

УДК 551.24:552.578

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ВОСПОЛНЕНИИ ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ

© 2021 г. И. С. Гулиев¹, В. Ю. Керимов², Г. Д. Етирмишли³, Н. П. Юсубов¹,
Р. Н. Мустаев²*, А. Б. Гусейнова¹

¹Институт нефти и газа Национальной академии наук Азербайджана (НАНА),
д. 9, ул. Ф. Амирова, Аз 1000 Баку, Азербайджан

²Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе,
д. 23, ул. Миклухо-Маклая, 117997 Москва, Россия

³Азербайджанский республиканский центр сейсмологической службы,
д. 25, ул. Н. Рафибейли, Аз 1001 Баку, Азербайджан

*e-mail: r.mustaev@mail.ru

Поступила в редакцию 15.10.2020 г.

После доработки 02.04.2021 г.

После повторной доработки 25.04.2021 г.

Принята к публикации 25.05.2021 г.

Проведенные в последние годы исследования напряженного состояния земной коры и скоростей движения плит Кавказской складчатой системы относительно континента Евразия, анализ очагов подводной дегазации и подводного вулканизма, а также сейсмогеологическое моделирование позволяют предполагать, что совокупность этих процессов положительно влияет на восполнимость ресурсов и запасов углеводородов в Черноморско-Каспийском регионе. Они активизируют геофлюидодинамические системы региона. Процесс восполнения ресурсов и запасов углеводородов связан с восстановлением энергетического состояния углеводородных месторождений на различных этапах их освоения и физико-химическими флюидодинамическими факторами. Проведенное комплексное обобщение, сейсмогеологическое моделирование грязевых вулканов и анализ разномасштабного фактического материала позволяют утверждать, что в глубинах Черноморско-Каспийского региона функционируют современные очаги генерации углеводородов – природные лаборатории и технологические линии по преобразованию флюидонакоплений в промышленное энергетическое и химическое сырье. Мы рассматриваем залежи углеводородов как продукт функционирования таких природных технологических линий.

Ключевые слова: геодинамика, грязевой вулканизм, тектоническая активность, землетрясения, нефть, газ, ресурсы, генерация углеводородов, миграция углеводородов, очаги возбуждения, нефтегазоматеринские толщи

DOI: 10.31857/S0016853X2103005X

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей особенностью структуры Черноморско-Каспийского региона являются сейсмо-тектоническое напряженное состояние недр и высокая геодинамическая активность. Ярким проявлением геодинамической активности является сейсмичность, активность дизъюнктивных нарушений, грязевой, в недавнем прошлом взрывной вулканизм, а также обилие насыщенных газами водных минеральных источников [6, 9, 14, 50, 52, 53]. Северный Кавказ характеризуется также самой высокой сейсмичностью в европейской части России [4, 28]. Конвергенция континентов продолжается со скоростью до ~20–30 мм/год

[15, 25, 26, 47] преимущественно вдоль сдвиговых разломов, где сосредоточена большая часть современной тектонической активности (рис. 1).

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.

Значимо также проявление термобарических аномалий, которые были изучены на основе мониторинга непрерывных геодинамических наблюдений.

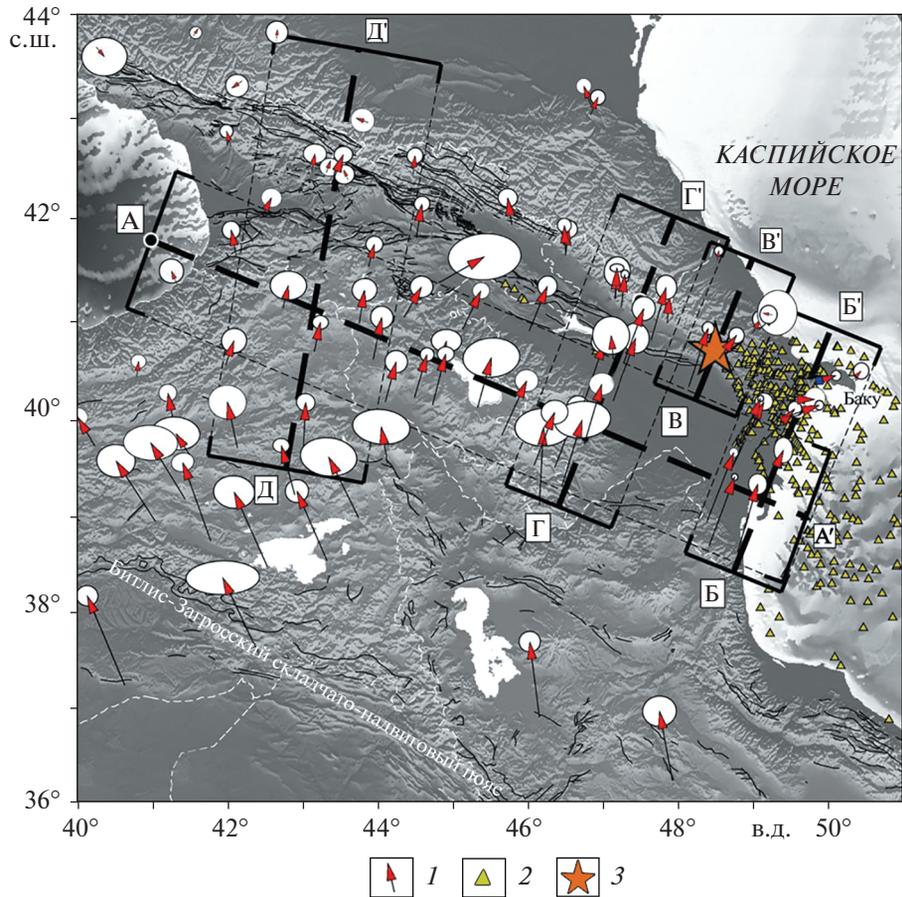


Рис. 1. Карта скоростей движения плит кавказской системы относительно континента Евразия (по данным [22]). Обозначены профили скоростей движения плит через кавказскую систему: А–А' – поперечный; В–В', В–В', Г–Г', Д–Д' – параллельные. 1 – скорости движения плит по данным измерений GPS, мм/год; 2 – эллипсы доверительной вероятности (95%) относительно континента Евразия для восточной зоны столкновения; 3 – эпицентр Шемахинского землетрясения 1902 года

По результатам выполненных нами исследований доказано, что очаги большинства землетрясений связаны с локальными геодинамическими деформациями, происходящими внутри осадочного чехла. Более 55% землетрясений и проявлений эксплозивного магматизма на территории Каспийско-Черноморского региона произошли на границе мезозойского и кайнозойского этажей [3, 4] и внутри кайнозойского интервала геологического разреза, что было выявлено нами при сопоставлении параметров землетрясений с геологической моделью осадочного чехла, построенной по данным сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ) и обобщению данных по эксплозивному магматизму.

К настоящему времени накоплен объем данных, активно обсуждаемых в современной литературе [23, 24], свидетельствующий о существовании процессов восполнения ресурсов и запасов углеводородов. Основными признаками, под-

тверждающими наше предположение о возможности воспроизводства углеводородного сырья, являются:

- Периодические извержения грязевых вулканов, выносящие десятки и сотни миллионов кубометров газа на протяжении последних сотен лет [2, 7–9, 32, 35, 38]. 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. 1).
- Обнаружение на дне Каспийского моря и на суше в Нижнекуруинском и Гобустан-Апшеронском прогибах огромного количества естественных, длительно функционирующих выходов газа в форме макро- и микросипов, покмарков и грязевых вулканов в Азербайджане и других регионах [5, 31, 38–44].

Таблица 1. Объемы выделяемого газа на грязевых вулканах на территории Азербайджана.

Грязевые вулканы на территории Азербайджана	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

• Длительное функционирование добывающих скважин на месторождениях нефти и газа старых районов, запасы которых давно выработаны [9, 16, 17, 21, 23]. Такие месторождения известны во многих нефтегазодобывающих регионах – Грозненском регионе (Чеченская Республика, Россия), в Татарии (Республика Татарстан, Россия) и других регионах. В Азербайджане к таким месторождениям относятся месторождения Балаханы–Сабунчи, Раманы, Биби-Эйбат и другие месторождения, подсчитанные запасы которых должны были быть выработанными несколько десятилетий тому назад.

Целью нашей статьи является анализ и оценка процесса восполнения углеводородов по результатам исследования очагов современной разгрузки углеводородов в акватории Каспийского моря и прилегающей территории Керченско-Черноморского региона, с использованием комплекса аэрокосмических, сейсмических и геохимических методов, а также мониторинга дегазации Земли на базе данных геофизических станций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данные сейсмических исследований

Современное напряженное состояние литосферы Черноморско-Каспийского региона изучено на основе данных каталога Мировой карты сеймонапряжений (World Stress Map (WSM)) [58], который включает базы данных по параметрам фокуса из различных каталогов, в том числе каталога Центра сейсмологической службы Азербайджанской Республики, Гарвардской группы по теории конденсированных сред и Геологической службы США [48]. Нами составлена карта напряженного состояния литосферы региона с использованием расширенной базы данных по очагам землетрясений для Большого и Малого Кавказа и с использованием методики CASMO, где показаны доминирующие надвиги Большого Кавказа в направлении север–северо-восток, которые приводят к сжатию Земли [49, 59] (рис. 2).

Используя полученные данные, мы проводили подсчет изменения скорости перемещения ос-

новных структур исследуемого региона в течение одного месяца и установили, что значение скорости меняется в интервале:

1.5–2.0 мм – Большой Кавказ и Малый Кавказ в направлении север–северо-восток;

1.0–1.5 мм – Кура–Рионская межгорная впадина в направлении на северо-восток.

Из анализа полученных результатов следует, что, хотя доминирующим режимом является сжатие, деформации земной коры распределены неравномерно.

Анализ данных по современным движениям и деформациям, полученным по результатам влияния конфигурации элементов геодезической сети на определение компонент деформации земной поверхности, позволяет выявить неоднородный характер деформационного поля исследуемого региона, что в основном связано с блочным строением региона. На основе анализа GPS данных за 2015–2016 гг. на программе GAMIT [37] установлено, что в исследуемом регионе среднее значение скоростей составляет 10 мм в год. На Большом Кавказе и Малом Кавказе движение земной коры происходит в направлении юг–северо-восток, но по данным 32-х постоянно действующих сейсмических станций (оборудование компании Kinematics (США)). Каждая станция состоит из трехкомпонентного широкополосного сейсмометра STS-2, трехкомпонентного акселерометра и цифрового дигитайзера Quanterra (Q330), расположенных на территории Азербайджана, наблюдается резкое изменение векторов на восток–северо-восток. Распределение максимального горизонтального напряжения литосферы для территории Кавказско-Черноморского региона было изучено по методике Sheorey [44]. Методика включает одномерную слоистую сферическую модель земной коры с расчетом топографии, акустических свойств, плотности и температуры.

Для картирования пространственного положения очагов возбуждения были использованы данные, полученные в результате трехмерной сейсморазведки. С применением сейсмического метода общей глубинной точки (МОГТ) были по-

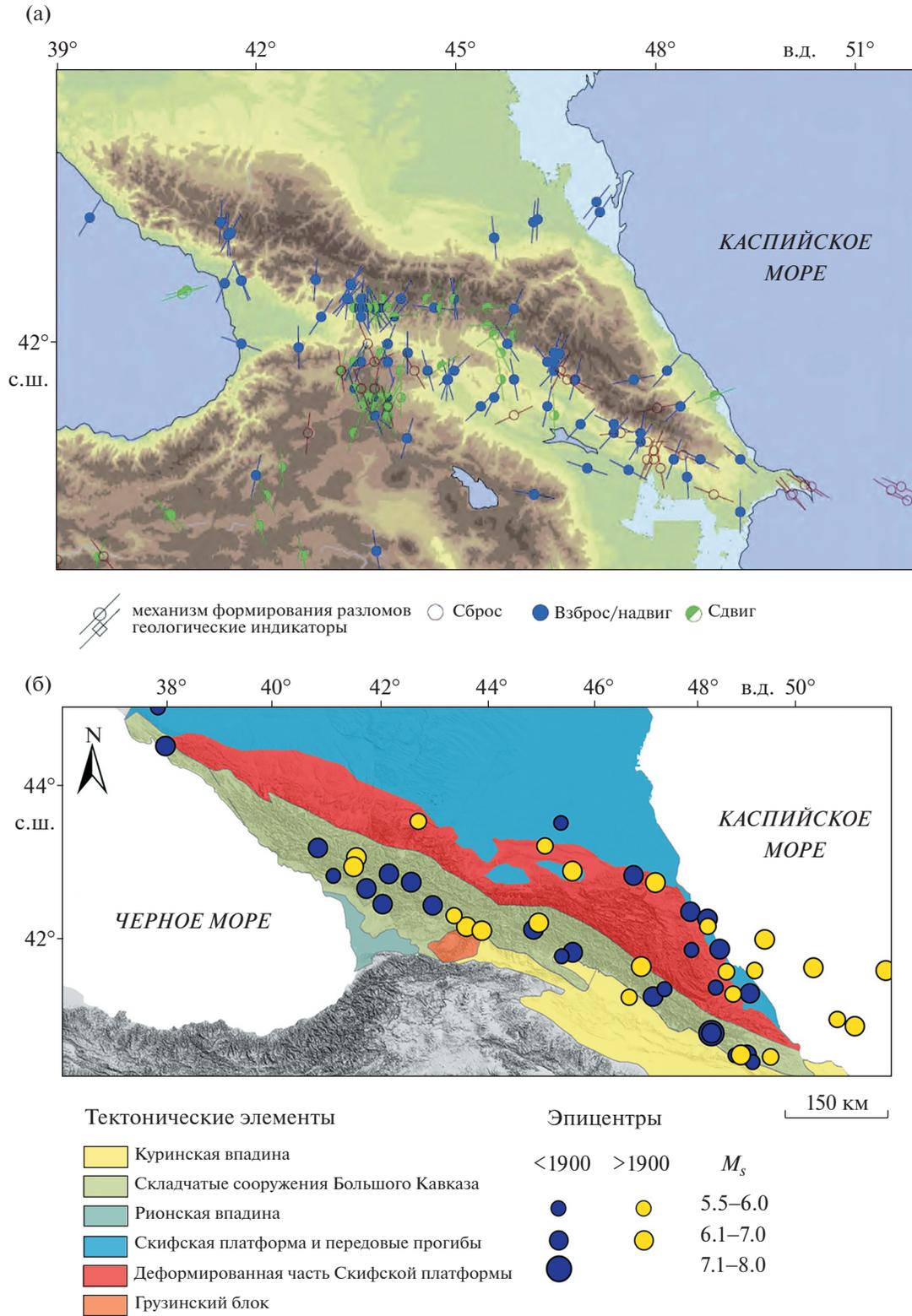


Рис. 2. Характеристика напряженного состояния Черноморско-Каспийского региона. (а) – индикаторы стресса (составлено с использованием данных [47]); (б) – карта крупнейших исторических землетрясений ($M_s > 5.5$), совмещенная с основными тектоническими элементами (по данным [23]).

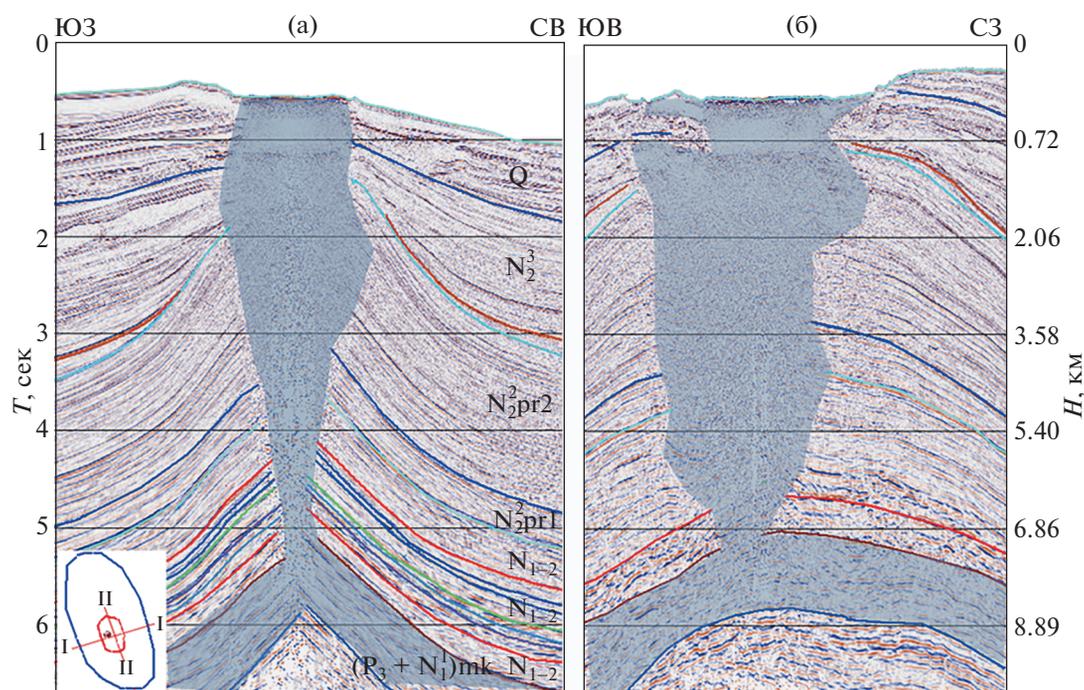


Рис. 3. Подводный вулкан в Южно-Каспийском бассейне. Сечения сейсмического куба по двум направлениям: (а) – ЮЗ–СВ; (б) – ЮВ–СЗ.

лучены изображения подводных грязевых вулканов (рис. 3).

В результате были разработаны модели грязевых вулканов и, таким образом, выявлены взаимосвязи эруптивного канала грязевого вулкана с природными резервуарами (рис. 4). На основе интерпретации данных сверхглубоких сейсмических работ [60] установлены однозначные связи эруптивного канала с нефтегазогенерирующими интервалами геологического разреза, глубины их образования, а также геометрические формы и параметры эруптивных каналов очагов грязевых вулканов.

Данные аэрокосмических исследований

Многозональная (мультиканальная) спутниковая съемка поверхности суши и моря Земли дают надежные и информативные результаты в изучении периодичности флюидодинамических процессов. Технология цифровой обработки результатов многоканального спутникового сканирования легла в основу разработки алгоритмов спектрального анализа, позволяющего с высокой точностью проводить диагностику флюидонасыщенных объектов по спектрам их отражения и поглощения. Активная флюидодинамика на дне Каспийского моря установлена спектральным имидж-анализом поверхности моря с использованием усовершенствованного космического радиометра теплового излучения и отражения дат-

чика ASTER (Япония), который является одним из пяти дистанционных сенсорных устройств на борту спутников TERRA (США), ERS-1/2 и Envisat (Европейское космическое агентство), Radarsat (Канада).

На космических снимках отчетливо видны периоды поступления огромных масс углеводородов, фиксируемых по пленкам нефти и изменению прозрачности воды [11, 13] (рис. 5, а).

Для оценки масштабов и скорости восполнения углеводородов использовались методы аэрокосмических исследований. На основании данных, полученных сканером ASTER со спутника TERRA, ERS-1, ERS-2, Radarsat, Envisat, проводился спектральный имидж-анализ поверхности Каспийского моря. В результате была зафиксирована значительная флюидодинамическая активность на его дне. На космических снимках (рис. 5, а) также отчетливо видны периоды поступления огромных масс углеводородов, фиксируемых по пленкам нефти и изменению прозрачности воды. Интегральная карта (см. рис. 5, б) показывает распределение пленок нефти и нефтепродуктов по состоянию на май 1996 г.

Естественные выбросы нефти из недр юго-западной части Каспийского моря по данным космической радиолокации оцениваются от 2 до 16 тыс. тонн в год [12, 13, 55–57]. Для этой части Каспийского моря характерно постоянное присутствие на поверхности нефтяных пятен, что свидетельствует о гидродинамической открыто-

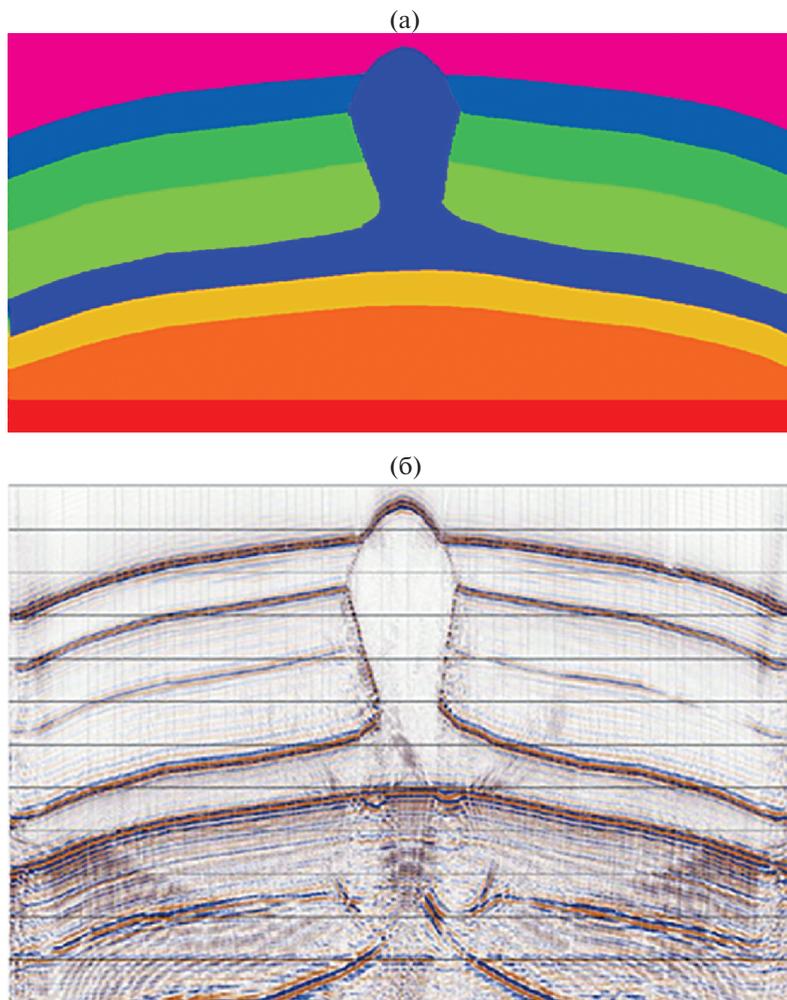


Рис. 4. Сейсмогеологическая модель, показывающая взаимосвязь эруптивного канала грязевого вулкана с вышележащим комплексом отложений: (а) – теоретическая сейсмогеологическая модель; (б) – временной разрез, рассчитанный с применением программы Finite Difference Modeling (по [41]).

сти флюидной системы. По подсчетам, проведенным в рамках Каспийской Экологической Программы, в которой участвуют Азербайджан, Иран, Казахстан, Россия и Туркменистан, оценка природного загрязнения Каспийского моря составляет 17.2% от общего загрязнения моря нефтью и нефтепродуктами. По другим оценкам, выход нефти на дневную поверхность в западной части Южного Каспия может обеспечивать поставку до 13% общего загрязнения Каспийского моря, что составляет до 16 тыс. тонн нефти в год [12]. Приведенные данные показывают, сколь велики масштабы флюидной активности и происходящих в настоящее время процессов восполнения углеводородов в юго-западной части Южного Каспия.

По данным космической радиолокации, скопления пятен, отобразившихся на радиолокационной информации, являются результатом активности подводных грязевых вулканов и грифонов, характеризующихся выделением небольших объ-

емов газов, воды и нефти, что фиксирует геофлюидодинамически 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.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что в акватории Каспийского моря происходят интенсивные и активные современные флюидодинамические процессы, которые инициируются упруго-деформационными импульсами, исходящими из глубин Каспийского моря. Очаги, динамика и характер естественной разгрузки нефти в Приапшеронской части акватории Каспийского моря, включая Бакинскую бухту, свидетельствуют о наличии в ее недрах углеводородных систем, обеспечивающих восполнение ресурсов и запасов углеводородов.

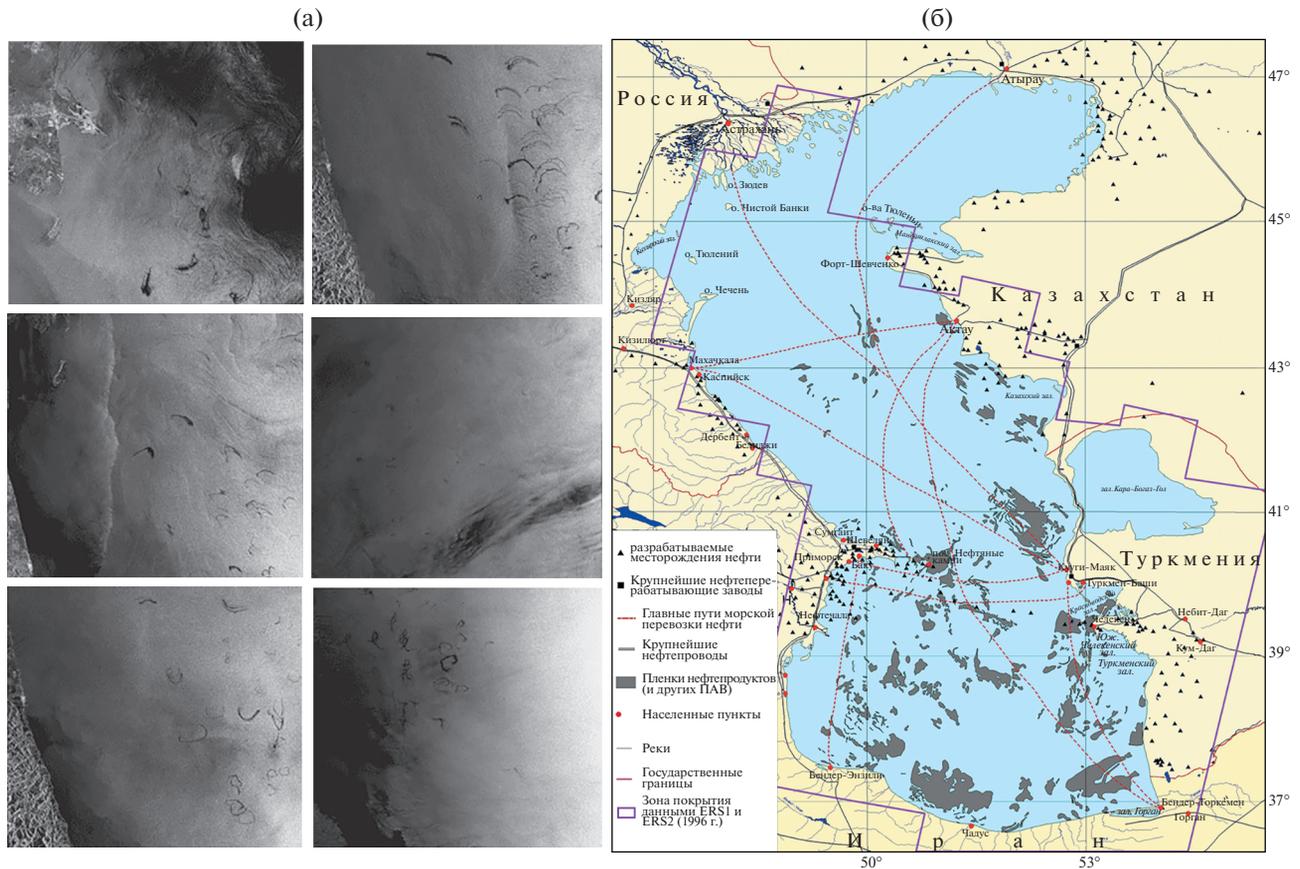


Рис. 5. Отображение нефтяных пятен на поверхности Каспийского моря.
 (а) – радиолокационные отображения юго-западной части Каспийского моря со спутника Envisat (по данным [47]);
 (б) – интегральная карта распределения пленок нефти и нефтепродуктов по состоянию на май 1996 г. (по данным [8]).

Газовые факелы наблюдаются на сейсмических снимках по результатам сейсморазведки МОГТ (рис. 6).

Газовые выбросы, связанные с разломами и грязевыми вулканами, также широко развиты в акватории Черного моря, особенно в северо-западной части, на Болгарском и Керченско-Таманском шельфе, включая Керченский пролив, а также вдоль кавказского побережья и в центральной части этого осадочного бассейна.

Выходы газа обычно обнаруживаются в акватории Черного моря в толще воды на глубине от 50 до 800 м с образованием единичных или сгруппированных очагов. Часто струи газа, смешанные с донными осадками, взмучиваются и в виде грязевого (мутявого) потока создают вертикальные струи повышенной плотности, направленные под действием струй газа к поверхности моря, потоки перемешиваются и образуют пузырчатые струи (рис. 7). В среднем, высота поднимающихся пузырей от дна моря составляет 100–200 м, и большинство этих пузырьков не достигают поверхности воды, что зависит от скорости дегазации.

Данные геохимических исследований

Проведенные геохимические исследования позволили получить прямые доказательства об источниках современного восполнения углеводородов в очагах генерации углеводородов и остаточном генерационном потенциале нефтегазоматеринских толщ.

Для оценки мощности потенциала и возможностей современных процессов восполнения запасов углеводородного сырья использовались следующие геохимические параметры – содержание органического углерода (total organic carbon – ТОС), степень его зрелости (T_{max}) и тип органического вещества.

Использование пиролитического метода “Rock-Eval” [46] позволило провести интерпретацию данных, на основе которой был оценен общий органический углерод с разделением на следующие элементы:

- органический углерод, способный к преобразованию в углеводород;
- органический углерод, не генерирующий углеводород;

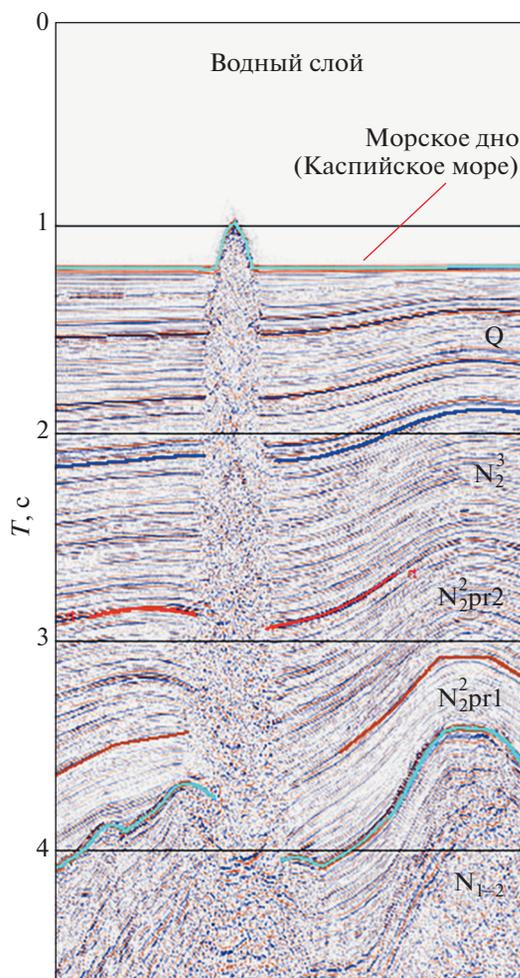


Рис. 6. Газовый факел по данным сейморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ) в Южно-Каспийском бассейне (по [27]).

– кероген, генерирующий и не генерирующий углеводород;

– остаточные углеводороды, содержащиеся в нефтематеринских толщах в настоящее время.

Для количественной оценки результатов проведенного комплекса исследований проведены следующие расчеты: катагенетический расход органического вещества на образование углеводородов (жидких и газовых) и неуглеводородных продуктов (вода, газы, диоксид углерода, сероводород, азот) и, в результате, снижение массы органического вещества на каждом этапе процесса преобразования. Полученная оценка остаточных концентраций органического вещества $TOC_{исх}$ (исходное до катагенеза содержание TOC в породе) и $TOC_{ост}$ (остаточное содержание TOC в породе) показала остаточный генерационный потенциал – источник восполнения ресурсов и запасов углеводородов.

Полученные данные современных значений содержания органического вещества в материнской породе, водородный индекс, степень преобразования органического вещества и значение исходного генерационного потенциала (S_1) позволяют рассчитать начальные значения содержания органического углеводорода (TOC) и водородный индекс (HI), и, в конечном итоге, – остаточный генерационный потенциал нефтематеринских толщ, который является основным резервом для восполнения углеводородов.

По результатам геохимических исследований и бассейнового моделирования Черноморско-Каспийского региона, осадочные бассейны являются полиочаговыми бассейнами, и в разных частях бассейнов, в разных очагах генерация углеводородов происходит с различной интенсивностью, что приводит к разнице в остаточном генерационном потенциале нефтематеринских толщ (НГМТ) в разных частях бассейна. В результате воздействия геодинамических процессов происходит дестабилизация с последующей активизацией геофлюидодинамической системы и возбуждение очагов генерации углеводородов (УВ).

Результаты пиролитического анализа методом Rock-Eval [46] позволяют оценить генерирующую способность керогена, выраженную в мг УВ/г TOC , для чего необходим расчет исходного TOC в НГМТ. С учетом типа органического вещества и катагенеза для пересчета исходного TOC в НГМТ были использованы переводные коэффициенты [45]. В результате проведенных расчетов установлено, что в пределах Терско-Сунженской зоны и в Чеченской впадине исходные концентрации органического вещества составляют:

2.7–3.12% в глинах бат–байоса (среднее значение 2.9%),

3.9–4.4% в отложениях апт–альба (среднее значение 4.15%),

3–5.5% в отложениях кумской свиты (среднее значение 4.7%),

что свидетельствует о том, что НГМТ могут являться источником восполнения ресурсов в регионе. Для выявления и оценки остаточного генерационного потенциала современных источников восполнения также необходимо исследование катагенетического преобразования органического вещества с определением степени его выработанности (рис. 8, а, б). Таким образом, проведенные исследования показали, что в пределах Терско-Каспийского прогиба, в настоящее время, средне-верхнеюрские нефтегазоматеринские толщи полностью выработали свой потенциал. Генерация ими углеводородов возможна только в пределах Черногорской структурной зоны (Северо-Кавказский федеральный округ), где они находятся на градации катагенеза $МК_4$ и сохранили 20% своего генерационного потенциала. Степень

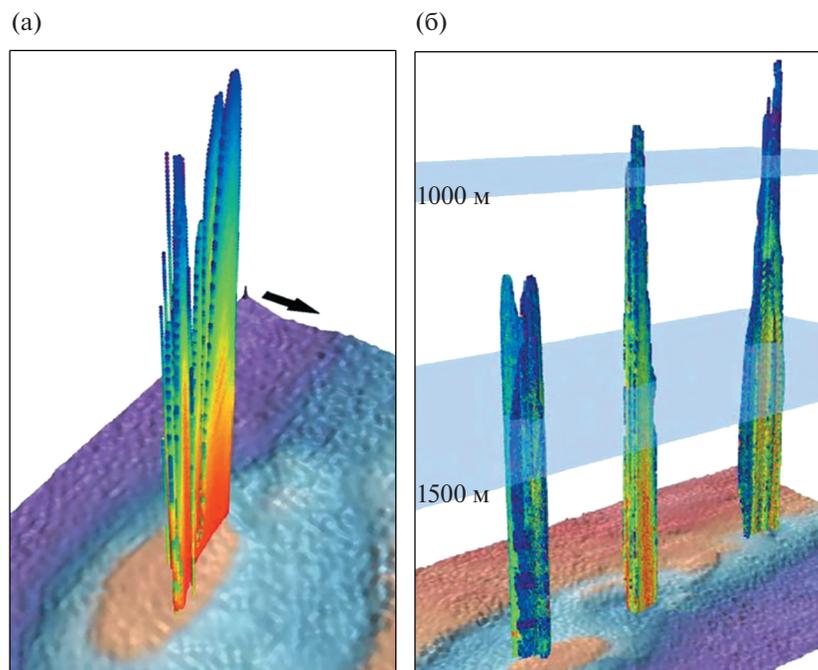


Рис. 7. Эхограмма газовых струй над грязевыми вулканами в Черном море (по [31]). Грязевые вулканы: (а) – Двуреченский; (б) – Водяницкий и Безымянный.

выработанности керогена апт–альбских нефтегазоносных материнских толщ уменьшается от 90% в депоцентре Чеченской впадины до 40–70% к ее бортам. В Сунженской и Терской зонах, степень выработанности керогена составляет 30–10%. Практически полностью потенциал отложений сохранен в приподнятой Черногорской зоне поднятий. Аналогичная тенденция прослеживается также для отложений кумской свиты. Глинистые толщи майкопской серии практически полностью сохранили свой потенциал в пределах прогиба и только в депоцентре Чеченской впадины степень выработанности составляет 40–50%.

Мониторинг дегазации Земли и грязевых вулканов на геофизических обсерваториях

Исследование газового режима и процессов дегазации проводились на базе двух станций мониторинга геофизической обсерватории. Между двумя грязевыми вулканами – Дашгиль и Перекишкюль, функционирующими в настоящее время и находящимися в Шамахи-Гобустанском районе, в период с 2003 по 2018 гг. были установлены две геофизические станции. На оборудовании этих станций в режиме реального времени записывались данные о температуре грязе-жидкостной смеси, объеме поступающего газа и скорости его выделения. Кроме того, проводился замер показаний радона (см. рис. 9).

Станции мониторинга газа, в период первой фазы исследований, включали сенсоры измерения потока метана, эмиссии радона, состава газа, атмосферного давления и температуры. Полученные данные в автоматическом режиме регистрировались в цифровом формате и, таким образом, была сформирована база данных по составу выделяемого газа.

Мониторинг дегазации Земли по данным станций геофизических обсерваторий на грязевых вулканах, свидетельствует о том, что газовый режим и дегазация в регионе тесно связаны с воздействием современных геодинамических процессов на эволюцию поверхностных и глубинных оболочек Земли и накопление горючих полезных ископаемых. На суше и в акватории моря выявлены сотни тысяч естественных, длительно функционирующих макро- и микро выходов газа. Исследования масштабов дегазации осуществлялись как на грязевых вулканах, так и на фокусированных источниках углеводородов. Косвенные оценки могут быть сделаны на основе баланса выделяющихся газов и флюидов на месторождениях углеводородов, грязевых вулканов и фокусированных струй.

В нашем исследовании показаны очаги землетрясений, вызванных извержениями грязевых вулканов Азербайджана, за последние десять лет (рис. 10). Приведен частотный анализ параметров дегазации, зарегистрированных с помощью станции мониторинга. Частотный анализ показывает

(a)



(б)

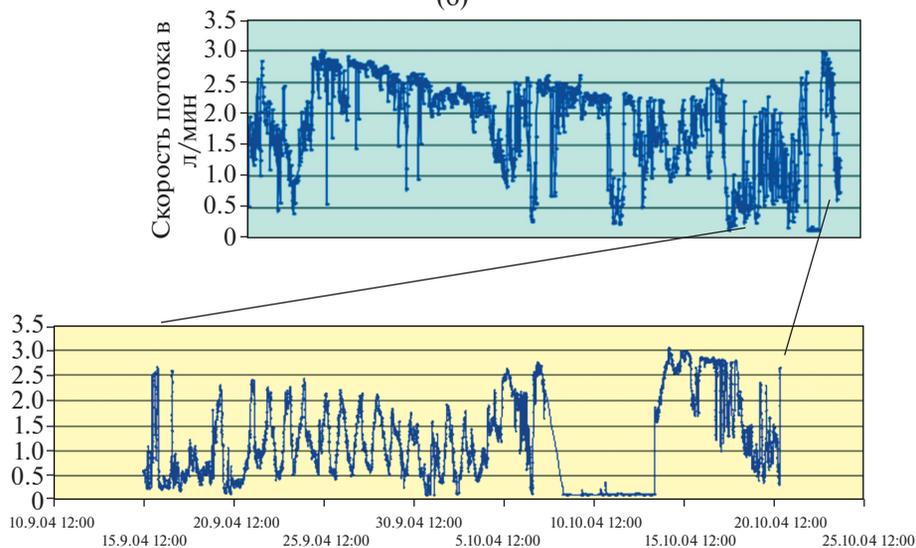


Рис. 9. Фотография станции мониторинга дегазации грязевого вулкана.

(а) – станция мониторинга дегазации на грязевом вулкане, работающая в непрерывном режиме; (б) – запись сенсоров измерения потока газа из грязевого вулкана за июнь–октябрь 2004 г. (по [1]).

четкие пики частотой в 12 и 24 часа (атмосферные приливы). В результате проведения многоуровневого мониторинга дегазации в регионе исследований были выделены две основные категории геологических источников поступления метана в атмосферу:

- процесс образования углеводородов в осадочных бассейнах;
- геотермальные или вулканические выделения метана.

Современная дегазация сопровождается землетрясениями, которые фиксируются современ-

ными телеметрическими системами в реальном времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, результаты аэрокосмических и сейсмических исследований, геохимических съемок и мониторинга процесса дегазации на геофизических обсерваториях впервые позволили достаточно четко фиксировать очаги и пути современной разгрузки углеводородов на территории суши и на морском дне. Это однозначно доказывает, что современная углеводородная де-

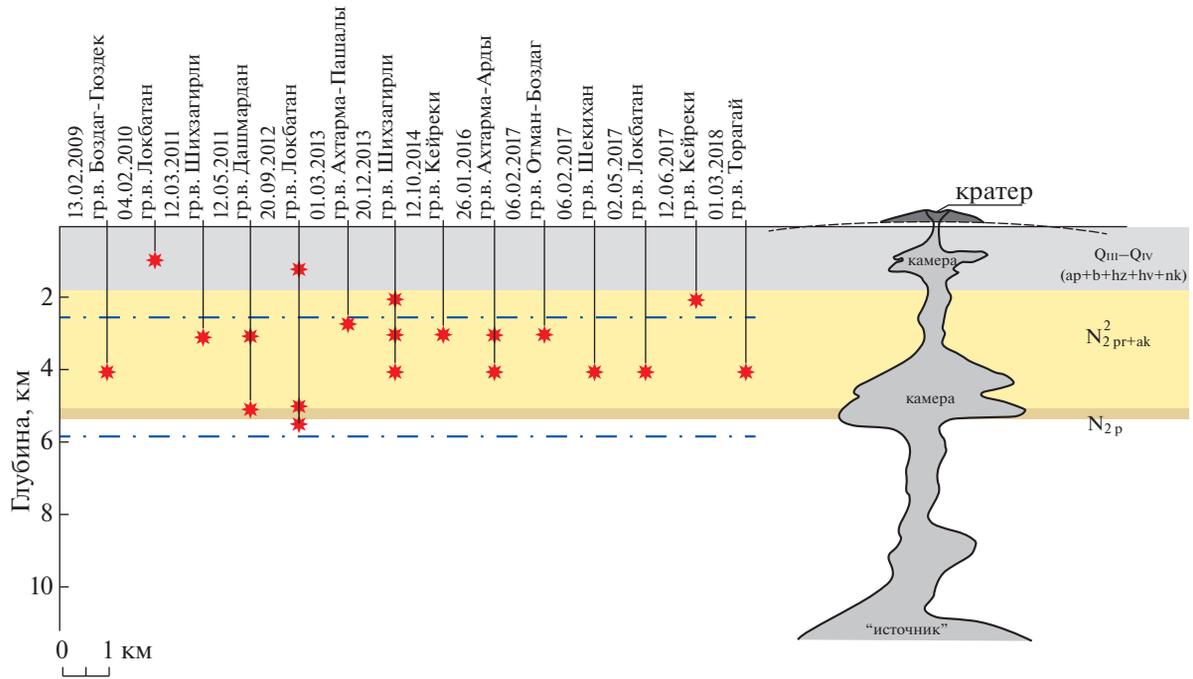


Рис. 10. Глубины расположения очагов извержений грязевых вулканов (по данным [47]).

газация происходит за счет генерации и миграции углеводородов на более поздних этапах эволюции осадочного бассейна. Этот процесс коррелируется с периодами активизации современных геодинамических процессов, сопровождающихся солнечной активностью, лунно-солнечными приливами, землетрясениями, грязевым вулканизмом, колебаниями уровня моря, соответствующими изменениями электромагнитных полей, а также пространственно-временными вариациями гравитационного поля Земли и может быть картирован современными телеметрическими системами в реальном времени.

Изучение современных движений и деформаций, на основе исследования влияния конфигурации элементов геодезической сети на результаты определения компонент деформации земной поверхности, происходящих в исследуемом регионе, позволил выявить неоднородный характер деформационного поля региона. Это в основном связано с блочным строением региона. Конец 2000—начало 2001 г. характеризуется сейсмической, грязевулканической и солнечной активизацией. В этот период в Южном Каспии было зафиксировано 16 извержений грязевых вулканов — рекордное число извержений для данного региона. Произошла серия сильных землетрясений с магнитудой до $M = 6.8$. Анализ данных по землетрясениям и зафиксированным извержениям грязевых вулканов, выявил связь между активизацией грязевулканической деятельности и сейсмичностью. Установлено, что землетрясения запускают процесс вулканизма грязевых вулканов, в кото-

рый включены магнитуды землетрясения, глубины очага, энергетический класс, расстояние между эпицентром и вулканом. Извержение вулкана совпадает по времени или следует с некоторым опозданием за землетрясением [1]. 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 Черноморско-Каспийского региона.

Сравнительная интенсивность флюидодинамических процессов определена на основе интенсивности проявления на поверхности суши и на морском дне выходов флюидов, геохимических и температурных аномалий. 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 вулканизма в моменты повышенной сейсмичности с периодами нормального распределения флюидов по пронизываемым зонам разрывных нарушений.

Нами был проведен мониторинг периодичности геодинамических и флюидодинамических процессов для поиска причины одномоментного возникновения нефтяных пятен в 2000 г. на столь

обширном пространстве и их отсутствия на протяжении длительного времени.

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 $n \cdot 10^{13}$ кг/(м²/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 в позволило нам подсчитать приблизительные объемы газа, которые выбрасывались в атмосферу.

Для оценки скорости и масштабов процесса восполнения ресурсов углеводородов, необходимыми параметрами являются общая площадь и толщина наблюдаемых пятен на поверхности моря. Толщина нефтяной пленки в пятнах нефти, связанных с донными истечениями нефти, оценивается в 10^{-1} – 10^{-2} мкм, время существования слика (пятна) оценивается в 8–24 ч. Подмечено, что средняя толщина пленки нефти на поверхности моря в районах грязевулканической активности соответствует пленке ~ 3 – 5×10^{-4} мм. Исходя из того, что каждый квадратный километр акватории моря, покрытого пленкой, может содержать до 400–450 кг нефти [25]. Суммарные площади сликов варьируют от 19 до 127 км². Площадь наибольших пятен достигает 15 км². Средняя площадь отдельных пятен нефти варьировала от 0.6 до 3.4 км², их общая площадь за все дни составила 544.4 км². Отсюда – суммарная оценка естественного выброса нефти в море в количестве от 6.8 до 44.5 т в день или от 2.5 до 16 тыс. т нефти в год (с учетом ежедневной активности) [25].

Подсчеты (по [10]) показали, что в районе Апшеронского полуострова на дневную поверхность выходят миллиарды кубометров газа и несколько миллионов тонн нефти в год – продукты современной генерации и эмиграции нефти и газа, не перехваченные ловушками и проницаемыми, заполненными водой пластами. Следовательно, предполагаемые масштабы генерации углеводородов должны быть увеличены во много раз. Постоянный выброс огромных объемов углеводородных флюидов, особенно в местах локализации каналов грязевых вулканов, активность которых определяется частотой их извержения, является показателем геофлюидодинамической активности региона.

С помощью непрерывных наблюдений методом высокоразрешающей объемной сейсморазведки возможно установить очаги возбуждения, выявляе-

ные в осадочном чехле, их морфологию и глубины зарождения (см. рис. 4, см. рис. 6, см. рис. 10).

Нестабильное, меняющееся во времени тектоно-напряженное состояние земной коры является действующей силой для активизации миграционных процессов. Оно вызывает различного рода деформацию и оказывает воздействие на прочностные свойства горных пород. Многолетние GPS-измерения современных горизонтальных движений и деформационных процессов, происходящих в Черноморско-Каспийском регионе, показывают, что в регионе существуют области геодинамической аномалии. В пределах таких областей происходит увеличение объема флюидов в скважинах в 2–5 раз. В скважинах, попадающих в зону аномального геодинамического влияния, пластовое давление изменяется на 1–5 МПа, пластовая температура повышается на 3–8 градусов. Породы, относящиеся к региональным покровкам, становятся флюидопроводящими [16–21, 36, 54].

Изучение активных геодинамических явлений позволяет обосновать наличие в осадочных бассейнах специфических очагов возбуждения – определенные объемы осадочного чехла, в которых происходят процессы образования углеводородов с большими скоростями и сопровождающиеся значительными динамическими эффектами. Основным фактором для генерации углеводородов в очагах возбуждения является реализация условий для фазовых переходов.

Генерация в очагах возбуждения сопровождается спонтанным разуплотнением осадочных толщ и, как показали сейсмические исследования, разуплотнения распределены дискретно, не по всему объему, они характеризуются значительной пространственно-временной изменчивостью. В зависимости от интенсивности и времени миграции из очага возбуждения, степень разуплотнения и консистенция осадочного материала меняются. Миграция флюидов вырабатывает в осадочном чехле субвертикальные каналы причудливой формы, заполненные разуплотненным осадочным материалом. Эти особенности отражаются на сейсмических диаграммах различным сейсмическим отражением.

В Черноморско-Каспийском регионе, в результате воздействия геодинамических процессов происходит дестабилизация с последующей активизацией геофлюидодинамической системы. Таким образом, повсеместно происходящие геодинамические процессы земной коры контролируют пространственное развитие геофлюидодинамических систем. При этом, начало активизации, цикличность, продолжительность геофлюидодинамических процессов зависят от характера геодинамических процессов, направлений, скорости и цикличности тектонических дислокаций [16].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенное комплексное исследование процессов, способствующих восполнению ресурсов и промышленных запасов углеводородов, оценка объемов и скоростей миграции углеводородов и сопутствующих им компонентов показывает, что в недрах геодинамически активных регионов в настоящее время функционирует непрерывный процесс преобразования донных пород и осадков Каспийского осадочного бассейна, в том числе с выделением разнообразных компонентов, способных в дальнейшем превратиться в углеводороды.

В пористой среде, характеризующейся метастабильностью, зонами и очагами возбуждения, способностью к фазовым переходам и насыщенностью углеводородным сырьем, происходит генерация углеводородов, восполнение запасов нефти и газа. Данную пористую среду мы предлагаем называть естественно-технологической линией.

Нефтегазовые месторождения можно рассматривать в качестве продукта функционирования таких естественно-технологических линий. Исследования возможности регенерации запасов нефтегазовых месторождений ведутся многими исследователями достаточно давно. Однако, большинство из них утверждают, что процесс их восстановления после интенсивной разработки занимает сотни лет. Существует также мнение, что в некоторых исключительных случаях запасы месторождений могут возобновляться значительно быстрее – в течение нескольких месяцев [9, 23]. Так, признаки возобновления запасов выработанных месторождений выявлены на территории Азербайджана, Татарстана, Чечни, Казахстана, в Прикаспии и Западной Сибири. Эти признаки повсюду имеют общие черты: пульсирующий характер работы скважин, эксплуатируемых на стадии истощения (нередко связано с проявлением сейсмичности), нефтегазопроявления из ликвидированных скважин (не всегда объяснимых техногенными причинами), слишком долговременная работа отдельных скважин, дебиты и суммарный отбор нефти из которых никак не согласовываются с подсчитанными и неоднократно пересчитанными запасами углеводородов.

Если предположить, что каждое месторождение нефти и газа является углеводородной системой, то ее элементы, такие как энергетическое состояние системы и процессы, влияющие на нее, входящие (поступление) и выходящие (потери) связи системы, то рассмотренными нами методами можно исследовать причины регенерации и восполнения запасов углеводородов такого месторождения. Признание за месторождением углеводородов состояния динамической системы, элементы которого взаимодействуют и влияют как друг на друга, так и с внешней средой можно проследить и изучить процесс восполнения запасов углеводородов.

Это даст возможность моделировать, прогнозировать разработку и эксплуатацию месторождения на ближайшее и отдаленное будущее, а также изучить историю эксплуатации месторождения и синхронность развития отдельных подсистем и элементов. Для этого целесообразно воспользоваться инструментарием системного подхода.

Изучение каждого месторождения углеводородов в качестве открытой многоуровневой динамической системы значительно повышает уровень понимания процесса регенерации, прежде всего, как восстановления целостности этой системы, ее термодинамического состояния, равно как и связи системы с внешней средой. Применение разработанной нами комплексной методики позволяет более надежно определить возможность восполнения запасов углеводородов месторождения.

Таким образом, восполнение запасов углеводородов месторождений имеет следующие причины:

- Подпитка месторождений новыми порциями углеводородов за счет генерации и эмиграции из очагов возбуждения в толщах нефтематеринских пород из генерационно-аккумуляционных углеводородных систем, на более поздних этапах эволюции осадочного бассейна, что служит и причиной восполнения углеводородов. Способность месторождения к восполнению углеводородов зависит от близости месторождения к источнику генерации и наличия путей миграции углеводородов – разломы, грязевые вулканы и др.

- Регенерация энергетического состояния месторождения. В процессе разработки месторождения, давление в пласте постепенно падает и после определенного застоя закономерно происходит регенерация энергетического состояния месторождения.

- Восполнение запасов может происходить также после разработки месторождений, в зонах, не охваченных разработкой, где осталось предположительное количество нефти и происходят процессы сегрегации, гравитационного разделения. В результате внутрислоевых движений происходит перераспределение остаточных запасов нефти, которая всплывает в кровлю пласта, и начинается формирование вторичных залежей нефти или газа.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного исследования позволяют предложить следующую концепцию восполнения ресурсов и запасов углеводородов.

1. Генерация, миграция и аккумуляция углеводородов являются составной частью процессов превращения – перераспределения вещества, которые протекают в результате геодинамических и геофлюидодинамических процессов во всем объеме осадочного чехла и на всех этапах эволюции осадочных бассейнов.

В пределах изменения перераспределения объемов осадочных бассейнов возникают очаги фазовых переходов — очаги возбуждения, в которых происходит переход части осадочного материала из структурированного, слоистого состояния в аморфную брекчированную массу. Именно эти очаги возбуждения являются местом генерации и эмиграции углеводородов на более поздних этапах эволюции бассейна, что, по нашему мнению, служит главным источником восполнения углеводородов.

2. Генерация и миграция углеводородов происходит периодически и с большими скоростями в период фаз возбуждения, которые по времени и масштабам проявления коррелируются с периодами активизации современных геодинамических процессов — сейсмичностью, землетрясениями и грязевым вулканизмом, которые взаимосвязаны также с солнечной активностью, лунно-солнечными приливами, колебаниями уровня моря и изменениями электромагнитных полей. Данные геологические события определяют интенсивность геофлюидодинамических процессов и активизируют процессы в очагах возбуждения.

3. Наличие локальных условий восполнения запасов углеводородов месторождений:

— подпитка месторождений новыми порциями углеводородов за счет генерации и эмиграции из очагов возбуждения на более поздних этапах эволюции бассейна;

— регенерация энергетического состояния месторождения;

— в результате процессов сегрегации, гравитационного разделения и внутрислоевого движения происходит формирование вторичных залежей нефти или газа.

Таким образом, на территории геодинамических активных регионов, каким является Черноморско-Каспийский регион, в результате воздействия геодинамических процессов происходит дестабилизация с последующей активизацией геофлюидодинамической системы.

4. Геодинамические процессы земной коры контролируют пространственное развитие геофлюидодинамических систем по преобразованию вещества осадочного чехла в энергетическое и химическое сырье.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Республиканскому Центру Сейсмологической Службы при Национальной академии наук Азербайджана (г. Баку, Азербайджан) и Институту нефти и газа Национальной академии наук Азербайджана (г. Баку, Азербайджан) за помощь в получении актуальных геологических материалов.

Авторы благодарны рецензенту д. г.-м. н. Т.Н. Херасковой (ГИН РАН, г. Москва) и анонимному рецензенту за полезные комментарии, авторы при-

знательны редактору М.Н. Шуплецовой (ГИН РАН, г. Москва) за тщательное редактирование.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-00069-20-02 от 10 сентября 2020 г. (тема № АААА-А20-120092590017-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев А.А. Грязевой вулканизм в Южно Каспийском нефтегазоносном бассейне // Геология и минеральные ресурсы Мирового океана. 2006. № 3. С. 35–51.
2. Алиев А.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. Атлас грязевых вулканов мира. — Баку: Нафта-Пресс, 2015. 322 с.
3. Бубнов С.Н., Докучаев А.Я., Гольцман Ю.В., Байрова Э.Д. Резургентные гипабиссальные гранитоиды Верхнекегемской кальдеры (Большой Кавказ). — В кн.: Граниты и эволюция Земли: граниты и континентальная кора. — О.Р. Минина (ред.). — Мат-лы II Международн. геол. конф. 17.11.2014 г. — Новосибирск: СО РАН. 2014. С. 36–38.
4. Бубнов С.Н., Докучаев А.Я., Курчавов А.М. и др. Плиоценовые игнимбреты Большого Кавказа: вещественный состав и источники расплавов // Журн. Сер. Науки о Земле: Геология. 2016. № 2. С. 12–51.
5. Гасанов А.Г., Керимова Р.А., Агапов Н.И. Связь сейсмичности, грязевого вулканизма, появления геохимических аномалий в подземных водах Каспийского региона // Отечественная геология. 2005. № 1. С. 69–72.
6. Геологический атлас России. — А.А. Смыслов (ред.). — М.—СПб.: Роскомнедра, ВСЕГЕИ, 1996. 40 карт в 4 разделах.
7. Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н. Фундаментальные проблемы нефтегазоносности Южно-Каспийского бассейна // ДАН. 2016. Т. 471. № 1. С. 62–65.
8. Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Осипов А.В., Мустаев Р.Н. Генерация и аккумуляция углеводородов в условиях больших глубин земной коры // SOCAR Proceed. 2017. Т. 1. С. 4–16. (На русском языке). <https://doi.org/10.5510/OGP20170100302>
9. Гулиев И.С., Левин Л.Э., Федоров Д.Л. Углеводородный потенциал Каспийского региона (системный анализ). — Баку: Нафта-Пресс, 2003. 127 с.
10. Дадашев Ф.Г. Углеводородные газы грязевых вулканов Азербайджана. — Баку: Азернешр, 1963. 67 с.
11. Иванов А.Ю. Нефтяные загрязнения моря на радиолокационных изображениях КА “Космос-1870” и “Алмаз-1” // Исследование Земли из космоса. 1997. № 6. С. 70–80.
12. Иванов А.Ю., Востоков С.В., Ермошкин И.С. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации (на примере Каспийского моря) // Исследование Земли из космоса. 2004. № 4. С. 82–92.
13. Иванов А.Ю., Голубов Б.Н., Затягалова В.В. Прогноз нефтегазоносности и поиск нефтяных месторождений в море по данным космической радиолокации // Технологии ТЭК. 2007. № 4. С. 26–33.

14. Карта масштаба 1 : 2500000. Каспийское море. Месторождения нефти и газа. — Н.А. Крылов (ред.). — М.: Роскартография ИНКОТЭК, 2005.
15. Карта четвертичных (неоплейстоценовых) отложений и элементы палеогеографии Каспийского региона. Масштаб 1 : 2500000. — Ю.Г. Леонов (ред.). — М.: ГИН РАН, Научный Мир, 2004.
16. *Касьянова Н.А.* Современная геодинамика земных недр и надежность трубопроводных систем в Черноморско-Каспийском регионе: от теории до реального прогноза. — В сб.: *Влияние сейсмической опасности на трубопроводные системы в Закавказском и Каспийском регионах*. — Мат-лы Междуна-родн. симп. 30–31 мая 2000 г., Москва. — М.: ВНИИ ПГОиЧС МЧС России, 2000. С. 172–177.
17. *Касьянова Н.А., Кузьмин Ю.О.* Современная аномальная геодинамика недр и ее влияние на объекты нефтегазового комплекса. — М.: АОЗТ “Геоинформмарк”, 1996. 54 с.
18. *Керимов В.Ю., Леонов М.Г., Осипов А.В., Мустаев Р.Н., Хай В.Н.* Углеводороды в фундаменте шельфа южно-китайского моря (Вьетнам) и структурно-тектоническая модель их формирования // *Геотектоника*. 2019. № 1. С. 44–61.
19. *Керимов В.Ю., Рачинский М.З.* Геофлюидодинамическая концепция аккумуляции углеводородов в природных резервуарах // *ДАН*. 2016. Т. 471. № 2. С. 187–190.
20. *Керимов В.Ю., Рачинский М.З., Мустаев Р.Н., Осипов А.В.* Геофлюидодинамические критерии прогнозирования нефтегазоносности в регионах Альпийской складчатости // *ДАН*. 2017. Т. 476. № 2. С. 209–212.
21. *Корчагин В.И.* Нефтеподводящие каналы // *Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений*. 2001. № 8. С. 24–38.
22. *Леонов М.Г., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Ву Н.Х.* К вопросу о природе и механизме формирования залежей углеводородов на шельфе Вьетнама // *Тихоокеанская геология*. 2020. Т. 39. № 5. С. 3–16.
23. *Муслимов Р.Х., Глумов И.Ф., Плотникова И.Н., Трофимов В.А., Нургалиев Д.К.* Нефтяные и газовые месторождения — саморазвивающиеся и постоянно возобновляемые объекты // *Геология нефти и газа*. 2004. № 1 (спец. вып.). С. 43–49.
24. *Муслимов Р.Х., Плотникова И.Н.* Кристаллический фундамент осадочных бассейнов — ключ к пониманию процессов нафтидогенеза. — Мат-лы Междуна-родн. научно-практической конф. “*Углеводородный и минерально-сырьевой потенциал кристаллического фундамента*”, Казань: Ихлас, 2019. С. 237–240.
25. Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. — В кн.: *Методы и средства борьбы с нефтяным загрязнением вод Мирового океана*. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. Т. 8. 208 с.
26. *Соколов С.Ю.* Глубинное геодинамическое состояние и его сопоставление с поверхностными геолого-геофизическими параметрами вдоль субширотного разреза Евразии // *Геодинамика и тектонофизика*. 2019. Vol. 10. № 4. P. 945–957.
27. *Соколов С.Ю., Трифонов В.Г.* Роль астеносферы в перемещении и деформации литосферы: Эфиопско — Афарский суперплюм и Альпийско–Гималайский пояс // *Геотектоника*. 2012. № 3. С. 1–16.
28. *Трофимов В.А., Корчагин В.И.* Нефтеподводящие каналы: пространственное положение, методы обнаружения и способы их активизации // *Георесурсы*. 2002. Т. 9. № 1. С. 18–23.
29. *Уломов В.И.* Выявление потенциальных очагов и долгосрочный прогноз сильных землетрясений на Северном Кавказе. — В кн.: *Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы*. — Монография в 8 томах. — Н.П. Лаверов (ред.). — Том 1. *Сейсмические процессы и катастрофы*. — А.О. Глико (ред.). — М.: ИФЗ РАН, 2008. Т. 1. С. 127–146.
30. *Хасаева А.Б., Рашидов Т.М., Гусейнов А.Р.* К вопросу о внутреннем строении грязевого вулкана Локбатан // *Геофизические инновации в Азербайджане* (ежекварт. научно-техн. журн.). 2016. № 1–2. С. 41–44 (на азербайджанском языке).
31. *Шнюков Е.Ф.* Грязевой вулканизм в черном море // *Геофизический журн*. 1999. № 2. С. 38–46.
32. *Якубов А.А., Ализаде А.А., Зейналов М.М.* Грязевые вулканы Азербайджанской ССР. — Баку: Элм, 1971. 257 с.
33. *Alizadeh A., Guliyev I.S., Kadirov F.A., Eppelbaum L.V.* Economic geology and applied geophysics, In: *Geosciences of Azerbaijan*, Ed. by R. Oberhänsli, (NY: Springer, 2017, Vol. II), pp. 340.
34. *Babayev D.H., Hadjiyev A.N.* Deep structure and hydrocarbon potential of the Caspian Sea, (Baku: Nafta Press, 2006), 332 p.
35. Bonn agreement counter pollution manual. <https://www.bonnagreement.org/publications> (Accessed January 11, 2021).
36. *Dixon T.H.* An introduction to the Global Positioning System and some geological applications // *Rev. Geophys.* 1991. Vol. 29. № 2. P. 249–276.
37. GAMIT. — <http://geoweb.mit.edu/gg/> (Accessed January 11, 2021).
38. *Guliyev I.S., Feizullayev A.A.* All about Mud Volcanoes. — Ed. by A.A. Alizadeh, (Baku: Nafta-Press, 1997), 1997. 52 p.
39. *Judd A.G., Hovland M., Dimitrov L.I., García Gil S., Jukes V.* The geological methane budget at continental margins and its influence on climate change // *Geofluids*. 2002. № 2. P. 109–126.
40. *Kerimov, V.Yu., Gordadze G.N., Mustae R.N., Bondarev A.V.* Formation conditions of hydrocarbon systems on the sakhalin shelf of the sea of okhotsk based on the geochemical studies and modeling // *Oriental J. Chem.* 2018. Vol. 34. № 2. P. 934–947.
41. *Y. Liu, Mrinal K.* Sen Advanced finite-difference methods for seismic modeling // *Geohorizons*. 2009. Vol. 14. No. 2. P. 5–16.
42. *MacDonald I.R.* Natural oil spills // *Sci. Am.* 1998. Vol. 279. № 5. P. 51–66.
43. *MacDonald I.R., Guinasso N.L. Jr., Ackleson S.G. et al.* Natural oil slicks in the Gulf of Mexico visible from space // *J. Geophys. Res.* 1993. Vol. 98. № C9. P. 16351–16364.
44. *Miranda F.P., Marmol A.M.Q., Pedrosa E.C. et al.* Analysis of Radarsat-1 data for offshore monitoring activities in the Cantarell Complex, Gulf of Mexico using the unsupervised semivariogram textural classifier (USTC) // *Canad. J. Remote Sens.* 2004. Vol. 30. № 3. P. 424–436.

45. *Pepper A.S., Corvi P.J.* Simple kinetic models of petroleum formation. Part I: oil and gas generation from kerogen // *Marin. Petrol. Geol.* 1995. Vol. 12. № 3. P. 291–319.
46. Pyrolytic method “Rock-Eval”. — https://studopedia.su/10_146414_Rock-Eval.html (Accessed January 11, 2021).
47. *Rachinsky M.Z., Kerimov V.Y.* Fluid dynamics of oil and gas reservoirs. — Ed. by M.V. Gorfunkel, (Scrivener Publ. — Wiley, NY, USA, 2015). pp. 622.
48. *Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R.* GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions // *J. Geophys. Res. Ser.: Solid Earth.* 2006. Vol. 111. № B5. P. 1–52.
49. *Scantland S., Biegert E.K.* Radar locates offshore oil slicks // *Earth Observ. Magazine.* 1996. Vol. 5. P. 30–32.
50. *Sheory P.R.* A theory for in situ stresses in isotropic and transversely isotropic rock // *Int. J. Rock Mech. Miner. Sci. & Geomech. Abstr.* 1994. Vol. 31. № 1. P. 23–34.
51. *Sosson M., Stephenson R., Sheremet Y., Rolland Y., Adamia S., Melkonian R., Kangarli T., Yegorova T., Avagyan A., Galoyan G., Danelian T., Hassig M., Meijers M., Mueller C., Sahakyan L., Sadradze N., Alania V., Enukidze O., Mosar J.* The eastern Black Sea–Caucasus region during the Cretaceous: New evidence to constrain its tectonic evolution // *Comptes Rendus. Geoscience.* 2016. Vol. 348. № 1. P. 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2015.11.002>
52. *Tibaldi A., Bonali F.L., Russo E., Pasquarè Mariotto F.A.* Structural development and stress evolution of an arcuate fold-and-thrust system, southwestern Greater Caucasus, Republic of Georgia // *J. Asian Earth Sci.* 2018. Vol. 156. P. 226–245.
53. *Tibaldi A., Oppizzi P., Gierke J., Oommen T., Tsereteli N., Gogoladze Z.* Landslides near Enguri dam (Caucasus, Georgia) and possible seismotectonic effects // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2019. Vol. 19. № 1. P. 71–91.
54. *Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T., Bonali F.L., Russo E., Kadirov F., Yetirmishli G., Kazimova S.* Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus // *J. Asian Earth Sci.* 2020. Vol. 188. P. 1–18.
55. *Veseky I.F., Stewart R.H.* The observation of ocean surface phenomena using imagery from the SEASAT SAR: An assessment // *J. Geophys. Res.* 1982. Vol. 87. № C5. P. 3397–3430.
56. *Williams A., Huntley A.* Oil from space – detecting the sleeping giants of the deep-water Caspian by satellite, In: *Petroleum Exploration Society Conference, 1–3 Dec. 1998, London, UK*, (Petex, London, UK, 1998), P. 327–344.
57. *Wilson R.D., Monaghan P.H., Osanik A. et al.* Natural marine oil seepage // *Science.* 1974. Vol. 184. P. 857–865.
58. World Stress, Map project database using CASMO. — <http://www.world-stress-map.org/casmo/> (Accessed January 11, 2021).
59. *Yetirmishli G.J., Mammadli T.Y., Kazimova S.E.* Features of seismicity of Azerbaijan part of the Greater Caucasus // *J. Georgian Geophys. Soc. Ser.: Phys. Solid Earth.* 2013. Vol. 16a. Is. A. P. 55–60.
60. *Yusubov N.P.* Features of seismicity and gas fields in Azerbaijan // *Geophysics.* 2012. Vol. 2. P. 48–53.

Modern Geodynamic Processes and Their Impact on Replenishment of Hydrocarbon Resources in the Black Sea–Caspian Region

I. S. Guliev^a, V. Yu. Kerimov^b, G. D. Etirmishli^c, N. P. Yusubov^a, R. N. Mustaev^{b,*}, A. B. Huseynova^a

^a*Institute of Oil and Gas of Azerbaijan National Academy of Sciences, bld. 9 F. Amirova str., Az 1000 Baku, Azerbaijan*

^b*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, bld. 23 Miklouho-Maclay str., 117997 Moscow, Russia*

^c*Republican Seismic Survey Center of Azerbaijan National Academy of Sciences, bld. 25 Nigar Rafibeyli str., Az 1000 Baku, Azerbaijan*

*e-mail: r.mustaev@mail.ru

In recent years, studies of the stress state of the earth's crust and the velocities of plate movement of the Caucasian folded system relative to the continent of Eurasia, analysis of foci of underwater degassing and underwater volcanism, as well as seismogeological modeling, suggest that the combination of these processes has a positive effect on the replenishment of hydrocarbon resources in the Black Sea–Caspian region. They activate the geo-fluid-dynamic systems of the region. The process of replenishment of hydrocarbon resources is associated with the restoration of the energy state of hydrocarbon deposits at various stages of their development and physicochemical fluid-dynamic factors. The comprehensive generalization, seismic-geological modeling of mud volcanoes and analysis of various-scale factual material allow us to assert that modern foci of hydrocarbon generation are functioning in the depths of the Black Sea–Caspian region – natural laboratories and technological lines for converting fluid accumulations into industrial energy and chemical raw materials. We consider hydrocarbon deposits as a product of the functioning of such natural technological lines.

Keywords: geodynamics, mud volcanism, tectonic activity, earthquakes, oil, gas, resources, hydrocarbon generation, hydrocarbon migration, sources of excitation, oil and gas source strata