

УДК 550.4.41

DOI 10.47148/0016-7894-2023-6-97-106

## Геохимические особенности нефтей и нефтепроявлений грязевых вулканов западного борта Южно-Каспийской впадины

© 2023 г. | С.А. Пунанова<sup>1</sup>, Д.А. Гусейнов<sup>2</sup>, Г.С. Мартынова<sup>2</sup>, Р.Г. Нанаджанова<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт проблем нефти и газа (ИПНГ) РАН, Москва, Россия; punanova@mail.ru;<sup>2</sup>Институт геологии и геофизики Министерства науки и образования Азербайджана, Баку, Азербайджан; d\_huseynov@yahoo.com; martgs@rambler.ru; raxile\_scorpion@inbox.ru

Поступила 20.06.2023 г.

Доработана 24.07.2023 г.

Принята к печати 15.08.2023 г.

**Ключевые слова:** Южно-Каспийская впадина; нефть; нефтепроявления; грязевой вулканизм; микроэлементы; генезис нафтидов.

**Аннотация:** В статье приведены результаты изучения генезиса нафтидов Азербайджана, направленного на выявление возможности нефтегазообразования в глубоких горизонтах осадочного чехла региона. Представлены результаты геохимических исследований продуктов деятельности грязевых вулканов и нефтей месторождений западного борта Южно-Каспийской впадины. Впервые современными инструментальными методами исследован микроэлементный состав продуктов выбросов грязевых вулканов в виде нефтепроявлений в Апшеронской, Шамаха-Гобустанской и Нижнекуруинской областях Азербайджана и нефти из соседних месторождений тех же регионов. Сравнение содержания микроэлементов в пробах нефтей и в нефтепроявлениях, а также изотопных характеристик, компонентного состава и биомаркерных показателей свидетельствует о едином генезисе нафтидов. Сопоставление продуктов вулканической деятельности и нефтей месторождений Азербайджана по конкретным регионам, а также использование результатов корреляционного анализа состава вод грязевого вулканизма, изложенных в статье, способны дополнить и обогатить исследования, проведенные ранее, новыми результатами. Отмечено, что в трех изучаемых регионах концентрации микроэлементов в нефтепроявлениях грязевых вулканов существенно выше, чем в нефтях. Это явление связано с процессами гипергенного преобразования нефтепроявлений грязевых вулканов, потерей и улутучиванием легких фракций, процессами окисления и биodeградации и соответствующим повышением смолисто-асфальтеновых компонентов, содержащих в них микроэлементов и изменением биомаркерных показателей. Выявленная связь коэффициентов корреляции микроэлементного состава вод грязевых вулканов Азербайджана с составом земной коры среднего уровня, генетическое единство нефтей и нефтепроявлений грязевого вулканизма может свидетельствовать о возможном дополнительном источнике микроэлементов и вовлеченности в процессы нефтегазообразования глубинных горизонтов.

Для цитирования: Пунанова С.А., Гусейнов Д.А., Мартынова Г.С., Нанаджанова Р.Г. Геохимические особенности нефтей и нефтепроявлений грязевых вулканов западного борта Южно-Каспийской впадины // Геология нефти и газа. – 2023. – № 6. – С. 97–106. DOI: 10.47148/0016-7894-2023-6-97-106.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках плана ИПНГ РАН (тема «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла», № 122022800253-3) и тематического плана Института геологии и геофизики Министерства науки и образования Азербайджанской Республики (тема «Флюидодинамика зоны конвергенции Черноморско-Каспийского сегмента Евразийской и Аравийской плит»).

## Mud volcanoes of western flank of South Caspian depression: geochemical features of oils and mud volcano oil shows

© 2023 | S.A. Punanova<sup>1</sup>, D.A. Huseynov<sup>2</sup>, G.S. Martynova<sup>2</sup>, R.G. Nanajanova<sup>2</sup><sup>1</sup>Oil and Gas Research Institute Russian Academy of Sciences (OGRI RAS), Moscow, Russia; punanova@mail.ru;<sup>2</sup>Institute of Geology and Geophysics, Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan; d\_huseynov@yahoo.com; martgs@rambler.ru; raxile\_scorpion@inbox.ru

Received 20.06.2023

Revised 24.07.2023

Accepted for publication 15.08.2023

**Key words:** South Caspian depression; oil; oil show; mud volcanism; trace elements; naphtide genesis.

**Abstract:** The authors discuss the results of naphtide genesis studies in Azerbaijan, which are aimed at discovery of oil and gas formation opportunities in deep sedimentary cover horizons in the region. The results of geochemical studies of the products of mud volcanoes activity and oil from the fields of the western sidewall of South Caspian depression are presented. Instrumental methods were for the first time used to analyse the trace element composition of material ejected from mud volcanoes (oil shows in Absheron, Shamakha-Gobustansky. and Nizhnekurinsky regions of Azerbaijan) and oil from the neighbouring fields of mentioned regions. Comparison of trace element content in oil samples and oil shows, as well as isotopic characteristics, composition, and biomarker features are indicative of common genesis of naphtides. Comparison of the products of volcanic activity and oil from Azerbaijan fields in certain regions, as well as involvement of the correla-

tion analysis results for mud volcanism water content presented in the paper, will complement and enrich the results of previous studies. It was found that trace element concentrations in oil shows of mud volcanoes in three studied regions are considerably higher than in the oils. This phenomenon is related to supergene transformation of mud volcano oil shows, light fraction loss and escape, oxidation and biodegradation accompanied by increase in resinous-asphaltenic components and trace element content in them, and changes in biomarker characteristics. The revealed dependence of trace element composition of mud volcano waters in Azerbaijan on the composition of intermediate-level Earth's crust, syngeneses of oils and oil shows of mud volcanism can be indicative of possible additional source of trace elements and involvement of deep-lying horizons in oil generation.

*For citation: Punanova S.A., Huseynov D.A., Martynova G.S., Nanajanova R.G. Mud volcanoes of western flank of South Caspian depression: geochemical features of oils and mud volcano oil shows. Geologiya nefti i gaza. 2023;(6):97–106. DOI: 10.47148/0016-7894-2023-6-97-106. In Russ.*

*Funding: The paper is prepared according to RAS Institute of Oil and Gas Problems plan ("Scientific and methodological basis of exploration and prospecting for oil and gas accumulations confined to mega-reservoirs of sedimentary cover", subject No. 122022800253-3) and subject-matter plan of the Institute of Geology and Geophysics of Ministry for Science and Education of the Republic of Azerbaijan (subject "Fluid dynamics of zone of Chernomorsky-Caspian segment of Eurasian and Arabian plate convergence").*

## Введение

В данной статье приведены результаты работ по выявлению геохимических особенностей нефтей и нефтепроявлений грязевых вулканов западного борта Южно-Каспийской впадины для установления их генетической связи. Впервые проведенный анализ зависимостей характеристик нефтей и нефтепроявлений вулканической деятельности на территориях Апшеронского, Шамах-Гобустанского и Нижнекуруинского районов Азербайджана является актуальным. Изотопно-геохимические, биомаркерные исследования и оценка микроэлементного состава природных нафтидов, а также продуктов деятельности грязевых вулканов и нефтей месторождений западного борта Южно-Каспийской впадины Азербайджана проливают свет на их происхождение, возможные источники генерации УВ и перспективность глубокопогруженных отложений мощного осадочного выполнения региона. Впервые для оценки глубинности корней грязевого вулканизма привлечены результаты корреляционных зависимостей состава микроэлементов вод грязевых вулканов Азербайджана от состава земной коры разного уровня. Именно глубокопогруженные отложения во многих нефтегазоносных бассейнах мира являются основными объектами проведения геолого-поисковых работ, поэтому оценка их возможной перспективности становится научно-значимой и практической задачей.

Обычно области распространения грязевых вулканов совпадают с наиболее крупными нефтегазоносными бассейнами и соответствующими им элизионными системами. На участках грязевых вулканов обнаружены богатые месторождения газоконденсата и нефти.

Микроэлементный состав нафтидов заинтересовал ученых еще с конца XIX в., практически сразу после обнаружения соединений V и Ni в золе нефти при ее сжигании (Kyle J.J., 1892; Ramsay W., 1924; Виноградов А.П., Бергман Г.Р., 1935). Среди научных направлений по изучению микроэлементного состава нефтей и их производных обособляется несколько научных школ: московская, питерская, сибирская, казанская, бакинская, казахстанская и др. В настоящее время бакинская школа иссле-

дователей микроэлементного состава нефтей, горных пород, ОВ пород и пластовых вод нефтяных месторождений, опираясь на научные достижения таких ученых, как Д.И. Зульфугарлы, И.С. Гулиев, Ф.Р. Бабаев и др. [1–5], активно продолжает свои разработки в Институте геологии и геофизики Министерства науки и образования Азербайджана с привлечением широкого комплекса современных инструментальных методов анализа.

В работах Д.А. Гусейнова и др. [6, 7] на основе изучения изотопно-геохимических характеристик керогена и нефтей Южно-Каспийской впадины описаны модели УВ-систем быстропогружающихся бассейнов. Выделены очаги флюидогенерации в мезозой-кайнозойском разрезе Южно-Каспийской впадины, их эволюция и ареалы распространения. Установлено, что нефти, генерируемые палеоген-нижнемиоценовыми отложениями, характеризуются легким изотопным составом углерода:  $\delta^{13}\text{C}$  –28,5...–27,5 ‰, а средне-верхнемиоценовыми – тяжелым изотопным составом углерода:  $\delta^{13}\text{C}$  –24...–24,5 ‰. Исследованы микроэлементный состав и биомаркеры продуктов грязевулканической деятельности на территории Азербайджана [8, 9]. В работах Ад.А. Алиева [10], Н.П. Юсубова и И.С. Гулиева [11] приведены результаты исследований на основе современных геофизических и геохимических данных генезиса нафтидов Азербайджана, направленных на выявление возможности нефтеобразования в глубоких горизонтах осадочного чехла региона. Однако сопоставление продуктов вулканической деятельности и нефтей месторождений Азербайджана по конкретным регионам, а также использование изложенных в статье результатов корреляционного анализа состава вод грязевого вулканизма призваны дополнить и обогатить новые результаты проведенные ранее исследования.

## Особенности нефтей Азербайджана

Особенности незрелых скоплений УВ мелководных дельтовых и прибрежно-морских фаций плиоценовых нефтей Азербайджана достаточно детально охарактеризованы в работе [12] на основе большого фактического материала. К нефтям незрелого генезиса относятся также третичные и неогеновые нефти Западной Туркмении, Грузии и

Западного Предкавказья. УВ-скопления образовались в доглавнофазовую стадию генерации нафтидов, в зоне протокатагенеза. Осадочный чехол Азербайджана представлен мезозой-кайнозойскими отложениями мощностью до 25–30 км. Промышленная нефтеносность связана в основном с плиоценовыми отложениями, мощность которых достигает 4 км. Основной нефтегазоматеринской толщей являются терригенные отложения среднего плиоцена, в которой развита полифаціальная дельтовая формация, сложенная мощным комплексом (> 3000 м) глинистых и песчано-алевритовых пород. Геохимические условия формирования данных отложений — от окислительных до восстановительных в пределах Бакинского архипелага, Апшеронского района и центральной части Нижнекуринской впадины. Толща содержит сапропелево-гумусовое ОВ с кларковыми содержаниями  $C_{орг} = 0,5–1\%$ . Тип ОВ и степень его катагенетического преобразования очень изменчивы. В районах, приуроченных к бортовым частям Нижнекуринской впадины, наблюдается ОВ гумусового и сапропелево-гумусового типов, а степень катагенеза ОВ в этом районе изменяется от градации ПК<sub>1</sub> до МК<sub>1</sub>. Для Апшеронского района Бакинского архипелага и ряда участков внутренней зоны Нижнекуринской впадины характерно присутствие ОВ, богатого сапропелевым материалом и преобразованного в основном до градаций катагенеза ПК<sub>3</sub>-МК<sub>1</sub>, редко — МК<sub>2</sub>. Эти особенности характерны и для красноцветной толщи Западной Туркмении — аналога продуктивной толщи Азербайджана.

Неогеновые нефти Азербайджана малосернистые, малосмолистые и смолистые, малопарафинистые и парафинистые. Групповой УВ-состав нефтей разнообразен: на фоне преобладающих нафтенопарафиновых и парафинонафтеновых оснований присутствуют нефти с нафтеновым, нафтеноароматическим, ароматико-нафтеновым и ароматико-парафино-нафтеновым основаниями химических типов Б-1, Б-2. В нефтях типах Б-1 и Б-2 полностью отсутствуют нормальные и изопреноидные алканы. Стераны представлены холестанами (C<sub>27</sub>), эргостанами (C<sub>28</sub>) и ситостанами (C<sub>29</sub>). Коэффициент созревания, представляющий отношение изостеранов к  $\alpha$ -стеранам, составляет 1,7, что отвечает слабозрелому флюиду.

Отмечается, что незрелые нефти Азербайджана и близлежащих областей Западной Туркмении, Грузии и Западного Предкавказья по микроэлементному составу достаточно близки, образуют единый тип флюидов, генетически связанный с особенностями исходного ОВ и условиями его захоронения. Характеризуются как нефти, обедненные микроэлементами, в особенности основными, хорошо изученными элементами нефтяной золы — V и Ni. Содержания этих элементов ниже 10 г/т. Типично преобладание Fe и Ni над содержанием V. Генетический показатель — отношение  $V/Ni < 1$ , а тип нефти — железистый либо никелевый.

По приведенной микроэлементной характеристике рассмотренные нефти ранней генерации существенно отличаются от близких по физико-химическим свойствам нефтей другого генезиса. Известно, что V и Ni, как и многие другие элементы группы железа, концентрируются в смолисто-асфальтеновых фракциях нефтей и их высокие концентрации характерны, как правило, для тяжелых нефтей. Для сравнения можно отметить, что тяжелые нефти некоторых месторождений Волго-Уральской области содержат V в концентрации до 500 г/т, а Ni — до 190 г/т, Тимано-Печорского региона — V до 240 г/т, а Ni — до 170 г/т.

### Объекты и методы исследования

Для установления генетической общности онтогенеза нафтидов авторы статьи впервые современными инструментальными методами исследовали продукты выбросов грязевых вулканов в виде нефтепроявлений в Апшеронской, Шамаха-Гобустанской и Нижнекуринской областях Азербайджана и нефти из соседних месторождений тех же регионов (рис. 1).

Микроэлементный состав (Mn, As, Co, Cr, Mo, Ti, Cu, Li, Ni, Pb, V, Zn, Fe) нафтидов изучен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP/MS) на приборе NexION-300 D фирмы Perkin Elmer. Пределы обнаружения для большинства элементов составляют < 0,001 г/т, линейный динамический диапазон достигает 8 порядков измеряемых значений и позволяет одновременно определять концентрации элементов-примесей и основных компонентов пробы. Для стандартизации применялся комплект аттестованных многоэлементных стандартов Multiwave.

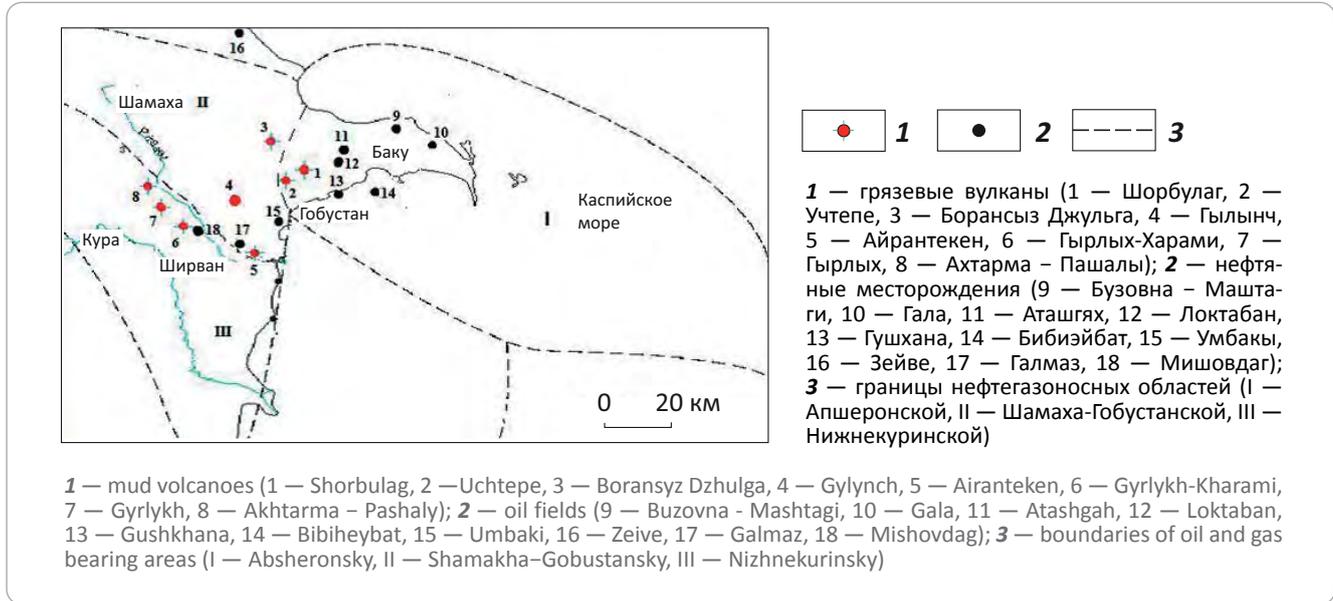
### Результаты и обсуждение

Результаты анализа микроэлементного состава грязевулканических нефтепроявлений представлены на рис. 2, где последовательно сравниваются содержания Ni, V, Ti, Zn, Cr и Fe в пробах по трем областям: Апшеронской, Шамаха-Гобустанской и Нижнекуринской.

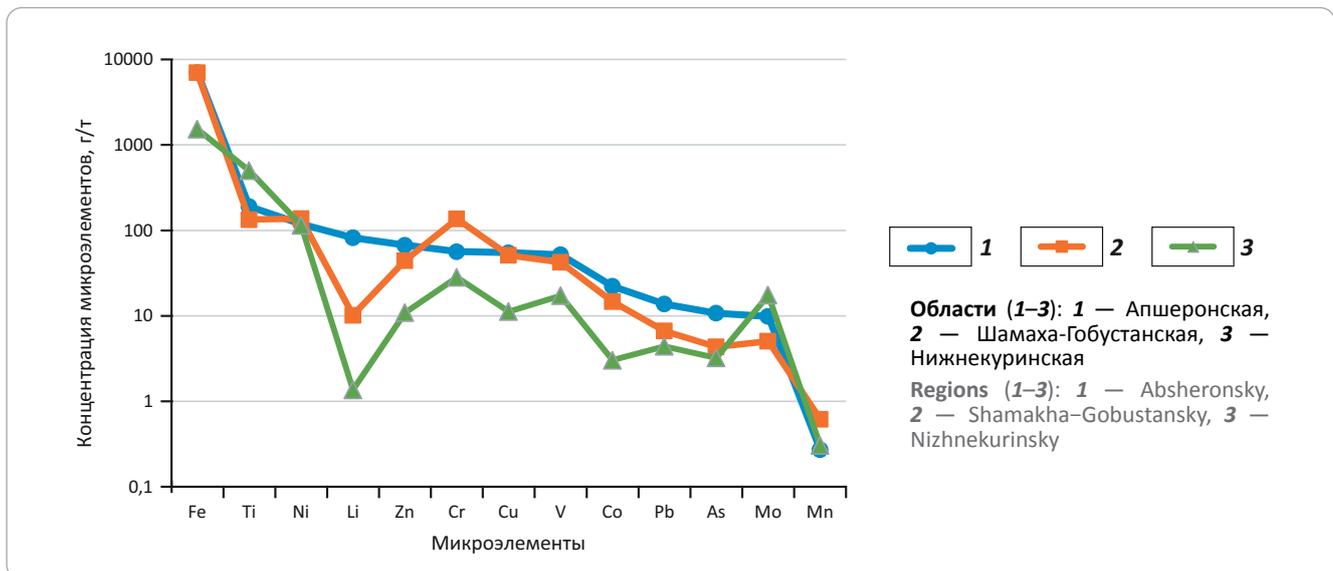
Содержания микроэлементов изменяются от высоких концентраций, например Fe, Ti, Ni и Cr, равных соответственно > 5000; 500,8; 137,3 и 136,6 г/т, до низких содержаний Pb, As и Mn, составляющих соответственно 4,4; 3,2; 0,16 г/т. Концентрация V не превышает 51,8 г/т. Несмотря на отчетливо прослеживающуюся тенденцию обеднения нефтепроявлений Нижнекуринской области большинством выявленных элементов (за исключением Ti и Mo), симбатность кривых распределения элементов в нефтепроявлениях свидетельствует о близком генетическом характере накопления элементов в пробах трех областей. Содержание ряда элементов в нефтепроявлениях Апшеронской и Шамаха-Гобустанской областей достаточно схоже. По отношению V и Ni нафтиды характеризуются никелевой металлогенией, так как содержание Ni во всех



**Рис. 1.** Расположение грязевых вулканов и месторождений нефти [9]  
**Fig. 1.** Location map of mud volcanoes and oil fields [9]



**Рис. 2.** Сравнительная характеристика микроэлементного состава нефтепроявлений грязевых вулканов в различных областях Азербайджана  
**Fig. 2.** Comparison of trace element composition of mud volcano oil shows in various Azerbaijan regions



пробах преобладает над содержанием V ( $V/Ni < 1$ ). Известно, что V и Ni составляют иногда 60 % их зольного остатка. Нефти отдельных нефтегазоносных комплексов по содержанию V и Ni и отношению  $V/Ni$  создают устойчивые геохимические типы — металлогенические провинции [5].

Сравнение содержаний микроэлементов в пробах нефтей и нефтепроявлений грязевых вулканов и нефтей, отобранных из тех же нефтегазоносных областей, свидетельствует о едином концентрационном распределении металлов, о никелевой металлогении, но более высоких концентрациях элементов в нефтепроявлениях вулканов по срав-

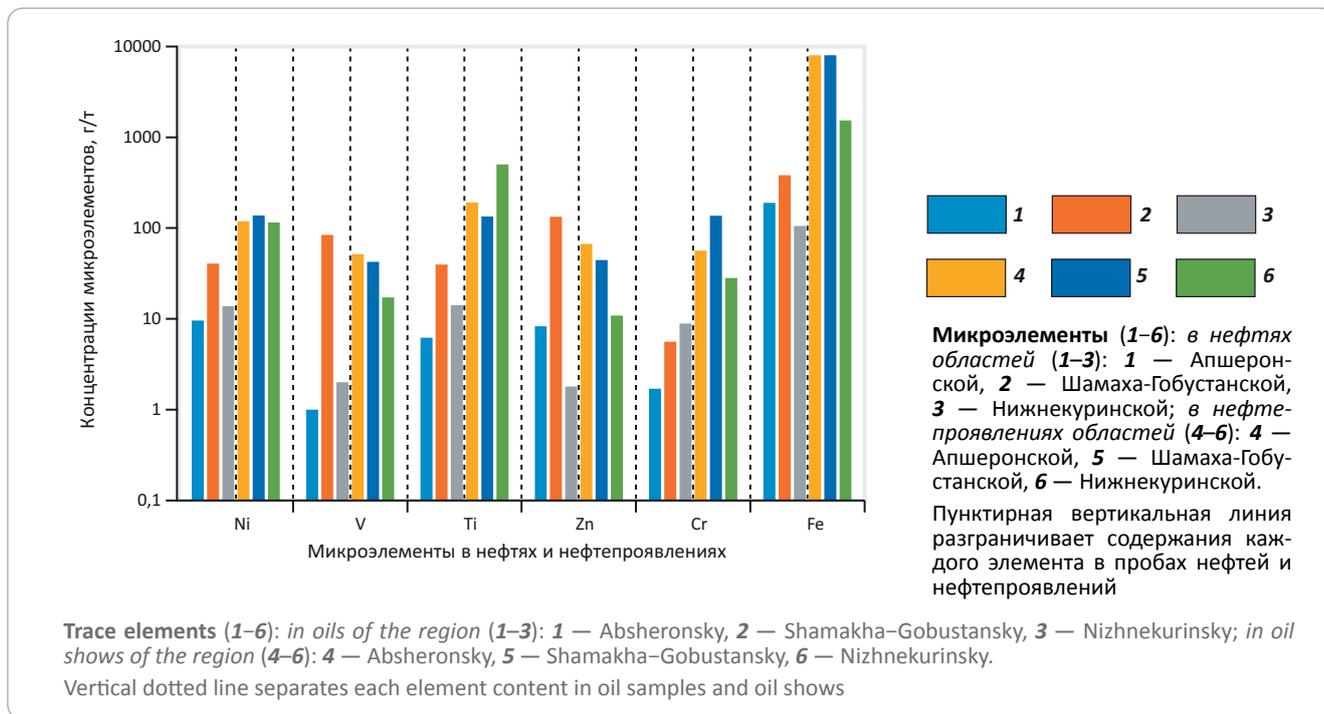
нению с нефтями из месторождений тех же областей (рис. 3).

Так, концентрация V в нефтепроявлениях вулканической деятельности изменяется от 17,2 до 51,8, а Ni — от 115 до 137,3 г/т (усредненные данные), а в нефтях эти содержания существенно ниже и варьируют для V от 1 до 8,4 г/т, а Ni — от 9 до 13,2 г/т. В соответствии с этими содержаниями изменяются и отношения Ni/V (соответственно от 6,7 до 2,7 и от 9 до 1,5).

Отмечаются более низкие концентрации элементов в нефтепроявлениях Нижнекуринской области (за исключением Ti) (см. рис. 2, 3). Подобная

**Рис. 3.** Оценка содержаний микроэлементов в нефтях и нефтепроявлениях грязевых вулканов в различных областях Азербайджана

**Fig. 3.** Assessment of trace element content in oils and mud volcano oil shows in various Azerbaijan regions



тенденция не наблюдается для проб нефтей. Наиболее обогащены шестью показанными на графиках элементами нефти Шамаха-Гобустанской области, а нефти Нижнекуруинской области по Ni, V, Ti, Cr занимают промежуточную позицию. Наиболее наглядно различие содержаний микроэлементов в нефтях и нефтепроявлениях каждой области отражено на рис. 4. Анализ представленных результатов хорошо согласуется с микроэлементным составом азербайджанских нефтей по более представительной базе данных (около 40 элементов). Подтверждается никелевая металлогения нефтей Южно-Каспийского нефтегазоносного бассейна, главными элементами являются Ni или Fe, содержание которых преобладает над концентрацией V ( $V/Ni < 1$ ;  $V/Fe < 1$ ) [4, 5, 12]. Разная обогащенность нефтей теми или иными микроэлементами объясняется различием исходного ОВ (сапропелевого или гумусово-сапропелевого) и степенью ее катагенетической преобразованности.

Результаты фракционного анализа проб вулканического нефтепроявления, представленные в табл. 1, свидетельствуют о низком выходе бензин-лигроиновой и керосин-газойливой фракций и высоком содержании смолистых компонентов и асфальтенов, т. е. в пробах нефтепроявлений из грязевых вулканов практически отсутствуют легкие фракции нефти, а пробы в основном содержат более тяжелые высокомолекулярные соединения: масла, смолы и асфальтены.

Биомаркерный анализ проб нефтепроявлений показал наличие терпанов, представленных сесквитерпанами, трициклическими терпанами

(хейлантанами), тетрациклическими (стеранами) и пентациклическими (гопанами) терпанами. Сесквитерпаны — это бициклические терпаны  $C_{14}$ – $C_{16}$  или полиметилзамещенные бициклические декалины. Они наиболее устойчивы к биодegradации по сравнению с алканами и изопренами, поэтому сесквитерпаны являются показателями степени биодegradации (Stout et al., 2002). Отмечается снижение содержания терпанов  $T_{19}$ – $T_{25}$  в нефтепроявлениях грязевых вулканов, что может свидетельствовать о процессах биодegradации. Пробы частично биодegradированы, в биомаркерах отмечено значительное количество адиантана  $C_{29}$  и олеана ( $\alpha$ ,  $\beta$ ). Пентациклические терпаны представлены гопанами от  $C_{27}$  до  $C_{35}$ . В составе гопанов идентифицированы трисноргопаны, моретаны, диагопан и т. д.

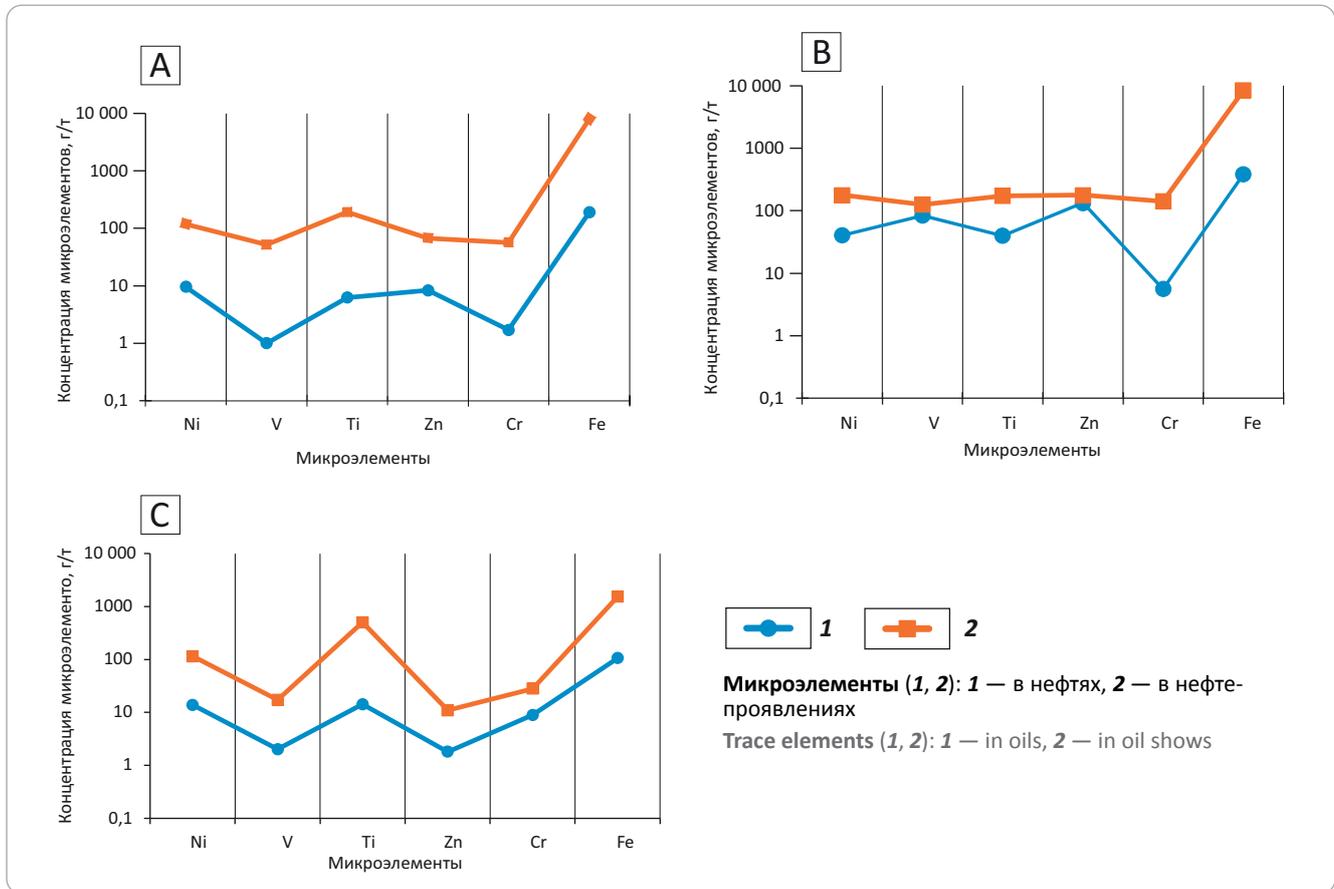
Большой интерес представляет изучение состава и распределения адамантанов и его гомологов в вулканических нефтепроявлениях. Так, адамантан и его метилзамещенные соединения в вулканических нефтепроявлениях, как и в нефтях, располагаются в порядке увеличения их термодинамической устойчивости:  $2-M_{ад} > 3-M_{ад} > 1-M_{ад}$ .

Сравнительная характеристика содержания микроэлементов, а также приведенные результаты исследований фракционного, компонентного и биомаркерного анализов свидетельствуют о генетическом единстве нефтей и нефтепроявлений грязевых вулканов, однако нефтепроявления подвержены процессам вторичного изменения, биодegradации и гипергенного преобразования. Это подтверждают более высокие концентрации микроэлементов в них, особенно V, который обыч-



**Рис. 4.** Сравнение содержаний микроэлементов в нефтях и нефтепроявлениях грязевых вулканов в Апшеронской (А), Шамаха-Гобустанской (В) и Нижнекуруинской (С) областях Азербайджана

**Fig. 4.** Comparison of trace element content in oils and mud volcano oil shows of Absheronky (A), Shamakha-Gobustansky (B), and Nizhnekurinsky (C) regions of Azerbaijan



**Табл. 1.** Фракционный состав вулканических нефтепроявлений (только по нефтепроявлениям)

**Tab. 1.** Fractional composition of volcanic oil shows (only results for oil shows)

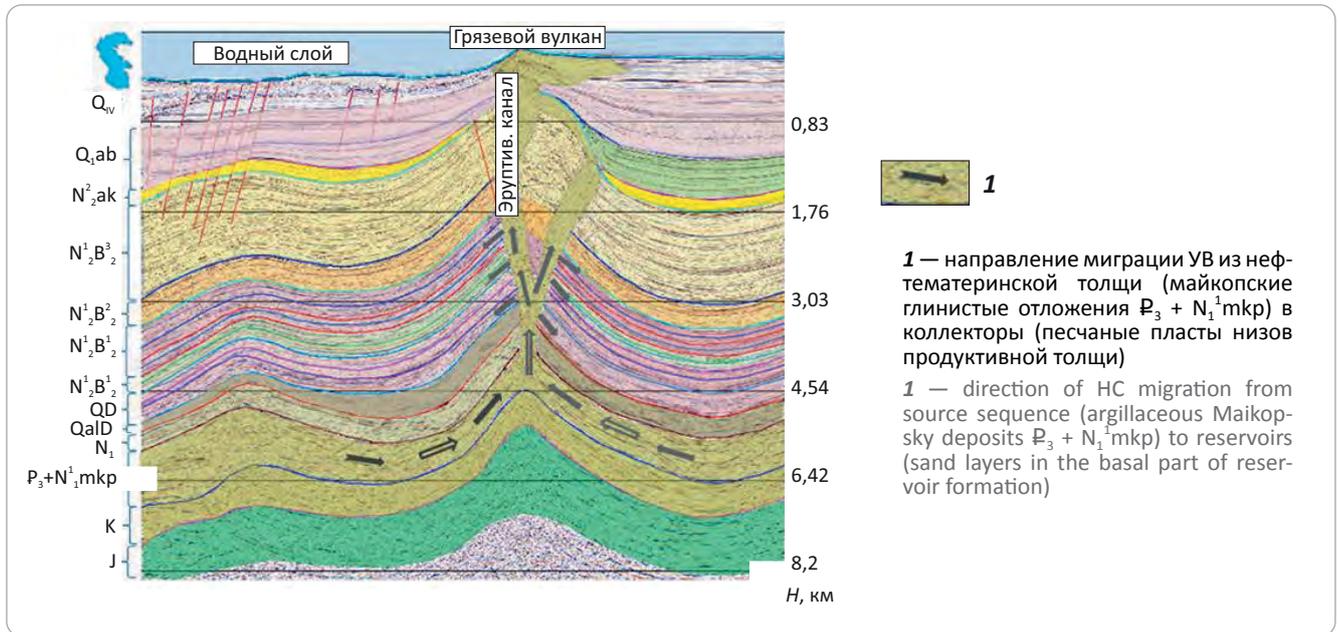
Область	Название пробы	Фракционный состав				
		Бензин-лигроиновая, НК – 200 °С	Керосин-газойлевая 200–300 °С	Масла и парафины, 300–400 °С	Смолы, 400–520 °С	Асфальтены, > 520 °С
Апшеронская	Шорбулаг	1,373	12,9	27,8	40,9	5,1
Шамаха-Гобустанская	Айрантекян	0,724	10	27,2	43,9	5,7
Нижнекуруинская	Гырлых	1,32	10,7	23,7	40,6	12,3

но накапливается в гипергенных нефтях за счет потери легких фракций и, возможно, вторичного обогащения, а также отсутствие нормальных алканов и повышенные содержания смолисто-асфальтеновых компонентов.

Известна тесная связь распространения грязевого вулканизма и нефтегазоносности. По образному выражению Ад.А. Алиева [10, с. 46], «грязевые вулканы выполняют роль бесплатных природных разведочных скважин и дают ценную информацию о нефтегазоносности недр, особенно тех глубин, которые сегодня недоступны бурению». Отмечается, что грязевой вулканизм часто свидетельствует о

процессе генерации УВ-газов в недрах, миграции и аккумуляции которых способствуют раздробленные глубинные зоны земной коры с многочисленными трещинами и кавернами. Так, на участках грязевых вулканов обнаружены газоконденсатные и нефтяные месторождения. Грязевые вулканы принято считать современными активно формирующимися нефтегенными структурами. Тектонически они, как правило, приурочены к разломным надвиговым зонам. От окружающих впадин орогенических элементов к ее внутренним частям наблюдается резкое погружение поверхности отложений мезозоя и соответственно возрастание

Рис. 5. Модель углеводородной и грязевулканической систем [11]  
 Fig. 5. Model of hydrocarbon and mud volcanic systems [11]



мощности отложений кайнозоя, подошва которого может достигать глубины 8–12 км на Апшеронском полуострове, 8–10 км — в Шамаха-Гобустанском и Нижнекуруинском районах и 14–20 км — на Апшеронском пороге и в Южном Каспии. На западном борту Южно-Каспийской впадины Азербайджана установлено, что более 80 % известных нефтегазовых месторождений осложнены грязевыми вулканами [10, 13, 14]. Отмечается, что очаги грязевых вулканов приурочены к глубоководным горизонтальным осадочным разреза Южно-Каспийской впадины, которые характеризуются сверхвысокими пластовыми давлениями (80–100 МПа и более) [15–17]. На рис. 5 показана схематическая модель образования УВ-систем в жерле вулкана и миграции по эруптивному каналу [11].

Изучена газовая фаза продуктов деятельности грязевых вулканов. Основным компонентом является метан, содержание которого достигает 99 %, присутствуют также и тяжелые УВ, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и инертные газы (гелий и аргон). Получены данные и об изотопном составе нефтепроявлений грязевых вулканов. Отмечается, что нефти нафтен-ароматического и метанового составов сильно биодegradированы, изотопный состав углерода изменяется в пределах -24,76...-27,88 ‰. Изотопно тяжелые нефти грязевых вулканов коррелируют с нефтями плиоценовых и верхнемиоценовых отложений, а изотопно более легкие — с нефтями палеогеновых отложений [7, 10]. Детальные пиролитические исследования на установке Rock-Eval образцов пород из грязевых вулканов Азербайджана, а также микронепти в выбросах грязевых вулканов подтвердили возможность процессов нефтегазообразования, протекающих на больших глубинах при высоких давлениях и температурах [16].

О перспективности глубинных отложений Южно-Каспийского нефтегазоносного бассейна могут свидетельствовать результаты расчетов коэффициентов корреляции между содержаниями микроэлементов грязевулканических вод Азербайджана (по аналитическим данным [13]) с модельным составом континентальной коры и биотой — морской и наземной, полученные ранее в комплексе с составами вод Большого Кавказа [18]. Наибольшая корреляция микроэлементного состава грязевулканических вод Азербайджана (по трем исследованным регионам) отмечается с составом средней коры по сравнению с составами верхней и нижней (табл. 2). Часто наблюдается более высокая корреляция с химическим составом морской фауны, а не наземной. Это является свидетельством сапропелево-гумусового типа исходного ОВ, что согласуется с геохимической характеристикой процессов генерации УВ на территории бассейна.

Результаты корреляционного анализа микроэлементного состава объектов, а именно высокая связь с составом средней коры, указывают на достаточно глубокое зарождение вод грязевых вулканов Азербайджана, что подтверждается сейсмологическими данными (Собисевич А.Л. и др., 2008; Шнюков Е.Ф., Нетребская Е.Я., 2013) о значительной (до 20 км) глубине корней ряда грязевых вулканов Черного моря и Азербайджана и данными о глубинах основных магматических камер.

**Заключение**

Впервые представлены результаты сравнительного анализа микроэлементного и УВ-составов нефтепроявлений грязевого вулканизма и нефтей месторождений Апшеронской, Шамаха-Гобустанской и Нижнекуруинской областей Азербайджана, которые показали следующее.

Табл. 2. Коэффициенты корреляции между составами вод, коры и биоты (модифицировано из [18])

Tab. 2. Coefficients of correlation between water, crust, and biota (modified from [18])

Район (число анализов)	Состав континентальной коры			Биота			
	Верхняя	Средняя	Нижняя	Морские		Наземные	
				Растения	Животные	Растения	Животные
Апшеронский (5)	0,42 ± 0,04	<b>0,48</b> ± 0,04	0,44 ± 0,04	0,72 ± 0,04	<b>0,77</b> ± 0,02	0,67 ± 0,02	0,65 ± 0,03
Шамаха – Гобустанский (23)	0,42 ± 0,01	<b>0,48</b> ± 0,01	0,44 ± 0,01	0,75 ± 0,01	<b>0,76</b> ± 0,01	0,66 ± 0,01	0,67 ± 0,01
Нижнекуруинский (12)	0,47 ± 0,03	<b>0,55</b> ± 0,03	0,5 ± 0,03	0,76 ± 0,02	<b>0,79</b> ± 0,01	0,7 ± 0,01	0,69 ± 0,01

\* Погрешность оценки среднего коэффициента корреляции.

\*\* Жирным шрифтом выделены максимальные значения корреляции (для коры и биоты).

\*Error in estimating the average correlation coefficient.

\*\*The maximum correlation values are shown in bold (for crust and biota).

1. Оценка содержания микроэлементов (Ni, V, Ti, Zn, Cr и Fe), физико-химических свойств и биомаркерных показателей в сравниваемых объектах (по каждой нефтегазоносной области) свидетельствует о генетическом единстве нефтяных месторождений (симбатное распределение металлов, единая никелевая металлогения, единая УВ-составляющая).

2. Выявлены отличия геохимических характеристик нефтяных месторождений между собой в трех изучаемых регионах, которые можно объяснить двояко.

С одной стороны, это связано с процессами гипергенного преобразования и биодеградациии продуктов вулканической деятельности, которые в силу геологических условий приближены к поверхности и подвержены значительным изменениям. Дифференциация флюидов в зонах гипергенеза проявилась улетучиванием легких фракций, т. е. значительным сокращением их объема, отсутствием нормальных алканов, обогащением смолисто-асфальтеновыми компонентами и микроэлементами, ассоциированными с ними (обратим внимание, что в продуктах вулканической деятельности при этом значительно повысилось содержание ванадия, что характерно для гипергенно измененных нефтяных месторождений).

С другой стороны, выявленная связь коэффициентов корреляции состава микроэлементных

вод грязевых вулканов Азербайджана с составом средней коры свидетельствует о вовлеченности в процессы нефтегазообразования более глубоких горизонтов и о возможном дополнительном источнике микроэлементов. Полигенный характер источника микроэлементов нефтяных месторождений неоднократно отмечался во многих публикациях авторов статьи. Часто более высокая корреляция с химическим составом морской фауны, а не наземной, является указанием на сапропелево-гумусовый тип исходного УВ, что согласуется с геохимической характеристикой процессов генерации УВ на территории бассейна. Безусловно, привлечение в исследование широкого комплекса микроэлементов (редкоземельных, платиноидов, радиоактивных) поможет более обоснованно решать спорные проблемы.

Таким образом, геохимическое изучение продуктов выбросов грязевого вулканизма и нефтяных месторождений западного борта Южно-Каспийской впадины и их сравнительный анализ способствуют познанию особенностей глубоких горизонтов земной коры, дополнительных источников УВ в глубоководных отложениях осадочной толщи, уточнению онтогенеза УВ-скоплений и в конечном итоге более эффективной оценке перспективности поисков скоплений нефти и газа на больших глубинах.

## Литература

1. Зульфугарлы Д.И. Распространение микроэлементов в каустобиолитах, организмах, осадочных породах и пластовых водах. – Баку: Изд-во Азерб. ун-та, 1960. – 230 с.
2. Израелян А.Д. Микроэлементы в золах нефтяных месторождений Азербайджана // Тр. Азерб. науч.-исслед. ин-та по добыче нефти. – Вып. 8. – Баку, 1959. – С. 274–280.
3. Гулиев И.С., Алиев Ад.А., Бабаев Ф.Р. Геохимическая характеристика нефтяных месторождений Южно-Каспийской впадины // Геология нефти и газа. – 2012. – № 4. – С. 79–83.
4. Бабаев Ф.Р., Мартынова Г.С. Геохимия нефти (геохимические показатели). – Баку: Indigo Print, 2012. – 52 с.
5. Бабаев Ф.Р., Пуланова С.А. Геохимические аспекты микроэлементного состава нефтяных месторождений. – М.: ООО «Издательский дом Недр», 2014. – 181 с.
6. Гусейнов Д.А. Очаги флюидогенерации в Южно-Каспийском бассейне: комплексный анализ результатов изотопно-геохимических исследований и трехмерного бассейнового моделирования // Известия Национальной Академии наук Азербайджана, Науки о Земле. – 2012. – № 1. – С. 3–12.
7. Фейзуллаев А.А., Гусейнов Д.А., Рашидов Т.М. Изотопный состав продуктов деятельности грязевых вулканов Южно-Каспийского бассейна в связи с нефтегазоносностью глубоководных отложений // ANAS Transactions, Earth Sciences. – 2022. – № 1. – С. 68–80. DOI: 10.33677/ggiasnas20220100073.

8. Гулиев И.С., Мартынова Г.С., Максакова О.П., Бабаев Ф.Р., Нанаджанова Р.Г., Джавадова А.С. Адамтанойды в нефтях как показатели наличия нефтематеринских пород на больших глубинах (Апшеронский архипелаг, Южно-Каспийская впадина) // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 2020. – № 2. – С 4–9. DOI: 10.37474/0365-8554/2020-2-4-9.
9. Мартынова Г.С., Нанаджанова Р.Г., Гулиев И.С. Закономерности распространения микроэлементов в нефтепроявлениях грязевых вулканов // East European Scientific Journal. – 2022. – Т. 78. – № 2. – С. 21–26. DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.78.264.
10. Алиев Ад.А. Грязевой вулканизм Южно-Каспийского нефтегазоносного бассейна // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2006. – № 3. – С. 35–51.
11. Юсубов Н.П., Гулиев И.С. Грязевой вулканизм и углеводородные системы Южно-Каспийской впадины (по новейшим данным геофизических и геохимических исследований). – Баку : Элм, 2022. – 168 с.
12. Виноградова Т.Л., Пунанова С.А. Углеводородные системы ранней генерации. Особенности состава и геолого-геохимические закономерности формирования. – Saarbruchen : Lambert Academic Publishing, 2012. – 244 с.
13. Лаврушин В.Ю., Гулиев И.С., Киквадзе О.Е., Алиев А.А., Покровский Б.Г., Поляк Б.Г. Воды грязевых вулканов Азербайджана: изотопно-геохимические особенности и условия формирования // Литология и полезные ископаемые. – 2015. – № 1. – С. 3–29. DOI: 10.7868/S0024497X15010036.
14. Каграманов К.Н., Насибова Г.Д., Бабаева М.Т. Грязевые вулканы и их роль в оценке перспектив нефтегазоносности осадочного бассейна // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2023. – Т. 374. – № 2. – С. 66–73. DOI: 10.33285/2413-5011-2023-2(374)-59-65.
15. Алиев А.И. Грязевые вулканы — очаги периодической газогидродинамической разгрузки быстропогружающихся осадочных бассейнов и важные критерии прогноза газоносности больших глубин // Геология нефти и газа. – 2006. – № 5. – С. 26–32.
16. Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Осипов А.В., Мустаев Р.Н. Генерация и аккумуляция углеводородов в условиях больших глубин земной коры // SOCAR Proceedings. – 2017. – № 1. – С. 4–16. DOI: 10.5510/OGP20160200273.
17. Гусейнов Д.А. Зрелость углеводородных флюидов и глубинно-стратиграфическая приуроченность очагов флюидогенерации в Южно-Каспийском бассейне // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 2012. – № 4. – С. 11–21.
18. Родкин М.В., Пунанова С.А. Корреляционные зависимости микроэлементного состава природных объектов // Геология нефти и газа. – 2022. – № 4. – С. 99–107. DOI: 10.31087/0016-7894-2022-4-99-107.

## References

1. *Zulfugarly D.I.* Rasprostranenie mikroelementov v kaustobiolitakh, organizmakh, osadochnykh porodakh i plastovykh vodakh [Distribution of trace elements in caustobioliths, organisms, sedimentary rocks and formation waters]. Baku: Izd-vo Azerb. un-ta; 1960. 230 p. In Russ.
2. *Israelyan A.D.* Mikroelementy v zolakh neftei maikopskoi svity Azerbaidzhana Microelements in oil ashes of the Maikop formation of Azerbaijan [Microelements in oil ashes of the Maikop formation of Azerbaijan]. Trudy Azerb. nauch.-issled. in-ta po dobyche nefiti. Issue 8. Baku, 1959. pp. 274–280. In Russ.
3. *Guliev I.S., Aliev Ad.A., Babaev F.R.* Geochemical characteristics of oils of South-Caspian depression deposits. *Geologiya nefiti i gaza*. 2012;(4):79–83. In Russ.
4. *Babaev F.R., Martynova G.S.* Geokhimiya nefiti (geokhimicheskie pokazateli) [Oil geochemistry (geochemical indicators)]. Baku: Indigo Print; 2012. 52 p. In Russ.
5. *Babaev F.R., Punanova S.A.* Geokhimicheskie aspekty mikroelementnogo sostava neftei [Geochemical aspects of trace element composition of oils]. Moscow: OOO "Izdatel'skii dom Nedra"; 2014. 181 p. In Russ.
6. *Guseinov D.A.* Ochagi flyuidogeneratsii v Yuzhno-Kaspiiskom basseine: kompleksnyi analiz rezul'tatov izotopno-geokhimicheskikh issledovaniy i trekhmernogo basseinovogo modelirovaniya [Foci of fluid generation in the South Caspian basin: comprehensive analysis of the results of isotope-geochemical studies and three-dimensional basin modeling]. *Izvestiya Natsional'noi Akademii Nauk Azerbaidzhana, Nauki o Zemle*. 2012;(1):3–12. In Russ.
7. *Feizullaev A.A., Guseinov D.A., Rashidov T.M.* Isotopic composition of the products of the mud volcanoes activity in the South-Caspian basin in connection with petroleum potential of the deeply buried sediments. *ANAS Transactions, Earth Sciences*. 2022;(1):68–80. DOI: 10.33677/ggianas20220100073. In Russ.
8. *Guliev I.S., Martynova G.S., Maksakova O.P., Babaev F.R., Nanadzhanova R.G., Dzhavadova A.S.* Adamantans in the oils as the indexes of presence of oil source rocks in deep depths (Absheron archipelago, South Caspian depression). *Azerbaijan Oil Industry Journal*. 2020;(2):4–9. In Russ. DOI: 10.37474/0365-8554/2020-2-4-9. In Russ.
9. *Martynova G.S., Nanadzhanova R.G., Guliev I.S.* Patterns of distribution of microelements in oil manifestations of mud volcanoes. *East European Scientific Journal*. 2022;(78(2): 21–26. DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.78.264. In Russ.
10. *Aliev Ad.A.* Gryazevoi vulkanizm Yuzhno-Kaspiiskogo neftegazonosnogo basseina [Mud volcanism of the South Caspian oil and gas basin]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2006;(3):35–51. In Russ.
11. *Yusubov N.P., Guliev I.S.* Gryazevoi vulkanizm i uglevodorodnye sistemy Yuzhno-Kaspiiskoi vpadiny (po noveishim dannym geofizicheskikh i geokhimicheskikh issledovaniy) [Mud volcanism and hydrocarbon systems of the South Caspian basin (according to the latest data from geophysical and geochemical studies)]. Baku: Elm; 2022. 168 p. In Russ.
12. *Vinogradova T.L., Punanova S.A.* Uglevodorodnye sistemy rannei generatsii. Osobennosti sostava i geologo-geokhimicheskie zakonomernosti formirovaniya [Hydrocarbon systems of early generation. Features of the composition and geological and geochemical formation patterns]. Saarbruchen: Lambert Academic Publishing; 2012. 244 p. In Russ.
13. *Lavrushin V.Yu., Kikvadze O.E., Pokrovsky B.G., Polyak B.G., Guliev I.S., Aliev A.A.* Waters from mud volcanoes of Azerbaijan: isotopic-geochemical properties and generation environments. *Lithology and Mineral Resources*. 2015;50(1):1–25. In Russ.
14. *Kagramanov K.N., Nasibova G.D., Babaeva M.T.* Mud volcanoes and their role in the evaluation of oil and gas potential prospects in a sedimentary basin. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii*. 2023;374(2):66–73. DOI: 10.33285/2413-5011-2023-2(374)-59-65. In Russ.

15. Aliev A.I. Mud volcanoes — centers of periodic discharging of fast plunging sedimentary basins and important criteria of gas potential prognosis of large depths. *Geologiya nefi i gaza*. 2006;(5):26–32. In Russ.
16. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaev R.N. Generation and accumulation of hydrocarbons at great depths under the earth's crust. *SOCAR Proceedings*. 2017;(1):4–16. DOI: 10.5510/OGP20160200273. In Russ.
17. Guseinov D.A. Maturity of hydrocarbon fluids and depth-stratigraphic hotbeds of fluid generation sources in south caspian basin. *Azerbaidzhanskoe neftyanoe khozyaistvo*. 2012;(4):11–21. In Russ.
18. Rodkin M.V., Punanova S.A. Trace element composition of natural objects: correlation dependences. *Geologiya nefi i gaza*. 2022;(4):99–107. DOI: 10.31087/0016-7894-2022-4-99-107. In Russ.

### Информация об авторах

#### Пунанова Светлана Александровна

Доктор геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник  
Институт проблем нефти и газа  
(ИПНГ) РАН,  
119333 Москва, ул. Губкина, д. 3  
e-mail: punanova@mail.ru  
ORCID ID: 0000-0003-2022-2906

#### Гусейнов Дадаш Ага-Джавад оглы

Доктор геолого-минералогических наук,  
член-корреспондент НАНА  
Институт геологии и геофизики  
Министерства науки и образования Азербайджана,  
AZ1143 Баку, пр-кт Г. Джавида, 119  
e-mail: d\_huseynov@yahoo.com

#### Мартынова Галина Сергеевна

Доктор физико-математических наук,  
доцент  
Институт геологии и геофизики  
Министерства науки и образования Азербайджана,  
AZ1143 Баку, пр-кт Г. Джавида, 119  
e-mail: martgs@rambler.ru

#### Нанаджанова Рахила Гюльали гызы

Старший научный сотрудник  
Институт геологии и геофизики  
Министерства науки и образования Азербайджана,  
AZ1143 Баку, пр-кт Г. Джавида, 119  
e-mail: raxile\_scorpion@inbox.ru

### Information about authors

#### Svetlana A. Punanova

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,  
Leading Researcher  
Oil and Gas Research Institute  
Russian Academy of Sciences (OGRI RAS),  
3, ul. Gubkina, Moscow, 119333, Russia  
e-mail: punanova@mail.ru  
ORCID ID: 0000-0003-2022-2906

#### Dadash Aga-Dzhavad ogly Guseinov

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,  
Corresponding Member of NANA  
Institute of Geology and Geophysics,  
Ministry of Science and Education of Azerbaijan,  
119, prospekt H. Cavid, Baku, AZ1143, Azerbaijan  
e-mail: d\_huseynov@yahoo.com

#### Galina S. Martynova

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Assistant professor  
Institute of Geology and Geophysics,  
Ministry of Science and Education of Azerbaijan,  
119, prospekt H. Cavid, Baku, AZ1143, Azerbaijan  
e-mail: martgs@rambler.ru

#### Rahilya Gyulali gizi Nanajanova

Senior Researcher  
Institute of Geology and Geophysics,  
Ministry of Science and Education of Azerbaijan,  
119, prospekt H. Cavid, Baku, AZ1143, Azerbaijan  
e-mail: raxile\_scorpion@inbox.ru