

УДК 551.23:553.98:550.84:550.43

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.08>

Н. Нариманов¹, канд. геол. наук
E-mail: nariman.narimanov40@asoiu.edu.az;
К. Каграманов², канд. геол. наук
E-mail: gngahramanov@gmail.com;
М. Бабаев¹, канд. геол. наук
E-mail: m.s.babayev@mail.ru;
С. Шпырко³, канд. физ.-мат. наук
E-mail: sshpyrko@gmail.com;
Г. Насибова¹, канд. геол. наук
E-mail: gultar_nasibova_1@yahoo.com;
Х. Мухтарова¹, канд. геол. наук
E-mail: mukhtarova.khuraman@mail.ru;

¹Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
Баку, Азербайджан

²Государственная нефтяная компания Азербайджанской Республики
(SOCAR), Баку, Азербайджан

³Центр проблем морской геологии, геоэкологии и осадочного рудообразования
НАН Украины, Киев, Украина

ПРОГНОЗ ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ БАКИНСКОГО АРХИПЕЛАГА ПО ТИПАМ ГАЗОВ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

(Представлено членом редакционной коллегии д-ром геол. наук, проф. В.А. Нестеровским)

Грязевые вулканы являются индикатором нефтегазогенерационных процессов и нефтегазоносности осложненных ими локальных поднятий. Изучая количественное содержание и возраст газовых выбросов вулканов, можно определить зоны газогенерации и перспективы нефтегазоносности территории. Часто грязевые вулканы бывают приурочены к узлам пересечения разномасштабных дизъюнктивов, в то же время существует корреляционная связь между размещением крупнейших нефтяных и газовых месторождений и глубинными разломами. Таким образом, выбросы грязевых вулканов являются инструментом геохимического опробования соответствующих потенциально нефтегазоносных структур. В работе выполнен площадной анализ состава газов грязевых вулканов с целью выявления перспективных объектов в глубоководной части Бакинского архипелага, являющегося западным структурным элементом акватории Южно-Каспийской впадины. Результаты подтверждают прогноз существования в глубоководной части ЮКВ крупных углеводородных скоплений. Расчеты возраста газов грязевых вулканов Бакинского архипелага показали их приуроченность к меловому и миоцен-плиоценовому возрасту.

Ключевые слова: грязевой вулкан, метан, этан, пропан, бутан, пентан, углекислый газ, азот, водород, аргон, гелий, газовый выброс, возраст газа, газообразные гомологи метана.

Введение. Грязевые вулканы обнаружены почти на всех континентах мира – на суше и в акваториях. В настоящее время считается, что их число по всему миру достигает нескольких тысяч (Davies and Stewart, 2005). Они являются важным компонентом экосистемы, обеспечивая дегазацию глубоко захороненных отложений. Идеи о связи грязевого вулканизма со скоплениями углеводородов высказывались еще с середины XIX века (Корф, 2002). Грязевые вулканы характерны для тектонически активных зон молодых депрессий, образующихся с накоплением мощных молассовых толщ и при наличии крупных газовых скоплений с аномально высокими пластовыми давлениями на больших глубинах. Они, как механизмы гидродинамической разгрузки крупных осадочных бассейнов, указывают на интенсивную генерацию углеводородов и могут быть индикатором для оценки нефтегазоносности территории.

Грязевые вулканы в пределах Южно-Каспийской впадины (ЮКВ) сконцентрированы в основном в её бортовых и прибортовых частях и приурочены к антиклинальным зонам, осложненным продольными разрывами (рис. 1). Наибольшее развитие грязевулканические проявления имеют на западном, относительно крутом борту ЮКВ, окаймляющем область максимальной мощности как всего осадочного чехла, так и плиоцен-четвертичного комплекса. Здесь на каждые 100 км² приходится до 6–8 самостоятельных грязевых вулканов (Алиев, 2006). При этом наибольшая плотность грязевулканических проявлений приурочена к Бакинскому архипелагу и западному Абшерону.

Большинство (около 80 %) морских нефтегазоносных месторождений Азербайджана на западном борту ЮКВ осложнено грязевым вулканизмом. К таковым относятся и все нефтегазоносные структуры Бакинского архипелага, причем вулканы расположены обычно в их сводовых частях и носят имена самих локальных поднятий

(рис. 2–3). В пределах ЮКВ принято выделять в основном два этажа нефтегазоносности: верхний (плиоцен) и нижний (мезозой), разобщенные мощной глинистой толщей отложений палеогена и миоцена, в которой также встречаются отдельные локальные скопления нефти в песчаных пропластках (Нариманов, 2008).



Рис. 1. Положение грязевых вулканов Бакинского архипелага:

1 – установленные; 2 – предполагаемые

Грязевулканические проявления в ЮКВ в основном связаны с нижним этажом нефтегазоносности, имею-

щим благоприятные условия для генерации и аккумуляции углеводородов вследствие нахождения этого этажа в благоприятном окне температур и наличия глинистой покрывки пород возраста *Pg-Mi*. Верхний этаж участвует в деятельности грязевых вулканов только на наиболее погруженных участках впадины, причем глубокие газоносные горизонты характеризуются также повышенными пластовыми давлениями порядка 80–100 МПа (Алиев, 2006). Следует отметить, что прямой связи между интенсивностью проявлений грязевого вулканизма и запасами углеводородов соответствующих месторождений не наблюдается – так, грязевые вулканы на многих крупнейших открытых месторождениях (например, Шах-Дениз, Азери-Чираг-Гюнешли) находятся в грифонной стадии со слабой активностью, и наоборот, запасы месторождений, приуроченных к вулканам с большой интенсивностью извержений, оказываются небольшими (Алиев, 2006; Алиев и др., 2015; Рахманов, 1987).

В зависимости от объема выбрасываемых в атмосферу газов, грязевые вулканы делятся на грязевые и газо-грязевые (Керимов и др., 1995). В отличие от первых, вторые выбрасывают в атмосферу значительно больший объем газа. Связано это с тем, что газо-грязевые вулканы обычно связаны с зонами дробления в глубоководных толщах или в кристаллическом фундаменте и являются флюидосборными зонами. При извержении грязевого вулкана, связанного с такой зоной, её газы, прорвавшись через реологически активную глиняную зону, за счет реактивного эффекта засасывают в реологически активную среду, т. е. в корень вулкана, обломки пород древнее, чем его корень (Керимов и др., 1995). Корнем вулканов архипелага являются реологически активные глины майкопа ($P_3-N_1^1$). Газо-грязевые вулканы определяются по обломкам вынесенных пород, возраст которых древнее, чем корень вулкана. В архипелаге к таковым относятся вулканы о. Глиняный, о. Гарасу, о. Дуваный, о. Санги-Мугань и т. д. В их выбросах были найдены обломки пород мезозойского и раннепалеогенового возрастов (Якубов и др., 1971).

Грязевые вулканы являются важными критериями оценки газоносности глубоких недр ЮКВ. Поскольку прямой корреляции между явными, внешними проявлениями вулканизма (например, частотой извержений) и нефтегазонасностью нет, для "опробования" недр с использованием информации о грязевом вулканизме, мы должны прибегать к геохимическим методам анализа состава их газов. Сопоставление состава газов грязевых вулканов и нефтегазовых залежей может пролить свет на источники питания естественных нефтегазопоявлений и дать возможность прогнозировать нефтегазовые залежи в пределах глубоководных частей ЮКВ. Так, химический состав газов вулканов почти идентичен такому составу газов залежей, так называемой Продуктивной толщи (ПТ – нижний плиоцен). Основным различием в их составе является большее содержание газообразных гомологов метана (ГГМ) в газах вулканов (на 12 %), а в газах залежей – повышенное содержание CO_2 и N_2 (Нариманов, 2008). В настоящей работе мы обобщаем имеющиеся данные по газовому составу крупных вулканических структур архипелага и анализируем их с привязкой к пространственным закономерностям изменения геохимии грязевулканических структур.

Использованы результаты лабораторных исследований по количественному содержанию (в объемных процентах) метана, его газовых гомологов, углекислого газа, азота, водорода, гелия и аргона в выбросах. Исходные данные были получены бывшей лабораторией геологии природного газа Института геологии АН Азерб. ССР. В этой лаборатории были разработаны га-

зогеохимические методы анализа углеводородного состава толщ воды и газов и проведены исследования в различных частях акватории Южного Каспия. В пределах Бакинского архипелага эти анализы осуществлены по 64 образцам, отобранным из грязевых вулканов, осложняющих в основном сводовые части и периклинали локальных поднятий. Анализы газов по рассматриваемым грязевым вулканам сделаны по пробам донных отложений и воды в зоне кратера каждого из вулканов. Произведен площадной анализ количественных значений выбросов и их сопоставление, позволившее определить перспективы выявления новых залежей УВ. Определен возраст газов грязевых вулканов (т. е. возраст отложений с очагами их образования), позволивший определить источники их генерации в осадочном разрезе архипелага.

Результаты исследований. Существует четкая корреляционная связь между размещением крупнейших нефтяных и газовых месторождений и глубинными разломами (Алиев А. и Алиев Э., 2011). Растянутость главной зоны нефтегазообразования в архипелаге и центральной части ЮКВ до глубин 10–19 км позволяет заключить, что газы, выбрасываемые в атмосферу в основном являются продуктами преобразования органического вещества (ОВ), содержащегося в толщах пород на этих и больших глубинах (рис. 1) (Гулиев и др., 2017; Нариманов, 2008). В условиях полиочагового и непрерывного прогибания ложа ЮКВ процесс нефтегазогенерации в ней является непрерывным. Однако осложненность ее глубинными разломами, присутствие в выбросах углекислого газа, водорода, аргона и гелия не исключает возможности подпитки вулканов глубинными газами. Согласно (Фейзуллаев и др., 2016) олигоцен-миоценовые отложения в ЮКВ генерируют нефть и значительное количество газов, в особенности из юрских отложений. Эти газы играют большую роль в вытеснении рассеянных жидких углеводородов из олигоцен-миоценовой толщи. Метан, водород и гелий указывают на их возможно мантийное происхождение (Фейзуллаев, 2016; Smith-Rouch, 2006). Зачастую грязевые вулканы бывают приурочены к узлам пересечения дизъюнктивов, однако, как следует из рис. 1, положение грязевых вулканов относительно локальных поднятий и разномасштабных дизъюнктивов весьма различно, что очевидно связано с проводящими свойствами последних, влияющими на выбросы газов. Но очевидно, грязевые вулканы не могли быть активными на протяжении геологической истории, если бы не получали метан из глубинных источников.

Многочисленные анализы показывают, что химический состав газов грязевых вулканов Азербайджана однократен и состоит в основном из метана и его газообразных гомологов. Это свидетельствует о мощном метаногенерирующем механизме, существующем в низах осадочного чехла или поступлении газов по глубинным разломам из подкорового пространства. Иногда встречаются водород, сероводород, тяжелые предельные, непредельные углеводороды и инертные газы (Алиев и др., 2015; Якубов и др., 1971).

Метан в газах вулканов – это основной их компонент с экстремальными значениями 97,75 % у вулкана о. Дашлы и 90,0 % у Хамамдаг-дениз (рис. 2, а). На глубине более 1 км метан является одним из продуктов распада ОВ, причем с глубиной соотношение между метаном и ГГМ меняется в пользу первого. На глубине более 6 км метан является основным продуктом преобразования ОВ. Некоторая его часть может иметь и мантийное происхождение. Иначе говоря, природа имеет широкий спектр возможностей для генерации метана (Нариманов, 2003). Максимальные выбросы метана наблюдаются у вулканов, находящихся между

близко расположенными осепродольными региональными разрывами. Это говорит о том, что каналы вулканов могут иметь связь со сместителями разрывов или с зонами дробления, образующимися на их пересечении (Бунят-заде, 1995). У всех остальных вулканов содержание метана в газах не превышает 92–94 %. На втором месте по количественному содержанию метана находятся вулканы, расположенные непосредственно на дизъюнктивах и имеющие связь с их сместителями. Например, у вулканов на о. Санги-Мугань в выбросах содержится 93,92 % метана, на о. Гарасу – 94,91 % и на о. Хара-Зыря – 94,23 %. Наконец, относительно минимальный выброс метана наблюдается у вулканов, расположенных в отдалении от региональных осепродольных разрывов, как, например, у Хамамдаг-дениз (90 %), о. Дуванный (92 %), о. Кюрдашы (92 %).

Это можно объяснить отсутствием связи грязевого вулкана с глубинными разломами или с зонами дробления. Такая связь возможна у вулканов о. Хара-Зыря, о. Гарасу, о. Санги-Мугань, о. Дашлы, б. Сабаил, б. Мугань-дениз и б. Инам. По содержанию метана в газах вулканов ЮКВ выделяются две зоны. Первая зона находится на севере впадины, где содержание метана составляет менее 95 %. Вторая зона содержит метана до 97 %, охватывая среднюю и южную части впадины (Mamedov and Babayev, 1995). По мере погружения складок в юго-восточном направлении содержание метана в выбросах увеличивается. Этот факт подтверждает мысль о том, что в погруженных частях антиклинальных зон возможны газовые, газоконденсатные залежи с крупными запасами газа (Геолого-геохимическая..., 1980; Kauerauf and Hantschel, 2009).

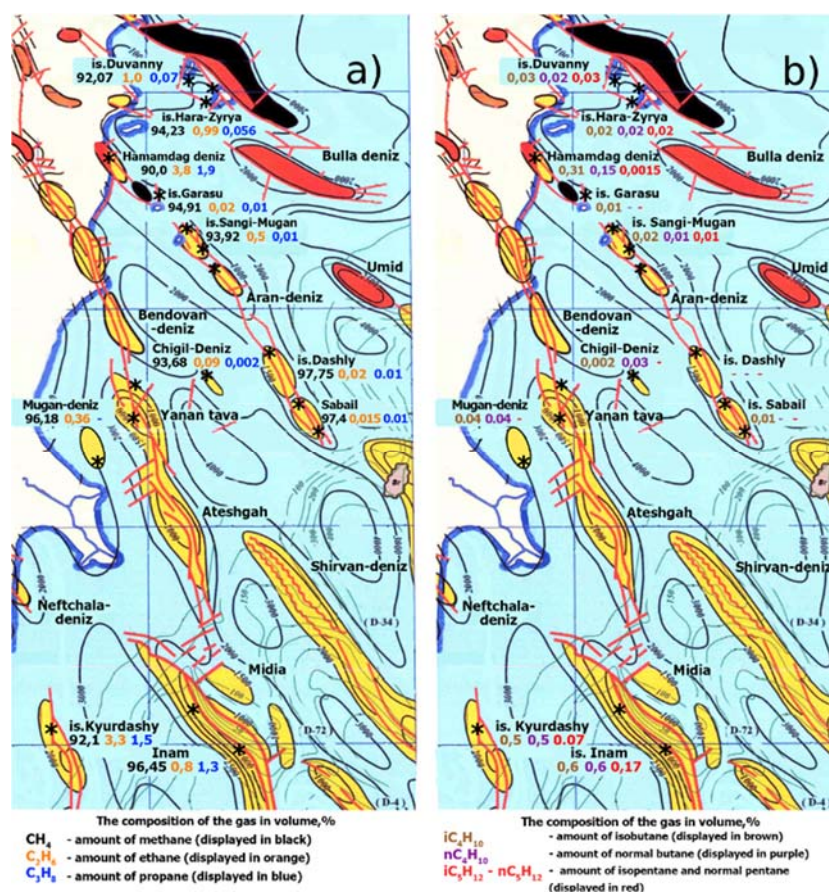


Рис. 2. Процентное содержание углеводородов в выбросах грязевых вулканов: а) метан, этан, пропан; б) бутан, изобутан и пентан

Количественное распределение выбросов этана существенно отличается от таковых метана. Так, если содержание метана в выбросах вулкана о. Кюрдашы составляет 92,1 %, то этана всего 3,30 %. В выбросах вулкана Хамамдаг-дениз содержание метана минимально среди всех рассматриваемых (90,0 %), а содержание этана максимально – 3,8 % (рис. 1). В остальных случаях, за исключением вулканов о. Дуванный и о. Хара-Зыря, с содержанием этана в 1,00 и 0,99 % соответственно, этот показатель составляет десятые и сотые доли процента (рис. 2, а).

Содержание пропана в выбросах вулканов также довольно неравномерно. Максимальное содержание его в два и более раз меньше, чем этана. Всего у трех вулканов содержание пропана составляет более 1,9 % у Хамамдаг-дениз, 1,5 % у о. Кюрдашы и 1,3 % у б. Инам. У всех остальных, количество пропана изменяется основном в сотых долях, а у вулкана б. Чигиль-дениз оно составляет всего 0,002 % (рис. 2, а).

Содержание нормального бутана в выбросах изменяется от 0,006 % у вулкана б. Мугань-дениз до 0,5 % у о. Кюрдашы. И в данном случае максимальное содержание нормального бутана наблюдается в выбросах грязевых вулканов Хамамдаг-дениз, б. Инам и о. Кюрдашы и составляют 0,15, 0,16, и 0,5 % соответственно. Во всех остальных случаях этот показатель на один-два порядка меньше, а у вулканов о. Дашлы, б. Сабаил и о. Гарасу он вообще отсутствует. Минимальные значения нормального бутана наблюдаются у вулканов б. Мугань-дениз – 0,006 %, б. Чигиль-дениз – 0,03 %, о. Дуванный и о. Хара-Зыря по 0,02 % (рис. 2, б).

Количество изобутана в выбросах изменяется от 0,6 % на б. Инам до 0,002 % у б. Чигиль-дениз. Максимальные значения выбросов изобутана наблюдаются у вулканов б. Инам (0,6 %), о. Кюрдашы (0,5 %) и Хамамдаг-дениз (0,31 %). В остальных случаях его величина измеряется в сотых долях процента и выносы изобутана больше, чем нормального бутана (рис. 2, б).

Содержание нормального пентана в выбросах совпадает с таковыми изопентана и значительно меньше, чем выбросы изобутана. Максимальное значение выбросов нормального и изопентана составляет всего 0,17 % у вулкана б. Инам, минимальные – у Хамамдаг-дениз 0,0015 % и б. Мугань-дениз 0,002 %. Вулканы о. Гарасу, б. Чигиль-дениз, о. Дашлы и б. Сабайл лишены вообще выброса нормального и изопентана, у вулканов о. Дуваный, о. Хара-Зыря и о. Санги-Мугань они составляют 0,03, 0,02 и 0,01 % соответственно (рис. 2, б). Таким образом, хотя пентан (и гексан) обычно встречаются во всех залежах, однако в газах рассматриваемых вулканов, за исключением вулканов б. Инам и о. Кюрдашы они практически отсутствуют. Последнее позволяет предположить, что вулканы б. Инам и о. Кюрдашы связаны с однопипными месторождениями.

Как следует из карт процентного содержания гомологов метана, количество УВ газов в выбросах систематически уменьшается в сторону тяжелых углеводородов. Это, очевидно, связано с крекингом генерируемой нефти и с возрастанием термоустойчивости ГГМ по мере близости их состава к метану.

Сопоставление количества метана с суммарными данными по ГГМ по рассматриваемым вулканам указывает на обратную зависимость между ними (рис. 2, 3). Резкое убывание ГГМ и возрастание содержания метана к центру архипелага указывает на направление более глубокой деструкции ГГМ (Klett et al., 2010).

Максимальные значения ГГМ наблюдаются в выбросах полярных частей архипелага, в центральной же их содержание в выбросах на один-два порядка меньше (рис. 3, а). Максимальные выносы ГГМ имеют место у вулканов Хамамдаг-дениз (6,0 %), о. Кюрдашы (5,14 %) и б. Инам (2,87 %). На севере архипелага у вулканов о. Дуваный и о. Хара-Зыря вынос ГГМ составляет 1,09 % и 1,14 % соответственно, а на о. Санги-Мугань 0,54 %. Повышенное содержание ГГМ в выбросах, очевидно, связано со скоплениями УВ в глубоководных толщах пород соответствующих локальных поднятий. Южные структуры архипелага, составляющие продолжение структурных зон Нижне-Куринской впадины, менее осложнены дизъюнктивными, менее размыты, со значительно большей погруженностью кровли Ппродуктивной толщи (ПТ-N₂¹), а газовые выбросы характеризуются увеличением в их составе содержания метана, гелия, аргона и уменьшением ГГМ и углекислого газа.

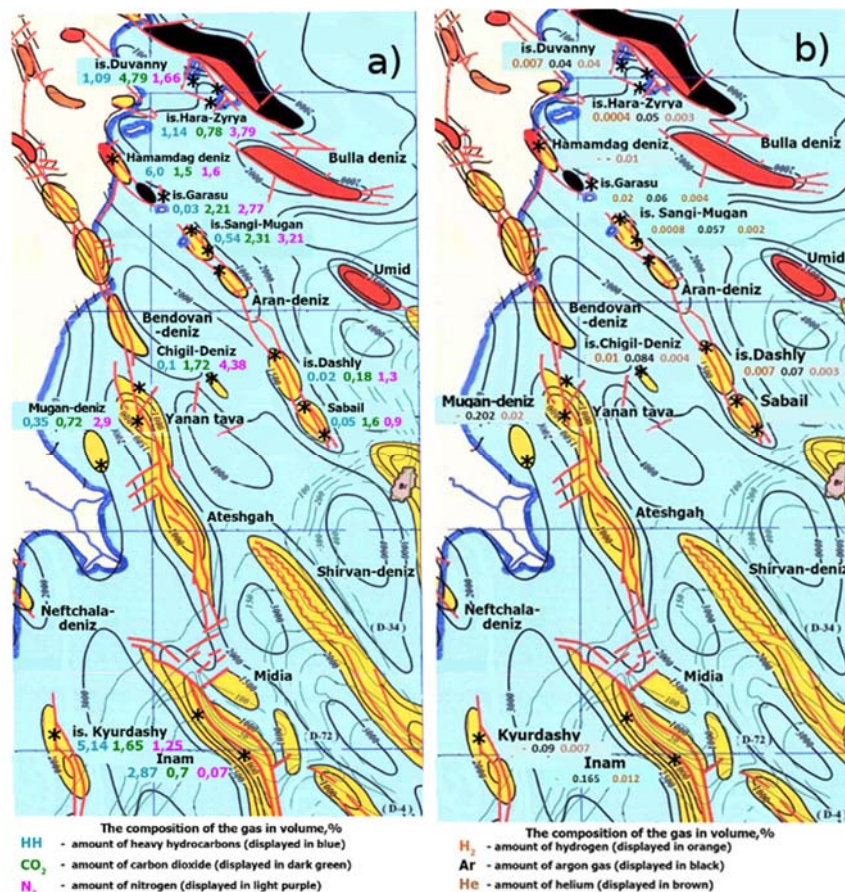


Рис. 3. Процентное содержание в выбросах грязевых вулканов:

а) тяжелых углеводородов, углекислого газа, азота; б) водорода, аргона и гелия

Содержание углекислого газа в выбросах изменяется от 0,18 % у вулкана о. Дашлы до 4,70 % у о. Дуваный. В целом имеет место неравномерное количественное уменьшение содержания углекислого газа с севера на юг архипелага (рис. 3). Он не поддается корреляции с общим количеством ГГМ. Высокое содержание углекислого газа в выбросах обуславливает понижение в них концентрации УВ, что может быть результатом термической деструкции УВ с участием сульфатов или воды.

На карте выбросов углекислого газа можно выделить вулканы с количеством выбросов менее 1 % – о. Хара-Зыря, о. Дашлы, б. Мугань-дениз и б. Инам; вулканы с количеством от 1 % до 2 % – Хамамдаг-дениз, б. Сабайл, о. Кюрдашы, б. Чигиль-дениз и с содержанием более 2 % – вулканы о. Дуваный, о. Гарасу и о. Санги-Мугань (рис. 3). В выбросах концентрации метана и углекислого газа имеют обратную зависимость, что может явиться результатом деструкции тяжелых гомологов метана в жестких термобарических условиях.

Вулканы с повышенным содержанием углекислого газа в выбросах (выше 3 %) являются более активными, что, вероятно, связано с активизацией деструктивных процессов. В пробах, отобранных из выбросов вулкана о. Гарасу перед его извержением, содержание углекислого газа оказалось выше обычного почти в 2,5 раза, что может служить одним из определяющих признаков предстоящего извержения.

Количество азота в выбросах, как и углекислого газа, возрастает с юга на север с минимальными значениями у вулканов б. Инам – 0,07 %, б. Мугань-дениз – 0,29 % и б. Сабаил – 0,90 %. На юге только у вулкана о. Кюрдасы количество азота составляет 1,25 %. На севере же минимальное содержание азота наблюдается у о. Дашлы – 1,30 %, Хамамдаг-дениз – 1,60 и о. Дуванный – 1,66 %. В остальных случаях содержания его изменяется от 2,71 % у вулкана о. Гарасу до 4,38 % у б. Чигиль-дениз.

Количество азота в выбросах уступает углекислому газу (рис. 3, а). У северных вулканов эта закономерность нарушается, т. е., за исключением о. Дуванный, выбросы азота превосходят выносы углекислого газа. В содержании азота в выбросах не существует какой-либо закономерности. В 15 % отобранных проб его содержание составляет более 5 %, в 40 % – от 1 до 4 %, а в остальных менее 1 %.

Содержание водорода в выбросах неравномерно. В минимальных количествах 0,0004 %, и 0,0005 % он выносится вулканами о. Хара-Зыря и о. Санги-Мугань соответственно, а максимальное – 2,9 % у б. Мугань-дениз. У вулканов б. Инам, б. Сабаил и Хамамдаг-дениз он вообще отсутствует (рис. 3). В остальных случаях его содержание исчисляется сотыми, тысячными и десяти-тысячными долями процента.

Количество инертных газов в выбросах составляет сотые и тысячные доли процента. Максимальные значения выноса аргона наблюдаются только у вулканов б. Мугань-дениз (0,202 %) и б. Инам (0,1650 %). В остальных случаях содержание аргона исчисляется сотыми долями процента, а у вулканов Хамамдаг-дениз и б. Сабаил он не был обнаружен вообще, минимальные значения приходятся на северные вулканы. Максимальное значение аргона (0,202 %) уступает водороду (2,90 %), однако вынос его количественно носит более равномерный характер, чем водорода (рис. 3, б).

Содержание гелия в выбросах носит еще более неравномерный характер, на юге его содержание изменяется от 0,007 % у вулкана о. Кюрдасы до 0,012 % у б. Инам и 0,02 % у б. Мугань-дениз. На северных вулканах, за исключением о. Дуванный с содержанием гелия 0,04 %, у о. Хара-Зыря – 0,003 % и у Хамамдаг-дениз 0,01 %, в остальных случаях его содержание исчисляется тысячными долями процента, и он полностью отсутствует в выбросах вулкана б. Сабаил (рис. 3, б).

В выбросах морских вулканов содержание гелия по сравнению с вулканами прилегающей суши значительно больше. Гелия более 0,01 % определено в 9 пробах (21 % из общего количества), в большинстве же (66 % проб) он составляет менее 0,005 %, а в остальных (13 %) – 0,05–0,01 % (рис. 3, б). На юге архипелага содержание инертных компонентов (в основном гелия) больше, чем на севере. Наблюдается также повышенное содержание гелия и аргона в газах более активных вулканов, выраженных банками на дне архипелага. Это подтверждает мысль о том, что на более подвижных и приподнятых территориях гелий быстро диффундирует, как у вулканов осложняющих локальные поднятия с более высоким гипсометрическим положением. Из карты выносов гелия и аргона видно, что первого в выбросах существенно меньше, чем аргона, и какой-либо площадной закономерности в количестве выноса гелия не наблюдается (рис. 3, б). Относительно высокое содержание гелия (до 0,029 см³/кг),

превышающее фоновые значения на 2–3 порядка, является показателем его миграционного происхождения (Axen et al., 2001; Knapp et al., 2015).

По содержанию инертных газов (соотношению гелия и аргона) можно провести грубую оценку абсолютного возраста соответствующих пород. Предложенная методика (Савченко, 1935) исходит из допущения о генерации гелия путем альфа-распада тяжелых радиоактивных элементов горных пород (урана и тория), в то время как весь аргон в формационной воде предполагается имеющим атмосферное происхождение (т. е. содержание не зависит от времени). Предложенная оценка возраста для газов имеет вид

$$t = \text{He} (\% \text{об.}) / \text{Ar} (\% \text{об.}) \times 77,1 \cdot 10^6 \text{ лет.}$$

В этой методике в зависимости от задачи используются и другие коэффициенты. Так, для газов, растворенных в воде, формула предполагает коэффициент 115 млн лет, а для свободных газов – 25 млн лет вместо значения 77,1, предложенного Савченко (Xu Yongchang et al., 1996). Согласно оценкам по этому выражению возрасты газов вулканов изменяются от 7,6 у вулкана б. Мугань-дениз до 3,3 млн лет у о. Дашлы. Лишь газы о. Дуванный имеют возраст в ~70–80 млн лет. К самым молодым относятся газы вулканов о. Дашлы – 3,3 и б. Чигиль-дениз – 3,7 млн лет. Это говорит о том, что их источником является верхний отдел ПТ. Газы вулканов о. Хара-Зыря, о. Гарасу, о. Санги-Мугань и б. Инам имеют возраст 4,6–5,6 млн лет и соответствуют низам ПТ. У вулкана о. Кюрдасы возраст газов составляет 6,0 млн лет, и, очевидно, относится к верхам миоцена. Возраст газов вулкана о. Дуванный ~77 млн лет свидетельствует об их меловом происхождении. Ранее упомянутые продукты выбросов позднемиоценового и раннепалеогенового возраста данного вулкана свидетельствуют о связи его выводного канала с зоной дробления (Katz et al., 2000). Как видно, все газы, за исключением вулкана о. Дуванный, имеют миоцен-нижнеплиоценовый возраст, что соответствует положению потенциальных очагов нефтегазообразования в ЮКВ.

Основное ограничение применимости этого метода определения возраста состоит в том, что измеренный аргон может иметь частично радиогенное происхождение. Для разделения радиогенного аргона и аргона из воздуха требуются тонкие масс-спектрометрические исследования с анализом, в том числе изотопного состава элементов. В свое время были предложены некоторые методы грубой оценки, которые позволяют независимо проконтролировать точность оценки по гелий-аргоновому методу хотя бы по порядку величины, например, исходя из отношения содержания азота и аргона (см. Xu Yongchang et al., 1996). По нашим данным, грубую валидацию результатов можно провести, рассматривая по отдельности содержание аргона и гелия в различных точках. Так, содержание аргона почти во всех точках совпадает по порядку величины, составляя от 0,04 до 0,09% (об.); это в целом согласуется с предположением о существенной доле аргона нерадиогенного происхождения в пробах (основным допущением методики). Исключением являются данные по Мугань-дениз и б. Инам с аномально высоким содержанием Ar (обе точки расположены в южной части района). Далее, для грубого контроля можно использовать метод только гелиевой датировки, предполагающий, что возраст газов структуры будет пропорционален содержанию гелия с некоторым коэффициентом. Данные показывают, что действительно, структура о. Дуванный имеет возраст, на порядок больший, чем остальные структуры архипелага (за исключением упомянутых "аномальных" точек Мугань-дениз и Инам). В целом это подтверждает наши оценки, относя структуру о. Дуванный к позднемиоценовому периоду, а остальные – к миоцену-плиоцену или ко времени,

сопоставимому с образованием Продуктивной толщи. Следует также отметить, что полученные грубые оценки возраста согласуются с геохронологическими таблицами, построенными международными нефтяными компаниями, проводящими изыскания в ЮКВ (коммерческие материалы компаний BP, StatOil, ExxonMobil, TOTAL).

Выводы. Газы вулканов Азербайджана содержат до 90–98 % метана. Содержание углекислого газа изменяется от десятых долей до 6–7 %, остальная же часть приходится на газообразные гомологи метана и азот. Концентрация ГГМ в газах вулканов в основном обратно пропорциональна содержанию в них метана. Присутствие инертных газов в составе выбросов может свидетельствовать также об их глубинном происхождении и связи процессов, протекающих в земной коре, с подкоровым пространством через глубинные разломы Южно-Каспийской впадины (Шыхалибейли, 1995). Повышенное содержание метана и ГГМ при низкой концентрации углекислого газа в выбросах вулканов связано со скоплениями УВ в глубоководных толщах Бакинского архипелага, и вместе с большой нефтесборной площадью это дает основание прогнозировать высокие нефтегазовые перспективы погруженных частей впадины. Возрасты газов грязевых вулканов свидетельствуют об их генерации в основном в меловых и олигоцен-миоценовых отложениях (Davies and Stewart, 2005; Feyzullayev, 2012). Присутствие углекислого газа в продуктах выбросов грязевых вулканов Бакинского Архипелага свидетельствует о частичной деструкции углеводородных скоплений.

Приведенные факты свидетельствуют о том, что нижний отдел Продуктивной толщи в настоящее время находится на выходе из главной зоны нефтеобразования или в начале главной зоны газообразования. С другой стороны, этот факт указывает на то, что известные запасы углеводородов ПТ не могут быть обеспечены современным нефтегазопроизводящим потенциалом ее нижнего отдела. Это говорит о том, что коллекторы нижнего плиоцена насыщались УВ не столько производимыми ПТ, сколько поступающими туда из глубоководных очагов.

По (Фейзуллаев и др., 2016) развитие грязевулканизма в глубоководнопогруженных прогибах связано с тем, что глубоководные осадочные толщи генерируют в основном УВ газы, являющиеся движущей силой в грязевулканизме. На глубинах более 5–6 км генерация газа протекает в масштабах, необходимых для выноса грязевулканической брекчии на дневную поверхность (Рахманов, 1987). Проведенные исследования подтверждают прогноз существования в глубоководной части Бакинского архипелага крупных газоконденсатных и газовых скоплений углеводородов.

Список использованной литературы

- Алиев, Ад.А. (2006). Грязевые вулканы – очаги периодической газогидродинамической разгрузки быстропогружающихся осадочных бассейнов и важные критерии прогноза газоносности больших глубин. *Геология нефти и газа*, 5, 26–32.
- Алиев, А.И., Алиев, Э.А. (2011). Нефтегазоносность больших глубин. *Проблемы прогнозирования, поисков и разведки*. Баку: SOCAR.
- Алиев, Ад.А., Гулиев, И.С., Дадашев, Ф.Н., Рахманов, Р.Р. (2015). Атлас грязевых вулканов мира. Баку: Nafta-Press, Sandro Teti Editore.
- Буниат-заде, З.А. (1995). Газонефтяной вулканизм: генетическая сущность и классификация. *Тезисы докладов III международной конференции Азербайджанского общества геологов-нефтяников, 1995, Баку*, 5–6.
- Геолого-геохимическая характеристика грязевого вулканизма акватории Южного Каспия (в пределах Азербайджана). (1980). Фонд Института геологии АН Азербайджана. Баку.
- Гулиев, И.С., Керимов, В.Ю., Осипов, А.В., Мустаев, Р.Н. (2017). Генерация и аккумуляция углеводородов в условиях больших глубин земной коры. *SOCAR Proceedings*, 1, 004–0016. doi: 10.5510/OGP20160200273.
- Керимов, А.А., Гусейнов, Г.М., Нариманов, Н.Р. (1995). Геодинамические аспекты проявления диапиризма и грязевулканизма. *Тезисы докладов III международной конференции Азербайджанского общества геологов-нефтяников, 1995, Баку*, 4–5.

- Нариманов, Н.Р. (2003). Нефтегазогенерационный потенциал Южно-Каспийской впадины. *Азербайджанское нефтяное хозяйство*, 7, 1–7.
- Нариманов, Н.Р. (2008). Влияние геодинамических процессов на нефтегазообразование в Южно-Каспийской впадине. *Азербайджанское нефтяное хозяйство*, 8, 1–7.
- Рахманов, Р.Р. (1987). Грязевые вулканы и их значение в прогнозировании нефтегазоносности недр. Москва: Недра.
- Савченко, В.П. (1935). К вопросу о геохимии гелия. В сб.: *Природные газы*, 9, 53–108.
- Фейзуллаев, А.А., Кадиров, Ф.А., Кадиров, А.Г. (2016). Тектоно-геофизическая модель Южного Каспия в связи с нефтегазоносностью. *Физика Земли*, 6, 129–138. doi: 10.1134/S1069351316050049.
- Шыхалибейли, Э.Ш. (1995). О механизме деятельности грязевых вулканов Азербайджана. *Тезисы докладов III международной конференции Азербайджанского общества геологов-нефтяников, 1995, Баку*, 11–12.
- Якубов, А.А., Ализаде, А.А., Зейналов, М.М. (1971). Грязевые вулканы Азербайджанской ССР. Атлас. Баку: Элм.
- Allen, M.B., Jones, S., Ismail-Zadeh, A., Simmons, M.D., Anderson, L. (2002). Onset of subduction as the cause of rapid Pliocene-quaternary subsidence in the South Caspian Basin. *Geology*, 30(9), 775–778. doi: 10.1130/0091-7613(2002)030<0775:OOSATC>2.0.CO;2
- Axen, G.J., Lam, P.S., Grove, M., Stockli, D.F. (2001). Exhumation of the west-central Alborz mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics. *Geology*, 29(6), 559–562. doi: 10.1130/0091-7613(2001)029<0559:EOTWCA>2.0.CO;2
- Davies, R.J., Stewart, S.A. (2005). Emplacement of giant mud volcanoes in the South Caspian Basin: three-dimensional seismic reflection imaging of root zones. *Journal of the Geological Society*, 162 (1), 1–4. doi: 10.1144/0016-764904-082.
- Feyzullayev, A.A. (2012). Mud volcanoes in the South Caspian basin: Nature and estimated depth of its products. *Natural Science*, 4, 445–453. doi: 10.4236/ns.2012.47060.
- Katz, K.J., Richards, D., Long, D., Lawrence, W. (2000). A new look at the components of the petroleum system of the South Caspian Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 28(4), 161–182. doi: 10.1016/S0920-4105(00)00076-0.
- Kauerauf, A., Hantschel, T. (2009). Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modeling. Berlin-Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-540-72318-9.
- Klett, T.R., Schenk, C.J., Charpentier, R.R. (2010). Assessment of undiscovered oil and gas resources of the North Caspian Basin, Middle Caspian Basin, North Ustyurt Basin, and South Caspian Basin Provinces, Caspian Sea Area. *U.S. Geological Survey Fact Sheet*, 2010-3094, 4 p.
- Knapp, C.C., Knapp, J.H., Connor, J.A. (2004). Crustal-scale structure of the South Caspian Basin revealed by deep seismic reflection profiling. *Marine and Petroleum Geology*, 21(8), 1073–1081. doi:10.1016/j.marpetgeo.2003.04.002.
- Kopf, A.J. (2002). Significance of mud volcanism. *Reviews of geophysics*, 40(2), 2-1-2-52. doi: 10.1029/2000RG000093.
- Mamedov, P., Babayev, D. (1995). South Caspian Megatrough Seismic stratigraphy. *Proc. AAGP International Conference Exhibition, September, 1995, Nice, France*, 14.
- Smith-Rouch, L.S. (2006). Oligocene–Miocene Maykop/Diatom Total Petroleum System of the South Caspian Basin Province, Azerbaijan, Iran, and Turkmenistan. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 2201-1, 1–27.
- Xu, Yongchang, Liu, Wenhui, Sheng, Ping, Tao, Mingxin (1996). Geochemistry of noble gases in natural gases (A series of solid earth sciences research in China). Science Press, Beijing.

References

- Aliyev, Ad.A. (2006). Mud volcanoes — centers of periodic discharging of fast plunging sedimentary basins and important criteria of gas potential prognosis of large depths. *Geologiya nefti i gaza*, 5, 26–32. [in Russian]
- Aliyev, A.I., Aliyev, E.A. (2011). Hydrocarbon potential at large depths. *Problems of prognosis, prospecting and exploration*. Baku: SOCAR. [in Russian]
- Aliyev, Ad.A., Guliyev, I.S., Dadashov, F.N., Rakhmanov, R.R. (2015). Atlas of the world mud volcanoes. Baku: Nafta-Press, Sandro Teti Editore.
- Allen, M.B., Jones, S., Ismail-Zadeh, A., Simmons, M.D., Anderson, L. (2002). Onset of subduction as the cause of rapid Pliocene-quaternary subsidence in the South Caspian Basin. *Geology*, 30(9), 775–778. doi: 10.1130/0091-7613(2002)030<0775:OOSATC>2.0.CO;2
- Axen, G.J., Lam, P.S., Grove, M., Stockli, D.F. (2001). Exhumation of the west-central Alborz mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics. *Geology*, 29(6), 559–562. doi: 10.1130/0091-7613(2001)029<0559:EOTWCA>2.0.CO;2
- Buniat-zade, Z.A. (1995). Gas and oil volcanism: genesis and classification. *Proc. III International Conference of Azerbaijan Society of Oil Geologists, 1995, Baku*, 5–6.
- Davies, R.J., Stewart, S.A. (2005). Emplacement of giant mud volcanoes in the South Caspian Basin: three-dimensional seismic reflection imaging of root zones. *Journal of the Geological Society*, 162 (1), 1–4. doi: 10.1144/0016-764904-082.
- Feyzullayev, A.A. (2012). Mud volcanoes in the South Caspian basin: Nature and estimated depth of its products. *Natural Science*, 4, 445–453. doi: 10.4236/ns.2012.47060.
- Feyzullayev, A.A., Kadirov, F.A., Kadirov, A.G. (2016). Tectono-geophysical model of the Southern Caspian in the context of the presence of oil and gas. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 52(6), 912–922. doi: 10.1134/S1069351316050049. [in Russian]

Geologo-geokhimičeskaya kharakteristika gryazevego vulkanizma akvatorii Yuzhnogo Kaspiya (v predelakh Azerbaidzhana) (1980). Fond Instituta Geologii AN Azerbaidzhana. Baku. [in Russian]
 Guliyev, I.S., Kerimov, V.Yu., Osipov, A.W., Mustaev, R.N. (2017). Generation and Accumulation of Hydrocarbons at Great Depths Under the Earth's Crust. *SOCAR Proceedings*, 1, 004-0016. doi: 10.5510/OGP20160200273.

Katz, K.J., Richards, D., Long, D., Lawrence, W. (2000). A new look at the components of the petroleum system of the South Caspian Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 28(4), 161-182. doi: 10.1016/S0920-4105(00)00076-0.

Kauerauf, A., Hantschel, T. (2009). Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modeling. Berlin-Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-540-72318-9.
 Klett, T.R., Schenk, C.J., Charpentier, R.R. (2010). Assessment of undiscovered oil and gas resources of the North Caspian Basin, Middle Caspian Basin, North Ustyurt Basin, and South Caspian Basin Provinces, Caspian Sea Area. *U.S. Geological Survey Fact Sheet*, 2010-3094, 4 p.

Knapp, C.C., Knapp, J.H., Connor, J.A. (2004). Crustal-scale structure of the South Caspian Basin revealed by deep seismic reflection profiling. *Marine and Petroleum Geology*, 21(8), 1073-1081. doi:10.1016/j.marpetgeo.2003.04.002.

Kopf, A.J. (2002). Significance of mud volcanism. *Reviews of geophysics*, 40(2), 2-1-2-52. doi: 10.1029/2000RG000093.

Mamedov, P., Babayev, D. (1995). South Caspian Megatrough Seismic stratigraphy. *Proc. AAGP International Conference Exhibition, September, 1995, Nice, France*, 14.

Kerimov, A.A., Gusejnov, G.M., Narimanov, N.R. (1995). Geodynamical aspects of manifestations of diapirism and mud volcanism. *Proc. III International Conference of Azerbaijan Society of Oil Geologists, 1995, Baku*, 4-5.

Narimanov, N.R. (2003). Oil and gas potential of the South Caspian Depression. *Azerbajdzhanskoe neftyanoe khozyajstvo*, 7, 1-7. [in Russian]

Narimanov, N.R. (2008). Impact of geodynamics processes on the oil and gas formation in South Caspian Depression. *Azerbajdzhanskoe neftyanoe khozyajstvo*, 8, 1-7. [in Russian]

Rakhmanov, R.R. (1987). Mud volcanoes and their significance in the prognosis of hydrocarbon producibility. Moscow: Nedra. [in Russian]

Savchenko, V.P. (1935). K voprosu o geokhimii geliya. In: *Prirodnye gazy*, 9, 53-108. [in Russian].

Shykhaliyev, E.Sh. (1995). On the mechanism of activity of mud volcanoes in Azerbaijan. *Proc. III International Conference of Azerbaijan Society of Oil Geologists, 1995, Baku*, 11-12.

Smith-Rouch, L.S. (2006). Oligocene-Miocene Maykop/Diatom Total Petroleum System of the South Caspian Basin Province, Azerbaijan, Iran, and Turkmenistan. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 2201-I, 1-27.

Yakubov, A.A., Alizade, A.A., Zeynalov, M.M. (1971). Gryazeve vulkany Azerbaidzhanskoy SSR. Atlas. Baku: Elm. [in Russian]

Xu, Yongchang, Liu, Wenhui, Sheng, Ping, Tao, Mingxin. (1996). Geochemistry of noble gases in natural gases (A series of solid earth sciences research in China), Science Press, Beijing.

Надійшла до редколегії 02.02.19

N. Narimanov¹, Cand. Sci. (Geol.)

E-mail: nariman.narimanov40@asoiu.edu.az;

G. Gahramanov², Cand. Sci. (Geol.)

E-mail: gngahramanov@gmail.com;

M. Babayev¹, Cand. Sci. (Geol.)

E-mail: m.s.babayev@mail.ru;

S. Shpyrko³, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: sshpyrko@gmail.com;

G. Nasibova¹, Cand. Sci. (Geol.)

E-mail: gultar_nasibova_1@yahoo.com;

Kh. Mukhtarova¹, Cand. Sci. (Geol.)

E-mail: mukhtarova.khuraman@mail.ru;

¹Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

²State Oil Company of Azerbaijan Republic (SOCAR), Baku, Azerbaijan

³Center for Problems of Marine Geology, Geoecology and Sedimentary Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

PROGNOSIS OF BAKU ARCHIPELAGO HYDROCARBON POTENTIAL BY TYPES OF MUD VOLCANOES

Mud volcanoes are indicators of the oil and gas generation processes in the hydrocarbon basins and can show the hydrocarbon potential of local anticline structures where they arise. The quantitative study of the composition of gas ejecta from volcanoes and their age can reveal the generation zones in the sedimentary cover and help assess the hydrocarbon bearing potential of an area. Mud volcanoes are often spatially related to the disjunctive faults intersections, and, on the other hand, there is a clear correlation between the location of the major oil and gas deposits and deep faults. Therefore, ejecta of mud volcanoes present a tool for geochemical probing of potentially hydrocarbon bearing structures. We used a spatial analysis of the composition of gases in mud volcanoes in order to reveal the prospective hydrocarbon targets in Baku Archipelago, located in the western part of the South Caspian Basin. The results confirm the prognosis for the existence of major gas condensate and gas accumulations in its deep water part. The calculations for the ages of mud volcanoes show that they refer to Cretaceous and Miocene-Pliocene periods.

Keywords: mud volcano, methane, ethane, propane, butane, pentane, carbon dioxide, nitrogen, oxygen, argon, helium, gas outburst, gas age, gaseous methane homologs.

N. Нариманов¹, канд. геол. наук

E-mail: nariman.narimanov40@asoiu.edu.az;

K. Каграманов², канд. геол. наук

E-mail: gngahramanov@gmail.com;

M. Бабасев¹, канд. геол. наук

E-mail: m.s.babayev@mail.ru;

C. Шпирко³, канд. фіз.-мат. наук

E-mail: sshpyrko@gmail.com;

Г. Насибова¹, канд. геол. наук

E-mail: gultar_nasibova_1@yahoo.com;

Х. Мухтарова¹, канд. геол. наук

E-mail: mukhtarova.khuraman@mail.ru;

¹Азербайджанський державний університет нафти та промисловості, Баку, Азербайджан

²Державна нафтова компанія Азербайджанської Республіки (SOCAR), Баку, Азербайджан

³Центр проблем морської геології, геоecології та осадового рудоутворення НАН України, Київ, Україна

ПРОГНОЗ ПЕРСПЕКТИВ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ БАКИНСЬКОГО АРХІПЕЛАГУ ЗА ТИПАМИ ГРЯЗЬОВИХ ВУЛКАНІВ

Грязьові вулкани є індикаторами нафтогенерацийних процесів та нафтогазоносності локальних підняттях, до яких вони приурочені. Вивчення кількісного вмісту складових та віку газових викидів вулканів дозволяє визначити зони газогенерації та перспективи нафтогазоносності території. Часто грязьові вулкани бувають пов'язані з вузлами перетину різномасштабних диз'юнктивів, крім того, існує кореляційний зв'язок між розміщенням великих нафтових та газових родовищ та глибинних розломів. Таким чином, викиди грязьових вулканів є інструментом геохімічного опробування відповідних потенційно нафтогазоносних структур. У роботі виконано площовий аналіз складу газів грязьових вулканів з метою виявлення перспективних об'єктів у глибоководній частині Бакинського архіпелагу як західного структурного елемента акваторії Південно-Каспійської западини. Результати підтверджують прогноз існування в глибоководній частині западини масивних скупчень вуглеводнів. Розрахунки віку газів грязьових вулканів Бакинського архіпелагу показали їхню приуроченість до крейдового та міоцен-пліоценового віку.

Ключові слова: грязьовий вулкан, метан, етан, пропан, бутан, пентан, вуглекислий газ, азот, водень, аргон, гелій, газовий викид, вік газів, газові гомологи метану.