

УДК 551.21

## О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ В ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЕ ПО ДАННЫМ 2D- И 3D-СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

© 2020 г. И. С. Гулиев<sup>1</sup>, \*, Н. П. Юсубов<sup>1</sup>, \*\*, Ш. М. Гусейнова<sup>1</sup>, \*\*\*

<sup>1</sup>Институт нефти и газа Национальной Академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

\*E-mail: i.s.guliyev@gmail.com

\*\*E-mail: nyusubov@gmail.com

\*\*\*E-mail: huseynova\_shalala@yahoo.com

Поступила в редакцию 31.05.2019 г.

После доработки 26.02.2020 г.

Принята к публикации 23.04.2020 г.

Одним из наиболее дискуссионных вопросов грязевого вулканизма является выявление механизма и времени формирования этого геологического феномена. Использование 3D-сейсмических данных на сегодняшний день является уникальной методикой, позволяющей документировать основные этапы формирования грязевого вулканизма, а также выявить связь этого процесса с формированием залежей углеводородов в Южно-Каспийском бассейне (ЮКБ). Показано, что формирование грязевых вулканов началось после накопления майкопских (олигоцен–нижний миоцен) отложений и продолжалось параллельно с осадконакоплением. По мере увеличения мощности осадочного чехла грязевые вулканы периодически активизировались. Между формированием грязевых вулканов и нефтегазовых углеводородов намечается парагенетическая связь.

*Ключевые слова:* грязевой вулканизм, Южно-Каспийский бассейн, месторождения нефти и газа, 2D-, 3D-сейсморазведка, майкопские отложения.

DOI: 10.31857/S0002333720050026

### КРАТКИЙ ОБЗОР ГИПОТЕЗ ФОРМИРОВАНИЯ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

Мнения ученых о механизме формирования грязевых вулканов фокусируются на трех главных направлениях [Якубов, 1971].

Сторонники первого направления (Э.П. Штебер, С.А. Ковалевский, В.А. Горин, Н.А. Кудрявцев, П.Н. Кропоткин, Б.М. Валяев, Ш.Ф. Мехтиев, С.Д. Гемп, З.А. Буниат-Заде, К.К. Уилсон и др.) защищали идеи Г.В. Аби́ха об эндогенном генезисе грязевых вулканов. Э. Мартонн (1934) и Э. Ог (1924) связывали не только грязевые вулканы, но и нефтяные проявления с вулканическими очагами. К. Гюмбель (1879) опроверг это утверждение, обосновав тем, что материалом брекчии являются грязевые массы, образованные из глинисто-мергелистых третичных пород. Однозначного объяснения идеи об эндогенном генезисе грязевых вулканов нет, так как продукты извержения грязевых и магматических вулканов сильно отличаются по химическому и литологическому составу.

Вторая группа ученых (Н.С. Шатский, М.М. Жуков, Е.В. Милановский, В.Е. Руженцев, С. Зубер, В.А. Горин, С.Ф. Федоров, З.А. Буниат-Заде,

В.Г. Бондарчук, А.Л. Путкарадзе, Ч.А. Зейналов, И.М. Сирыка, Н.Ю. Халилов, А.А. Керимов, А.Н. Пильчин, Л.Н. Еланский, М.Л. Копп и др.) вслед за А.Д. Архангельским и И.М. Губкиным считали, что грязевой вулканизм связан с тектоническими процессами. Отметим, что тектонические процессы (в основном, горизонтальные силы сжатия) участвуют в процессе образования и извержения грязевых вулканов, но не являются главенствующим, т.к. корни грязевых вулканов не распространяются ниже подошвы майкопских отложений [Юсубов, 2018].

Третья группа геологов-нефтяников (В.Н. Вебер, К.П. Калицкий, В.Д. Голубятников, И.М. Губкин, А.А. Алиев, Ф.Г. Дадашев и др.) связывают образование грязевых вулканов с избыточным давлением сконцентрированных в недрах углеводородных газов, которое обуславливает прорыв грязебрекчий на поверхность через эруптивные каналы (М.К. Калинин, А.А. Якубов, М.М. Зейналов, З.А. Буниат-Заде, Р.Р. Рахманов, Е.Ф. Шнюков и многие др.). Это направление получило признание со стороны большинства исследователей этой проблемы.

Приток газа с больших глубин по зонам повышенной проницаемости, в основном, связанным с разломами, как считает ряд авторов, обуславливает наличие АВПД в верхних горизонтах разреза. Как показано в работах П.П. Авдусина, В.А. Горина, З.А. Буниат-Заде и др., грязевые вулканы обычно располагаются вдоль трасс крупных (глубинных) разломов или на их пересечениях. При этом прорыв разжиженной глины в вышележащие породы нередко сравнивается с гидроразрывом. Отметим, что эти выводы недостаточно обоснованы, так как грязевые вулканы, расположенные на территории Азербайджана, не имеют какой-либо связи с тектоническими разрывами, тем более с их пересечениями.

Один из авторов предполагает, что в результате дискретно-импульсного поступления пластичных (тектоногенных и восходящих) и флюидизированных (разжиженных, текучих) породных масс (инъекционных по способам поступления материала) в осадочные бассейны образуются флюидогенные типы пород [Беленицкая, 2008; 2011]. Автор другой работы отмечает, что движущаяся субстанция может оказывать существенное влияние на вмещающие породы или просто заполнять все полости и дефекты, встречающиеся на ее пути, создавая специфические формы флюидолитов [Филиппов, 2016].

В работах И.С. Гулиева и В.В. Иванова [Иванов, 1986; 2002] обосновываются положения физико-химической гипотезы о связи грязевых вулканов с фазовыми переходами в углеводородных системах, возбуждением и разуплотнением осадочного материала, формированием избыточного пластового давления, выбросом разуплотненного материала на поверхность.

Начиная с середины XX века многими исследователями рассмотрен и вопрос о связи грязевого вулканизма с сейсмичностью территории. В частности, эти сведения приведены в работах Г.В. Абиха (1863), Н.В. Малиновского (1938), Ф.С. Ахмедбейли (1975), З.З. Султановой (1969, 1986), А.А. Якубова, Ад.А. Алиева (1987) А.И. Алиева, М.М. Рзаева (1984), Р.Р. Рахманова (1987), Ад.А. Алиева, А.Г. Гасанова, А.Я. Кабуловой (1989), Ад.А. Алиева (1992), Б.М. Панахи (1987, 1998) и др. В одной из работ отмечается, что выраженной корреляции между извержениями грязевых вулканов и землетрясениями не наблюдается [Шехали, 2013]. Другая группа авторов считает, что определенное количество извержений грязевых вулканов приходится на периоды активизации землетрясений [Алиев, 2014; Али-заде, 1985].

С целью выявления связи между грязевулканической и сейсмической активностью нами были проанализированы статистические данные с 2010 по 2018 гг. За рассматриваемый период произошло 55600 землетрясений (через каждые 42 мин), из

которых 2516 с магнитудами более 2.7 мл. Таким образом, ежегодно происходило в среднем 280 землетрясений, однако количество извержений грязевых вулканов на порядок меньше, к тому же их точное количество неизвестно. Надо отметить, что оба события происходят регулярно и области распространения грязевых вулканов и землетрясений совпадают. Возможно, что сейсмические события влияют на весь ареал распространения грязевых вулканов, однако массового пробуждения грязевых вулканов никогда не наблюдалось. Следовательно, прямой связи грязевого вулканизма с сейсмичностью территорий не существует и установление такой связи практически невозможно.

Ареал распространения грязевых вулканов совпадает с наиболее крупными нефтегазоносными бассейнами и соответствующими им элизионными системами [Павлинова, 2016; Харахинов, 2010]. Для возникновения грязевого вулканизма необходимы мощные пластичные толщи, присутствие пластовых вод, скопление непрерывно поступающих газов, существование тектонических разрывов и аномально высокое пластовое давление.

Р.Р. Рахманов посвятил ряд работ условиям образования грязевых вулканов и их энергетике [Рахманов, 1979; 1987]. Р.Р. Рахманов вычислил энергию грязевулканического извержения, включающую энергию  $E_1$ , затрачиваемую на подъем массы грязевулканической брекчии из очага к устью выводного канала, которая складывается из энергии, теряемой на преодоление сил гравитации ( $E_g$ ) и энергии трения ( $E_{тр}$ ); кинетической энергии в верхней части выводного канала  $E_1$  и избытка энергии, выделяемой во время пароксизма  $E_k$ . Величина энергии извержения ( $\approx 10^{14}$  Дж), полученная автором в результате расчета, примерно на 2–8 порядков уступает таковой у магматических вулканов.

В одной из последних работ, выполненной на основе интерпретации данных сейсморазведки, отмечается, что развитие грязевого вулканизма в море началось в сабунчинско-сураханское время и достигло наибольшей активности в абшерон-четвертичное время [Yusifov, 2004]. Авторы работы считают, что циклы активности грязевого вулканизма в ЮКБ совпадают со временем высоких скоростей осадконакопления, регионального тектонического сжатия и основной стадией генерации углеводородов. Далее, они полагают, что грязевой вулканизм в акваториальной части бассейна связан с высокими градиентами геофлюидального давления в недрах (диатремами), а не с диапиризмом, как на суше. Более того, они утверждают, что грязевой вулканизм в море, в отличие от суши, не всегда может быть связан с майкопской серией, то есть корни вулканов могут нахо-

даться в более молодых стратиграфических интервалах.

Авторы работы, в которой рассмотрен механизм образования грязевого вулканизма, считают, что грязевые вулканы связаны с зонами разуплотнения в земной коре, приурочены к сдвиговым деформациям и являются индикаторами флюидодинамической активности земных недр [Багирзаде, 1972; Багиров, 1997а; 1997б].

На основе интерпретации сейсмических данных И.С. Гулиев и Ф.А. Кадиров предлагают усовершенствованную модель развития грязевых вулканов, основанную на неустойчивости Релея—Тейлора [Гулиев, 2000]. Модель базируется на результатах аналитических расчетов с использованием трехслойной модели, включающей насыщенный углеводородами пласт (вязкий слой). По линейной теории устойчивости, если число Релея больше критического, то в среде возникают конвекционные движения. Эти движения являются одним из основных геодинамических процессов, приводящих к грязевому вулканизму и, соответственно, миграции углеводородов из материнской среды и газа, поступающего в нее из более глубоких слоев земной коры. По результатам этой работы авторы пришли к выводу о том, что линейное распределение и изменение расстояний между грязевыми вулканами можно объяснить флуктуациями мощности конвектирующего слоя [Гулиев, 2000].

В настоящей работе предложена иная модель формирования грязевых вулканов.

#### НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ СЕЙСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

При выполнении сейсмических съемок на суше точки возбуждения упругих волн, попадающие на сводовую часть вулканического конуса, образованного из грязевулканической брекчии, практически не отрабатываются. По этой причине верхняя часть геологического разреза внутри площади, занимаемой кратером грязевого вулкана, остается неохваченной. При этом неизученная верхняя часть разреза напоминает конус с перевернутой вниз вершиной. Геометрические параметры этой конусообразной фигуры зависят от размера площади сечения конуса и высоты. Наиболее полную информацию о параметрах грязевого вулкана можно получить на основе геологической интерпретации материалов 2D-, 3D-сейсморазведки, выполняемой в морских акваториях. Причиной тому является тот факт, что при сейсмических съемках в морских акваториях по методике общей глубинной точки (МОГТ) удается зондировать сейсмическими волнами и верхнюю

часть земной коры. Поэтому для решения поставленной задачи были использованы данные 2D-, 3D-сейсмической съемки МОГТ, выполненной в Каспийском море.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам микрофаунистических и петрографических исследований брекчий установлено, что корни большинства грязевых вулканов Азербайджана доходят до подошвы верхнего мела, а в некоторых случаях и до юрских отложений [Якубов, 1971]. В брекчиях грязевых вулканов иногда встречаются карбонатные породы, связанные преимущественно с отложениями верхнего мела и реже со стратиграфическим интервалом от палеогена до неогена. По вещественному составу они делятся на известняки, мергели, доломиты и сидериты. Мергели приурочены к отложениям верхнего мела, эоцена, олигоцена и миоцена. Присутствие сидеритов отмечено в выбросах многих вулканов. Их стратиграфический возраст соответствует отложениям олигоцен-нижнего миоцена (майкопская свита). Редко наблюдаемые обломки пирокластических пород в выбросах грязевых вулканов, представленные вулканическими туфами с пепловой структурой, связаны с отложениями эоцена.

Куски песчаных и алевроитовых пород в выбросах грязевых вулканов Азербайджана встречаются сравнительно чаще, нежели грубообломочные. По минералогическому составу среди них выделяются мономиктово-кварцевые, олигомиктово-полевошпатово-кварцевые и полимиктовые разновидности. Эти породы встречаются, главным образом, в выбросах среднеплиоценового, олигоцен-миоценового, иногда эоценового и верхнемелового возраста, а обломки неоген-четвертичного возраста встречаются очень редко. В областях распространения грязевых вулканов мощность отложений неоген-антропогеновой части осадочного комплекса неоднократно больше чем майкопской свиты. Однако в выбросах грязевых вулканов наибольший процент составляют глинистые породы майкопской свиты, а обломки песчаников и известняков — лишь 7–8% [Якубов, 1971].

Естественно, что в брекчиях грязевого вулкана могут встречаться обломки пород, стратиграфический возраст которых моложе олигоцена. Ибо эруптивный канал грязевого вулкана находится в постоянной связи с ними. Присутствие же в составе вулканической брекчии пород древнее олигоценных объясняется тем, что майкопские отложения накапливались в условиях быстро погружавшегося бассейна осадконакопления. Таким образом, более древние породы попали в состав олигоценных в результате сноса с приле-

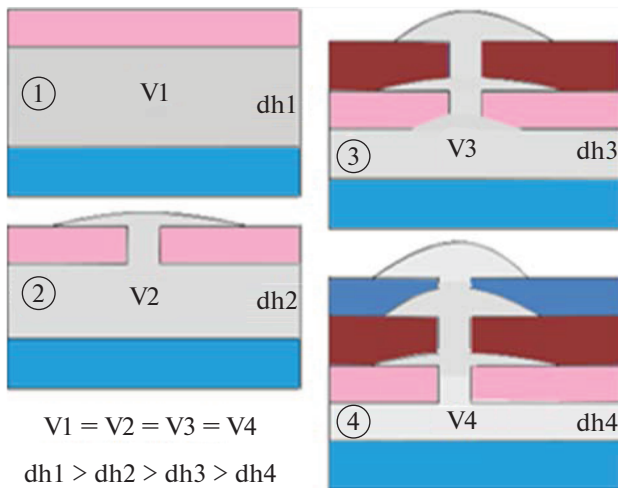


Рис. 1. Схема двухмерного разреза, показывающего дискретные фазы формирования грязевого вулкана.

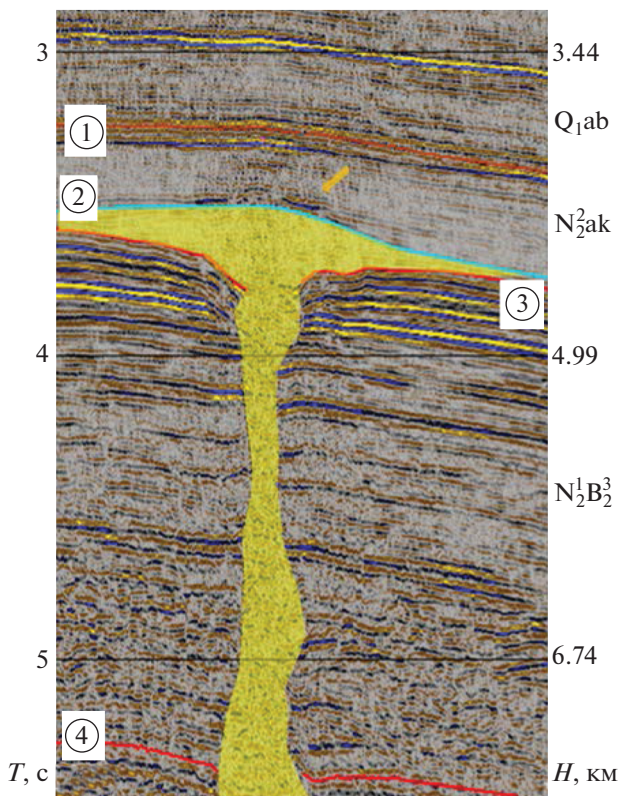


Рис. 2. Погребенный грязевый вулкан в ЮКБ. Коррелированные сейсмические волны по кровлям: 1 – ачкагыльского горизонта; 2 – сураханской свиты; 3 – ангидритного слоя; 4 – сабунчинской свиты.

гающих к майкопскому бассейну территорий и являются аллохтонными.

Рассмотрим процесс формирования грязевого вулкана на примере схематической (концепту-

альной) модели осадконакопления в четырех фазах (рис. 1). Как видно на модели, с увеличением объема сносившихся в бассейн осадконакопления пород геостатическое давление на нижнюю среду, в данном случае на грязевую массу (отмечено серым цветом), растет. В результате этого процесса грязевая масса, обладающая свойствами неньютоновской жидкости, выдавливается в верхнее полупространство и создается кратер вулкана (вторая фаза).

По истечении времени формируются 3 и 4 фазы. Первая фаза формирования комментируется в следующих частях статьи. При этом 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. В этом процессе основная роль принадлежит процессу, связанному с теорией неустойчивости Релея–Тейлора.

Рассмотрим реальный временной разрез (рис. 2) по одной из линий сечения сейсмического куба, на которой виден эруптивный канал погребенного грязевого вулкана. Схема формирования погребенного вулкана очень хорошо согласуется со второй фазой модели, показанной на рис. 1. По этому примеру отчетливо видно, что стенки эруптивного канала грязевого вулкана, находящегося в постоянной связи с окружающей средой, достаточно гладкие и не допускают захвата пород из нее в процессе выдавливания грязевой массы, поднимаемой из материнского слоя. По аналогичной схеме объясняется наличие в составе брекчий грязевых вулканов пород древнее олигоценевого. Следовательно, они являются аллохтонными и попали в состав глинистой массы с эродированной поверхности, окружающей бассейн осадконакопления.

## МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА

В условиях, когда легкая (менее плотная) жидкость находится ниже более тяжелой (более плотной) создается среда, в которой происходит интрузия более легкой жидкости (рис. 1 и рис. 3) в более плотную среду [Юсубов, 2018; Лидер, 1986; Сапфилов, 1974]. В результате этого динамического процесса, называемого неустойчивостью Релея–Тейлора, в толще отложений, лежащих прямо над сводом интрузии, образуются трещины и разрывные нарушения.

Внедрению интрузии именно в верхнее полупространство способствует и тот фактор, что жидкость не может проникать в нижнее полупространство из-за разности среднего общего давления ( $P_b$ ), оказываемого вышележащими отложе-



ниями и постепенно уменьшающегося в верхнем направлении:

$$P_b = gh\sigma_{bw},$$

где:  $\sigma_{bw}$  – общая плотность влажного осадка;  $h$  – мощность осадочной толщи над интрузией;  $g$  – ускорение свободного падения. Различие в плотностях, необходимое для образования интрузии, уменьшается с глубиной в связи с уплотнением осадков, приводящим к обезвоживанию и диагенетическому преобразованию осадка. Этот процесс способствует начальному этапу формирования грязевого вулканизма. Далее, процесс, описание которого дано в предыдущей части статьи, продолжается согласно модели, показанной на рис. 1 (фазы 2, 3 и 4).

Как видно на рис. 3, образованная под воздействием седиментационной нагрузки сила распределяется по всей поверхности относительно жидкой массы равномерно, в результате чего на выпуклой поверхности пласта создается зона растяжения и система разрывов. Эти разрывы являются первыми каналами, по которым разжиженная глиняная масса выжимается в направлении дневной поверхности. На начальном этапе формирования грязевого вулкана постоянно происходит размыв и разрушение околоразломной поверхности, в результате чего создаются эруптивные каналы грязевого вулкана.

На рис. 4 показано вертикальное сечение эруптивного канала грязевого вулкана Нахчыван по данным трехмерной сейсморазведки. Временной разрез охватывает стратиграфический интервал от юры до антропогена. Купол грязевого вулкана размывает подводными течениями, что свидетельствует о завершении процесса извержения (или сокращения объема, выносимого на дневную поверхность грязевой брекчии). Видно, что корни грязевого вулкана находятся на уровне эрозионной поверхности мезозойских отложений. Следует отметить, что зона, где нарушается непрерывность при корреляции синфазных осей отраженных волн (в данном случае, от эрозионной поверхности мезозойских отложений), связана с искажающим влиянием эруптивного канала грязевого вулкана на кинематические и динамические параметры сейсмического волнового поля.

Рассмотрим этот вывод на основе сейсмогеологического моделирования. На рис. 5 показана геологическая модель двумерного геологического разреза, в центре которой расположен эруптивный канал грязевого вулкана. Ниже показан теоретический временной разрез, построенный с использованием программы Finite Difference-Modeling из комплекса программ ProMax. На временном разрезе (рис. 5б), под эруптивным каналом грязевого вулкана, наблюдается волновое поле с искаженными кинематическими и динамическими

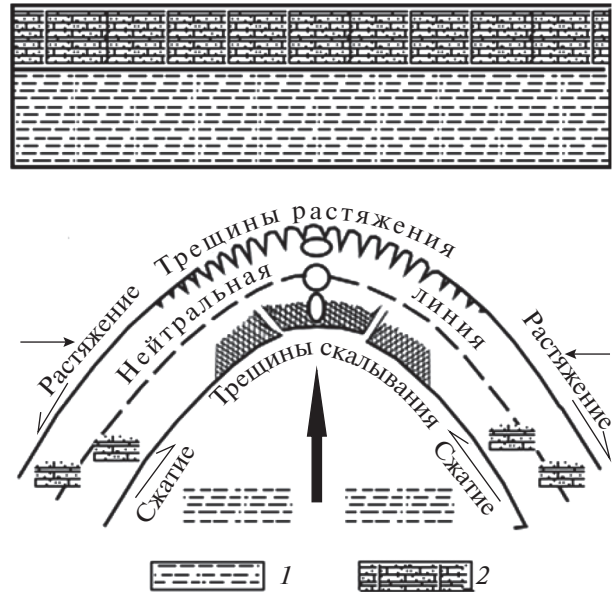


Рис. 3. Начальная фаза образования глиняного диавира: 1 – глины, обладающие свойствами неньютоновской жидкости; 2 – песчаник.

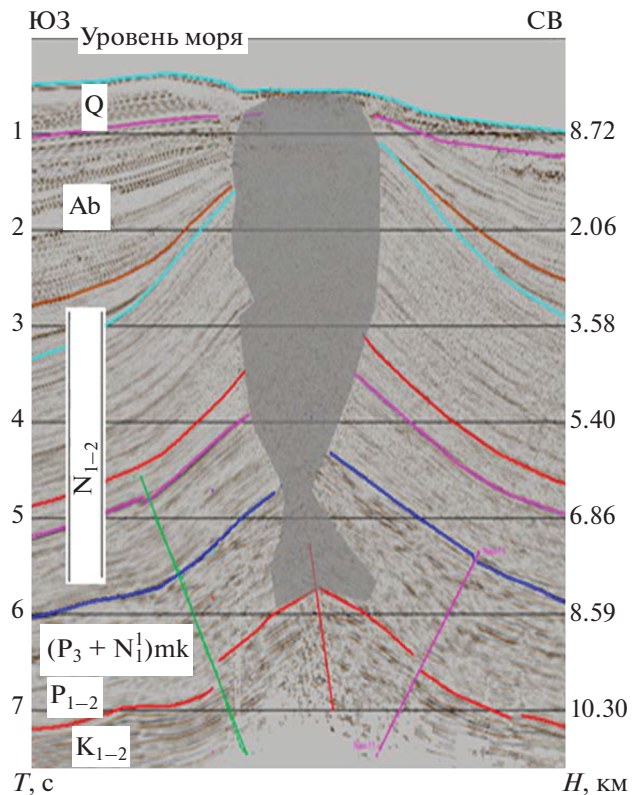
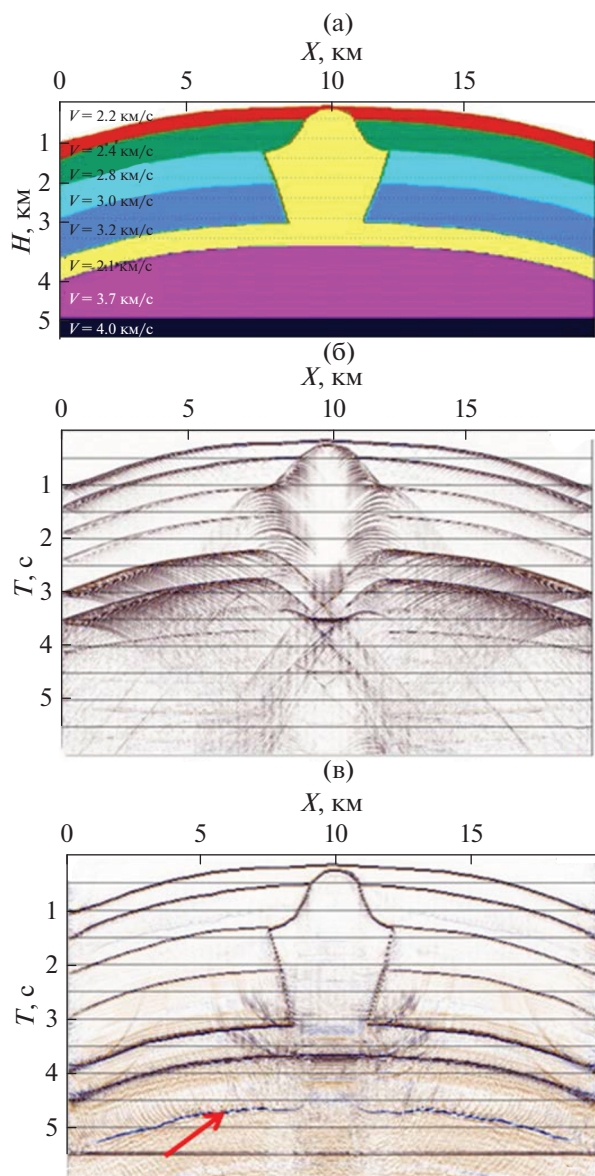


Рис. 4. Сечение эруптивного канала грязевого вулкана Нахчыван по данным трехмерной сейсморазведки.



**Рис. 5.** Результаты сейсмогеологического моделирования: (а) – геологическая модель; (б) – временной разрез, рассчитанный с применением программы Finite Difference Modeling (ProMax); (в) – временной разрез после миграционного преобразования. Стрелкой красного цвета показан фронт частично-кратной отраженной волны, образованной от кровли низкоскоростного слоя (желтым цветом).

ми параметрами. После применения к нему миграционного преобразования получен временной разрез, напоминающий первоначальный геологический разрез (рис. 5в). Однако под грязевым вулканом наблюдается волновой фронт отраженных волн, напоминающий о том, что здесь имеется отражающий горизонт. Это синфазные оси частично кратной отраженной волны, образованной между пластами со скоростями 3,7, 2,1 и 3,2 км/с, т.е. пласт (материнская среда грязевого вулканизма)

расположен между слоями, в которых скорость распространения сейсмических волн высокая по сравнению с ней. Отметим, что это явление часто наблюдается на практике сейсморазведки в ЮКБ.

Результаты геологической интерпретации данных сейсморазведки позволили установить возраст и механизм грязевого вулканизма, а также внести определенную ясность в вопрос о связи этого процесса с формированием залежей углеводородов в Южно-Каспийском бассейне. Учитывая тот факт, что в настоящее время грязевые вулканы занимают пространство в верхних слоях земной коры, охватывающее олигоцен-четвертичные отложения, авторы считают, что формирование грязевых вулканов началось после накопления майкопских отложений и продолжалось параллельно с осадконакоплением до наших дней.

Изучение строения эруптивных каналов грязевых вулканов как самостоятельных объектов показало, что основной моделью их формирования является процесс, связанный с теорией неустойчивости Релея–Тейлора. Причем явление неустойчивости Релея–Тейлора объясняет начальный этап механизма формирования грязевого вулкана, а последующие этапы его развития связаны с ростом геостатического давления, растущего по мере увеличения мощности осадочного чехла. Майкопские глины, будучи пластичными и менее плотными под действием литостатического давления, перекрывающих их более плотных отложений, внедряются в верхнее полупространство, создавая интрузии (диапиры). Этому динамическому процессу, называемому неустойчивостью Релея–Тейлора, способствует и тот фактор, что легкая жидкость, находящаяся ниже более плотной, не может внедряться в нижнее полупространство из-за разности среднего общего давления отложений, постепенно уменьшающегося в верхнем направлении.

При внедрении в вышележащие слои в толще отложений над сводом диапира образуются трещины и разрывные нарушения (рис. 3), двигаясь по которым, глинистая масса изливается на поверхность, создавая эруптивный аппарат грязевого вулкана. На предложенной нами схеме формирования грязевого вулкана (рис. 1) видно, что формирование эруптивного канала вулкана имеет стадийный характер: каждая стадия представляет собой период активизации грязевулканической деятельности, чередующиеся с периодами осадконакопления.

Полагаем, что грязевулканическая деятельность в ЮКБ началась в миоценовое время, то есть после накопления над майкопскими отложениями определенного объема осадков. Надо отметить, что в областях распространения грязевых

вулканов мощность отложений неоген-антропогеновой части осадочного комплекса неоднократно превышает мощность отложений майкопской серии. В ЮКБ плиоцен-четвертичный период характеризуется высокими скоростями погружения и лавинными скоростями осадконакопления. Следовательно, формирование грязевых вулканов обусловлено литостатическим давлением перекрывающих отложений в совокупности с рядом других факторов. По мере увеличения мощности осадочного чехла грязевые вулканы периодически активизировались и происходил рост их эруптивных каналов.

Выбросы грязевых вулканов представлены, в основном, глинами майкопской серии, обломки вышележащих песчаников и известняков составляют лишь 7–8% общего объема [Якубов, 1971]. Естественно, что в грязевулканической брекчии могут встречаться обломки пород моложе олигоценового возраста, ибо эруптивный канал контактирует с ними. Присутствие же в составе вулканической брекчии пород древнее олигоценовых обусловлено сносом терригенного материала с прилегающих к бассейну осадконакопления территорий, то есть они являются аллохтонами.

На рис. 4 показано вертикальное сечение эруптивного канала грязевого вулкана на временном разрезе, охватывающем стратиграфический интервал от юры до антропогена. Купол грязевого вулкана размыт подводными течениями, что свидетельствует о завершении процесса выноса грязевулканической брекчии на дневную поверхность. На разрезе видно, что корни грязевого вулкана располагаются на уровне эрозионной поверхности мезозойских отложений, однако такого рода сейсмические изображения требуют правильной интерпретации. Следует отметить, что зоны, где нарушается непрерывность при корреляции синфазных осей отраженных волн (в данном случае, от эрозионной поверхности мезозойских отложений), связаны с искажающим влиянием эруптивного канала грязевого вулкана на кинематические и динамические параметры сейсмического волнового поля. В действительности, на временном разрезе (рис. 5б) под эруптивным каналом грязевого вулкана наблюдается волновое поле с искаженными кинематическими и динамическими параметрами. Этот сейсмический эффект связан с тем, что пласт (материнская среда грязевого вулканизма) расположен между слоями, в которых скорость распространения сейсмических волн относительно высокая. Отметим, что данное явление часто наблюдается на практике сейсморазведки в ЮКБ. Поэтому было бы ошибочно утверждать, что корни грязевого вулкана расположены на уровне поверхности мезозойских отложений.

Как показывают данные сейсморазведки, складки в Южно-Каспийском бассейне, образованные в результате грязевулканических и тектонических процессов, разделены пологими и широкими мульдами с различными амплитудами. В процессе развития этих мульд и складок создавалась условия, при которых пластичная глинистая масса и вместе с ней наиболее подвижные флюиды из-под мульд выжимались в направлении ядер антиклиналей и заполняли коллекторы, создавая залежи нефти и газа.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволили сделать нижеследующие **выводы:**

1. Основными процессами формирования грязевого вулканизма являются фазовые переходы в осадочных толщах, приводящие к неустойчивости Релея–Тейлора.
2. Формирование грязевого вулканизма и нефтегазовых месторождений парагенетически связаны и синхронны во времени и пространстве.
3. Корни грязевых вулканов в ЮКБ находятся на уровне подошвы олигодена. Продукты извержения грязевых вулканов связаны с майкопскими отложениями.
4. Кратеры и эруптивные каналы грязевых вулканов создаются на фоне одновременного накопления терригенного материала. Диаметр эруптивных каналов грязевых вулканов, увеличивается в направлении омоложения отложений.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы работы благодарят руководителя группы обработки геофизических материалов УГ СОСАР С.Р. Мамедова за оказанную помощь при расчете георетического временного разреза по модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алиев Ад.А.* Грязевые вулканы Каспийского моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2014. № 1. С. 33–44.
- Али-Заде А.А., Салаев С.Г., Алиев А.И.* Научная оценка перспектив нефтегазоносности Азербайджана и Южного Каспия и направления поисково-разведочных работ. Баку: Элм. 1985. 252 с.
- Багирзаде Ф.М., Рахманов Р.Р.* К геотектоническим условиям образования грязевых вулканов // Уч. Зап. АГУ. Сер. геол.-геогр. наук. 1972. № 2. С. 3–6.
- Багиров Э.Б., Лерч И.* Моделирование грязевых потоков при извержении морских грязевых вулканов // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство. 1997. № 5. С. 1–9.
- Багиров Э.Б., Лерч И.* Моделирование распространения пламени и тепла при извержениях грязевых вулканов с целью оценки опасности // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1997. № 11–12. С. 23–30.

- Беленицкая Г.А.* Типы седиментогенеза: расширенный вариант классификации // *Отч. геология.* 2008. № 3. С. 29–45.
- Беленицкая Г.А.* “Флюидное” направление литологии: состояние, объекты, задачи. Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2011. Т. 153. Кн. 4. С. 97–113.
- Гулиев И.С., Кадиров Ф.А.* Об одном механизме внутрипластовой миграции углеводородов // *Докл. РАН.* 2000. Т. 373. №4. С. 506–509.
- Иванов В.В., Гулиев И.С.* Опыт физико-химического моделирования грязевого вулканизма // *Бюллетень Московского общества испытателей природы.* Отд. геологии. 1986. Т. 61. Вып.1.
- Иванов В.В., Гулиев И.С.* Массообмен, углеводородообразование и фазовые переходы в осадочных бассейнах. Баку: Нафта-Пресс. 2002. 106 с.
- Лидер М.Р.* Седиментология. Перевод с англ. М.: Мир. 1986. 439 с.
- Павлинова Н.В., Шахова А.Ю.* Роль грязевого вулканизма при формировании нефтегазовых залежей Южно-Пильтунского участка Пильтун-Астохского месторождения на шельфе о-ва Сахалин // *Вестник Российского университета дружбы народов.* Сер. Инженерные исследования. 2016. № 2. С. 74–81.
- Рахманов Р.Р.* Особенности грязевулканических проявлений подвижных складчатых областей земной коры “Грязевой вулканизм” // *Докл. АН Аз. ССР.* 1979. Т. XXXV. № 9. С. 70–73.
- Рахманов Р.Р.* Грязевые вулканы и их значение в прогнозировании нефтегазоносности недр. М.: Недра. 1987. 176 с.
- Сапфиров Г.Н.* Структурная геология и геологическое картирование. М.: Недра. 1974. 224 с.
- Филиппов М.М.* Проблема происхождения палеопротерозойских первично-глинистых инъекций, экструзий и диапиров // *Труды Карельского научного центра РАН.* 2016. № 10. С. 81–99.
- Харахинов В.В.* Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир. 2010. 275 с.
- Шехали А.Ш.* Влияние энергии землетрясений на частоту извержений грязевых вулканов // *Геология, география и глобальная энергия.* 2013. № 2(49). С. 7–18.
- Юсубов Н.П., Гулиев И.С.* Роль грязевого вулканизма в образовании нефтяных и газовых месторождений // *АНХ.* 2018. № 9. С. 13–24.
- Якубов А.А., Ализаде А.А., Зейналов М.М.* Грязевые вулканы Азербайджанской ССР (атлас). Баку: изд-во АН Азербайджанской ССР. 1971. 258 с.
- Yusifov Mehdi, Rabinowitz Philip D.* Classification of mud volcanoes in the South Caspian Basin, offshore Azerbaijan // *Marine and Petroleum Geology.* 2004. V. 21. С. 965–975.

## On the Formation Mechanism of Mud Volcanoes in the South Caspian Basin According to 2D and 3D Seismic Data

I. S. Guliev<sup>a, \*</sup>, N. P. Yusubov<sup>a, \*\*</sup>, and Sh. M. Guseinova<sup>a, \*\*\*</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Oil and Gas, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan*

\**e-mail: i.s.guliyev@gmail.com*

\*\**e-mail: nyusubov@gmail.com*

\*\*\**e-mail: huseynova\_shalala@yahoo.com*

Identifying the mechanism and formation time of a mud volcano is one of the most debatable issues concerning the geological phenomenon of mud volcanism. As of now, the use of 3D seismic data is a unique technique that allows documenting the main formation stages of mud volcanism and revealing the connection of this process with the formation of hydrocarbon deposits in the South Caspian Basin (SCB). It is shown that the formation of mud volcanoes began after the accumulation of the Maikop (Oligocene–Lower Miocene) series stratum and continued in parallel with the deposition of sediments. As the thickness of the sedimentary cover increased, mud volcanoes periodically became active. A paragenetic relationship may perhaps exist between the formation of mud volcanoes and the formation of petroleum hydrocarbons.

*Keywords:* mud volcanism, South Caspian Basin, oil and gas fields, 2D-, 3D seismic prospecting, Maikop deposits