



СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА

Э.М. АЛИЕВ¹, С.А. ГУРЯНОВ^{2,*}, А.С. БЕЛЯЕВА²

¹ Институт нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики
9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджан

² ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Наряду с антропогенной деятельностью, влияющей на окружающую среду, большое значение имеют геологические опасности, влияющие на природную среду, а также на людей, строения и сооружения. В Каспийском регионе одной из причин возникновения геологических опасностей является геодинамическая активность и разрядка флюидодинамической напряженности в системе гидро- и литодинамических потоков в недрах. Она проявляется в форме интенсивных восходящих потоков подвижных флюидов, влияющих на окружающую среду.

Цель исследования. Изучение и оценка современных геологических процессов, влияющих на окружающую среду Каспийского региона.

Материалы и методы. Компьютерная обработка и визуальное дешифрирование радиолокационной информации в сочетании с данными морских геолого-геофизических и сейсмических исследований выявили связь нефтяных пятен и выбросов газа с очагами генерации и разгрузки флюидов в осадочном покрове Каспийского региона. Связь появления пятен нефти с сейсмичностью региона оценивалась на основании данных USGS National Earthquake Information Center о землетрясениях, произошедших в Южно-Каспийском регионе.

Результаты. Проведенные исследования позволили определить масштабы современных геологических процессов, оказывающих влияние на окружающую среду Каспийского региона. Было выявлено, что в Каспийском регионе наряду с антропогенной дегазацией активная роль принадлежит глубинной и коровой дегазации Земли. Естественные нефте- и газопрооявления пространственно и генетически связаны главным образом с геологическими процессами — вертикальными и горизонтальными движениями, сейсмичностью, в том числе осадочной — мелкофокусной, с грязевым вулканизмом, миграцией и эмиграцией углеводородов, а также со скоплениями свободного газа в верхней части осадочного разреза.

Заключение. Коровая дегазация связана с состоянием и функционированием геофлюидодинамических систем, формирование и эволюция которых происходят под влиянием геодинамических процессов при активном влиянии генерации и миграции метана, водорода и других газов, которые протекают во всем объеме осадочного выполнения и на всех этапах эволюции бассейна. Выходы нефти и газа на поверхность воды отличаются многовариантностью, среди вариантов выделяются локальные (сосредоточенные) выходы (грязевые вулканы, грифоны, сальзы, слики, сипы и др.), площадное поступление углеводородов и их фракций из нефтегазоносных структур через сеть разломов.

Нефтяное загрязнение Бакинской бухты явилось следствием естественных флюидодинамических процессов, происходящих в его недрах. Источником пятен нефти служат очаги разгрузки пластовых флюидов в структурах осадочного чехла. Режим этой разгрузки регулируется сейсмичностью земной коры Южно-Каспийской тектонической впадины.

Ключевые слова: экология, окружающая среда, Каспийский регион, экосистема, нефтегазовые месторождения, антропогенная деятельность, геологические процессы, дегазация

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Алиев Э.М., Гурянов С.А., Беляева А.С. Современные геологические процессы, влияющие на окружающую среду Каспийского региона. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(3):107—126. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-107-126>

Статья поступила в редакцию 12.06.2024

Принята к публикации 09.09.2024

Опубликована 30.09.2024

* Автор, ответственный за переписку

CURRENT GEOLOGICAL PROCESSES AFFECTING THE ENVIRONMENT OF THE CASPIAN REGION

EMIN M. ALIYEV¹, SANAN A. GURYANOV^{2,*}, ALBINA S. BELYAEVA²

¹ Institute of Oil and Gas of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
9, F. Amirov str., Baku, AZ1000, Azerbaijan

² Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117997, Russia

ABSTRACT

Background. In addition to anthropogenic activities affecting the environment, geological hazards pose significant risks to the natural environment, as well as to human population, buildings, and infrastructure. In the Caspian region, geological hazards are primarily associated with geodynamic activity and dissipation of fluid-dynamic stress within the hydro- and lithodynamic flow systems in the subsurface, which manifests in the form of intense upward flows of mobile fluids that significantly impact the surrounding environment.

Aim. To investigate and assess the current geological processes affecting the environment of the Caspian region.

Materials and methods. The computer processing and visual interpretation of radar information, as well as the data of marine geological-geophysical and seismic studies, revealed correlation of oil slicks and gas emissions with the sources of fluid generation and discharge within the sedimentary cover of the Caspian region. The correlation between the occurrence of oil slicks and regional seismic activity was evaluated using data from the USGS National Earthquake Information Center concerning earthquakes in the Southern Caspian region.

Results. The conducted studies evaluated the scale of current geological processes that affect the environment of the Caspian region. In addition to anthropogenic degassing, the role of deep and crustal degassing of the Earth has been found significant in this region. Natural oil and gas showings are spatially and genetically linked primarily with geological processes—vertical and horizontal movements, seismicity, including sedimentary—small-focus seismicity, mud volcanism, the migration and emigration of hydrocarbons, as well as the accumulation of free gas in the upper part of the sedimentary sequence.

Conclusion. Crustal degassing is associated with the state and functioning of geofluid-dynamic systems, evolving and developing under the influence of geodynamic processes throughout the sedimentary filling at all stages of the basin's evolution, with the active contributions of the generation and migration of methane, hydrogen, and other gases. Discharges of oil and gas in water exhibit significant variability, including local (concentrated) discharges (such as mud volcanoes, gas seeps, salt springs, slicks, and others), widespread hydrocarbon influx and its fractions from petroleum and gas-bearing structures via faults. Oil pollution in Baku Bay appears to be a consequence of natural fluid dynamic processes occurring in its subsurface. The sources of oil slicks refer to the areas where formation fluids are discharged in the sedimentary cover structures. The discharge is influenced by the seismicity of the Earth's crust in the South Caspian tectonic basin.

Keywords: ecology, environment, Caspian region, ecosystem, oil and gas fields, anthropogenic activities, geological processes, degassing

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosures: no financial support was provided for this study.

For citation: Aliyev E.M., Guryanov S.A., Belyaeva A.S. Modern geological processes affecting the environment of the Caspian region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):107—126. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-107-126>

Manuscript received 12 June 2024

Accepted 09 September 2024

Published 30 September 2024

* Corresponding author

Геологические опасности — это долгосрочные и краткосрочные геологические процессы, в значительной степени оказывающие негативное воздействие на природную среду, растения, людей, животных, объекты экономики. Геологические опасности могут быть относительно небольшими, но они также могут достигать огромных размеров.

К геологически опасным явлениям относят: землетрясения, извержение вулканов, в том числе грязевых вулканов, осыпи и обвалы, сели, просадку или провалы земной поверхности в результате карста, эрозии, абразии, лавины, смывы, оползни и др. Непрерывное и междисциплинарное исследование возникновения и последствий геологических опасностей, в частности морских геологических опасностей в связи с разведкой нефти и газа, привело к конкретным исследованиям по смягчению последствий и созданию соответствующих механизмов предотвращения.

Для оценки экологических рисков, связанных с геологическими опасностями, необходим учет геологических особенностей Каспийского региона, где протекают современные геологические и геодинамические процессы, активно влияющие на окружающую среду. Современная экологическая ситуация в Каспийском регионе характеризуется нестабильностью, обусловленной совместным действием ряда природных и антропогенных факторов.

Примерами геологических опасностей в результате геодинамической активности в регионе являются просачивание разливов углеводородов на поверхность земли в результате геодинамической активности, сейсмичности, грязевого вулканизма, активности дизъюнктивных нарушений и другие, которые рассмотрены ниже.

Геологические опасности, связанные с просачиванием углеводородов в результате геодинамической активности

На морских акваториях и на прилегающей суше Каспийского региона существует огромное количество естественных, длительно функционирующих

выходов нефти и газа в форме макро- и микросипов, покмарков и грязевых вулканов. На космических снимках Каспийского моря отчетливо видны периоды поступления огромных масс углеводородов, фиксируемых по пленкам нефти и изменению прозрачности воды [25, 30] (рис. 1).

По данным космической радиолокации скопления пятен, отобразившиеся на радиолокационной информации, являются результатом активности подводных грязевых вулканов и грифонов, характеризующихся выделением небольших объемов газов, воды и нефти, что фиксирует геодинамически активные периоды в углеводородных системах. На общем фоне обширного нефтяного шлейфа отчетливо видны многочисленные самостоятельные сгустковые образования с высокой спектральной яркостью, маркирующие проекции на поверхность очагов этих мелких загрязнений. Всплывшая нефть образует пленки и формируют пятна, именуемые сликами (рис. 2).

Нефть всплывает на поверхность моря пузырями газа (рис. 2в), пузырьки лопаются, а нефть остается на поверхности [52]. Попав на поверхность, нефть образует отдельные небольшие пятна, а затем, собираясь, дрейфуя и растекаясь, — большие пятна длиной несколько километров.

Находясь под действием поверхностных течений (в данном случае пренебрегаем незначительным вкладом ветра в общий дрейф пленок), пленки перемещаются в их поле и в открытом море приобретают вихревую закрутку. Когда скорость дегазации высока, а сам процесс происходит неоднократно, газ, проходя через осадки, влияет на морфологию дна и образует округлые впадины или кратеры, называемые оспинами (рис. 2г). Расположение таких кратеров указывает на наличие газовых выходов и метановых биотопов на морском дне.

По своей морфологии в плане наблюдаемые пятна нефти можно разделить на пятна линейной, кольцевой и радиально-лучевой формы. Кольцевая и петлеобразная формы пятен — результат

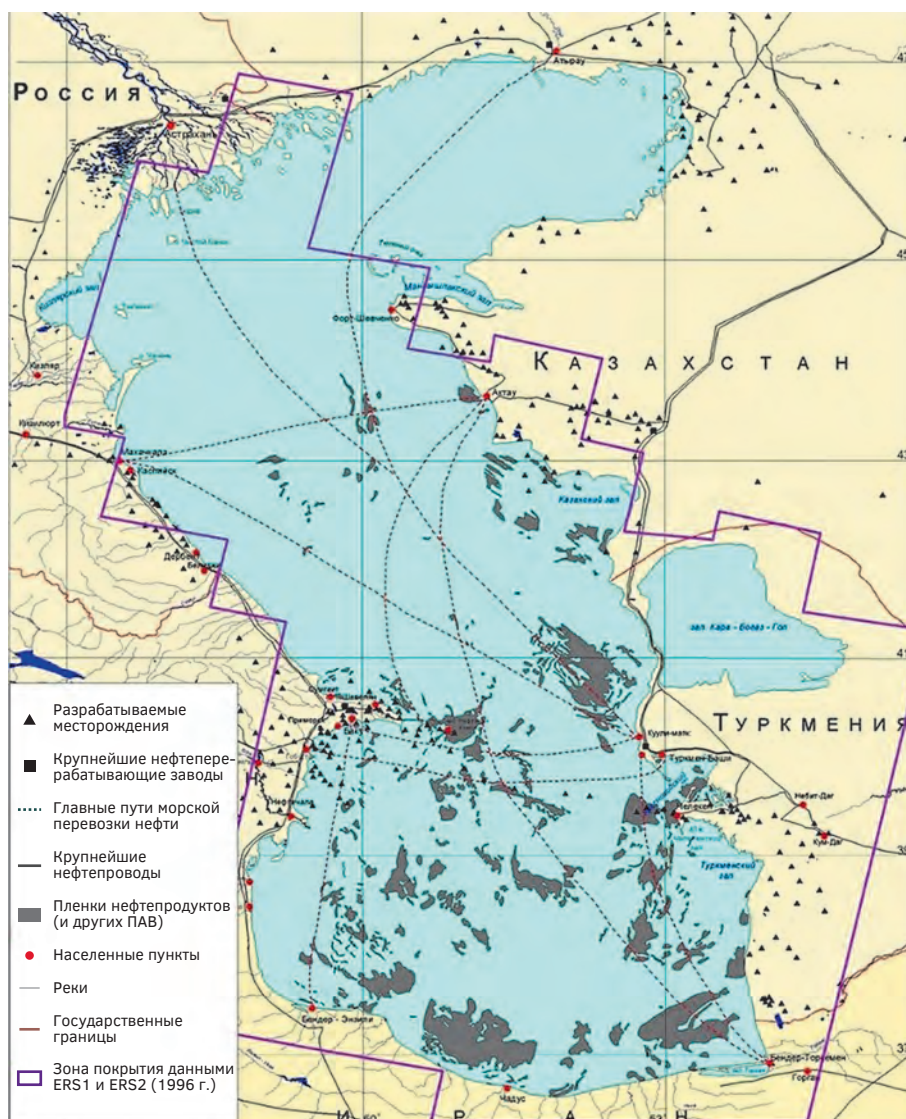


Рис. 1. Интегральная карта распределения пленок нефти и нефтепродуктов по состоянию на май 1996 г. (по данным [11])

Fig. 1. Integrated map of the distribution of oil and oil product films as of May 1996 (according to data from [11])

вовлечения пленок в локальные вихревые структуры циклонического или антициклонического характера. Дешифрирование радиолокационной информации (РЛИ) в сочетании с данными морских геолого-геофизических и сейсмологических исследований выявили связь этих пятен с очагами разгрузки флюидов в сводах локальных структур осадочного покрова Южно-Каспийской впадины (ЮКВ) [4].

Установлено, что периодичность появления пятен нефти отражает чередование импульсов грязевого вулканизма в моменты повышенной сейсмичности с периодами спокойной разгрузки флюидов по проницаемым зонам разрывных нарушений.

Сводная карта нефтяных пятен показана на рисунке 3. В период с июля 2003 по октябрь 2004 г. в течение каждого из семи сеансов РЛ-съемок на поверхности моря наблюдалось от 30 до 98 пятен нефти (см. табл. 1).

Из анализа рисунков 3 и 4 следует, что распределение нефтяных пятен на поверхности моря в целом согласуется со строением осадочного покрова рассматриваемой части ЮКВ. В азербайджанском секторе Южного Каспия нефтяные пятна появляются над грязевыми вулканами, которые расположены в сводах пяти линейных антиклинальных складок северо-западного простирания. Эти складки прослеживаются в глубоководной

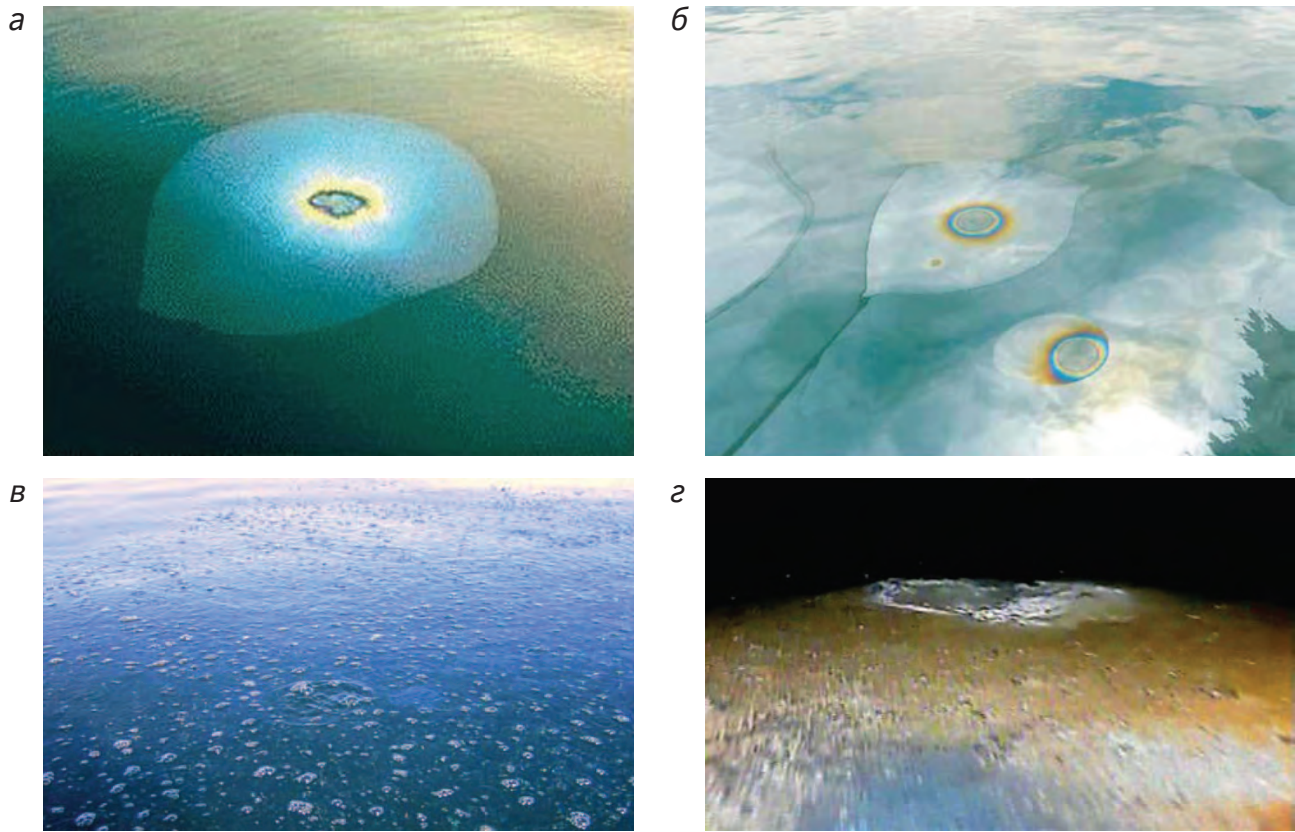


Рис. 2. Примеры естественных нефтепроявлений на морской поверхности
Fig. 2. Examples of natural oil seeps on the sea surface

и мелководной частях моря со стороны соседней территории и имеют прямую выраженность в рельефе дна, особенно в пределах континентального склона [5].

На основе анализа карт сделан вывод, что скопления пятен, отобразившиеся на РЛИ, являются результатом активности подводных грязевых вулканов и грифонов, находящихся в относительно спокойной грифонно-саль-

зовой стадии, характеризующейся выделением небольших объемов газов, воды и нефти. Оценки объемов выброшенной нефти напрямую зависят от общей площади и толщины наблюдаемых пятен. Толщина нефтяной пленки в пятнах нефти, связанных с донными истечениями нефти, оценивается в 10^{-1} — 10^{-2} мкм, а время существования слика (пятна) на морской поверхности — в 8—24 часа [31]. Подмечено, что пленки нефти на морской

Таблица 1. Количество пятен, площадь и объемы загрязнения
Table 1. Number of stains, area and volume of contamination

№	Дата съемки	Время, UTC	Ветер, скорость м/с и направление	Кол-во пятен	Средняя площадь пятна, км ²	Общая площадь пятна, км ²	Максимальный объем выброса, тонн день/год
1	05.07.2003	06:56	3—6 Ю/ЮВ	30	3,4	101,6	35,56/12979
2	09.08.2003	06:56	4—6 Ю/ЮВ	78	1,5	113,9	39,80/14525
3	18.10.2003	06:56	2—4 Ю/ЮЗ	52	1,3	66,7	23,35/8520
4	22.03.2004	06:53	2—3 СЗ/ЮВ	64	0,5	31,4	10,99/4011
5	15.05.2004	06:56	2—3 СЗ/ЮВ	69	1,2	84,3	29,51/10771
6	31.05.2004	06:53	2—3 СЗ/ЮВ	98	1,3	127,2	44,52/16250
7	02.10.2004	06:56	2—3 СЗ	32	0,6	19,3	6,75/2465

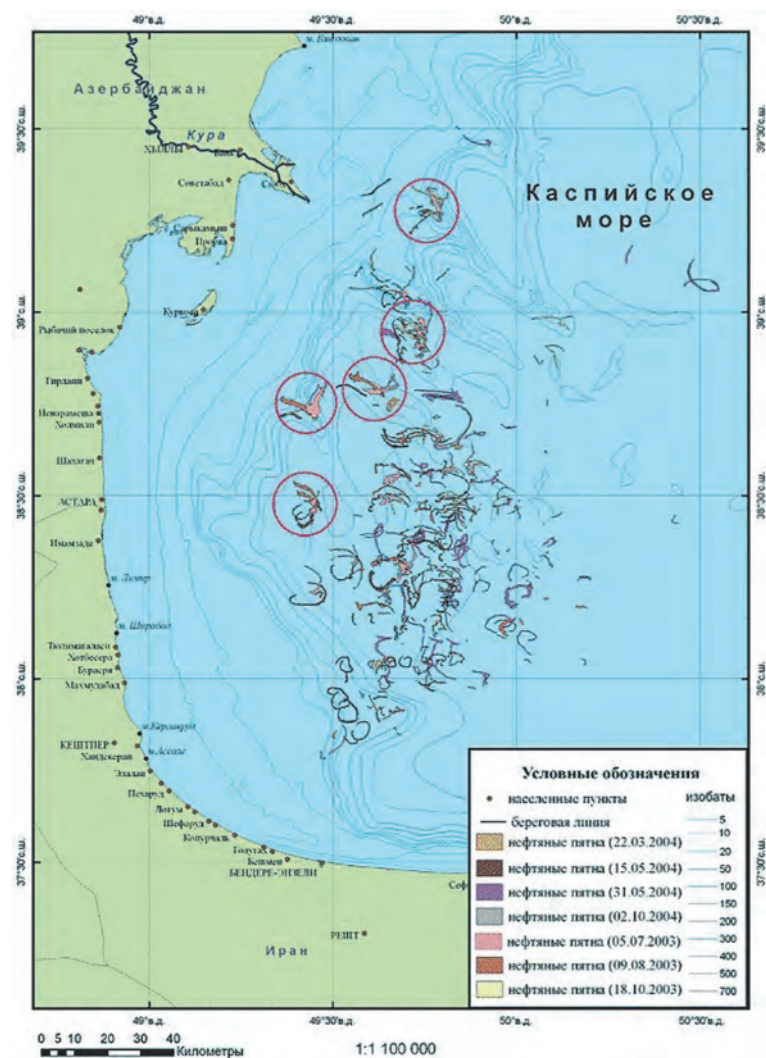


Рис. 3. Сводная карта пятен нефти юго-западной части Каспийского моря. Кругами показаны четко выделявшиеся кластеры пятен

Fig. 3. Summary map of oil spills in the southwestern Caspian Sea. Circles show distinct clusters of spills

поверхности в районах грязевулканической активности имели окраску от серебристо-серой до радужной [28], что соответствует средней толщине пленки $(3-5) \times 10^{-4}$ мм [32—34].

Исходя из того, что каждый кв. км акватории моря, покрытой пленкой, может содержать до 400—450 кг нефти [33], можно оценить экологический эффект грифонной активности. Судя по сводной карте (см. рис. 3), суммарные площади сликов варьируют от 19 до 127 км² (см. табл. 1). Площадь наибольших пятен достигает 15 км². Средняя площадь отдельных пятен нефти варьировала от 0,6 до 3,4 км², а их общая площадь за все дни составила 544,4 км². Таким образом, суммарная оценка естественного выброса нефти в море составляет от 6,8 до 44,5 т в день

или от 2,5 до 16 тыс. т нефти в год (с учетом ежедневной активности) (см. табл. 1).

Вполне очевидно, что пластовые нефти вносят существенный вклад в общее загрязнение Каспийского моря. Такая природная инфильтрация может быть ошибочно приписана антропогенной деятельности, хотя на самом деле представляет собой одну из характерных особенностей Каспийского моря. По данным Каспийской экологической программы [38], оценка природного загрязнения составляет 17,2% от общего загрязнения моря нефтью и нефтепродуктами (120 тыс. т), а по данным ряда других источников — до 13—15% от общего загрязнения Мирового океана. По оценкам, разгрузка пластовых нефтей в западной части Южного Каспия может обеспечивать поставку



Рис. 4. Соответствие локальных структур осадочного чехла Южно-Каспийской тектонической впадины и пятен нефти, обнаруженных на радиолокационных изображениях. Светло-коричневый цвет — выявленные структуры, темно-серый — перспективные структуры; линия А—В — сейсмический разрез

Fig. 4. Correspondence between local structures of the sedimentary cover of the South Caspian tectonic basin and oil spots detected on radar images. Light brown: identified structures, dark grey: promising structures; line A-B — seismic section

до 13% общего загрязнения Каспийского моря. Для сравнения, вклад грифонов в общее загрязнение Мексиканского залива, по оценкам американских специалистов, может составлять от 17 до 140 тыс. т в год; оценки для шельфа Южной Калифорнии дают 8—17 тыс. т нефти в год [39].

Геологические опасности, связанные с землетрясениями

Важнейшей особенностью структуры Каспийского региона являются сеймотектоническое напряженное состояние недр и высокая геодинамическая активность, ярким проявлением является сейсмичность (рис. 5 и 6). С геодинамической активностью региона сопряжены различные виды разрядки флюидодинамической напряженности недр (систем гидро- и литодинамических потоков в зонах разрядки геодинамических напряжений), и прежде всего это интенсивные восходящие разгрузки разнообразных подвижных флюидов и их компонентов, которые создают экологические

опасности, что наносит экологический ущерб окружающей среде [18].

Территория Каспийского региона расположена в сейсмически активном поясе. Основываясь на данных 533 зафиксированных землетрясений начиная с 1832 года, были оценены вероятностные риски в Каспийском море [35].

Изучение современных движений и деформаций на основе исследования влияния конфигурации элементов геодезической сети на результаты определения компонент деформации земной поверхности, происходящих в исследуемом регионе, позволило выявить неоднородный характер деформационного поля региона. Это в основном связано с блочным строением региона. Конец 2000 — начало 2001 годов охарактеризованы сейсмической, грязевулканической и солнечной активизацией. Произошла серия сильных землетрясений с магнитудой до $M = 6,8$. Компьютерная обработка и визуальное дешифрирование радиолокационной информации

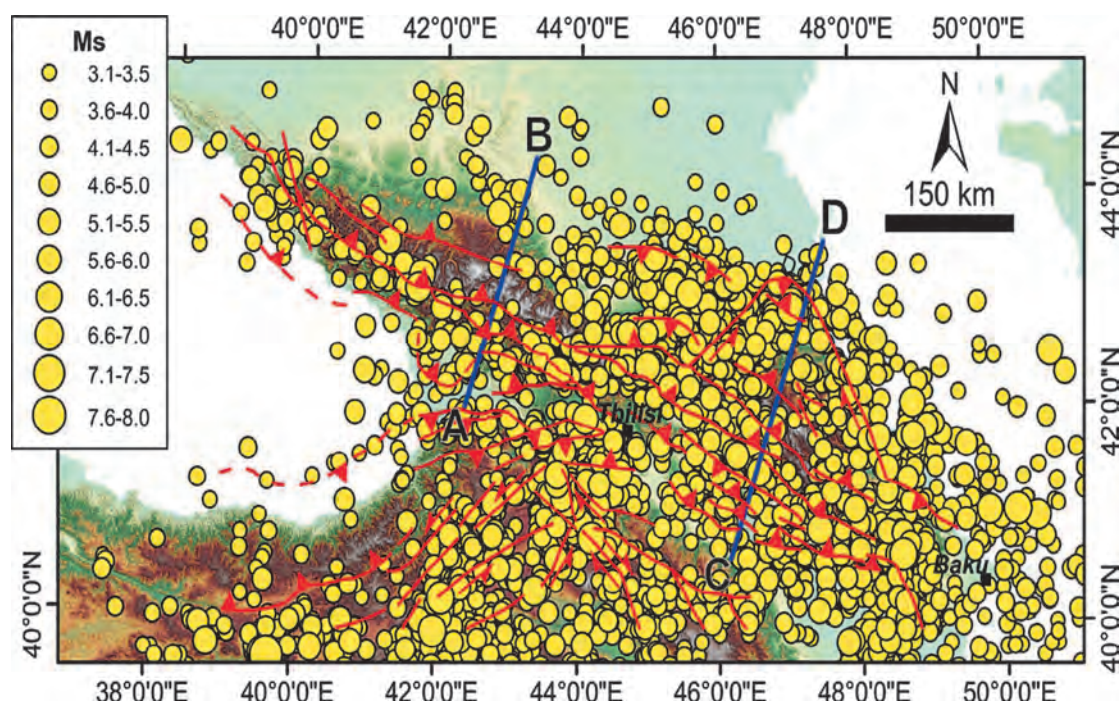


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Черноморско-Каспийского региона (желтым цветом) и основных активных разломов (красным цветом)

Fig. 5. Map of earthquake epicenters in the Black Sea-Caspian region (yellow) and major active faults (red)

в сочетании с данными морских геолого-геофизических и сейсмических исследований выявили связь нефтяных пятен и выбросов газа с очагами генерации и разгрузки флюидов в осадочном покрове Каспийского региона.

Большое количество аварий, произошедших на нефтепромыслах, свидетельствует о том, что разработка залежей углеводородов неизбежно сопровождается рядом опасных инженерно-геологических процессов в виде наведенной сейсмичности, прорыва мощных высоконапорных струй подземных вод, нефтей и газов [43, 45]. Ретроспективный анализ сейсмологического материала показывает, что аварии на буровых платформах и установках часто происходят в период подготовки землетрясений и извержения грязевых вулканов [40, 41]. Сопоставление дат аварий с датами сильных землетрясений убеждает в том, что периоды активности грязевых вулканов и появление пятен на поверхности моря хорошо коррелируют друг с другом, что, однако, требует более детального анализа архивов РЛИ за более длительный промежуток времени [21].

Связь появления пятен нефти с сейсмичностью региона оценивалась на основании данных USGS National Earthquake Information Center о землетрясениях, произошедших в Южно-

Каспийском регионе в 2003—2004 гг. (рис. 7). Как видно из рисунка, сеансы РЛ-съемок соответствуют периоду относительного сейсмического затишья. На фоне этого затишья выделяется кратковременный период (март — июнь 2004 г.), который отличался заметным ростом числа и магнитуды землетрясений в Северном Иране.

Условные обозначения: на врезке рисунка 7 — корреляция между магнитудой землетрясений и количеством пятен нефти, обнаруженных на РЛИ. Эллипсом отмечена серия землетрясений в Северном Иране, спровоцировавшая появление большого количества пятен нефти на поверхности моря [46, 47].

Характерно, что этот «беспокойный» период сопровождался ростом числа и площади нефтяных пятен, причем максимальное количество пятен отмечено на РЛИ 15 и 31 мая 2004 г. (врезка, рисунок 7). В период сейсмического затишья корреляция числа пятен с импульсами сейсмичности менее четкая.

Геологические опасности, связанные с грязевыми вулканами

Анализ данных по землетрясениям и зафиксированным извержениям грязевых вулканов выявил связь между активизацией грязевулканической

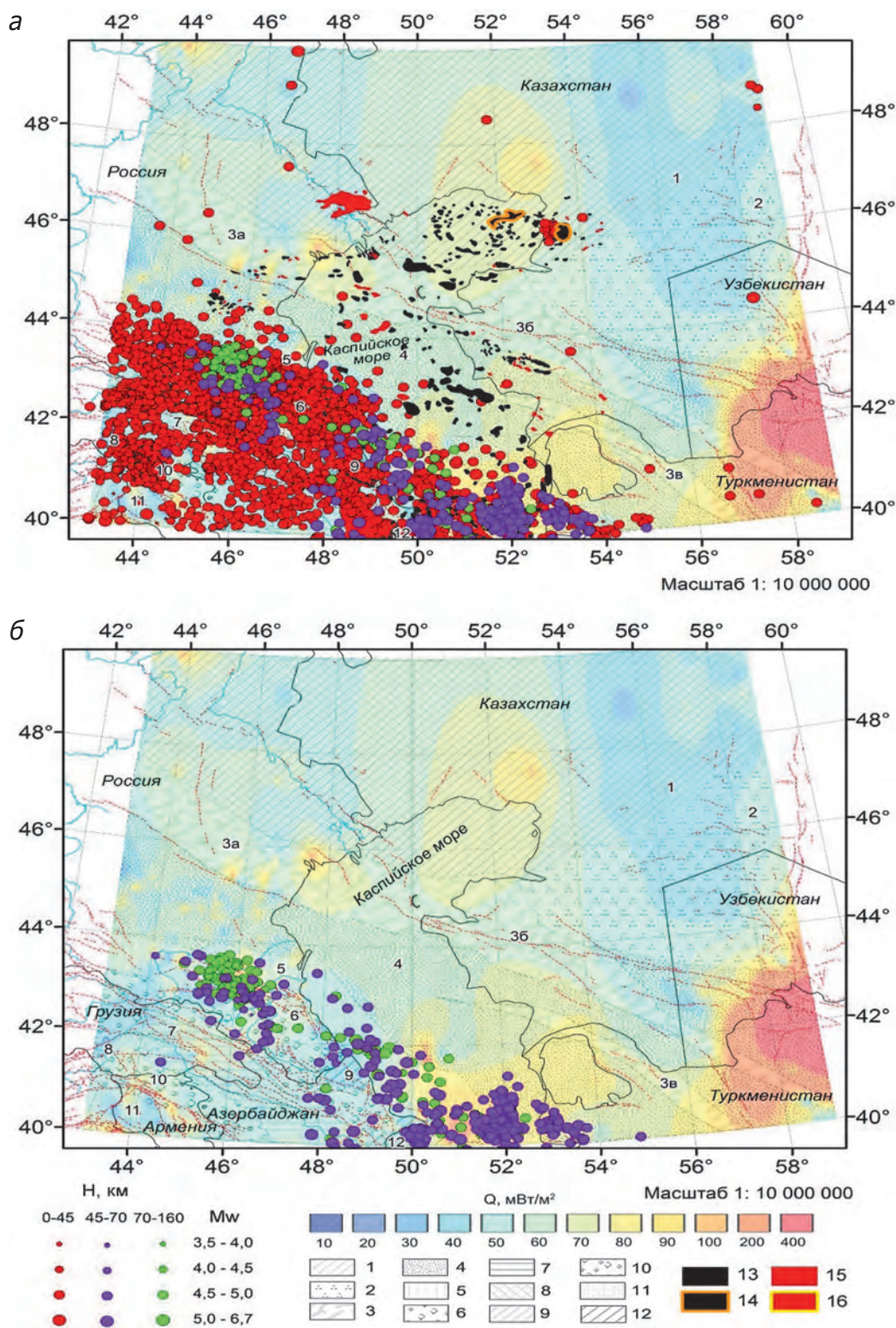


Рис. 6. Распределение теплового потока, современной сейсмичности (XX—XXI в.) и активных разломов в Каспийском регионе: а — все землетрясения с $M_w > 3,5$, б — землетрясения, произошедшие на глубинах более 45 км. Н — глубина гипоцентра землетрясений; M_w — их моментная магнитуда. Структурно-тектонические элементы: 1 — Прикаспийская впадина, 2 — Северо-Устюртский блок, 3 — складчатость: а — Кряж Карпинского, б — Мангышлакско-Центральноустюртская зона, в — Туаркырская зона, 4 — Среднекаспийская

синеклиза, 5 — Терско-Каспийский прогиб, 6 — Большой Кавказ, 7 — Куринская впадина, 8 — Аджаро-Триалетская складчатая зона, 9 — Кусаро-Дивичинский прогиб, 10 — Малый Кавказ, 11 — Центральный армянский прогиб, 12 — Апшерон-Прибалханская система поднятий. Углеводородные месторождения: 13 — нефтяные, 14 — крупнейшие нефтяные, 15 — газовые, 16 — крупнейшие газовые

Fig. 6. Distribution of heat flow, modern seismicity (XX—XXI centuries) and active faults in the Caspian region: a — all earthquakes with $M_w > 3.5$, b — earthquakes that occurred at depths greater than 45 km. H is the depth of the earthquake hypocenter; M_w is their moment magnitude. Structural and tectonic elements: 1 — Caspian Depression, 2 — North Ustyurt block, 3 — folding: a — Karpinsky Ridge, b — Mangyshlak-Central Ustyurt zone, c — Tuarkyr zone, 4 — Middle Caspian syneclyse, 5 — Terek-Caspian trough, 6 — Greater Caucasus, 7 — Kura Depression, 8 — Adjara-Trialeti folded zone, 9 — Kusaro-Divichi trough, 10 — Lesser Caucasus, 11 — Central Armenian trough, 12 — Apsheron-Balkhan uplift system. Hydrocarbon deposits: 13 — oil, 14 — largest oil, 15 — gas, 16 — largest gas

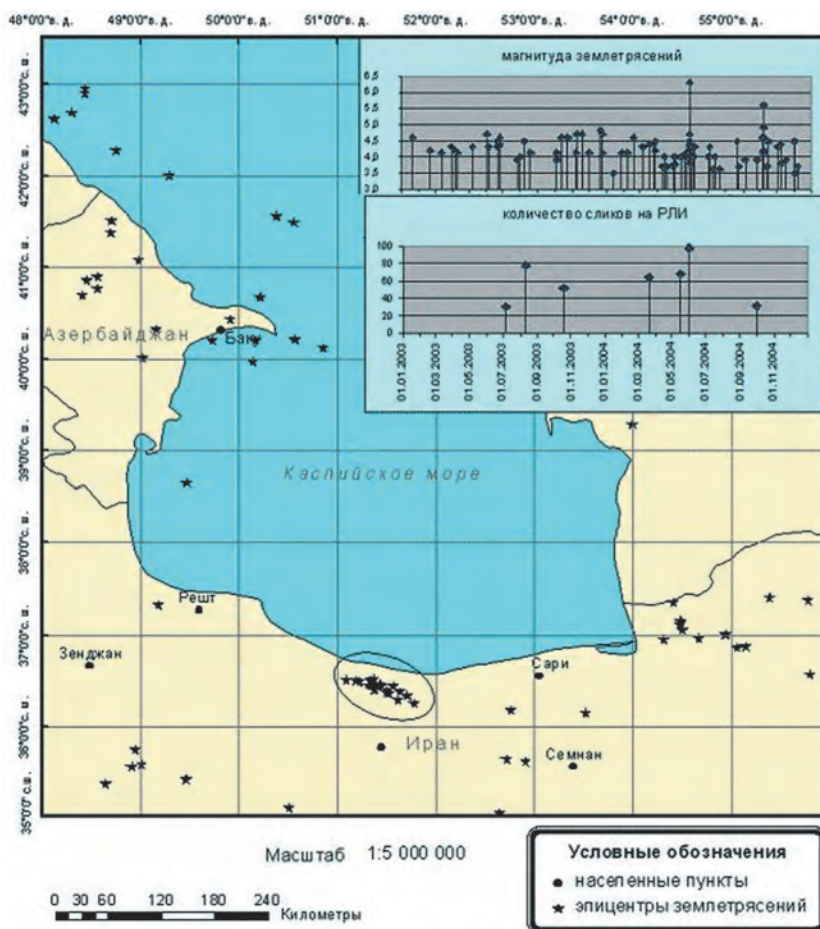


Рис. 7. Связь активности грифонов и грязевых вулканов с сейсмичностью Каспийского региона в период РЛ наблюдений

Fig. 7. Relationship between the activity of griffins and mud volcanoes and the seismicity of the Caspian region during the period of radar observations

деятельности и сейсмичностью. Установлено, что землетрясения запускают процесс вулканизма грязевых вулканов, в который включены магнитуды землетрясения, глубины очага, энергетический класс, расстояние между эпицентром и вулканом. Извержение вулкана совпадает по времени или следует с некоторым опозданием за землетрясением (рис. 8).

Расположенные в этой зоне многочисленные грязевые вулканы рассматриваются как возможные каналы поступления флюидопотока на поверхность. Естественные выбросы нефти из недр юго-западной части Каспийского моря по данным космической радиолокации оцениваются от 2 до 16 тыс. тонн в год. Установлено, что периодичность появления пятен нефти отражает чередование импульсов грязевого

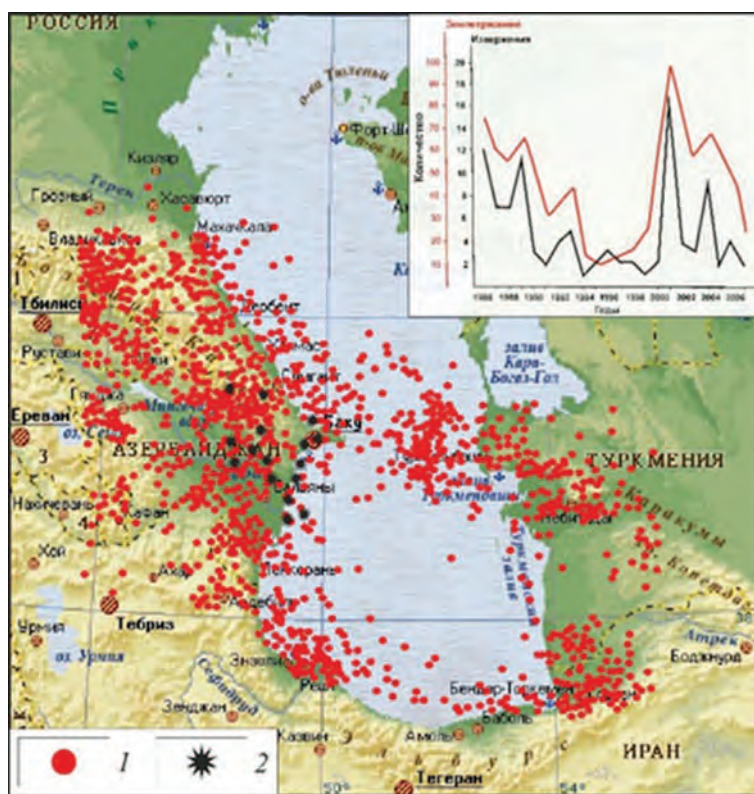


Рис. 8. Карта расположения грязевых вулканов и эпицентров землетрясений в Каспийском море и зависимость извержений грязевых вулканов от землетрясений: 1 — эпицентры землетрясений, 2 — грязевые вулканы

Fig. 8. Map of the location of mud volcanoes and earthquake epicenters in the Caspian Sea and the dependence of mud volcano eruptions on earthquakes: 1 — earthquake epicenters, 2 — mud volcanoes

вулканизма в моменты повышенной сейсмичности с периодами нормального распределения флюидов по проницаемым зонам разрывных нарушений.

В результате периодических извержений грязевых вулканов на протяжении последних сотен лет были вынесены десятки и сотни миллионов кубометров газа. Если расчетная скорость поступления углеводородов в залежи на гигантских месторождениях дают величины $n \times (10-13) \text{ кг}/(\text{м}^2/\text{с})$, то для всех грязевых вулканов наземной части общий объем выброшенного газа оценивается величиной 32×10^3 млрд куб. м. Расчеты количества извержений грязевых вулканов за время их существования показывают, что количество извержений грязевых вулканов составляет 7350 (влк. Большой Кянизадаг), 6860 (влк. Торагай), 1250 (влк. Дашмардан), 550 (влк. Дашгиль), что позволило нам подсчитать приблизительные объемы газа, которые выбрасывались в атмосферу.

Подсчеты (по [19]) показали, что в районе Апшеронского полуострова на дневную поверхность выходят миллиарды кубометров газа и несколько миллионов тонн нефти в год — про-

дукты современной генерации и эмиграции нефти и газа, не перехваченные ловушками и проницаемыми, заполненными водой пластами. Постоянный выброс огромных объемов углеводородных флюидов, особенно в местах локализации каналов грязевых вулканов, активность которых определяется частотой их извержения, является показателем геофлюидодинамической активности региона. Общее количество извержений, вычисленное по объему брекчии, достигает нескольких тысяч. Данные об исторических извержениях показывают, что за новейший период деятельности грязевых вулканов в атмосферу в процессе извержений было выброшено нескольких десятков триллионов кубометров газа (табл. 2, рис. 9).

К настоящему времени накоплен объем данных, обсуждаемых и в современной литературе [42, 44] свидетельствующий о возможности воспроизводства углеводородного сырья в недрах, активно влияющий на экологическую ситуацию.

На рисунке 8 показаны очаги грязевых вулканов Азербайджана за последние десять лет. Приведен частотный анализ параметров дегазации,

Таблица 2. Объемы выделяемого газа на грязевых вулканах на территории Азербайджана
Table 2. Volumes of gas emitted by mud volcanoes in Azerbaijan

Грязевые вулканы (Азербайджан)	Годы извержений	Объем выделенного газа, м ³
Грязевые вулканы на территории Азербайджана	за период 1,81 млн лет (квартер)	≈178×10 ³ млрд м ³
250 грязевых вулканов	за период 1810—1997 гг.	≈250 млн м ³
влк. Большой Мараза	1902 г.	120 млн м ³
влк. Торагай	1946 г.	≈500 млн м ³
влк. Остров Дуванны	1961 г.	≈65 млн м ³
влк. Дашгиль	2001 г.	40 тыс. м ³ /день

зарегистрированных с помощью станции мониторинга.

На суше и на море Азербайджана известны более 250 грязевых вулканов. И лишь на 74 из них зарегистрированы извержения различной силы. При этом частота извержений тоже различная. На вулкане Локбатан за последние 2 века было зарегистрировано более 20 извержений, а на 33-х вулканах — всего по одному.

Извергаясь, грязевые вулканы выбрасывают миллионы кубометров сопочной брекчии (грязи), потоки которой могут снести все инфраструктурные постройки. Обломки пород исторгаются на десятки или первые сотни метров и могут повредить трубопроводы. Нередко во время извержения метановый газ возгорается, и пламя может привести к значительным разрушениям и жертвам недалеко от центра возгорания. Трещины, образующиеся в результате

деятельности вулканов и острова на море, возникающие при извержении, а впоследствии размывающиеся, выделяющийся метановый газ, газогидраты — все эти явления могут привести к значительным разрушениям и потерям. При извержениях грязевых вулканов происходят геологические опасности, связанные с воспламенением газов, грязевыми потоками, выбросом потоков обломочных пород и др.

Извержения грязевых вулканов сопровождаются выбросами миллионов кубометров сопочной брекчии — грязи. Изверженная брекчия, будучи полужидкой, стекает по склонам вулканов вне зависимости от того, где этот вулкан расположен — на суше или на море. Достигая в толщине 10 метров и более, эти потоки грязи способны пройти сотни метров, реже километры до полной остановки, при этом, естественно, разрушая все преграды на своем пути (рис. 10).



Рис. 9. Извержение грязевого вулкана Локбатан, 2012 год. Выброс пара и брекчии с воспламенением основного факела
Fig. 9. Eruption of the Lokbatan mud volcano, 2012. Emission of steam and breccia with ignition of the main plume



Рис. 10. Грязевые потоки, связанные с грязевым вулканизмом
Fig. 10. Mud flows associated with mud volcanism

Учитывая, что многие грязевые вулканы приурочены к промышленным скоплениям УВ, необходимо объективно оценить расстояние и зоны, где можно безопасно расположить платформы, трубопроводы, инфраструктурные сооружения. Важным вопросом является определение безопасного расстояния от возможного эруптивного центра, где можно поставить строения, инфраструктуру, скважины без риска для них быть разрушенными грязевым потоком. Если быть более точным, то нужно определить возможное направление потоков и длину потока, которые определяются тремя основными параметрами: 1) объем изверженной брекчии, 2) морфология вулкана и положение жерла на вулкане, 3) среда, в которой происходило извержение (суша или море, воздух или вода).

Кинематические и динамические характеристики потока варьируют в зависимости от среды, в которой этот поток движется. Форма потока и его скорость зависят от крутизны склона и содержания воды в потоке, определяющей вязкость. В какой-то степени скорость зависит от температуры воздуха и дождя. После дождя скорость грязевого потока увеличивается. Движение грязевых потоков продолжается от нескольких дней до нескольких месяцев и зависит от скорости высыхания грязи. На этот процесс влияют погодные условия. При теплой по-

годе грязь высыхает быстрее. То же самое происходит при ветре. При холодной погоде она высыхает медленнее, но может и замерзнуть. В отличие от потоков на суше в морской среде грязевой поток более вязок и плотен у эруптивного центра, и, наоборот, в отдалении он становится менее плотным. Грязь, смешиваясь с морской водой и пузырьками выделяющегося газа, образует мутевые потоки, которые движутся вниз по склону [29].

Размеры и объемы грязевых потоков на суше могут быть оценены статистически. Вместе с тем имеются только два наблюдения, где оценена длина потоков в морских условиях.

Анализ формы и размеров грязевых потоков на суше показал, что они зависят от морфологического строения вулкана и его склона. Если кратер расположен на равнине, то покров имеет изометрическую форму. И наоборот, крутой склон обуславливает длинный продолговатый поток. По видимому, подобное происходит и в водной среде. Здесь склон даже с небольшим углом падения может вызывать длинные потоки из-за низких значений вязкости.

Трудно предугадать, в какой среде потоки представят большую опасность — в водной или воздушной. С одной стороны, в воде сопротивление среды потоку выше, чем в воздухе. С другой стороны, ее вязкость гораздо ниже. Плюс в водной среде часть

осадков движутся в виде мутьевого потока. По этой причине оценка опасности в двух средах проводилась различными методами: статистический анализ для вулканов суши и 3D-моделирование грязевых потоков для акватории моря.

Геологические опасности, связанные с дегазацией Земли

Как свидетельствуют результаты исследований, наряду с глубинной дегазацией Земли активная роль принадлежит коровой дегазации, сопряженной с состоянием и функционированием геофлюидодинамических систем, которые связаны с напряженным состоянием недр, высокой и разнообразной геодинамической активностью, ярким проявлением сейсмичности, грязевым вулканизмом и геохимическими процессами [13, 14]. Формирование и эволюция геофлюидодинамических систем в недрах Земли происходит под влиянием геодинамических процессов при активном воздействии генерации, миграции и аккумуляции метана, водорода и других газов, которые протекают во всем объеме осадочного выполнения и на всех этапах эволюции бассейна при возникновении очагов фазовых переходов метана и водорода из растворенного в подземных водах в свободное состояние [50]. Метан является преобладающим компонентом в составе углеводородных газовых залежей. Превалирует он и в составе газовых шапок, и в растворенном газе низкоплотных, маловязких нефтей и представлен в выделениях грязевых вулканов в момент их извержения. Соответственно, формирование месторождений газа и нефти и грязевой вулканизм связаны с развитием полей концентраций этого компонента в природных средах, а именно — с процессами его образования, распределения и потребления в естественных циклах эволюции этих сред [49]. Поэтому и образование углеводородов, и грязевые извержения естественно рассматривать как составляющие общего явления, в основе которого лежат фазовые переходы, обусловленные развитием поля метана. Таким образом, процесс современной разгрузки газообразных флюидов связан с изменением энергетического состояния геофлюидодинамических систем и целым рядом физико-химических и флюидодинамических факторов [36, 37].

Природные газы на территории Азербайджана характеризуются разнообразным химическим составом. Основными компонентами природных газов являются метан, углекислый газ и азот с содержанием более 50%. Остальные компоненты, такие как этан, пропан, бутан, аргон и др., являются

примесями, содержание которых не превышает единицы процентов, а такие, как сероводород, гелий, неон и др., содержатся в микроконцентрациях, в долях одного процента [22, 23].

Углекислые воды на территории Азербайджана представляют собой гетерогенную систему, компоненты которой имеют разный генезис. По изотопному составу гелия и углерода CO_2 газы минеральных вод близки к газам верхней мантии, однако, судя по высоким значениям CO_2/He , доля метаморфогенной CO_2 значительно превышает магматогенную. Примесь метана в газах имеет коровое происхождение, и его повышенные концентрации маркируют надвиговую структуру Главного хребта. В питании источников доминирует атмосферная составляющая. В изотопном составе воды видны следы высотной зональности, типичной для современных атмосферных осадков [27].

Количество CO_2 в газах вулканов Азербайджана находится обычно в пределах 0,01—8,6%, в среднем составляя 3,0%. Газы вулканов Шамахи-Гобустанского района характеризуются большими значениями CO_2 — до 10%. Количество азота составляет 0,06—11,7%. Содержание инертных компонентов незначительно, достигая в среднем 0,012% (Прикаспийско-Губинский район). В небольшом количестве присутствует и водород H_2 , составляя в среднем 0,006% (Бакинский архипелаг) [1, 10].

Основным компонентом газа грязевых вулканов Азербайджана является метан, содержание которого изменяется от 70 до 99% об. [1, 48]. Метановые газы грязевых вулканов представляют собой гомогенную систему, все компоненты которой (газ, вода, солевая нагрузка) имеют коровый источник и формируются в едином резервуаре в верхних этажах осадочной толщи. Формирование изотопного состава воды грязевых вулканов характеризуется основными изотопно-химическими свойствами газоводных флюидов (химическим составом воды и величинами $\delta^{11}\text{B}$ и $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$), что доказывает элизионный генезис грязевулканических систем [3, 12, 54].

Повышенные концентрации метана наблюдаются в газах источников из палеозойских кристаллических пород Главного хребта. Высокие концентрации, приуроченные к выходам кристаллических пород, а также отсутствие видимой связи с осадочными породами позволяют высказывать предположение, что метан здесь генетически не связан с комплексами осадочных пород и может иметь абиогенное (не осадочное) происхождение [15—17, 26].

Таблица 4. Содержание основных компонентов природных газов в литолого-стратиграфических комплексах азербайджанского сектора ЮКВ

Table 4. Content of the main components of natural gases in the lithological-stratigraphic complexes of the Azerbaijani sector of the South Caspian Sea

Возраст вмещающих пород	Метан + этан	Пропан	Бутан	Пентан	Пропан + высшие	Углекислый газ	Метан/тяжелые
Абшеронский ярус	95,28	1,57	0,8	0,37	2,74	0,8	35
Продуктивная толща	90,92	0,64	0,60	0,60	1,84	6,2	49
Чокракский горизонт	94,50	1,58	1,25	0,77	3,60	1,6	26
Майкопская серия	88,66	3,90	2,65	1,63	8,18	3,1	10
Фораминиферовые слои	84,61	5,50	6,22	2,96	14,68	0,7	5

Метан из грязевых вулканов в Среднекуринском прогибе по величине $\delta^{13}\text{C}$ идентичен метану углеводородных залежей [6, 9]. В грязевых вулканах Азербайджана (в Прикаспии) отмечался диапазон значений для $\delta^{13}\text{C}$ (CO_2) от $-36,9$ до $+24,0\text{‰}$ при средней величине $+2,4\text{‰}$. Как известно [7, 8], наименьшие значения $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4) \approx -70\text{‰}$ присущи биогенному метану (болотный газ и т.п.), тогда как более высокие характерны для термогенного метана.

Метан является основным компонентом углеводородных газов нефтяных месторождений азербайджанского сектора Южно-Каспийской впадины (ЮКВ), и его содержание в редких случаях снижается до 50% [2, 20]. Среднее содержание отдельных компонентов в различных отложениях приведено в таблице 4.

Таким образом, наиболее широко распространены метановые газы, которые приурочены в основном к Большому Кавказу и Прикаспийско-Губинской наложенной мульде, Южно-Каспийской и Куринской впадинам [51]. Углекислые газы занимают территорию Малого Кавказа и западную часть Талыша. Азотные газы небольшими по площади зонами присутствуют на Большом Кавказе, Талыше и северо-востоке Прикаспийско-Губинской наложенной мульде. В пределах Талыша присутствие зон всех трех основных газовых компонентов позволяет говорить о незаконченности ранее начавшихся геологических процессов [24, 26, 53].

Закключение

В Каспийском регионе наряду с антропогенной дегазацией активная роль принадле-

жит глубинной и коровой дегазации Земли. Коровая дегазация связана с состоянием и функционированием геофлюидодинамических систем, формирование и эволюция которых происходят под влиянием геодинамических процессов при активном влиянии генерации и миграции метана, водорода и других газов, которые протекают во всем объеме осадочного выполнения и на всех этапах эволюции бассейна.

Естественные нефте- и газопроявления пространственно и генетически связаны, главным образом, геологическими процессами: вертикальными и горизонтальными движениями, сейсмичностью в том числе осадочной — мелкофокусной, с грязевым вулканизмом, миграцией и эмиграцией УВ, а также скоплениями свободного газа в верхней части осадочного разреза. Нередко предположения о техногенном загрязнении акватории являются ошибочными и безосновательными.

Выходы нефти и газа на поверхность воды отличаются многовариантностью, среди вариантов выделяются локальные (сосредоточенные) выходы (грязевые вулканы, грифоны, сальзы, слики, сипы и др.), площадное поступление углеводородов и их фракций из нефтегазоносных структур через сеть разломов.

Можно уверенно утверждать, что нефтяное загрязнение Бакинской бухты явилось следствием естественных флюидодинамических процессов, происходящих в его недрах. Источником пятен нефти служат очаги разгрузки пластовых флюидов в структурах осадочного чехла. Режим этой разгрузки регулируется сейсмичностью земной коры Южно-Каспийской тектонической впадины.

ЛИТЕРАТУРА

- Алиев А.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. Атлас грязевых вулканов мира. Баку: Nafta-Press, 2015. 323 с.
- Байрамова Ш.Ш., Тагиева Е.Н., Бабазаде А.Д. Микропалеонтологические исследования отложений майкопской серии юго-восточного окончания

- Большого Кавказа (Азербайджан). Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле. 2021. № 1. С. 56—74.
3. *Богоявленский В.И., Керимов В.Ю., Ольховская О.О.* Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Охотское море. Нефтяное хозяйство. 2016. № 6. С. 43—47.
 4. *Буачидзе Г.И., Мхеидзе Б.С.* Природные газы Грузии. Тбилиси: «Мецниереба», 1989. 155 с.
 5. *Бутаев А.М., Рыбникова В.И., Гаджиев А.З.* Бактериальное загрязнение прибрежных вод Каспия в районе Махачкалы. Вестник ДНЦ РАН. 1998. № 1. С. 69—73.
 6. *Валяев Б.М., Гринченко Ю.И., Ерохин В.Е.* Изотопный облик газов грязевых вулканов. Литология и полезные ископаемые. 1985. № 1. С. 72—87.
 7. *Галимов Э.М.* Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 1968. 226 с.
 8. *Галимов Э.М.* Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. М.: Недра, 1973. 384 с.
 9. *Гемп С.Д., Дуброва Н.В., Несмелова З.Н.* Изотопный состав углерода углеродсодержащих газов (CH_4 и CO_2) грязевых вулканов Керченско-Таманской области. Геохимия. 1970. № 2. С. 243—247.
 10. Геология Азербайджана. Т. VII Нефть и газ. Баку: Нафта-Пресс, 2008. 672 с.
 11. *Глумов И.Ф., Малевицкий Я.П., Новиков А.А.* Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. Недра-Бизнесцентр. М., 2004. 342 с.
 12. *Гулиев И.С.* Зональность природных газов Азербайджана и газогеохимические поиски нефти и газа: автореф. ... дисс. канд. геол.-мин. наук, М., 1978. 24 с.
 13. *Гулиев И.С., Керимов В.Ю.* Углеводородная дегазация Земли: мониторинг, масштабы и геоэкологические последствия. Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. Вып. 4(23). 79 с.
 14. *Гулиев И.С., Мустаев Р.Н., Керимов В.Ю., Юдин М.Н.* Дегазация Земли: масштабы и последствия. Горный журнал. 2018. № 11. С. 38—42.
 15. *Дадашев Ф.Г.* Газоносность продуктивной толщи Юго-Восточного Кавказа. Баку: Элм, 1970. 150 с.
 16. *Дадашев Ф.Г., Гулиев И.С.* Газоносность мезокайнозойских отложений и перспективы поиска новых газовых месторождений в Южно-Каспийской впадине. В книге: Очерки по геологии Азербайджана. Баку: Азернешр, 1984. С. 126—147.
 17. *Дадашев Ф.Г., Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А.* Геотектонические и геохимические особенности дегазации Земли в пределах геосинклинальных областей. В книге: Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 116—123.
 18. *Иванов В.П., Сокольский А.Ф.* Научные основы стратегии защиты биологических ресурсов Каспийского моря от нефтяного загрязнения. Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2000. 181 с.
 19. *Истратов И.В.* Нефтегазоносность и ресурсный потенциал основных осадочных бассейнов Мирового океана. Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2013. № 5(16). С. 32—42.
 20. *Кадиров Ф.А., Сафаров Р.Т.* Деформация земной коры Азербайджана и сопредельных территорий по данным GPS-измерений. Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле. 2013. № 1. С. 47—55.
 21. *Касымов А.Г.* Экология Каспийского озера. Баку, 1994. 237 с.
 22. *Керимов В.Ю., Бондарев А.В., Мустаев Р.Н., Хоштария В.Н.* Оценка геологических рисков при поисках и разведке месторождений углеводородов. Нефтяное хозяйство. 2017. № 8. С. 36—41.
 23. *Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С., Яндарбиев Н.Ш., Козлова Е.В.* Перспективы поисков скоплений углеводородов в сланцевых низкопроницаемых толщах Хадумской свиты Предкавказья. Нефтяное хозяйство. 2015. № 10. С. 50—53.
 24. *Керимов В.Ю., Шилов Г.Я., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С.* Термобарические условия формирования скоплений углеводородов в сланцевых низкопроницаемых коллекторах хадумской свиты Предкавказья. Нефтяное хозяйство. 2016. № 2. С. 8—11.
 25. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г.* Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН, 2016. 334 с.
 26. *Лаврушин В.Ю.* Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления. М.: ГЕОС, 2012. 348 с.
 27. *Лаврушин В.Ю., Поляк Б.Г.* Источники углеродсодержащих газов в грязевых вулканах СНГ. Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. М.: ГЕОС, 1997. С. 67—70.
 28. *Мастепанов А.М.* От ковидного «сегодня» к низко-углеродному «завтра»: анализ зарубежных прогнозов развития мировой энергетики. Георесурсы. 2021. № 23(3). С. 42—52. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.7>
 29. *Миронов О.Г.* Нефтеоокисляющие микроорганизмы в море. Киев: Наукова думка, 1971. 234 с.
 30. *Митягина М.И., Лаврова О.Ю.* Многолетний комплексный спутниковый мониторинг загрязнений поверхности Балтийского и Каспийского морей. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 269—288.
 31. *Немировская И.А.* Уровни и генезис углеводородов в прибрежных районах российского сектора Черного моря. Труды Государственного океанографического института. 2019. № 220. С. 221—243.
 32. *Патин С.А.* Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. 247 с.
 33. *Патин С.А.* Нефть и экология континентального шельфа: в 2-х т. 2-е изд., перераб. и дополн. Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 326 с.
 34. *Рубан Л.С.* Обеспечение энергетической и экологической безопасности Каспийского региона. Экологический вестник России. 2013. № 11, С. 20—23.

35. Салманов М.А. Экология и биологическая продуктивность Каспийского моря. Баку, 1999. 400 с.
36. Цогоев В.Б. Гидроминеральные ресурсы Северной Осетии. Орджоникидзе: Изд-во Ир, 1969. 419 с.
37. Челидзе Т.Л. Термодинамические условия и петрофизические модели участков земной коры Кавказа. В книге: Структура земной коры территории Грузии по сейсмическим и магнитным данным. Тбилиси: Мецниереба, 1983. С. 97—115.
38. Экзарьян В.Н., Рукавицын В.В. Методика оценки риска от загрязнения окружающей среды в результате аварий на опасных промышленных объектах. Разведка и охрана недр. 2021. № 1. С. 66—69.
39. Abolfazl Naji, Tooraj Sohrabi. Distribution and contamination pattern of heavy metals from surface sediments in the southern part of Caspian Sea, Iran, Chemical Speciation & Bioavailability, 2015. No. 27(1). P. 29—43. <https://doi.org/10.1080/09542299.2015.1023089>
40. Agha Bayramov. Conflict, cooperation or competition in the Caspian Sea region: A critical review of the New Great Game paradigm. Caucasus Survey. 2021. No. 9(1). P. 1—20. <https://doi.org/10.1080/23761199.2020.1774856>
41. Arora N.K. Bioremediation: a green approach for restoration of polluted ecosystems. Environmental Sustainability. 2018. No. 1. P. 305—307.
42. Batstone B., Belford S. Oil and Gas: Exploration and Risk. In The Future of Ocean Governance and Capacity Development. Leiden, The Netherlands: Brill | Nijhoff, 2019.
43. Butler J.H., Montzka S.A. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Published online Spring, 2018, URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html> (дата обращения: 09.07.2024).
44. Gertler C., Näther D.J., Cappello S., Gerdts G., Quilliam R.S., Yakimov M.M., Golyshin P.N. Composition and dynamics of biostimulated indigenous oil-degrading microbial consortia from the Irish, North and Mediterranean Seas: a mesocosm study. FEMS Microbiology Ecology. 2012. Vol. 81, no. 3. P. 520—536.
45. Friedlingstein P., Jones M.W. Global Carbon Budget 2019. Earth Syst. Sci. Data. 2019. Vol. 11. P. 1783—1838.
46. Guliev I.S., Kerimov V.Y., Etirmishli G.D., Yusubov N.P., Mustaev R.N., Huseynova A.B. Modern geodynamic processes and their impact on replenishment of hydrocarbon resources in the Black Sea — Caspian Region. Geotectonics. 2021. No. 55. P. 393—407.
47. Hsueh D.Y., Krakauer N.Y., et al. Regional patterns of radiocarbon and fossil fuel-derived CO₂ in surface air across North America. Geophysical Research Letters. 2007. Vol. 34. L02816.
48. Kerimov V.Yu., Leonov M.G., Mustaev R.N. Structural-tectonic model of hydrocarbons formation in the basement of the Vietnam shelf. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 459(4). P. 42—91. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/4/042091>
49. Kerimov V.Yu., Leonov M.G., Osipov A.V., Mustaev R.N., Hai V.N. Hydrocarbons in the basement of the South China Sea (Vietnam) shelf and structural-tectonic model of their formation. Geotectonics. 2019. Vol. 53, no. 1. P. 42—59. <https://doi.org/10.1134/S0016852119010035>
50. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust. Doklady Earth Sciences. 2018. Vol. 483. Part 1. P. 1413—1417.
51. Lapidus A.L., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural Bitumens: physicochemical properties and production technologies. Solid Fuel Chemistry. 2018. Vol. 52. No. 6. P. 344—355.
52. MacDonald I.R. Natural oil spills. Scientific American. 1998. No. 279(5). P. 51.
53. Mustaev R.N., Kerimov V.Yu., Shilov G.Y., Dmitrievsky S.S. Modeling of thermobaric conditions formation of the shale hydrocarbon accumulations in low-permeability reservoirs Khadum formation Ciscaucasia. Geomodel 2016 — 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Gelendzhik, 12–15 September 2016. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602185>.
54. State of the Environment of the Caspian Sea. Report by the interim Secretariat of the Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea and the Project Coordination Management Unit of the “CaspEco” project. Iran, 2011. 102 p.

REFERENCES

1. Aliiev A.A., Guliyev I.S., Dadashev F.G., Rakhmanov R.R. Atlas of mud volcanoes of the world. Baku: Nafta-Press, 2015. 323 p. (In Russ.).
2. Bayramova Sh.S., Taghiyeva Y.N., Babazadeh A.D. Micropaleontological studies of the maykop series, south-eastern edge of the Greater Caucasus (Azerbaijan). ANAS Transactions. Earth Sciences. 2021. No. 1. P. 56—74 (In Russ.).
3. Bogoyavlensky V.I., Kerimov V.Yu., Olkhovskaya O.O. Dangerous gas-saturated objects in the waters of the World Ocean: the Sea of Okhotsk. Neftyanoe Khozyaystvo. 2016. No. 6. P. 43—47 (In Russ.).
4. Buachidze G.I., Mkheidze B.S. Natural gases of Georgia. Tbilisi: Metsniereba, 1989. 155 p. (In Russ.).
5. Butaev A.M., Rybnikova V.I., Gadzhiev A.Z. Bacterial pollution of coastal waters of the Caspian Sea in the Makhachkala region. Vestn. DSC RAS. 1998. No. 1. P. 69—73 (In Russ.).
6. Valyaev B.M., Grinchenko Yu.I., Erokhin V.E. Isotope appearance of gases of mud volcanoes. Lithology and Minerals. 1985. No. 1. P. 72—87 (In Russ.).
7. Galimov E.M. Geochemistry of stable carbon isotopes. Moscow: Nedra, 1968. 226 p. (In Russ.).

8. Galimov E.M. Isotopes of carbon in oil and gas geology. Moscow: Nedra, 1973. 384 p. (In Russ.).
9. Gemp S.D., Dubrova N.V., Nesmelova Z.N. Isotope composition of carbon in carbon-containing gases (CH₄ and CO₂) mud volcanoes of the Kerch-Taman region. *Geochemistry*. 1970. No. 2. P. 243—247 (In Russ.).
10. *Geology of Azerbaijan*. Vol. VII. Oil and gas. Baku: Nafta-Press, 2008. 672 p. (In Russ.).
11. Glumov I.F., Malovitsky Ya.P., Novikov A.A. Regional geology and oil and gas potential of the Caspian Sea. Moscow: Nedra Business Center, 2004. 342 p. (In Russ.).
12. Guliyev I.S. Zonality of natural gases of Azerbaijan and gas-geochemical prospecting for oil and gas. Abstract of PhD dissertation (geology), Moscow, 1978. 24 p. (In Russ.).
13. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu. Hydrocarbon degassing of the Earth: monitoring, scale and geoecological consequences. *Actual problems of oil and gas*. 2018. Vol. 4(23). 79 p. (In Russ.).
14. Guliyev I.S., Mustaeв R.N., Kerimov V.Yu., Yudin M.N. Degassing of the Earth: scale and implications. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 11. P. 38—42 (In Russ.).
15. Dadashev F.G. Gas content of the productive strata of the South-Eastern Caucasus. Baku: Elm, 1970. 150 p. (In Russ.).
16. Dadashev F.G., Guliyev I.S. Gas content of Meso-Cenozoic deposits and prospecting for new gas fields in the South Caspian Basin. In: *Essays on the geology of Azerbaijan*. Baku: Azerneshr, 1984. P. 126—147 (In Russ.).
17. Dadashev F.G., Guliyev I.S., Feyzullaev A.A. Geotectonic and geochemical features of the Earth degassing within geosynclinal regions. In: *Earth degassing and geotectonics. Proceedings of the All-Union Symposium*. Moscow, 1980. P. 116—123 (In Russ.).
18. Ivanov V.P., Sokolsky A.F. Scientific basis of protection strategy biological resources of the Caspian Sea from oil pollution. Astrakhan: KaspNIRKh Publishing House. 2000. 181 p. (In Russ.).
19. Istratov I.V. Oil and gas content and resource potential of the main sedimentary basins of the World Ocean. *Scientific and technical collection News of gas science*. 2013. No. 5(16). P. 32—42 (In Russ.).
20. Kadirov F.A., Safarov R.T. Earth's crust deformation in Azerbaijan and adjacent territories according to GPS measurements. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Azerbaijan. Earth Sciences*. 2013. No. 1. P. 47—55 (In Russ.).
21. Kasymov A.G. Ecology of the Caspian Lake. Baku, 1994. 237 p. (In Russ.).
22. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaeв R.N., Khoshtariya V.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2017. No. 8. P. 36—41 (In Russ.).
23. Kerimov V.Yu., Mustaeв R.N., Dmitrievsky S.S., Yandarbiev N.Sh., Kozlova E.V. The shale hydrocarbons prospects in the low permeability khadam formation of the Pre-Caucasus. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2015. No. 10. P. 50—53 (In Russ.).
24. Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Mustaeв R.N., Dmitrievsky S.S. Thermobaric conditions of hydrocarbons accumulations formation in the shale low-permeability oil reservoirs of khadam suite of the Ciscaucasia. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2016. No. 2. P. 8—11 (In Russ.).
25. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostyanov A.G. Satellite methods for identifying and monitoring environmental risk zones in marine waters. Moscow: IKI RAS, 2016. 334 p. (In Russ.).
26. Lavrushin V.Yu. Subsurface fluids of the Greater Caucasus and its surrounding. Moscow: GEOS, 2012. 348 p. (In Russ.).
27. Lavrushin V.Yu., Polyak B.G. Sources of carbon-containing gases in mud volcanoes of the CIS. New ideas in geology and geochemistry of oil and gas. Moscow: GEOS, 1997. P. 67—70 (In Russ.).
28. Mastepanov A.M. From Covid “today” to low-carbon “tomorrow”: analysis of foreign forecasts for the development of global energy Georesources. 2021. No. 23(3). P. 42—52 (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.7>
29. Mironov O.G. Oil-oxidizing microorganisms in the sea. Kyiv: Naukova Dumka, 1971. 234 p. (In Russ.).
30. Mityagina M.I., Lavrova O.Yu. Long-term integrated satellite monitoring of surface pollution in the Baltic and Caspian Seas. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2012. Vol. 9. No. 5. P. 269—288 (In Russ.).
31. Nemirovskaya I.A. Levels and genesis of hydrocarbons in coastal areas of the Russian sector of the Black Sea. *Proceedings of the State Oceanographic Institute*. 2019. No. 220. P. 221—243 (In Russ.).
32. Patin S.A. Oil and the ecology of the continental shelf. Moscow: Publishing house VNIRO, 2001. 247 p. (In Russ.).
33. Patin S.A. Oil and ecology of the continental shelf: in 2 volumes. 2nd revised and supplemented ed. Volume 1: Marine oil and gas complex: status, prospects, influencing factors. Moscow: VNIRO Publishing House, 2017. 326 p. (In Russ.).
34. Ruban L.S. Ensuring energy and environmental security of the Caspian region. *Ecological Bulletin of Russia*. 2013. No. 11. P. 20—23 (In Russ.).
35. Salmanov M.A. Ecology and biological productivity of the Caspian Sea. Baku, 1999. 400 p. (In Russ.).
36. Tsogoev V.B. Hydromineral resources of North Ossetia. Ordzhonikidze: Ir publ. house. 1969. 419 p. (In Russ.).
37. Chelidze T.L. Thermodynamic conditions and petrophysical models of sections of the Caucasus earth's crust. In: *The structure of the earth's crust of the Georgia territory according to seismic and magnetic data*. Tbilisi: Metsniereba, 1983. P. 97—115 (In Russ.).
38. Ekzaryan V.N., Rukavitsyn V.V. Methodology for assessing the risk of environmental pollution as a

- result of accidents at hazardous industrial facilities. Exploration and protection of mineral resources. 2021. No. 1. P. 66—69 (In Russ.).
39. Abolfazl Naji, Tooraj Sohrabi. Distribution and contamination pattern of heavy metals from surface sediments in the southern part of Caspian Sea, Iran, Chemical Speciation & Bioavailability, 2015. No. 27(1). P. 29—43. <https://doi.org/10.1080/09542299.2015.1023089>
 40. Agha Bayramov. Conflict, cooperation or competition in the Caspian Sea region: A critical review of the New Great Game paradigm. Caucasus Survey. 2021. No. 9(1). P. 1—20. <https://doi.org/10.1080/23761199.2020.1774856>
 41. Arora N.K. Bioremediation: a green approach for restoration of polluted ecosystems. Environmental Sustainability. 2018. No. 1. P. 305—307.
 42. Batstone B., Belford S. Oil and Gas: Exploration and Risk. In The Future of Ocean Governance and Capacity Development. Leiden, The Netherlands: Brill | Nijhoff, 2019.
 43. Butler J.H., Montzka S.A. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Published online Spring, 2018, URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html> (дата обращения: 09.07.2024).
 44. Gertler C., Näther D.J., Cappello S., Gerdt G., Quilliam R.S., Yakimov M.M., Golyshev P.N. Composition and dynamics of biostimulated indigenous oil-degrading microbial consortia from the Irish, North and Mediterranean Seas: a mesocosm study. FEMS Microbiology Ecology. 2012. Vol. 81, no. 3. P. 520—536.
 45. Friedlingstein P., Jones M.W. Global Carbon Budget 2019. Earth Syst. Sci. Data. 2019. Vol. 11. P. 1783—1838.
 46. Guliev I.S., Kerimov V.Y., Etirmishli G.D., Yusubov N.P., Mustaev R.N., Huseynova A.B. Modern geodynamic processes and their impact on replenishment of hydrocarbon resources in the Black Sea — Caspian Region. Geotectonics. 2021. No. 55. P. 393—407.
 47. Hsueh D.Y., Krakauer N.Y., et al. Regional patterns of radiocarbon and fossil fuel-derived CO₂ in surface air across North America. Geophysical Research Letters. 2007. Vol. 34. L02816.
 48. Kerimov V.Yu., Leonov M.G., Mustaev R.N. Structural-tectonic model of hydrocarbons formation in the basement of the Vietnam shelf. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 459(4). P. 42—91. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/4/042091>
 49. Kerimov V.Yu., Leonov M.G., Osipov A.V., Mustaev R.N., Hai V.N. Hydrocarbons in the basement of the South China Sea (Vietnam) shelf and structural-tectonic model of their formation. Geotectonics. 2019. Vol. 53, no. 1. P. 42—59. <https://doi.org/10.1134/S0016852119010035>
 50. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust. Doklady Earth Sciences. 2018. Vol. 483. Part 1. P. 1413—1417.
 51. Lapidus A.L., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural Bitumens: physicochemical properties and production technologies. Solid Fuel Chemistry. 2018. Vol. 52. No. 6. P. 344—355.
 52. MacDonald I.R. Natural oil spills. Scientific American. 1998. No. 279(5). P. 51.
 53. Mustaev R.N., Kerimov V.Yu., Shilov G.Y., Dmitrievsky S.S. Modeling of thermobaric conditions formation of the shale hydrocarbon accumulations in low-permeability reservoirs Khadum formation Ciscaucasia. Geomodel 2016 — 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Gelendzhik, 12–15 September 2016. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602185>.
 53. State of the Environment of the Caspian Sea. Report by the interim Secretariat of the Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea and the Project Coordination Management Unit of the “CaspEco” project. Iran, 2011. 102 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Алиев Э.М. — участвовал в подготовке текста статьи, оформил и выполнил перевод статьи на английский язык и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гурянов С.А. — участвовал в подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Беляева А.С. — внесла вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Emin M. Aliyev — participated in the preparation of the text of the article, designed and translated the article into English and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Sanan A. Guryanov — participated in the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Albina S. Belyaeva — made the main contribution to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Эмиль Малик оглы Алиев — диссертант, научный сотрудник Института нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики. 9, ул. Ф. Амирова, г. Баку, AZ1000, Азербайджан
e-mail: emil.aliyev07@gmail.com
тел.: (+994 12) 4922843

Emin M. Aliyev — dissertator, researcher, Institute of Oil and Gas of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan. 9, F. Amirov st., Baku, AZ1000, Azerbaijan
e-mail: emil.aliyev07@gmail.com
tel.: (+994 12) 4922843

Гурьянов Санан Агилевич* — старший преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: guryanovsa@mgri.ru
тел.: +7 (903) 187-88-88
SPIN-код: 1663-2705
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1833-8320>

Sanan A. Guryanov* — Senior Lecturer at the Department of Geology and exploration of hydrocarbon deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia.
e-mail: guryanovsa@mgri.ru
tel.: +7 (903) 187-88-88
SPIN-code: 1663-2705
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1833-8320>

Беляева Альбина Сагитовна — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: belyaevaas@mgri.ru
тел.: +7 (960) 300-32-66
SPIN-код: 6647-6275

Albina S. Belyaeva — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), professor of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23 Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117997, Russia
e-mail: belyaevaas@mgri.ru
tel.: +7 (960) 300-32-66
SPIN-code: 6647-6275

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author