

YER ELMLƏRİ

УДК 551.21

ГИГАНТСКИЕ ГРЯЗЕВУЛКАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
ЮЖНО-КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНАН.П.Юсубов¹, академик НАН Азербайджана И.С.Гулиев²

Принято, что месторождения нефти, газа и газоконденсата, обнаруженные в Южно-Каспийском бассейне (ЮКБ), пространственно связаны с грязевыми вулканами. Объективный анализ такой связи может быть получен на основе геологической интерпретации данных 2D/3D сейсморазведки. Информация, содержащаяся в сейсмических данных, позволяет определить основные этапы формирования грязевого вулкана и его эруптивного канала, а также роль этого природного процесса в формировании залежей углеводородов в ЮКБ. По результатам выполненной работы установлено, что выявленные в Южно-Каспийском бассейне объекты, принятые ранее за антиклинальные структуры, являются гигантскими грязевыми вулканами.

Ключевые слова: грязевой вулкан, эруптивный канал, майкопские отложения, сейсморазведка, вал

Введение

В мире насчитывается более двух тысяч грязевых вулканов (ГВ) и грязевовулканических проявлений. ГВ представляют собой один из важнейших механизмов глобальной метановой дегазации Земли, вносят существенный вклад в явление парникового эффекта, также создают опасность при бурении разведочных и эксплуатационных нефтегазовых залежей скважин и большую опасность для судоходства. Интерпретация сейсмических данных с использованием особенностей связи отраженного волнового поля с элементами геологической среды, позволяет определить основные этапы эволюционного развития осадочного бассейна, а также и грязевовулканической системы, как элемента геологической среды исследуемого региона.

Морфология поверхностной структуры ГВ на суше изучена достаточно детально морфометрическим способом и радарной съемкой. В большинстве опубликованных работ исследуются поверхностная геометрия и вещественный состав твердых выбросов и флюидов грязевых вулканов на суше [1,2].

Во многих опубликованных работах также имеется информация об использовании данных сейсморазведки методом отраженных волн (МОВ) с целью определения природы грязевовулканических проявлений [3-6]. В результате этих исследований были определены некоторые структурные элементы грязевых вулканических систем, развитых и на суше и в морских акваториях.

В целом, до настоящего времени обобщающих работ, в которых на обширном сейсмическом материале были бы описаны все составные части грязевовулканической системы, их морфология и прочие особенности, нет. В данной статье сделана попытка рассмотреть некоторые из этих вопросов на примере Южно-Каспийской грязевовулканической провинции. По результатам работы установлено, что некоторые объекты, принятые ранее за антиклинальные структуры, валы, массивы и т.д., являются составными частями гигантских грязевовулканических систем.

Методика и исходные данные

При выполнении данного исследования использованы 2D и 3D сейсмические

данные, зарегистрированные на территории Азербайджана. Они были получены по методике общей глубинной точки (МОГТ), выполненной с использованием стандартного буксируемого стримера (море) и сейсмического полевого оборудования (суша). Основной методической проблемой ранее проводимых исследований грязевулканических систем является то, что геологическая интерпретация временных разрезов проводилась без учета динамических и кинематических особенностей отраженного волнового поля, подвергнутого искажениям из-за влияния изучаемой геологической среды.

Известно, что отраженное от нижнего этажа геологического разреза сейсмическое временное поле всегда содержит в себе информацию об искажающем влиянии верхнего структурного этажа. Это искажение может быть уменьшено, во-первых, использованием для обработки данных сейсморазведки МОГТ метода замещения «слоя». При этом геолого-геофизические параметры «слоя» (верхней неоднородности) должны быть известны до обработки данных сейсморазведки, что требует дополнительных исследований и затрат. Поэтому эта методика применяется крайне редко.

Вторым способом можно считать миграционные преобразования до и после суммирования сейсмозаписей. Сегодня такая методика обработки сейсмозаписей применяется повсеместно. Однако в этом случае требуется хорошее знание скоростной модели среды, которая включает в себя информацию о неоднородностях, созданных грязевулканическими системами.

Третьим способом можно считать сейсмогеологическое моделирование, требующее интерактивного подхода. Последнюю методику мы использовали и ранее [3-6] при исследованиях, цель которых заключалась в разъяснении причин неинформативности части временных разрезов под эруптивным каналом ГВ.

Корни грязевых вулканов на основе петрографического анализа брекчий грязевых вулканов и данных сейсморазведки

В работах [1-7] вопрос о корнях ГВ рас-

смотрен более подробно, поэтому здесь мы затронем его в очень краткой форме.

В выбросах очень многих ГВ олигоцен-миоценовые осадки, и особенно породы майкопской свиты, преимущественно глинистые, составляют наибольший процент, а обломки песчаников и известняков – лишь 7-8% [1]. Это свидетельствует о том, что в образовании ГВ брекчии принимают участие породы олигоцен-миоценового возраста – главным образом, майкопская свита. Этот важный вывод, сделанный на основе петрографического и геохимического анализов брекчий грязевых вулканов, расположенных на суше [1], подтверждают и результаты 2D и 3D сейсмических исследований, выполненных на морской части территории Азербайджана [3-6]. Отметим, что в районах распространения ГВ мощность покрывающего интервала разреза местами в 3-5 раз больше майкопского. Однако в продуктах извержения грязевого вулкана образцы из этого интервала незначительны. Как показали результаты наших исследований, это происходит по причине опережения роста эруптивного канала процессу накопления осадочного материала в округе ГВ. Если происходит обратный процесс, то тогда формируются погребенные вулканы, что является дополнительным доказательством сказанного.

Время и механизм формирования грязевых вулканов

Важнейшими моментами понимания природы грязевого вулкана является определение глубины очага формирования (или времени формирования) эруптивного канала и его геометрии.

Рассмотрим процесс формирования ГВ на примере схематической (концептуальной) модели осадконакопления в четырех основных фазах (рис. 1а и 1б). С увеличением объема обломочного материала (рис. 1а), сносившегося в бассейн осадконакопления, растет геостатическое давление на нижнюю, в данном случае, грязевую массу (отмечено серым цветом – V1, V2, V3, V4), среду.

В условиях, когда легкая (менее плотная) жидкость находится ниже более тяже-

лой (более плотной) создается среда, в которой происходит интрузия более легкой жидкости в более плотную среду [3-6]. В результате этого процесса, называемого неустойчивостью Релея-Тейлора, силы, образованные седиментационной нагрузкой, распределяются по всей поверхности интрузии (относительно жидкой массы) равномерно, вследствие чего на выпуклой поверхности пласта создается зона растяжения и система разрывов (рис.1б). Эти разрывы являются первыми каналами, по которым разжиженная глиняная масса выжимается в направлении дневной поверхности, т.е. формируется вторая фаза (рис.1а). Иными словами, создается очаг и эруптивный канал (корень) ГВ. Кроме этого, по мере погружения, насыщенные органическим веществом майкопские отложения попадают в благоприятные термобарические условия для генерации углеводородов, что приводит к увеличению объема заполняющих поры флюидов. В свою очередь, увеличение объема поровых флюидов способ-

ствует развитию аномально высоких поровых давлений, достаточных для усиления процесса внедрения менее плотной глинистой массы майкопа в вышележащие, сформированные из более плотных пород, пласты.

По истечении времени объем осадков, привносившихся в бассейн, увеличивается, и синхронно этим процессам растет и геостатическое давление. В результате этого процесса формируются 3 и 4 фазы.

Как видно из концептуальной модели, в составе выдавливаемой грязевой массы обломки пород из верхней среды не участвуют. По схеме видно, что на всех стадиях процесса объем грязевой массы сохраняется, что приводит к общему процессу оседания поверхности осадконакопления. Многочисленные реальные сейсмические временные разрезы также позволяют получить аналогичный ответ на эти и другие вопросы.

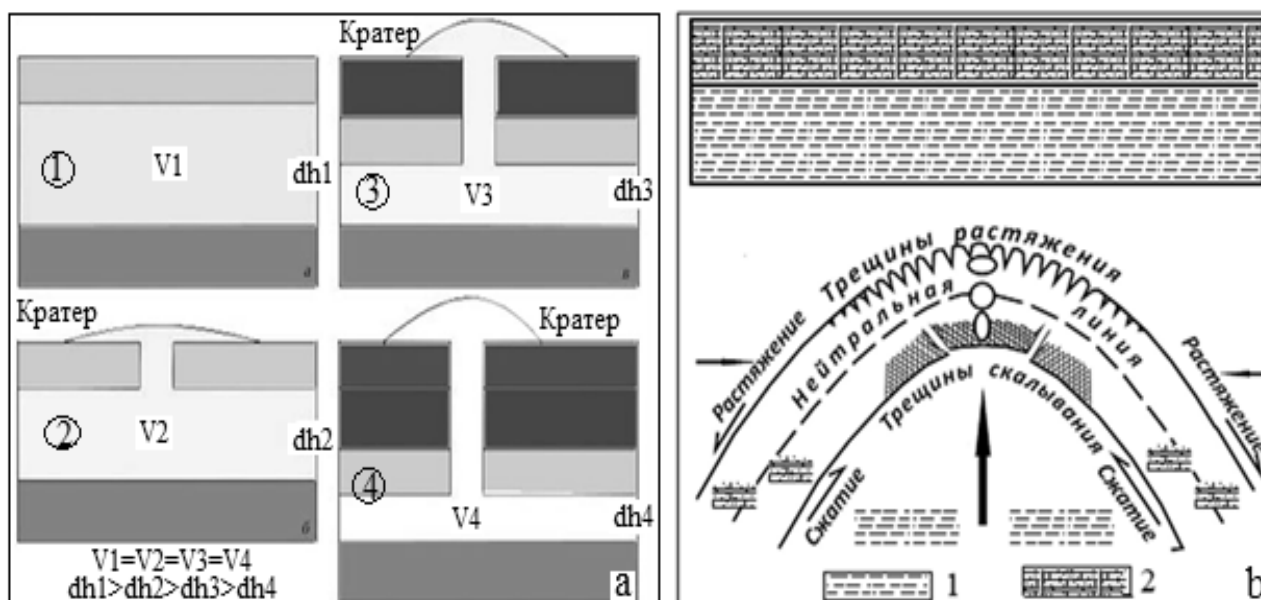


Рис.1. Модели двухмерного разреза, показывающего дискретные фазы формирования грязевого вулкана (а) и начальной фазы образования глиняного диапира (б): 1-глины, обладающие свойствами неньютоновской жидкости, 2-песчаник. Цифры в кружках на рисунке (а) указывают на фазы процесса интрузии

Площади распространения грязевулканических систем и гигантские грязевые вулканы

Грязевые вулканы очень редко бывают одиночными. Чаще они группируются в наземные или подводные провинции. Наиболее крупные ГВ сосредоточены в пределах юго-западного Гобустана, Нижнекуринской и Южно-Каспийской впадинах, охваченных майкопским бассейном осадконакопления (рис. 2).

По данным одного из новейших исследований [7] на территории Азербайджана закартировано свыше 277 грязевых вулканов, 76 грязевулканических проявлений и 3 погребенных вулкана. На этих цифрах, не подтверждающихся данными сейсморазведки, остановимся чуть позже.

По литературным данным ГВ связаны с антиклинальными поднятиями и, как правило, пространственно совпадают с крупными нефтяными и газовыми месторождениями. Они являются следствием переноса сжиженных отложений к поверхности земли, где могут представлять правильную форму конусов длиной до 10 километров и

высотой 500 и более метров. Другие грязевые вулканы соответствуют гладким куполам или грязевым щитам, которые являются результатом массивного извержения грязи, которая может распространяться и течь на большое расстояние от эруптивного канала. В некоторых случаях эруптивные каналы могут быть распределены случайным образом или расположены вдоль систем линейных или круговых трещин.

Однако данные сейсморазведки не всегда подтверждают эти выводы. На рис. 3 показан временной разрез по линии I – I (местоположение указано на рис. 2). По волновой картине, представленной на временном разрезе, отчетливо вырисовываются эруптивные каналы нескольких ГВ, известных по данным акустической и сейсмической съемки – Дж.Булла, Дж.Зафар, Безымянный на вале Ататюрк, Дж.Чобанзаде, Безымянный над валом Хулуфлу и северо-западной частью массива Година. Отметим, что безымянные вулканы над валами Ататюрк и Хулуфлу выявлены нами впервые, так же как и сам вал Хулуфлу.

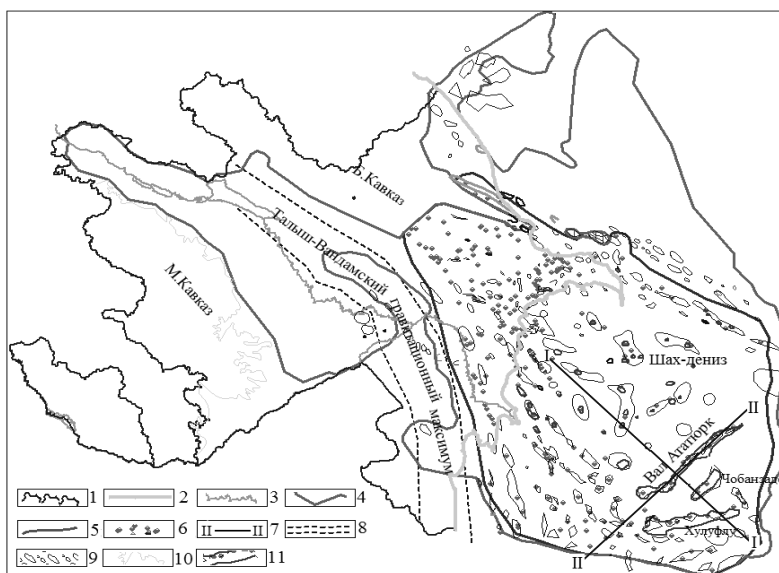


Рис.2. Ареал накопления майкопских отложений и развития грязевого вулканизма. 1-Государственная граница, 2-береговая линия Каспийского моря, 3- русло рек Кура и Аракс, 4-граница майкопских отложений, установленная сейсморазведкой, 5-площадь распространения грязевых вулканов, 6-грязевые вулканы, 7-линии сейсмических профилей, 8- линии по границе Талыш-Вандамского гравитационного максимума, 9-структуры, обнаруженные по данным геологической съемки и сейсморазведки, 10-линия выхода на поверхность мезозойских отложений, 11-грязевые вулканы, площади которых установлены по данным сейсморазведки (по поверхности сураханской свиты продуктивной толщи)

На первый взгляд все отмеченные ГВ являются самостоятельными единицами. Однако, как показали результаты анализа волнового поля по временному разрезу (рис.4) по линии II – II (местоположение указано на рис. 2) все ГВ над валом Ататюрк являются составной частью самостоятельной структуры, ядро которой состоит из грязевулканической массы, занимающей пространство $\sim 98 \times 6.5 \times 10 = 6370 \text{ км}^3$. Ранее над этим валом закартирован [7] ряд самостоятельных ГВ – Араз, Алов, Шарг-1, 2, 3, 4, 5, Ататюрк и др. Данные сейсморазведки (рис. 4) показали, что корни всех названных ГВ одинаковые и они разнятся

только со времени верхов сураханской свиты продуктивной толщи. Эти и другие результаты интерпретации сейсмических данных, зарегистрированных на суше и на море, показали, что грязевые вулканы, имеющие один общий корень, можно рассматривать как один гигантский ГВ.

Аналогичный вывод получен по начальной части сейсмического временного разреза, полученной по линии II-II, где нами обнаружена группа безымянных ГВ. Здесь волновое поле представляет группу погребенных и неизвестных до сих пор ГВ с общими корнями.

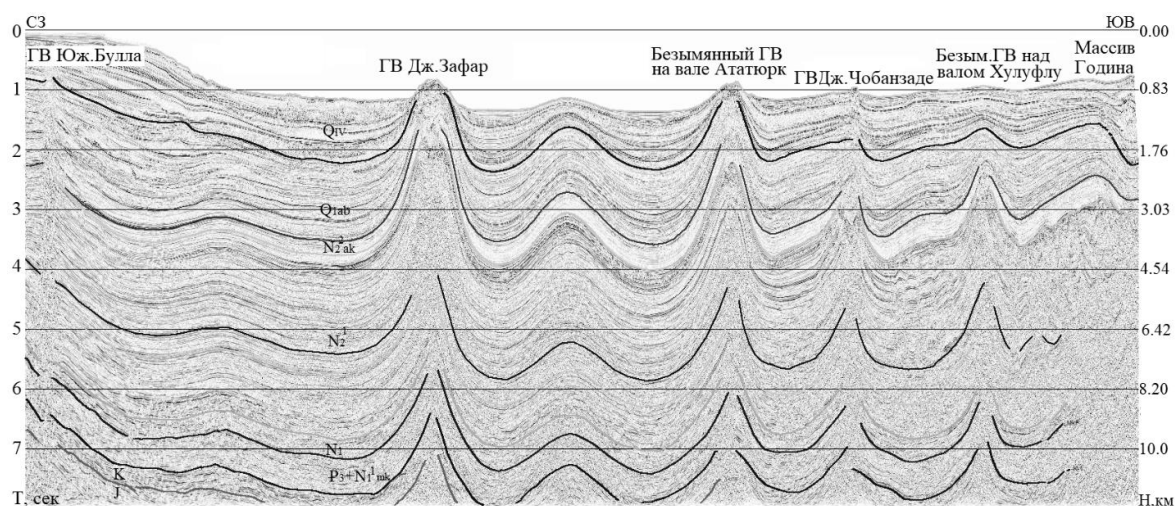


Рис.3. Временной разрез по линии I-I (рис.2)

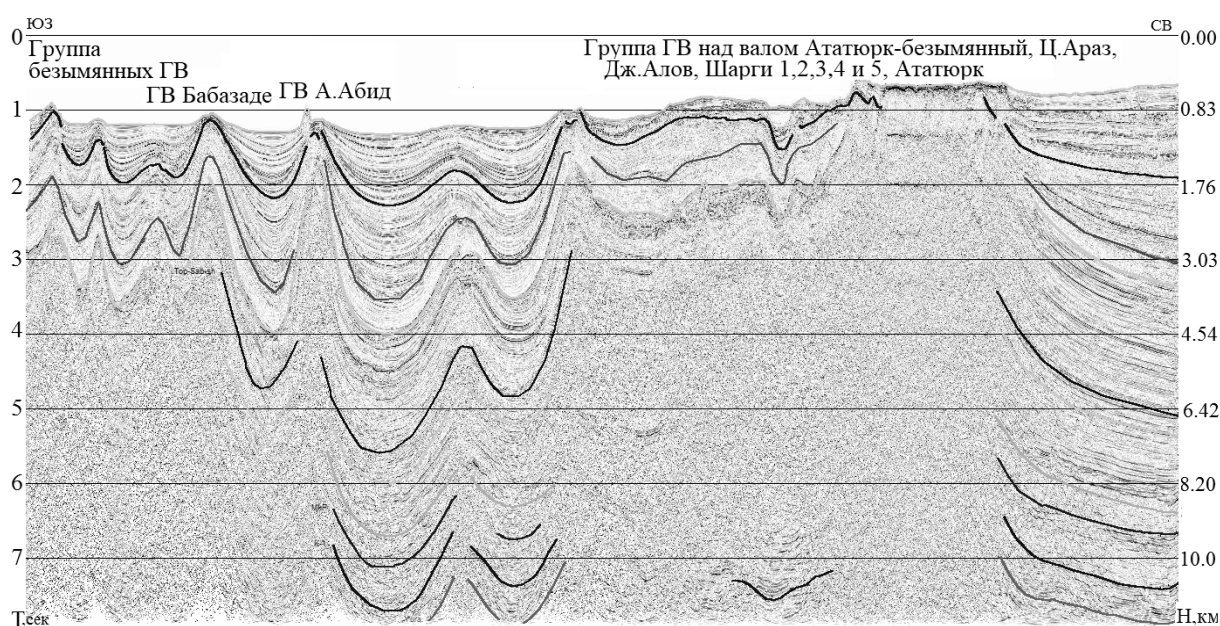


Рис.4. Временной разрез по линии II-II (рис. 2)

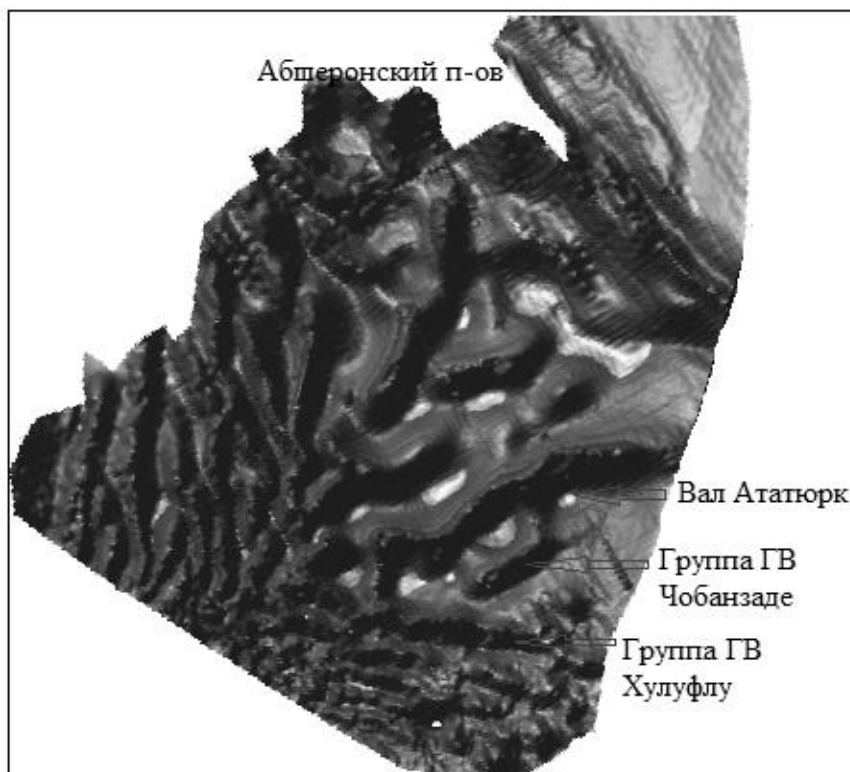


Рис.5. Рельефная карта по поверхности сураханской свиты. Карта построена на основе данных 2D сейсморазведкой методом общей глубинной точки, выполненной в Южно-Каспийской впадине. По карте видно, что многие поднятия (иногда называемые валами) имеют общее ядро

Результаты проведенного исследования показали, что в Южно-Каспийской впадине имеются системы ГВ с общими корнями. Это хорошо видно по карте поверхности сураханской свиты продуктивной толщи, представленной на рис.5, в трехмерном пространстве.

В связи с этим о конкретном количестве ГВ, расположенных на ЮКБ, говорить крайне трудно. Это относится и к количеству ГВ на суше. Например, как показали результаты сейсморазведочных работ, ГВ Канизадаг и вокруг него несколько вулканов имеют общие корни, которые также разделяются, только на поверхности нижнего плиоцена.

Обсуждение результатов

Грязевулканические системы синхронизированы во времени и пространстве с основными складками, что хорошо видно на сейсмических временных разрезах, показанных на рис.3 и 4. По ним отчетливо видны

каналы движения грязевой массы в вертикальном направлении, а также участки, где кинематические и динамические параметры отраженного волнового поля искажены под влиянием неоднородностей, создаваемыми эруптивными каналами ГВ.

Вероятная схема формирования эруптивного канала ГВ подробно описана в начальной части статьи на примере четырехфазной модели (рис.1). Формируется ГВ за счет энергии, создаваемой внутри самой грязевулканической системы, и основная роль в этом процессе принадлежит гравитационной неустойчивости системы Релей-Тейлора. Флюиды со свойствами неньютоновской жидкости [4,5] являются основным геодинамическим фактором, приведшим к процессу формирования эруптивного канала ГВ и миграции грязевой массы из нижнего этажа в верхние через него.

Как показывают данные сейсморазведки, возраст очагов грязевых вулканов связан с майкопскими отложениями, что совпадает

с результатами выполненных ранее работ на основе палеонтологических и геохимических исследований твердых выбросов грязевых вулканов [1].

Предположения о миграции углеводородов по субвертикальным глубинным разломам и тектоническим нарушениям не находят подтверждения по результатам интерпретации данных сейсморазведки. Дело в том, что в пределах Южно-Каспийского бассейна большинство разломов, образованных в результате Альпийской складчатости, не находят своего отображения на кайнозойском этаже геологических разрезов; зоны нарушения сплошности пластов на кайнозойском интервале рассредоточены в основном по контуру диапировых структур [3,6].

После формирования нефти и газа в материнской породе некоторая часть их выдавливается из непроницаемого сланца за счет энергии, созданной во внутренней среде. Этому процессу способствует и геостатическое давление, созданное вышележащим комплексом отложений – над материнской толщей. При этом пласт-проводник должен быть представлен высокопроницаемыми породами. При отсутствии таковых роль проводника отводится трещинам растяжения и скалывания, создаваемым в результате грязевого вулканизма, происхождение которого связано с неустойчивостью Релея–Тейлора, приводящего к образованию интрузий, называемых глиняными диапирами. Образование подобного рода интрузий возможно при формировании осадочной системы, состоящей из переслаивающихся глин с песками, так как в таких системах легкая жидкость находится ниже более тяжелой, она всегда стремится вверх. Как видно из рис.1б, образованная под воздействием седиментационной нагрузки сила распределяется по всей поверхности жидкой массы равномерно, в результате чего в вогнутой вверх поверхности создаются зона растяжения и система разрывов. Эти разрывы являются первыми каналами, по которым разжиженная глиняная масса выжимается в сторону дневной поверхности. В результате

этих процессов элизионная система, наполненная неньютоновской жидкостью (в нашем случае майкопские глины), вызывает дополнительные силы растяжения по поверхности интрузии, создающие разрывные нарушения на вышележащем пространстве, по которому происходит внезапная разгрузка напряжений; неньютоновская жидкость разжижается и устремляется вверх по разрывам, создаваемым самим процессом. Очевидно, что эта жидкость, содержащая массу грязи и углеводорода, первоначально заполняет пористые зоны газом, нефтью и водой. Процесс продолжается до тех пор, пока давление, созданное нагнетаемой жидкостью, выше давления в поровом пространстве. Так создаются залежи и эруптивные каналы грязевого вулкана. Как показывают результаты геологической интерпретации данных сейсморазведки, в создании залежей и эруптивных каналов грязевых вулканов участвует глинистый материал, выжимаемый из площади радиусом 100 км и более, что создает благоприятные условия для горизонтальной (в начале) и вертикальной миграции углеводородов.

Грязевой вулканизм в ЮКБ является одним из основных механизмов, создающим процесс миграции углеводородов в трехмерной геологической среде. При этом каналами миграции служат эруптивные каналы грязевых вулканов и трещины растяжения, созданные процессом формирования диапировых структур.

Выводы

1. Впервые по результатам 2D/3D сейсмических исследований выявлены гигантские грязевулканические системы, не имеющие аналогов в мире как по размерам, так и по объему вовлеченного разуплотненного вещества.

2. Результаты проведенного исследования показали, что в Южно-Каспийской впадине отдельные ГВ имеют общие корни, которые также разделяются, только на поверхности нижнего плиоцена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якубов А.А., Али-Заде А.А., Зейналов М.М. 1971. Грязевые вулканы Азербайджанской ССР. Баку, 256 с.
2. Рахманов Р.Р. 1987. Грязевые вулканы и их значение в прогнозировании нефтегазоносности недр. М.: Недра. – 176 с.
3. Н.П.Юсубов, И.С.Гулиев. 2018. Роль грязевого вулканизма в образовании нефтяных и газовых месторождений. АНХ, № 9, с.13-24.
4. Н.П.Юсубов, Г.М.Ализада, Дж.Раджабли. 2019. Грязевой вулканизм и миграция углеводородов. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, №8(332)-2019, с.14-19
5. Юсубов Н.П., Гулиев И.С., Гусейнова Ш.М.. 2020. Палеобстановки осадконакопления, грязевой вулканизм и миграция углеводородов в Южно-Каспийском бассейне. Геофизика Украина, №3, с. 197-207
6. Гулиев И.С., Юсубов Н.П., Гусейнова Ш.М. 2020. О механизме образования грязевых вулканов в Южно-Каспийской впадине по данным 2D/3D сейсморазведки. Физика Земли, № 5, с. 1-8.
7. Алиев Ад.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. 2015. Атлас грязевых вулканов мира. Б.: Nafta-press, 323 с.

¹Институт нефти и газа НАНА

²Национальная академия наук Азербайджана
nyusibov@gmail.com

CƏNUBİ XƏZƏR HÖVZƏSİNİN NƏHƏNG PALÇIQ VULKANİK SİSTEMLƏRİ

N.P.Yusubov, İ.S.Quliyev

Qəbul edilmişdir ki, Cənubi Xəzərdə aşkar edilmiş neft, qaz və qazkondensat yataqları bilavasitə palçıq vulkanizmlə (PV) əlaqədardır. Nəticənin doğruluğu tədqiqat sahəsinin geoloji quruluşu haqqında daha müfəssəl məlumat daşıyıcısı olan seysmik məlumatların geoloji dəyərləndirilməsi əsasında təsdiqlənə bilər. Seysmik zaman kəsiyindəki geoloji məlumatlar PV-nin eruptiv kanalının yaranma zamanının, onların inkişaf mərhələlərinin və bu təbii fenomenin neft və qaz yataqlarının yaranmasındakı rolunun tədqiqinə imkan yaradır.

Yerinə yetirilmiş tədqiqatlar əsasında müəyyən edilmişdir ki: PV-nin eruptiv kanalları oliqosenin sonunda yaranmış və çöküntütoplanma prosesilə paralel inkişaf etməkdə davam etmişdir; çöküntü qatının qalınlığının dəyişməsilə əlaqədar PV-lər aktivləşmiş və ya sönmüşdür; PV-lərin eruptiv kanalları karbohidrogenlərin ana süxurlardan geoloji kəsilişin yüksək məsəməliliyiylə səciyyələnən intervallarına daşınması üçün əsas miqrasiya yollarıdır.

Cənubi Xəzərdə aşkar edilmiş və əvvəllər antiklinal strukturlar kimi qəbul edilmiş bir sıra obyektlər nəhəng palçıq vulkanlarıdır.

Açar sözlər: palçıq vulkanı, eruptiv kanal, maykop çöküntüləri, seysmik kəşfiyyat, bal

GIANT MUD VOLCANIC SYSTEMS SOUTH CASPIAN BASIN

N.P.Yusubov, I.S.Guliyev

It is accepted that the oil, gas and gas condensate deposits discovered in the South Caspian Basin (SCB) are spatially related to mud volcanoes. An objective analysis of this relationship can be obtained based on geological interpretation of 2D / 3D seismic data. The information contained in the seismic data makes it possible to determine the main stages of the formation of a mud volcano and its eruptive channel, as well as the role of this natural process in the formation of hydrocarbon deposits in the SCB. Based on the results of the work performed, it has been established that the objects identified in the South Caspian basin, previously taken as anticlinal structures, are giant mud volcanoes.

Keywords: mud volcano, eruptive channel, maikop deposits, seismic exploration, shaft