых и лабораторных исследований описаны условия накопления некоторых редких и рассеянных элементов в сопочных брекчиях, на примере наиболее характерных грязевых вулканов Абшерона и Гобустана.

Определена типоморфная геохимическая ассоциация с борной минерализацией редких и рассеянных элементов в твердых продуктах извержения грязевых вулканов. Выявлено, что грязевулканизм является благоприятным фактором для накопления бора, лития, цезия и стронция в сопочных брекчиях в практически интересных значениях. Максимальные значения этих концентраций отмечены в сопочных брекчиях свежего извержения с остатками водноилистой грязи.

Дисперсия выборки, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации являются наиболее контролирующими параметрами функций распределения исследуемых элементов в сопочных брекчиях. По оценкам этих параметров выяснилось, что бор, литий и цезий обнаруживают значительный привнос в ходе грязевулканических новообразований, а рубидий нет.

Установленные средние значения концентрации бора (0,216 кг/т), лития (55 г/т), рубидия (132 г/т) и цезия (50 г/т) могут быть рассмотрены как первые количественные параметры геохимической специализации грязевулканических продуктов извержения на примере Абшеронского полуострова и Гобустана. Эти параметры могут быть использованы для уточнения так называемых провинциальных кларков геохимического районирования, прогноза поисков бора и редких щелочей, а также решения других задач.

Ключевые слова: грязевой вулкан, брекчия, редкие элементы, минерализация, кларк, концентрация, бура, щелочные элементы, спектральный анализ.

**Цель работы.** Возникает необходимость научного обоснования возможности использования грязевулканических продуктов в виде сопочных брекчий, водноилистой грязи в качестве сырья для получения промышленных концентраций бора и сопутствующих ему редких щелочных элементов. При этом важно выяснение литологических и минерало-геохимических условий накопления бора и редких щелочей в грязевулканических образованиях, широко развитых в Азербайджане.

В этой связи большое значение приобретают вопросы количественного и качественного распределения бора и редких щелочей в сопочных брекчиях, на основе чего могут быть установлены геохимические особенности поведения этих элементов. Сюда также входит изучение элементного состава геохимической ассоциации, типоморфной для борной минерализации в грязевулканическом процессе. Установленные при этом особенности поведения бора и других элементов в процессе грязевулканизма, выявленные на примере грязевых вулканов Гобустана и Абшеронского полуострова, могут быть применены и для изучения подобных образований в других регионах СНГ.

В ходе выполнения настоящей работы ставились и решались следующие задачи:

- установление уровней концентраций бора и редких щелочей в различных литофациях грязевулканического извержения во времени и пространстве;
- изучение элементного состава геохимической ассоциации, типоморфной для борной минерализации в сопочных брекчиях грязевых вулканов;
- выявление количественных параметров распределения бора и сопутствующих ему элементов в твердых продуктах извержений, с применением математической статистики;
- определение формы миграции редких элементов в грязевых вулканах с учетом гранулометрического и минерального состава;
- разработка геохимических критериев прогнозирования поисков искоемых элементов в сопочных брекчиях грязевых вулканов.

**Введение.** Самые крупные грязевые вулканы не только Азербайджана, но и всего мира находятся в Гобустане (*Largest mud volcano, 2004*). В периоды пароксизмов они выбрасывают на дневную поверхность внушительные объемы грязевулканической брекчии, состоящие из обломков различных по литологическому составу и возрасту горных пород.

Не затрагивая геохимических особенностей органического вещества, обильное присутствие которого свидетельствует об скоплениях углеводородов в недрах, отметим, что литолого-петрографический анализ кластического материала и цементирующей массы брекчий показывает присутствие в них как грубообломочных, так и более измельченных карбонатных пород. При этом преобладают песчано-алевритовые фации палеоцен-миоценового возраста.

В результате исследований, проведенных несколькими поколениями специалистов, в брекчиях грязевых вулканов установлено около 80 минералов различных классов: сульфид, окисел, силикат, карбонат, фосфат, борат, сульфат, галоидов и нитратов. Как правило, все минералы объединяют в три группы:

1. Реликтовые (унаследованные) из вмещающих вулканы осадочных пород;
2. Образованные в процессе грязевого вулканизма;
3. Производимые термальным метаморфизмом (высокими температурами горевших газов при извержениях) (*Бабаев, 2016*).

Во всех вышеназванных группах довольно часто встречаются редкие и рассеянные элементы. Кроме того, в брекчиях грязевых вулканов присутствуют более 30 микроэлементов. Это в основном элементы группы железа (Fe, Ni, Cr, V, Co, Ti), полиметаллических руд (Cu, Pb, Zn) и др. (*Бабаев, 2018*). Все эти элементы в брекчиях вулканов имеют повышенные концентрации, значительно превышающие их кларковые значения. Интервал содержания редких и рассеянных элементов для комплексов осадочных пород, вмещающих в себе грязевые вулканы, известен и не превышает фоновые значения области.

© Бабаев Н., 2022

Высокие, часто промышленно-интересные концентрации указанных элементов в продуктах грязевых вулканов могут быть связаны либо со спецификой самого грязевулканического процесса, либо с привносом глубинного материала по имеющимся разломам, сопровождающих все, без исключения, грязевые вулканы.

**Результаты исследований.** Ниже приводится краткое описание сведений о характерных вулканах Абшеронского полуострова (Шонгарская группа) и Гобустана.

Шонгарская группа грязевых вулканов включает в себя вулканы Шонгар, Сарынча и Гюльбахт, расположенные в направлении с юго-востока на северо-запад в порядке их перечисления. Все они входят в Шонгарский нефтеносный участок, представляющий собой долину, вдоль которой и размещены указанные грязевые вулканы. Абсолютные отметки вулканов Шонгар – 109 м, Сарынча – 158 м и Гюльбахт – 100 м (Бабаев, 2019).

В геологическом строении площади расположения этих вулканов принимают участие преимущественно отложения абшеронского и акчагыльского ярусов, диатомовой свиты и майкопа. Древнекаспийские, в основном, ракушечные известняки большей частью прикрыты наносами и, отчасти, сопочными брекчиями. Указанные отложения слагают соответственно крылья и сводовые части брахиантиклиналей, широко развитых в регионе.

Распределение борного ангидрида и окисей редких щелочей в сопочных брекчиях этих грязевых вулканов приведены в табл. 1. Во вмещающих вулканы коренных породах продуктивной толщи, преимущественно глинистого и песчано-глинистого составов, содержание борного ангидрида не превышает 400 г/т, окисей лития 80 г/т, рубидия 70 г/т и цезия 10 г/т. Всюду повышенные концентрации этих элементов наблюдаются в брекчиях свежего излияния.

Таблица 1

Содержание борного ангидрида, окисей лития, рубидия и цезия в сопочных брекчиях грязевых вулканов Гюльбахт-Сарынча-Шонгар

Характеристика опробуемого материала	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , в%	Li <sub>2</sub> O, в%	Rb <sub>2</sub> O, в%	Cs <sub>2</sub> O, в%
Песчаные глины	0,04	0,008	0,007	-
Глина	0,05	0,009	0,008	0,002
То же с гипсом	0,04	0,01	0,008	0,004
То же	0,06	0,01	0,009	0,005
Песчаники с гипсом	0,07	0,015	0,01	0,005
То же	0,06	0,010	0,009	0,004
То же без гипса	0,05	0,010	0,01	0,005
То же	0,08	0,015	0,01	0,006
То же	0,09	0,013	0,011	0,007
То же с гипсом, налетами солей и нефти	0,006	0,015	0,012	0,008
То же	0,10	0,013	0,01	0,01
То же	0,12	0,014	0,011	0,009
То же, обломки брекчи	0,15	0,018	0,014	0,01
То же	0,25	0,02	0,018	0,015
То же	0,20	0,02	0,019	0,010

На основании анализа 60 образцов, отобранных из сопочных брекчий трех вулканов, составлена табл. 2. В таблице даны интервалы содержания лития, рубидия и цезия. Среднее содержание лития, составляет 66,3 г/т, рубидия – 170,3 г/т и цезия – 61 г/т, с коэффициентами концентрации 1,0; 0,88 и 5,6 соответственно. Только эти данные в самом первом приближении указывают на некоторое накопление лития и цезия в процессе грязевулканизма Гюльбахт, Сарынча и Шонгар. В этих условиях рубидий заметно выносятся. Максимальное содержание лития 82 г/т, рубидия – 260 г/т и цезия – 125 г/т приходится на брекчии свежего излияния. В результате проведенной нами работы установлена не только благоприятная роль грязевулканического процесса в накоплении бора и редких щелочных элементов в сопочных брекчиях вулкана, но и определенные закономерности в распределении их по фациям, возрасту комплекса пород, а также по характеру извержений. Стало известным, что максимальные содержания бора и редких щелочных элементов приурочены к глинистой и песчано-алевритовой фациям более поздних извержений вулканов. Карбонатная фация характеризуется самым высоким содержанием Sr (до 0,3%) и Mn (1 %). В песчано-глинистых составляющих брекчий установлены повышенные концентрации V, Ni, Cu, Ba, а сопочный шлам обычно содержит еще и очень высокие содержания Co, Mo, Zn (Дубенский, 2018; Холодов, 2012).

Во всех 95 геохимических образцах, отобранных из брекчий грязевых вулканов Гобустана, отмечены

необычно высокие для коренных осадочных пород области содержания микроэлементов (табл. 3).

Благодаря проведенным радиометрическим измерениям состава брекчий грязевых вулканов выявлены некоторые закономерности распределения в них радиоактивных элементов. Наиболее радиоактивными оказались глинистые компоненты брекчий олигоцен-миоценового возраста (до  $8 \times 10^{-5}\%$ ) (Дубенский, 2018).

Более четкая корреляция прослеживается между радиоактивными элементами и органическим веществом (битумами) в твердых продуктах грязевых вулканов Солахай, Гегерчин, Бахар (Гобустан). По нашему мнению, определяющими в распределении редких элементов в Гобустане, наряду с тектоно-геологическим строением, являются фациальные фазы накопления осадков в различные эпохи, а также характер материала, сносимого из областей сноса. В пределах одной области сноса наблюдается закономерное изменение содержания различных элементов от пресноводных отложений к морским (например, концентрация бора возрастает). Устанавливается парагенетическая связь некоторых элементов (в частности элементы группы железа) в молассах, аллювиальных озерных и разнофациальных морских отложениях. Наличие твердых продуктов извержений вулканов в разрезе осадочных толщ существенно влияет на процентное соотношение химических элементов и на их фоновое значение. В совокупности такое обстоятельство позволит судить как о палеогеографии, так и о характеристике палеобассейна (глубина,

соленость, температура, органический мир) (Собисевич и др., 2014; Шнюков, 2013).

На наш взгляд, в образовании минеральных форм, свойственных грязевулканическому процессу, особую роль играют водные растворы. Исключая генетическую связь грязевых вулканов с магматогенными, мы не можем исключить возможность поступления в канал грязевых вулканов глубинных вод, поступающие в верхние слои земной коры по тектоническим разломам и трещинам. Поэтому наличие в продуктах извержений грязевых вулканов таких гипогенных элементов, как Hg, Co, Ni, Ti и др. в повышенных концентрациях, вполне объяснимы. Среди физико-химических параметров, определяющих своеобразие водных растворов в гипергенной зоне, наибольшее значение имеют окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия. Установлено, что в связи с образованием нерастворимых сульфидов, восстановительно-сероводородная обстановка неблагоприятна для миграции многих металлов. При этом, как и все подземные воды, воды грязевых вулканов содержат CO<sub>2</sub>, а также растворимые органические соединения. Обычно, самые распространенные элементы грязевых вулканов – железо и марганец в этих условиях находятся в восстановительном состоянии и ведут себя как двухвалентные металлы (Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>) (Newton, 1980).

Как правило, элементы, образующие катионы (Fe, Cu, Ni, Co и др.), легко мигрируют в кислых водах и слабее в щелочных. Элементы, образующие анионы, напротив, лучше мигрируют в щелочных водах. Это в

основном не металлы. Но есть элементы, образующие очень легко растворимые соединения, подвижные в водах любого состава (Na, Cl, F, и др.)

Сильнокислотные воды (pH<3) вызывают окисление пирита и других дисульфидов, элементарной серы и приводит к образованию свободной серной кислоты. В таких водах наблюдается интенсивная миграция Fe, Al, Cu, Zn и т.д. Этот тип воды в грязевых вулканах редок (вулканы Уталыги, Гырдаг).

В слабокислых водах легко мигрируют металлы в форме бикарбонатов и комплексных соединений с органическими кислотами (вулканы Арзани, Дурандаг).

Самые распространенные в грязевых вулканах слабощелочные (pH 6,5-7,5) и щелочные (pH 7,5-8,5) воды менее благоприятны для миграции большинства металлов, которые, как правило, осаждаются в форме нерастворимых гидроокислов и карбонатов (вулкан Айратекан). Аниогенные элементы (Ge, V и др.), напротив, мигрируют легко. Такие элементы, как Ca, Sr, Ba, почти не мигрируют в этих условиях и дольше находятся в диссоциационном состоянии в растворе. Особенностью этих вод является то, что некоторые металлы в них ведут себя как аниогенные элементы (Cu, Al), а такой распространенный элемент, как бор, входит в состав различных подвижных анионов и образует собственные минеральные формы в виде буры (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10H<sub>2</sub>O) и улексита (Na, Ca, B<sub>5</sub>O<sub>9</sub> · 8H<sub>2</sub>O) во многих грязевых вулканах Гобустана.

Таблица 2

Распределения лития, рубидия и цезия в сопочных брекчиях грязевых вулканов Гюлбахт-Сарынча-Шонгар

Опробируемый материал	Литий					Рубидий					Цезий				
	Количество определений по интервалам содержания в г/т			Среднее содержание в г/т	Коэффициент концентрации	Количество определений по интервалам содержания в г/т			Среднее содержание в г/т	Коэффициент концентрации	Количество определений по интервалам содержания в г/т			Среднее содержание в г/т	Коэффициент концентрации
	5-50	50-100	100-150			10-100	100-200	200-300			5-50	50-100	100-150		
Сопоч. бр. песано-глинистого состава древнего извержения	15	4	2	55	0,9	8	4	2	110	0,59	13	2	–	22	1,8
То же с гипсом	4	16	1	62	1,0	2	9	3	150	0,75	15	4	–	36	3,0
То же с ост-ми водно-илистой грязи свежего извержения	4	4	10	82	1,3	8	10	14	260	1,3	8	4	14	125	10,4
Среднее значение по вулкану				66,3	1,0				170,3	0,88				61	5,6

Таблица 3

Средние содержания (%) микроэлементов в брекчиях грязевых вулканов Гобустана

Название вулкана	Тип пород	Колич. образцов	Mg	Mn	Ga	V	Y	Cu	Zr	Yb	Ba	Se
Дашгиль	алевролит	8	>1	0,045	0,0010	Необ.	Необ.	0,0020	0,0025	Необ.	Необ.	Необ.
	песчаник	13	0,75	0,15	Необ.	0,0014	0,0020	0,0035	0,0023	0,00010	0,020	0,00085
	глина	14	>1	0,083	0,0023	0,0033	0,0025	0,0065	0,0013	0,00025	0,018	0,00094
	шлам	4	>1	0,075	0,0028	0,0030	0,0013	0,0030	0,0014	0,00010	0,020	0,00080
Готурдаг	алевролит	10	>1	0,087	0,0014	0,00013	0,0014	0,0048	0,0023	0,00012	0,018	Необ.
	песчаник	15	>1	0,083	0,0017	0,0030	0,0013	0,0043	0,0016	0,00013	Необ.	0,00097
	глина	20	>1	0,058	0,0015	Необ.	0,0011	0,0013	0,0016	0,00010	Необ.	Необ.
	известняк	11	0,70	0,14	Необ.	Необ.	Необ.	0,0038	0,0013	Необ.	Необ.	Необ.

По нашему мнению, для количественной оценки фоновых значений элементов и их высоких концентраций необходимо учитывать цикличность в миграции и периодичность в распределении и накоплении химических элементов в земной коре. В этой связи возникает вопрос о генезисе химических элементов и преобразованиях, которым они подвергаются в последующих изменившихся

геологических ситуациях. К решению этих сложных вопросов приходится подходить с особой тщательностью, так как необоснованные, скоропостижные выводы могут привести к ошибочным заключениям. Только этим можно объяснить тот факт, что некоторые исследователи (А.Д. Израелян, Э.М. Джафарова, 1973) происхождение элементов группы железа (Ni, V, Cr, Ti, Fe, Cu)

рассматривают в совокупности с образованием кластических терригенных пород. Тем не менее, результаты работ последних лет однозначно доказывают, что происхождение вышеназванных элементов связано с дифференциацией (ликвацией) основных магматических интрузий, образующих крупные месторождения Fe, Ni, Cr.

Приблизительно такая же ситуация и с бором. Повышенные содержания этого элемента в глинах майкопской серии стали причиной предположений о том, что бор является экзогидратогенным образованием осадочного происхождения (А.А. Ализаде, 1958), тогда как первоисточником его служит внедряющаяся в земную кору магма.

Для определения закономерностей распределения химических элементов в осадочном чехле, в зависимости от временного фактора (по вертикали) или об их фациальной зависимости (по горизонтали), необходимо восстановить не отдельно взятый отрезок времени, а историю общего геологического развития области в контексте генезиса, путей миграции и условий накопления этих элементов с учетом их физико-химических свойств. Отдельно взятые отрывочные сведения о количественном распределении элементов – и на этой основе приуроченность их к отдельному отрезку времени или к отдельной группе пород, уводит исследователя от истинного положения дел. Так, элементы того же семейства (Ni, V, Cr, Ti, Fe, Mn, Cu) в Шамахи-Гобустанском районе в неогеновых отложениях выделяются повышенными значениями по сравнению с верхнемеловыми. Обратная картина наблюдается на южном склоне Большого Кавказа. То же можно сказать о Mn и Ba, высокие концентрации которых, как правило, приурочены к хемогенным карбонатным породам Ю. Гобустана. В последнем примере Ba, как элемент нижней половины таблицы Менделеева с тяжелым атомным весом (137,34), при наличии влаги переходит в трудно растворимый сульфат ( $BaSO_4$ ), осаждается и, таким образом, сравнительно быстро выходит из процесса миграции, тогда как Mn продолжает свой путь. Концентрация Sr в верхнемеловых отложениях связана со способностью этого элемента входить в изоморфную ковалентную связь с Ca. Так как в меловых отложениях часто присутствует карбонат кальция ( $CaCO_3$ ), катион которого замещается стронцием, создается впечатление о характерном накоплении его в горных породах мелового периода.

Отметим, что возможно, некоторые заключения автора дискуссионные, что вполне естественно для научной работы. Однако позиция автора достаточно ясна и не исключает научной полемики, способствующей дальнейшим исследованиям геохимических особенностей химических элементов в сопочных брекчиях грязевых вулканов и других комплексах осадочных пород.

**Заключение.** Проведенные геолого-геохимические исследования условий накопления бора и редких щелочей в грязевулканических продуктах, на примере ряда представительных грязевых вулканов Абшеронского полуострова и Гобустана, позволяют наметить следующие особенности и рекомендации по направлению дальнейших научно-практических работ.

1. Грязевулканизм является благоприятным фактором накопления бора, лития и цезия в практически интересных значениях.

2. Редкие щелочи – литий, рубидий и цезий составляют типоморфное геохимическое сонахождение с борной минерализацией. Максимальные значения их концентраций отмечены в сопочных брекчиях свежего извержения с остатками водно-илистой грязи.

3. Дисперсия выборки, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации являются наиболее контролирующими параметрами функций распределения исследуемых элементов в сопочных брекчиях. По оценкам этих параметров выяснилось, что литий и цезий обнаруживают значительный привнос в ходе грязевулканических новообразований. В силу низких величин коэффициента вариации и среднеквадратического отклонения, с учетом низкого коэффициента концентрации, можно допустить отсутствие заметного привноса рубидия в этих образованиях.

4. Установленные средние значения концентрации бора (0,216 кг/т), лития (55 г/т), рубидия (132 г/т) и цезия (50 г/т) могут быть рассмотрены как первые количественные параметры геохимической специализации сопочных брекчий на примере вулканов Абшеронского полуострова и Гобустана.

Эти параметры могут быть использованы для уточнения так называемых провинциальных кларков геохимического районирования, успешного анализа фаций грязевулканического извержения, геохимического прогноза поисков бора и редких щелочей, а также решения других задач.

#### Список использованной литературы

- Бабаев, Н.И. (2016). Эндогенные боросные комплексы Малого Кавказа. *Известия ВТУЗов Азербайджана*, 1(101), 18, 18–24.
- Бабаев, Н.И. (2018). Перспективы поисков горного агрономического сырья в Азербайджане. *Горный журнал*, 193(2248), 3, 91–94.
- Бабаев, Н.И. (2019). Минеральные формы нахождения бора в геологических комплексах Азербайджана. *Материалы XIX Международной научно-практической Конференции*, 2-5 апреля, Москва, 218–222.
- Дубенский, А.С. (2018). Групповое сорбционно-масс-спектрометрическое определение Ru, Rh, Pd, Ir, Pt и Au в горных породах и рудах с использованием сверхсшитых полистиролов. 24–32.
- Лысенко, В.И. (2012). Предполагаемое появление грязевого вулканизма в горном Крыму. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*, 3, 86–87.
- Собисевич, А.Л., Собисевич, Л.Е., Тверитинова, Т.Ю. (2014). О грязевом вулканизме в позднеальпийском складчатом сооружении северо-западного Кавказа (на примере изучения глубинного строения грязевого вулкана Шуго). *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*, 2, 80–93.
- Холодов, В.Н. (2012). Грязевые вулканы: распространение и генезис. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*, 4, 21–29.
- Холодов, В.Н. (2019). Термобарические обстановки глубин осадочно-породных бассейнов и их флюидодинамика. Сверхвысокие давления и грязевые вулканы. *Литология и полезные ископаемые*, 1, 44–59.
- Шнюков, Е.Ф. (2013). Грязевые вулканы Черного моря как поисковый признак газогидратов метана. *Литология и полезные ископаемые*, 2, 119–127.
- Largest mud volcano. (2004). Guinness World Records. 2004-09-15. Получено 2018-09-24 с <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/largest-mud-volcano>.
- Newton, R.S., Cunningham, R.C., Schubert, C.E. (1980). Mud volcanoes and pockmarks: seafloor engineering hazards or geologic curiosities. *Proceedings – Annual Offshore Technology Conference, Houston, USA, May 5-8*, 1, 425-435.

#### Reference

- Babayev, N.I. (2016). Endogenous boron complexes of the Lesser Caucasus. *News technical college of Azerbaijan*, 1 (101), 18, 18-24.
- Babayev, N.I. (2018). Prospects for the searching for mining agronomic raw materials in Azerbaijan. *Mining Journal*, 3, 193 (2248), 91-94. [in Russian]
- Babayev, N.I. (2019). Mineral forms of boron occurrence in geological complexes of Azerbaijan. *Materials of the XIX International Scientific and Practical Conference, April 2-5, Moscow*, 218-222. [in Russian]
- Dubensky, A.S. (2018). Group sorption-mass spectrometric determination of Ru, Rh, Pd, Ir, Pt and Au in rocks and ores using over-crosslinked polystyrene. 24-32. [in Russian]
- Kholodov, V. N. (2019). Thermobaric conditions of the depths of sedimentary-rock basins and their fluid dynamics. Ultra-high pressures and mud volcanoes. *Lithology and minerals*, 1, 44-59. [in Russian]
- Kholodov, V.N. (2012). Mud volcanoes: distribution and genesis. *Geology and minerals of the World Ocean*, 4, 21-29.
- Largest mud volcano. (2004). Guinness World Records. 2004-09-15. Получено 2018-09-24 с <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/largest-mud-volcano>.
- Lysenko, V.I. (2012). Assuming emergence of mud volcanism in the Crimea ridge. *Geology and Mineral Resources of the World Ocean*, 3, 86-87. [in Russian]



Newton, R.S., Cunningham, R.C., Schubert, C.E. (1980). Mud volcanoes and pockmarks: seafloor engineering hazards or geologic curiosities. *Proceedings – Annual Offshore Technology Conference. Houston, USA, May 5-8, 1, 425-435.*

Shnyukov, E.F. (2013). Mud volcanoes of the Black Sea as a search indicator for methane gas hydrates. *Lithology and minerals*, 2, 119-127. [in Russian]

Sobisevich, A.L., Sobisevich, L.E., Tveritinova, T.Y. (2014). About mud volcanism in the late Alpine folded structure of the northwestern Caucasus (the case of studying the deep structure of the Shugo mud volcano). *Geology and Mineral Resources of the World Ocean*, 2, 80-93. [in Russian]

Надійшла до редколегії 11.05.21

N. Babayev, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,  
E-mail: nibabayev@yandex.ru;  
Azerbaijan State University of Oil and Industry,  
20 Azadliq (Liberty) Ave., Baku, AZ1010, Azerbaijan

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE ACCUMULATION OF RARE AND SCATTERED ELEMENTS IN THE BRECCIAS OF MUD VOLCANOES OF AZERBAIJAN (ABSSHERON PENINSULA, GObUSTAN)

*Based on modern field and laboratory studies, the conditions for the accumulation of some rare and scattered elements in mud volcano breccias have been described in the article, using the example of the most characteristic mud volcanoes of Abssheron and Gobustan.*

*A typomorphic geochemical association with boron mineralization of rare and scattered elements in solid products of mud volcanic eruptions has been determined. It has been revealed that mud volcanism is a favorable factor for the accumulation of boron, lithium, cesium and strontium in mud volcano breccias in practically interesting values.*

*The maximum values of these concentrations were noted in the fresh erupted mud volcano breccias with remnants of water-silty mud.*

*Sample variance, standard deviation, and coefficient of variation are the most controlling parameters of the distribution functions of the studied elements in mud volcano breccias. According to the estimates of these parameters, it has been found that the mud volcanic new formations are rich in boron, lithium and cesium, while not being rich in rubidium.*

*The established average values of the concentration of boron (0.216 kg/t), lithium (55 g/t), rubidium (132 g/t) and cesium (50 g/t) can be considered as the first quantitative parameters of the geochemical specialization of mud volcanic eruption products using the example of Abssheron Peninsula and Gobustan. These parameters can be used to refine the so-called provincial clarkes of geochemical zoning, prediction of prospecting for boron and rare alkalis, and other problems.*

**Keywords:** mud volcano, breccia, rare elements, mineralization, clarkes, concentration, boron, alkaline elements, spectral analysis.

Н. Бабаєв, д-р геол.-мінералог. наук, проф.,  
E-mail: nibabayev@yandex.ru;  
Азербайджанський державний університет нафти і промисловості,  
Пр. Свободи, 20, Баку, AZ1010, Азербайджан

## ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ РІДКІСНИХ І РОЗСІЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СОПКОВИХ БРЕКЧІЯХ ГРЯЗЬОВИХ ВУЛКАНІВ АЗЕРБАЙДЖАНУ (АБШЕРОНСЬКИЙ ПІВОСТРІВ, ГОБУСТАН)

*На підставі сучасних польових і лабораторних досліджень описано умови накопичення деяких рідкісних і розсіяних елементів у сопкових брекчіях, на прикладі найбільш характерних грязьових вулканів Абшерона і Гобустана.*

*Визначено типоморфну геохімічну асоціацію з борною мінералізацією рідкісних і розсіяних елементів у твердих продуктах виверження грязьових вулканів. Виявлено, що грязевулканізм є сприятливим фактором для накопичення бору, літію, цезію і стронцію в сопкових брекчіях у практично цікавих значеннях. Максимальні значення цих концентрацій відзначені в сопкових брекчіях свіжого виверження із залишками водноілістого бруду.*

*Дисперсія вибірки, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації є найбільш контролюючими параметрами функцій розподілу досліджуваних елементів у сопкових брекчіях. За оцінками цих параметрів з'ясувалося, що бор, літій і цезій виявляють значний привнос у ході грязевулканічних новоутворень, а рубідій – ні.*

*Встановлені середні значення концентрації бору (0,216 кг/т), літію (55 г/т), рубідію (132 г/т) і цезію (50 г/т) можуть бути розглянуті як перші кількісні параметри геохімічної спеціалізації грязевулканічних продуктів виверження на прикладі Абшеронського півострова і Гобустана. Ці параметри можуть бути використані для уточнення так званих провінційних кларків геохімічного районування, прогнозу пошуків бору і рідкісних лугів, а також вирішення інших завдань.*

**Ключові слова:** грязьовий вулкан, брекчія, рідкісні елементи, мінералізація, кларк, концентрація, бора, лужні елементи, спектральний аналіз.