

УДК 551

ТЕРМОБАРИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ГЛУБИН ОСАДОЧНО-ПОРОДНЫХ БАССЕЙНОВ И ИХ ФЛЮИДОДИНАМИКА. СООБЩЕНИЕ 2. СВЕРХВЫСОКИЕ ДАВЛЕНИЯ И ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ

© 2019 г. В. Н. Холодов

Геологический институт РАН
119017 Москва, Пыжевский пер., 7
E-mail: rostislavn@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.08.2016 г.

В статье рассмотрены закономерности размещения грязевых вулканов, их пространственная связь с тектоническими разломами, антиклинальными поднятиями, нефтяными и газовыми месторождениями. Утверждается связь грязевулканической деятельности со сверхвысокими давлениями, возникающими в глинистых толщах стратисферы в результате фазовых преобразований глинистых минералов и органического вещества. Подчеркнута роль землетрясений в формировании трещиноватости глин, увеличении их проницаемости и формировании грязебрекчий. На примере грязевого вулкана Алигула (Туркмения) рассмотрены процессы разжижения песчаников и глин, образование вулканических грязебрекчий.

Ключевые слова: *грязевые вулканы, сверхвысокое давление, землетрясение, кластические дайки, нефть и газ*

DOI: 10.31857/S0024-497X2019144-59

ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ И СВД

Грязевой вулкан представляет собой довольно распространенное геологическое явление. На нашей планете насчитывается более 2000 грязевулканических построек на континенте и большое количество подводных вулканов, скрытых водами морей и океанов. Закономерности их размещения в различных районах Земного шара были нами подробно описаны в ряде предыдущих работ [Холодов, 2002а, б, в, 2006, 2013]. Обычно грязевые вулканы или сопки группируются в провинции, часто совпадающие с крупными осадочно-породными бассейнами или газо-нефтяными провинциями Мира. В пределах континентального блока Земли выделяются 27 грязевулканических провинций, которые образуют широтный пояс, протягивающийся от берегов Мексиканского залива через Средиземноморье к островам Индонезии и Новой Зеландии. Здесь вдоль западного побережья Тихого океана, в пределах островов Японии и Сахалина, намечается субмеридиональное ответвление грязевулканического пояса.

Грязевой вулкан чаще всего представляет собой конусовидную постройку, размеры которой колеблются в широких пределах. В одних случаях они не превышают 5–10 м в высоту, а в других

достигают 400–500 м. Особенно крупными размерами отличаются грязевые постройки Азербайджана, где настоящие горы образуют вулканы Туорогай, Большой и Малый Кянизадаг, Дашгиль, Калмас и др.

На вершине грязевулканического конуса располагается площадка – кальдера, ее размеры могут достигать 300–350 м в диаметре. На кальдере находятся многочисленные сальзы – микрорепеторения основной постройки, которые непрерывно извергают грязь, воду, нефть и газовые пузыри.

Другой формой грязевого вулкана являются болота или впадины, частично или полностью заполненные водой, глинистым раствором или нефтью. Иногда, как в Керченско-Таманском районе, грязевулканические впадины превращаются в т.н. “вдавленные синклинали”, размеры которых достигают 0.1–4 км² [Шнюков и др., 1971].

Жерла вулканов, через которые на дневную поверхность поступает грязь и глинистый раствор, а также обломки осадочных пород, вода и песчаные пльвуны, жидкие и газообразные нефтяные углеводороды, углеводородные газы (реже – углекислота, сероводород и др.) уходят

на большие глубины и обычно тесно связаны с зонами трещиноватости и тектоническими разломами.

По данным М.К. Калинин [1964], Е.Ф. Шнюкова с соавторами [1971, 1992], А.Г. Дурмишьяна и др. [1976], Р.Р. Рахманова [1987], В.Н. Холодова [1983, 2002а, б, в] и др., в глубоких частях осадочно-породных бассейнов, осложненных грязевым вулканизмом, широкое распространение получают мощные глинистые толщи, в которые и опускаются подводящие каналы вулканов.

Как устанавливается по обломкам пород грязебрекчий, в Керченско-Таманской области корни грязевых вулканов, в основном, локализируются в майкопских глинистых толщах [Шнюков и др., 1992]. Корни грязевых вулканов Азербайджана и Западной Грузии содержат, главным образом, олигоценовую (майкопскую) фауну [Якубов и др., 1980], тогда как в Туркмении самые древние отложения, вскрытые грязевулканическими каналами — меловые, чаще палеоген-неогеновые (нередко — плиоцен или продуктивная толща). Любопытно, что даже на Андаманских островах (грязевой вулкан Баратанг) возраст самого древнего терригенного материала, поступающего на поверхность, всегда моложе верхнего мела [Vadve et al., 1984].

Согласно геофизическим данным, корни или очаги грязевых вулканов располагаются в стратиферу на глубинах 7–8 км ниже дневной поверхности. По данным А.М. Сунгурова [1958], корни грязевых вулканов Туркмении обнаружены на глубине 5–7 км, в Южно-Каспийской впадине Л.М. Лебедев и Л.С. Кулакова [1990] проследили канал подводного вулкана на глубину 9 км. По мнению М.К. Калинин [1964], очаги грязевых вулканов находятся на глубине, не превышающей 8 км.

Глубина расположения очагов грязевых вулканов позволяет приблизительно оценить величины сверхвысоких давлений и температур в глубоких зонах стратиферы. Согласно данным [Холодов, 2018, табл. 2], в момент извержения вулкана эти величины должны превышать геостатическое давление вышележащих пород, т.е. 2160–2700 кг/м² и температуры 240–270°С. Такая оценка связана с тем, что “грязевая лава” во время извержения вулканов прорывает огромную толщу вышележащих пород и выходит на дневную поверхность.

Следует отметить, что в промежутках между извержениями грязевых вулканов сверхвысокие давления глубин, по-видимому, уменьшаются

и приближаются к геостатическим, а иногда, возможно, даже уступают последним. Таким образом, во времени наблюдается сверхвысокая пульсация давлений и температур жидкой и газообразной фазы (воды, газа и нефти). В грязевулканических очагах такая пульсация процессов воздействует на окружающие осадочные породы и проявляется в виде периодических извержений и землетрясений. После каждого такого “взрыва” грязевулканической деятельности наступает период относительного покоя, отмеченного слабой сальзово-грифонной газовой-водородной стадией. Как было показано в предыдущих публикациях, в этот этап развития вулкана размываются кольматации, жестко закрывающие грязевулканический канал сооружения.

Очевидцы извержений грязевых вулканов утверждают, что, как правило, этому явлению предшествует сильный подземный гул и звуки, напоминающие выстрелы пушек. Затем начинается сотрясение земли, причем, сотрясения осадочных пород и почвы охватывают огромные пространства.

Так, например, по свидетельству А.А. Иностранцева [1889], извержение грязевого вулкана Пекло в Тамани в 1794 г. сопровождалось подземным гулом, выносом огромной массы грязебрекчий и обширным землетрясением, причем колебания почвы ощущались в Екатеринославле (Краснодар). Иначе говоря, сейсмические колебания охватывали участок длиной 180 км, а потоком грязебрекчий было вынесено около 97120 м³ вулканической грязи.

Один из крупнейших грязевых вулканов Керченского полуострова — Джау-Тепе, по свидетельству Е.Ф. Шнюкова [1986], до середины прошлого века извергался 10 раз. Очень крупное извержение произошло 18 марта 1914 г. Подземный гул и шум перерос в землетрясение, в радиусе 10 км содрогалась земля, а затем последовал выброс грязебрекчий, причем выброс грязи и камней поднимался на высоту 40–60 м [Двойченко, 1926]. Наиболее активная вулканическая постройка Тамани, Корабетова гора, по данным Е.Ф. Шнюкова и др. [1986], на протяжении двух предыдущих столетий извергалась 15 раз; сопровождающие землетрясения фиксировались отдыхающими в Анапе (в 80 км).

Не менее часто землетрясения сопровождали извержения крупных грязевых вулканов Азербайджана; среди них широкую известность получили извержения Большого Кянизадага (1950),

Айратекьяна (1964, 1969, 1977), Котурдага (1966, 1970), Дашгиля (1882, 1886, 1902, 1908, 1926, 1958), Бихара (1850, 1853, 1885, 1909, 1911, 1926, 1957). Особенно активно проявил себя грязевой вулкан Локбатан, расположенный в 12 км от гор Баку, вблизи ж/д станции Пута. Его извержение в 1887 г. было подробно описано И.В. Мушкетовым [1924]. Оно началось подземным гулом и небольшим землетрясением, после которого на вершине грязевулканической горы появилось облако дыма высотой около 600 м. Оно принесло на дневную поверхность потоки грязебрекчий, пламя и град крупных обломков пород. Любопытно, что отголоски землетрясения отмечались в Баку.

Впоследствии вулкан Локбатан извергался 17 раз, причем перерывы между этими проявлениями колебались от 3 до 36 лет, без каких-либо периодических закономерностей. Суммарным результатом всех этих извержений явился плащ твердых грязебрекчий и обломков осадочных пород объемом в 340 млн м³.

Подавляющее большинство землетрясений, связанных с извержениями грязевых вулканов, не превышают 3–4 баллов по шкале Рихтера и относятся к категории мелкофокусных. Известно, однако, что региональные и катастрофические землетрясения нередко также сопровождаются разносторонними проявлениями грязевого вулканизма. Так, например, В. Вебер, описавший знаменитое Шемахинское землетрясение 1902 г., наблюдал в районе пос. Маразы возникновение огненного столба, извержение грязи и новообразование грязевулканического конуса; здесь появление нового вулкана явилось следствием крупного землетрясения [Мушкетов, 1924].

И. Шмидт [Schmidt, 1970] установил последствия землетрясения на берегу Коринфского залива (Греция) в виде радиальных трещин и грязевулканических холмов, осложняющих рельеф побережья.

Округлые провалы, заполненные грязью и осложненные радиальными трещинами, остались после крупных землетрясений в Калабрии (Италия) и в районах озера Иссык-Куль (Киргизия).

Количество осадочно-терригенного материала, выбрасываемого грязевыми вулканами на земную поверхность огромно. Так, например, по подсчетам А.А. Якубова, А.А. Ализаде, Б.В. Григорьянца и др. [1978], 40 наземных грязевых вулканов Апшепронской, Шемахино-Кабыстанской и Прикуринской области Азербайджана с середи-

ны XIX века и до настоящего момента поставили на дневную поверхность около 50 млрд м³ грязебрекчий, обломков пород и глыб.

Ближние цифры, характеризующие объемы извергающегося материала, приведены В.А. Науменко [1976], который исследовал деятельность современных грязевых вулканов Керченско-Таманского региона. По его оценкам, общая масса современных грязебрекчий этого региона — 40 млрд м³ (40 км³).

Следует подчеркнуть, что сила извержений грязевых вулканов настолько велика, что наряду с тонкозернистым и глинистым материалом на дневную поверхность выбрасываются крупные обломки пород и даже глыбы. Так, в пределах Булганакского сопочного поля была описана глыба чокракского известняка объемом в 1.3 м³, а в районе Восходовского вулкана Керченско-Таманского региона была обнаружена глыба кварц-глауконитового песчаника объемом в 2.5 м³ и крупные карбонатные конкреции диаметром более 50 см [Шнюков и др., 1986].

В статье П.П. Авдусина [1939], исследовавшего грязевые вулканы Азербайджана и Крыма, подчеркивается, что среди сильно перемятых пород, связанных с жерлами вулканов, нередко встречаются глыбы известняков и доломитов 3–5 м, и даже более десятков кубических метров. Особенно впечатляет описание глыб перемятых глинистых пород майкопской свиты объемом в сотни кубических метров, выброшенных из жерла вулкана Локбатан при извержении 1935 г. На поверхности таких массивов часто фиксируются “зеркала скольжения”.

В книге С.А. Ковалевского [1940], в которой описывается извержение грязевого вулкана Отманбоздаг (Азербайджан) утверждается, что огромные массы выделяющегося газа сопровождались взрывами и пламенем, при этом глыбы пород размерами в несколько м³ выбрасывались из жерла на большую высоту. При формировании вулкана Ени-Загирли (Азербайджан) в столбе газового факела на большую высоту (20–30 м) выбрасывались глыбы пород размером в 10–15 м, которые после падения на землю создавали каркас конуса грязевулканической постройки [Горин, Буниат-Заде, 1971].

Приведенные данные свидетельствуют об огромной энергетической мощи грязевого вулканизма. Становится очевидным, что аномально-высокие пластовые давления, господствующие в верхних зонах стратисферы, подробно описанные в работе [Холодов, 2018] и редко пре-

вышающие 1.5–2.5 гидростатических напоров, вряд ли могут приводить к возникновению и деятельности грязевых вулканов. Непосредственной причиной этого процесса являются сверхвысокие давления, представляющие нижние ярусы стратисферной оболочки и обладающие значительно большим зарядом энергии.

ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ И ТЕКТОНИЧЕСКИЕ РАЗЛОМЫ

Пространственное положение грязевых вулканов очень часто определяется расположением тектонических нарушений. Впервые эта особенность для грязевых вулканов Азербайджана была отмечена в работах Г. Аби́ха [1863, 1939], который подчеркнул, что вулканы группируются в ряды, вытянутые в двух взаимно перпендикулярных направлениях: с юго-востока на северо-запад и с юго-запада на северо-восток. При этом наиболее крупные вулканические постройки обычно локализуются в районах пересечения этих двух главных направлений. Очевидно – писал автор, что распространение грязевых вулканов контролируется сеткой разломов или сбросов, по которым в юго-восточной части Кавказа осуществляются новейшие тектонические движения и вдоль которых отмечается новейшая сейсмичность.

Тектонические нарушения, как главный фактор образования грязевых вулканов и связанных с ними нефтяных залежей, были описаны в работах С.А. Ковалевского [1935а, б], В.А. Горина и З.А. Буниат-Заде [1967, 1973], в трудах И.М. Губкина и С.Ф. Федорова [1938, 1940], А.А. Якубова и М.М. Зейналова [1964]. Но позднее А.Л. Путкарадзе и Ч.А. Халибейли [1964] и Р.Г. Султановым [1966] роль тектонических разломов в образовании грязевых структур отодвигалась на второй план.

В монографии М.Х. Калинко [1964] было показано, что разломы в ряде случаев прослеживаются за пределами грязевулканических провинций и здесь не обнаруживаются никаких следов извержений. Очевидно, тектонические нарушения в качестве грязепроводящих каналов являются важным фактором формирования вулканических построек, но не должны рассматриваться в качестве единственной причины этого сложного процесса.

Многие исследователи, рассматривающие происхождение грязевулканических брекчий, постулавших на поверхность планеты по каналам-разломам, отмечали, что их происхождение

непосредственно не связано с образованием нарушений. Так, например, Н.С. Шатский, многократно посещавший и изучавший вулканы Кабристана (Азербайджан) писал: “1) глинистые брекчии образовались в грязевых вулканах действием газа и воды в каких-то особых, неизвестных нам условиях; 2) глинистые брекчии своим происхождением обязаны не деятельности грязевых вулканов, а иным факторам. Грязевые вулканы лишь перерабатывают ее и выбрасывают при извержениях совершенно также, как и паразитные сопки” [Шатский, 1985, с. 363].

В то же время следует подчеркнуть, что, несмотря на отсутствие генетической связи между формированием грязевулканического очага и тектоническими разломами, последние четко контролируют расположение некоторых грязевых вулканических построек; это хорошо видно на примере Азербайджана (рис. 1).

Грязевые вулканы и антиклинальные структуры

Общеизвестно, что грязевые вулканы обычно пространственно связаны с крупными антиклинальными структурами. Впервые это сонахождение было отмечено в статьях А.Д. Архангельского [1925], И.М. Губкина [1934], И.М. Губкина и С.Ф. Федорова [1938, 1940] и легло в основу тектонической гипотезы формирования вулканов. В соответствии с взглядами этой группы ученых, конседиментационный рост антиклинального поднятия и чередование жестких и пластичных слоев осадочных отложений создавали латеральную неоднородность в накоплении пластичного материала. Последующие давления при развитии складкообразования усиливали мощность скоплений перетекающих пластичных масс в своде структуры, что вызывало диапировые прорывы, обеспечивало поступление грязебрекчий на дневную поверхность и формирование грязевулканической постройки.

Объяснение происхождения грязевых вулканов привело С.Ф. Федорова [1939] к совершенно произвольному утверждению, что единственным и неперемным условием зарождения грязевого вулкана является формирование диапировой антиклинальной структуры. Эта крайняя гипотеза некоторое время находила подтверждение. Действительно, как показано на рис. 2 и 3, между антиклинальными складками Керченско-Таманского региона, Западной Туркмении и распространением современных и древних грязевых вулканов, несомненно, существует пространственная зависимость. Одна-

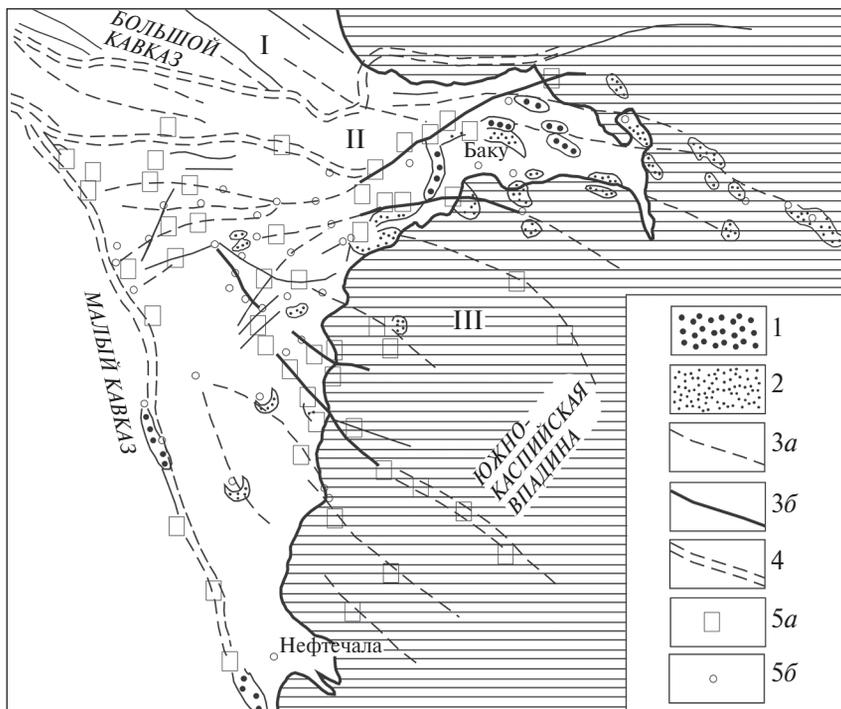


Рис. 1. Тектонические нарушения и расположение грязевых вулканов Азербайджана и Южно-Каспийской впадины ([Горин, Буниат-Заде, 1967] с изменениями).

Тектонические зоны: I – Главного Кавказского хребта; II – переходная зона; III – Южно-Каспийская впадина. 1, 2 – нефтяные залежи (1 – древние с тяжелой нефтью, 2 – молодые и современные с легкой нефтью, конденсатом и газом); 3 – разломы (a – предполагаемые, б – прослеженные); 4 – границы тектонических зон; 5 – грязевые вулканы (a – действующие, б – ископаемые).

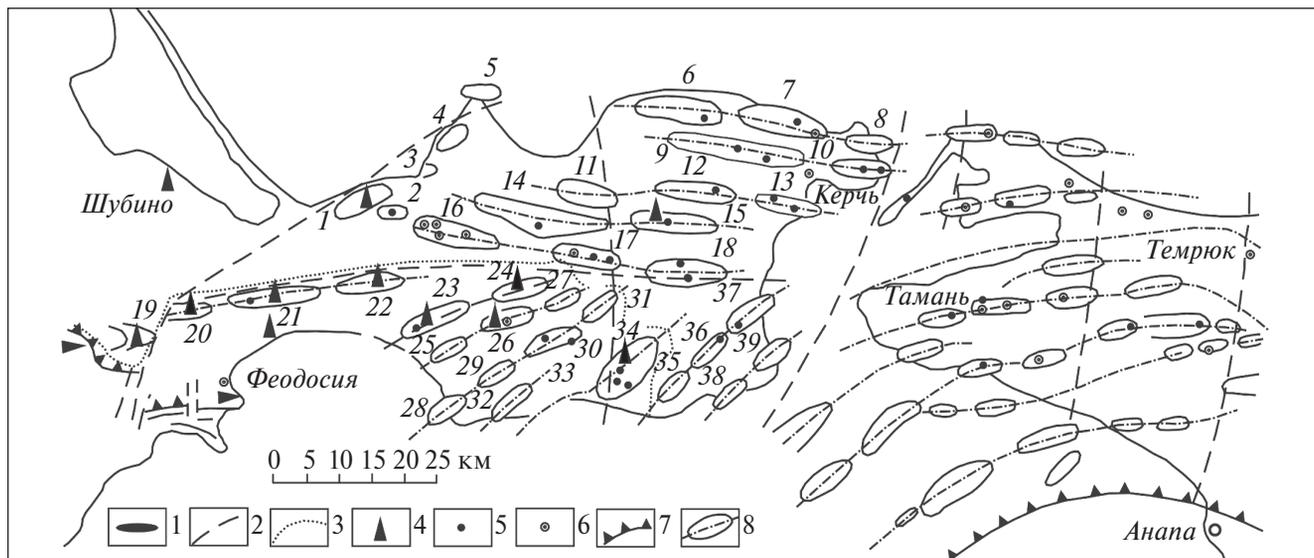


Рис. 2. Распределение грязевых вулканов и тектонических складок в пределах Керченско-Таманского региона ([Шнюков и др., 1971] с изменениями).

1 – складки Горного Крыма; 2 – предполагаемые линии разрывных нарушений; 3 – граница несогласного залегания неогеновых отложений; 4 – глубокие скважины; 5 – грязевые вулканы; 6 – грязевые вулканы, в сопочной брекчии которых находятся породы, древнее майкопского возраста; 7 – границы горных сооружений Крыма и Кавказа; 8 – антиклинальные структуры: 1 – Каменская, 2 – Насырская, 3 – Краснокутская, 4 – Белокаменная, 5 – Мысовая, 6 – Старожиловская, 7 – Булганакская, 8 – Борзовская, 9 – Малобабчикская, 10 – Глазовская, 11 – Новониколаевская, 12 – Чистопольская, 13 – Восходовская, 14 – Слосаревская, 15 – Горностаевская, 16 – Королевская, 17 – Фонтановская, 18 – Сокольская, 19 – Гончаровская, 20 – Тамбовская, 21 – Владиславовская, 22 – Андреевская, 23 – Мошкаревская, 24 – Селезеневская, 25 – Ульяновская, 26 – Вулкановская, 27 – Восточная, 28 – Белобродская, 29 – Гавриленковская, 30 – Краснопольская, 31 – Марфовская, 32 – Дюрменская, 33 – Карангатская, 34 – Марьевская, 35 – Опукская, 36 – Пограничная, 37 – Приозерная, 38 – Яковенковская, 39 – Кореньковская.

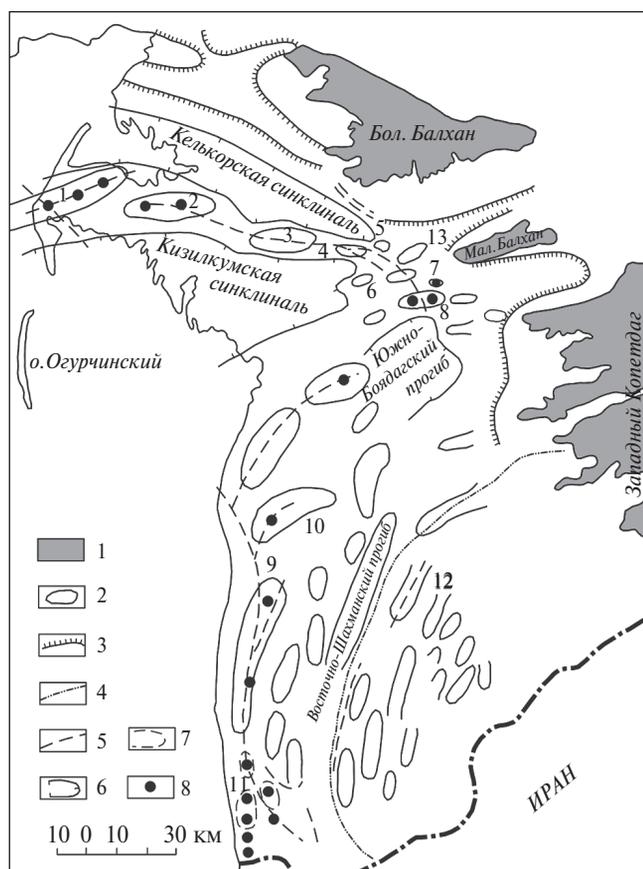


Рис. 3. Распределение границ вулканов в тектонических структурах Западно-Туркменской впадины ([Горин, 1967] с изменениями).

1 – мезозойские и палеогеновые породы горного обрамления; 2 – контуры погребенных антиклинальных складок; 3 – линии крутого погружения мезозоя по геофизическим данным; 4 – ось максимума силы тяжести; 5 – основные глубинные разломы; 6 – контуры крупных антиклинальных структур; 7 – контуры предполагаемых антиклинальных структур; 8 – грязевые вулканы.

Антиклинальные складки: 1 – Челекенская, 2 – Котур-Тепе, 3 – Небит-Даг, 4 – Монжуклы, 5 – Урунджук, 6 – Кизилкум, 7 – Кобек, 8 – Боя-Даг, 9 – Окарем, 10 – Камышлджа, 11 – Кеймир, 12 – Изат-Кули, 13 – Худай-Даг (Кара-Тепе).

ко более детальное рассмотрение приведенных графиков заставляет усомниться в корректности такого утверждения. Действительно, в Керченско-Таманской грязевулканической области 48 грязевых вулканов расположены на 72 антиклинальных структурах. При этом в ряде случаев на одной антиклинальной складке находится 3–4 грязевулканические постройки (Королевская, Фонтановская, Марьевская антиклинали), тогда как на других они полностью отсутствуют.

Не менее представительными являются материалы по западной Туркмении. Здесь 19 грязевых вулканов расположены на антиклиналях,

обрамляющих Южно-Каспийскую впадину. Хотя общее число поднятий в депрессии достигает 50, грязевые вулканы четко располагаются в структурах прибрежной зоны; сходные по строению складки предгорий не связаны с грязепроявлениями. Любопытно также, что грязевые вулканы Чикишлярского района вообще выходят за пределы антиклинальных зон.

В более поздних работах было показано, что диапировые антиклинальные складки распространены достаточно широко, однако, далеко не во всех районах они контролируют грязевые вулканы [Шнюков и др., 1971]. Вывод очевиден: образование диапировых антиклинальных складок благоприятно, но не обязательно для формирования грязевых вулканов.

О СВЯЗИ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ С НЕФТЯНЫМИ И ГАЗОВЫМИ МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ

Сходные пространственные взаимоотношения связывают грязевые вулканы с нефтяными и газовыми месторождениями. В общих чертах грязевулканические провинции обычно совмещаются с газо-нефтяными бассейнами [Губкин, 1937; Калинко, 1964; Рахманов, 1987; Холодов, 2002], однако детальный анализ свидетельствует о более сложной связи этих явлений.

Так, например, в пределах Западно-Туркменской впадины, по материалам К.Н. Донченко, только девять крупных нефтяных и газоконденсатных месторождений (банки Губкина и Жданова, Челекенское, Котуртепинское, Барсгельмесское, Гограндагское, Камышинское и Окаремское) осложнены грязевулканическими постройками. В четырех нефтяных и в десяти других газоконденсатных месторождениях следы поверхностной грязевулканической деятельности отсутствуют.

Совершенно явно разобщены проявления грязевулканической деятельности и нефтегазонакопления в Западно-Кубанской впадине. Здесь основная масса нефтяных, газо-нефтяных и газоконденсатных месторождений связана с юрско-меловыми, палеоген-неогеновыми и понт-меотическими отложениями впадины и тяготеет к центральной и восточной ее части, где прослеживаются несколько субширотных антиклинальных зон. В отличие от месторождений, грязевые вулканы появляются в центральных частях впадины (Анастасьевско-Троицкая антиклиналь) и наиболее широкое развитие

получают в пределах Таманского полуострова, к западу от максимально нефтеносных областей.

Менее ясны пространственные взаимоотношения нефтяных и газовых месторождений и грязевых вулканов в Азербайджане. Достоверно установлено, что в пределах собственно Апшеронской области, расположенного западнее Шамахино-Кобыстанского прогиба и прилегающей к нему с юга Нижнекуринской низменности крупнейшие нефтяные месторождения: Балаханы, Сабунчи, Романы, Бинагады, Биби-Эйбат, Карадаг, Люкбатан, Мишовдаг, Нефтечала, Зых и др. часто осложнены грязевулканическими постройками. При этом в 21 нефтегазосодержащей структуре зафиксировано 34 грязевых вулкана. Нефтяные месторождения Бинагады, Мишовдаг и Бабазян несут на себе по 4 грязевых вулкана, Карадаг, Нефтечала, Кюровдаг и Шонгар – по 3 вулкана, а месторождение Хиллы – 2.

По мере движения с востока на запад, от берегов Каспийского моря в сторону Кавказских горных сооружений, среди многочисленных грязевых вулканов Азербайджана все чаще появляются образования, пространственно не связанные с нефтяными и газовыми залежами. Создается впечатление, что и в этом регионе имеется неполное совпадение нефтегазоносности и грязевого вулканизма.

Представляется, что пространственные взаимоотношения газообразных и жидких флюидов с грязевыми вулканами отражают сложность механизмов образования сверхвысоких давлений в глубоких частях стратисферы. Как было показано в работе [Холодов, 2018], суммарное СВД отражает фазовые переходы твердого органического вещества или глинистых минералов в газ, нефть и воду в соответствии с формулой:

$$P_{\text{СВД}} = P_{\text{дег.}} + P_{\text{н}} + P_{\text{г}},$$

где $P_{\text{СВД}}$ – суммарное сверхвысокое давление в грязевулканическом очаге; $P_{\text{дег.}}$ – давление дегидратационной воды; $P_{\text{н}}$ – давление жидкой нефтяной фазы; $P_{\text{г}}$ – давление газа.

Ясно, что в каждой грязевулканической провинции количественное соотношение между разными жидкими и газообразными фазами будет варьировать в зависимости от исходного состава пластических глинистых пород. В результате там, где преобладает давление жидкой нефти – будут формироваться нефтяные залежи, связанные с вулканическими постройками; там, где на первый план выходит газовый компонент – газовые скопления; а там, где нефтяные

углеводороды не формируются будут преобладать водоносные системы.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ОСТРОВА ЧЕЛЕКЕН И ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА АЛИГУЛ

Процессы, происходящие в случае избытка или дефицита нефти и газа в недрах вулкана, хорошо видны на примере древнего вулкана Алигул (остров Челекен, Туркмения). По данным В.В. Вебера и К.П. Калицкого [1911], В.В. Семеновича [1960], А.Б. Вистелиуса [1966], М.А. Романовой [1957], В.И. Дворова [1975], Л.М. Лебедева и И.Б. Никитиной [1983], В.Н. Холодова [1990, 1991] геологическое строение острова Челекен довольно своеобразно.

Остров сложен преимущественно плиоцен-четвертичными породами, стратиграфические взаимоотношения которых охарактеризованы в таблице, заимствованной из работы Л.М. Лебедева и И.Б. Никитиной [1983]. Наиболее древними отложениями являются карбонатные красноцветные песчано-глинистые толщи продуктивной свиты Азербайджана–Туркмении; они относятся к нижнему-среднему плиоцену и обнажаются в ядре крупной антиклинальной структуры, создавшей остров (полуостров) Челекен и являются региональным резервуаром нефтегазоносных залежей.

По данным А.Б. Вистелиуса и М.А. Романовой [1962], в красноцветной толще пород, залегающей на поверхности, литологические исследования позволяют выделить шесть горизонтов (снизу–вверх): кушкузлакский (8–36 м), кишмишинский (54–84 м), кошаюскинский (45–71 м), кутурбирунский (116–168 м), карагельский (144–150 м), куртепинский (29–70 м). Глины здесь окрашены в бурые и кирпично-красные тона, широко распространены алевролиты и карбонатные песчаники.

Бурение на нефтегазоносных площадях позволило расчленить красноцветную толщу на три части и выделить в ней восемь пачек, невыдержанных по составу, которые с трудом сопоставляются на разных нефтегазоносных участках.

Верхняя часть красноцветной толщи (пачки I и II) отличается высокой песчанистостью; мощность песчаных коллекторов здесь достигает 25–30 м. Средняя часть (пачки III–IV) отличается преобладанием алевролитов и глин; мощность песчаных пластов здесь редко достигает 3–4 м. В нижней части красноцветной толщи

Стратиграфическое расчленение отложений полуострова Челекен

Система	Ярус, толща	Подъярус	Суммарная мощность, м	
Четвертичная система	Новокаспийский Хвалынский Хазарский	— — —	60–70	
	Бакинский	Верхний Нижний	180–250	
Неогеновая система	Плиоцен	Апшеронский	Верхний Нижний	285–540
		Акчагыльский	—	20–50
		Красноцветная толща	—	2100–2500
	Миоцен	Породы, подстилающие красноцветную толщу	—	—

(пачки VI–VIII) преобладают глины и алевролиты. В основании красноцветных отложений В.А. Строганов [1959] обнаружил пласты ангидрита (CaSO₄) и анкерита (Ca(Mg, Fe)[CO₃]₂). Эти эвапоритовые скопления хорошо объясняют происхождение термальных челекенских рассолов, образующих восходящие источники на огромной площади исследуемой антиклинальной структуры [Дворов, 1975; Лебедев, Никитина, 1983; Холодов, 1991, 2006, 2013].

Над красноцветной толщей залегает зеленовато-серая слоистая толща акчагыльских глин, содержащих обломки, иногда хорошо сохранившиеся скелеты рыб и тонкие прослои вулканического пепла. Толща весьма однородна и залегает на подстилающих породах с неглубоким размывом. Общая мощность колеблется от 20 до 50 м. Следует подчеркнуть, что акчагыльские отложения не прослеживаются на широких площадях, а встречаются в виде отдельных пятен, что затрудняет определение их фациальной природы.

Вышележащие апшеронские отложения связаны с рыбными слоями акчагыла весьма постепенными переходами.

Нижний апшерон слагается чередованием черной слоистой глины с мергелями, песчаниками и прослоями вулканического пепла. В песках встречена фауна моллюсков *Streptocarella Sokolovi Andrus*. Выше залегают мощные слоистые черные глины с включениями известковых песчаных тел; в районе грязевого вулкана Алигул они сменяются осадочным меланжем, в котором глыбы глин цементируются известковым песчаным материалом, формирующим трубы, конкреционные тела и причудливые включения.

Более подробно эти образования, связанные с грязевулканической деятельностью Алигула, будут описаны ниже.

С четко выраженным угловым несогласием, выше залегает пачка черных глин и мергелей с обильной фауной дрейссен, завершающая разрез апшерона.

Трансгрессивно на слои верхнего плиоцена налегают отложения бакинского, хазарского и новокаспийских ярусов. Это преимущественно морские фации, представленные известняками-ракушечниками, песками и алевролитами со знаками ряби и косою слоистостью, а также черными глинами и ожелезненными конгломератами.

В разных частях Челекенской антиклинали бакинские и хазарские отложения слагают террасы. Многие тектонические разломы, локализованные в верхней части красноцветной толщи, в акчагыле и отчасти в апшероне, в постплиоценовых отложениях не прослеживаются. Складчатая структура Челекена осложнена многочисленными тектоническими разломами, среди которых резко преобладают сбросы [Вебер, Калицкий, 1911]. На их фоне выделяются две главные системы тектонических нарушений (рис. 4а).

Наиболее крупной является региональная система главного Челекенского сброса, распадающегося на ряд отдельных ступеней, вытянутая вдоль оси складки. На западе этот разлом проходит через грязевой вулкан Западный Порсугель, а на востоке включает в себя вулкан Розовый Порсугель. Секущими по отношению к главной системе разломов, являются Алигул-Куртепин-

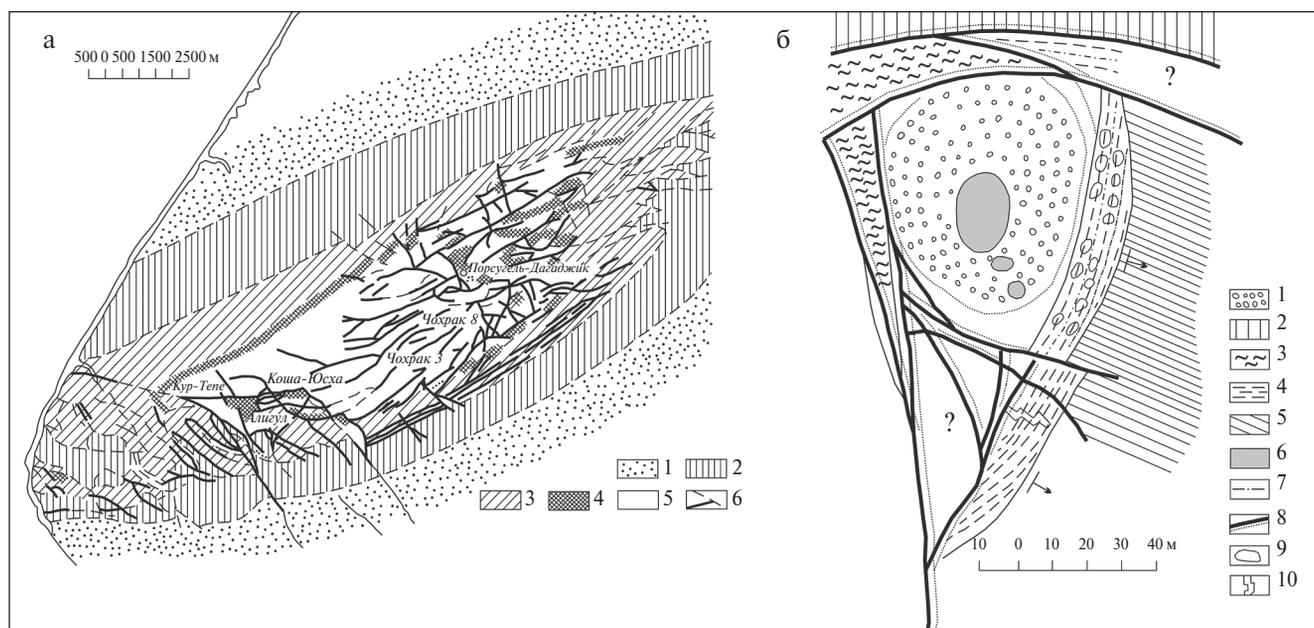


Рис. 4. Схема литолого-тектонического строения различных частей острова Челекен (Туркмения). а – всего региона ([Лебедев, Никитина, 1983] с изменениями): 1 – хазарский ярус; 2 – бакинский ярус; 3 – апшеронский ярус; 4 – акчагыльский ярус; 5 – красноцветная толща; 6 – сбросы; б – района древнего грязевого вулкана Алигул: 1 – грязебрекчии вулкана и осыпи; 2 – красноцветная толща; 3 – рыбные глины акчагыла; 4 – отложения апшерона; 5 – четвертичные отложения; 6 – жерло вулкана, заполненное грязебрекчиями и глыбами пород; 7 – предполагаемые тектонические разломы; 8 – разломы и сбросы; 9 – меланж в апшеронских толщах; 10 – кластические дайки в апшеронских пластах.

ская и Мирзабекская региональные системы разломов. Эти системы пересекают западную периклиналь складки почти в широтном направлении, но затем в районе грязевого вулкана Алигул резко изгибаются переходя к меридиональному простиранию и, рассекая четвертичные отложения, уходят в сторону грязевого вулкана Гогрань-Даг (антиклиналь Котур-Тепе), расположенного в Западно-Туркменской впадине.

Обращают на себя внимание две особенности этих региональных тектонических разрывов. Они обычно распадаются на ряд отдельных полуизолированных нарушений, связанных между собой общим простиранием блоков. Кроме того, обе системы прослеживаются на большие расстояния и глубины, фиксируются в четвертичных толщах, перекрывающих красноцветы плиоцена и, несомненно, относятся к региональным нарушениям Западно-Туркменской впадины.

Красноцветная плиоценовая толща Челекенской антиклинальной складки осложнена огромным количеством мелких разломов и трещин. По образному выражению К.П. Калицко, остров напоминает “разбитую тарелку” (см. рис. 4а).

Статистические исследования В.М. Будько [1958] показали, что в регионе намечается две

группы сбросов. К первой группе относятся разломы с амплитудой от десятков до сотен метров, которых сравнительно немного. Во вторую, более многочисленную группу вошли нарушения, амплитуда которых не превышает нескольких метров.

Необходимо также отметить, что максимальное количество нарушений сосредоточено в пределах юго-западной и северо-восточной периклиналей; на крыльях складок разломы вылаживаются или имеют незначительные амплитуды смещений. Как показал В.И. Дворов [1975], большинство сбросов представляют собой трещины растяжения, которые заполнены песчано-глинистым материалом вмещающих красноцветов и часто являются путями движения горячих металлоносных растворов, реже нефти и озокерита.

Челекенская антиклинальная складка имеет северо-восточное – юго-западное простирание и осложнена тремя крупными грязевыми вулканами: на юго-западе располагается Западный Порсугель, на северо-востоке – Розовый Порсугель; оба действующих грязевых вулкана представлены крупными озерными кратерами, заполненными водой или рассолом. На южном крыле структуры, среди группы разломов распо-

лагается древний, сильно эродированный вулкан Алигул.

Геологическое строение всех трех грязевых вулканов острова весьма сходно. По данным К.П. Калицкого, В.В. Вебера, В.В. Семеновича, Л.М. Лебедева и др., они представляют собой кольцевые сбросы, по которым опущена средняя часть кальдеры. Впадины обычно заполнены металлоносными рассолами; исключением является древний вулкан Алигул, кальдера которого полностью осушена и срезана процессами эрозии.

Геологическое строение района вулкана Алигул показано на рис. 4б. Морфологически этот район представляет собой урочище, вытянутое в меридиональном направлении и ограниченное крупными сбросами. По тектоническим нарушениям контактируют осадочные толщи разного возраста, слагающие Челекенское поднятие. На севере обнажаются красноцветы плиоценовой продуктивной свиты.

На северо-западе находятся выходы акчагыльских глинистых толщ содержащих фосфатные рыбные остатки; по данным П.Г. Данильченко [1986], фауна рыб была обеднена и представлена, главным образом, сельдевыми *Alosa praecursor* (Bog), *Sardinella milanovskii*, *Men* и *Cleopella vexata* Bog.

Восточное обрамление кальдеры Алигула выдается в виде небольшой квесты (3–4 м в высоту) и образовано, в основном, нижеапшеронскими отложениями. С крупным угловым несогласием на нижнем апшероне залегает песчано-глинистый верхний апшерон, постепенно сменяющийся более молодыми и полого залегающими слоями бакинського яруса.

Кальдера Алигула (40x50 м), в основном, покрыта глинистой толщей грязебрекчий, и только в краевых частях коренные породы и грязебрекчии перекрываются осыпями. Кальдера вулкана повсеместно носит следы антропогенной деятельности; в 1970-х годах разведочное бурение скважин на нефть внесло существенные изменения в рельеф кальдеры. В связи с этим облик жерла вулкана и двух его сателлитов приходится восстанавливать по описаниям К.П. Калицкого [1910]. По настоящее время жерло представляет собой овальную впадину (20x12 м), рядом имеются значительно уступающие ей по размерам, осложняющие впадины-жерла.

В начале XX века К.П. Калицкий [1910] на месте современных впадин древнего вулкана описал три некка, сложенных выброшенными

на дневную поверхность во время извержения породами. Среди них находились глыбы плотных зеленых известняков, твердые известковые песчаники, обломки пород красноцветной толщи, куски железистых песчаников. По данным А.А. Якубова и др. [1980], в обломках песчаников Алигула была определена фауна палеогена.

Девять разведочных скважин, пробуренных (“Туркменнефть”) в кратере вулкана и за его пределами, позволили установить следующие особенности геологического строения региона.

1) На глубине впадина кратера Алигула сменяется крупным антиклинальным поднятием, которое формируют песчано-глинистые толщи красноцветов плиоцена. Таким образом, строение впадины-кальдеры представляет собой осложнение свода крупной антиклинальной структуры.

2) Скважины позволяют охарактеризовать строение района на глубинах 2150–2265 м.

3) В песчаных толщах продуктивной свиты, а также в песчаниках акчагыла и нижнего апшерона вскрыты залежи нефти, газа и рассолов. Нефтегазоносный участок Алигул совпадает с приподнятой частью антиклинальной складки.

4) Присводовая часть поднятия Алигул рассечена вертикальными, тектоническими разломами, изолирующими отдельные части рассольно-нефтяной залежи.

5) Грязевулканический канал вулкана осложняет присводовую часть антиклинальной складки. В верхней своей части вертикальное жерло осложняется ответвлением, благодаря этому на поверхности кальдеры встречены три некка, описанные выше. Жерло канала пересекает красноцветную толщу и уходит вертикально вниз, в толщу палеогеновых глин.

6) Как было установлено в работах К.П. Калицкого [1910], В.И. Дворова [1975], а также Л.М. Лебедева и И.Б. Никитиной [1983], в районе грязевого вулкана Алигул распространены кирово-асфальтовые жилы, источники нефти и газа, а также высокотемпературные восходящие источники рассолов.

В настоящее время древний грязевой вулкан Алигул вскрыт эрозией и не функционирует. Изучение разрезов неогеновых отложений, однако, позволяет считать, что наиболее крупные и подводные его извержения происходили на рубеже нижнего и верхнего апшерона, а также верхнего апшерона и бакинського яруса. Эти процессы, по-видимому, сопровождались мощными

землетрясениями, образованием и оживлением многих тектонических разломов (сбросов) и выбросом из жерла вулкана огромного количества разнообразных по составу глыб и потоков грязевых разбрызгиваний. Так как весь этот материал поступал на мелководье, волнения и приливо-отливные движения морских вод извлекали из вулканических наносов тонкий глинисто-алевритовый материал и разносили его на значительные расстояния. Вблизи жерла вулкана концентрировались огромные глыбы пород, формирующие неки, которые в свое время заинтересовали К.П. Калицкого.

Нижнеапшеронские отложения, залегающие на мергелях и глинах акчагыла, представлены чередованием черных глин и серых алевритов, реже песчаников; снизу вверх по разрезу квесты количество и мощность песчаных пластов увеличивается. Видимая мощность обнаженной части квесты 3–4 м (см. рис. 4б).

Обнажение нижнеапшеронской свиты на восточном фланге кальдеры вулкана Алигул позволяет проследить слагающие ее пласты на расстоянии 200–250 м; маркирующими могут слу-

жить 4–5 прослоев черных глин с прослойками светлых вулканических пеплов в нижней части разреза.

При движении с юга на север, по мере приближения к жерлу грязевого вулкана, в апшеронских отложениях увеличивается количество трещин, обособляются отдельные части пластов и, наконец, в непосредственной близости от грязевулканического канала осадочные пласты превращаются в осадочный меланж – своеобразное глыбовое скопление (рис. 5а), сформированное в результате обособления и перемещения деформированных частей пластов.

Наряду с обособлением крупных глыб, внутри каждой из них наблюдается деформация осадочных слоев, образующих в результате сложную, иногда очень запутанную текстуру (см. рис. 5б). Беспорядочное расположение фрагментов разрушенных пластов (глыб) осложняется следами разжижения песчаников, располагавшихся в кровле нижнеапшеронских толщ. Некогда жидкая песчаная пульпа заполняла трещины, полости и каверны, с образованием своеобразных и причудливых текстур. Формирование



Рис. 5. Фотографии обнажений апшеронских толщ вблизи жерла грязевого вулкана Алигул. а – меланж со следами разжижения песчаников; б – характер деформаций тонкослоистых алевритов и глин в глыбах апшеронских слоев; в – натёченные формы песчаных пливунов.

этой пульпы было обусловлено рядом причин, связанных с деятельностью грязевого вулкана. Важнейшим фактором являлось сверхвысокое давление газовой фазы, реализовавшееся вблизи жерла и кратерного канала вулкана.

Второй вероятной причиной разжижения песчаников было, по-видимому, растворение карбонатного цемента, обусловленное избытком CO_2 в составе газовой фазы вулкана Алигул. Это предположение подтверждается данными А.А. Якубова, Б.В. Григорьянца, А.А. Алиева и др. [1980], выяснившими, что углекислота постоянно присутствует в грязевых вулканах западной туркмении, достигая наряду с углеводородными газами, концентраций в десятки процентов (Западный Порсугель – 5.2% CO_2 и 92.4% CH_4 , Кипящий бугор – 10.5% CO_2 и 85.96% CH_4).

Наконец, значительное влияние на разжижение песчаных пород нижнего апшерона оказали процессы встряхивания, связанные с грязевулканическими землетрясениями и приводящие к течению разжиженной массы, подобно тиксотропным коллоидам и заполнению полостей и трещин в подстилающих отложениях (см. рис. 5а, в).

Увеличение объема песчаной массы и заполнение ею свободного пространства в подстилающих толщах приводило к уменьшению давления CO_2 в растворах, разбавляющих песчаную массу и к осаждению карбонатов, вновь цементирующих песок. В этих случаях формировались причудливые карбонатно-песчаные формы (рис. 6), главным образом – округлые песчаные конкреции и разнообразные трубки. Песчаные конкреции с размерами от самых миниатюрных (1–2 см) до относительно крупных (10–15 см), часто сливаются в единые тела, формируя двойные-тройные (см. рис. 6а) и куклоподобные формы (см. рис. 6б). Трубки также существенно варьируют по размерности: от относительно мелких, длиной 15–20 см, до крупных, вертикально залегающих тел, длиной 0.8–1.0 м и 5–6 см в диаметре. Трубы и конкреции также соединяются друг с другом с образованием стяжений причудливой формы (см. рис. 6в) или своеобразных органо-подобных текстур (см. рис. 5а), иногда они инкрустируют трещины или срастаются с натечными образованиями (см. рис. 5в).

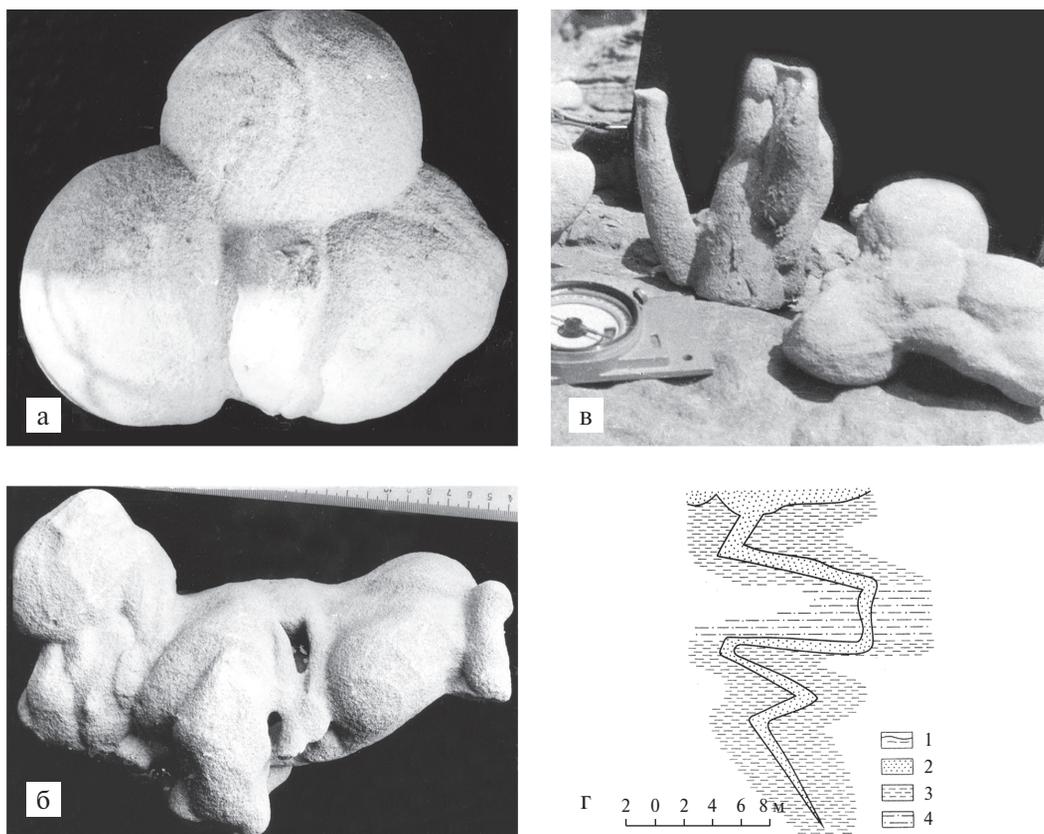


Рис. 6. Конкрециевидные и трубчатые формы песчаных пльвунов. а – утроенная округлая песчаная конкреция; б – кукловидная конкреция песчаника; в – сочетание трубчатых и конкреционных форм; г – кластическая дайка в апшеронских слоях (1 – граница дайкового тела, 2 – песок, 3 – глина, 4 – алеврит).

Распространение глыбового меланжа в нижнеапшеронских толщах ограничивается участками, прилегающими к жерлу вулкана Алигул. При движении к югу залегание песчаников и глин апшерона упорядочивается, и на расстоянии 150–200 м от кратера терригенно-глинистая толща осложняется лишь единичными кластическими дайками (см. рис. 6г).

Находки кластических даек вблизи кратеров грязевых вулканов являются очень важным фактом, поскольку свидетельствуют о генетической общности кластических даек, горизонтов “с включениями” [Холодов, 1983, 1990, 1991, 1998, 2006] и грязевого вулканизма. Более того, наблюдаемые признаки разжижения осадочного материала и его перемещения в области развития сверхвысоких трещинных давлений (СВД) свидетельствуют о том, что динамика геологических процессов здесь существенно меняется; на порово-трещинное перемещение жидкой фазы с инфльтрационной и элизионной гидродинамикой, на больших глубинах сменяется перемещением пластических и разжиженных минеральных масс.

Можно предположить, что дефицит песчаного материала в верхнеапшеронских толщах, возникший во время извержений Алигула в результате перемещения песка в трещины и тектонические нарушения, нижележащих осадочных пластов, мог быть причиной наблюдающегося морфологического несоответствия: провала кратера грязевого вулкана Алигул, с одной стороны и антиклинального строения одноименного нефтегазоносного участка, с другой.

На основании изучения грязевых вулканов и геологического строения острова Челекен можно предложить следующий механизм деятельности этих довольно широко распространенных образований. Важнейшей средой и создателем сверхвысоких давлений на глубинах являются мощные глинистые толщи палеогена; они предельно уплотнены и, с физико-химической точки зрения, представляют собой замкнутую физико-химическую систему, которая при фазовых преобразованиях (твердая глина — кристаллизационная вода или твердая органика — жидкая нефть и газ) обеспечивает рост давления жидкости или газа до огромных значений.

В уплотненных глинистых породах естественным, но весьма затрудненным способом перемещения газов и жидкостей, является вторичная трещиноватость.

Происхождение трещин тесно связано с землетрясениями и извержениями грязевых вул-

канов; поэтому максимальная трещиноватость локализуется вблизи очага (корня) вулкана, и по мере удаления от него постепенно уменьшается; после очередного извержения грязевого вулкана сверхвысокие давления, возникшие в трещинном пространстве пород очага, очень сильно уменьшаются. В этот интервал времени здесь господствуют сверхнизкие давления.

Фазовые преобразования органического вещества и глин в вулcano-материнских глинистых толщах создают избыточное давление, которое медленно, с использованием трещиноватости пород, стремится выровняться. В результате происходит чрезвычайно вялое перераспределение флюидов (вода, нефть, газ) в пласте (рис. 7); в жизни вулкана это затишье, или эпоха сользово-грифонной деятельности.

В трещинном пространстве очага давление флюидов начинает расти, и при превышении значений геостатического давления, кольматационная пробка в канале вулкана будет “выбита” (эффект бутылки шампанского), и сформировавшиеся на глубине газы, флюиды, грязебрекчии и глыбы боковых пород будут выброшены на дневную поверхность.

Вероятно, именно очаги грязевых вулканов при извержении являются эпицентрами землетрясений, часто сопровождающими взрывоподобный процесс. С землетрясениями, а отчасти с внедрением флюидов (вода, нефть, газ) под давлением, очевидно, связано разжижение песчаников, алевролитов и глин, распространенное в грязевых вулканах Западной Туркмении.

Интересно, что в грубозернистых песчаниках разжижение материала, в основном, обусловлено внедрением активных растворителей цемента под давлением, последующим растворением цемента и взвешиванием обломочного материала, формирующего “пльвун”; при этом тиксотропные явления отходят на второй план и играют сравнительно небольшую роль.

По мере уменьшения гранулометрической размерности, при переходе от грубозернистых песчаников к алевролитам и глинам, роль тиксотропных процессов заметно возрастает, и в разжижении коллоидных глин тиксотропное встряхивание играет важнейшую роль. Это было показано в работах К. Терцаги [Terzaghi, 1956, 1957], Ф.В. Чухрова [1955], Д. Краузе с соавторами [Krause et al., 1970].

Можно предполагать, что именно землетрясения и сверхвысокие давления флюидов ответственны за разжижение глин и формирование

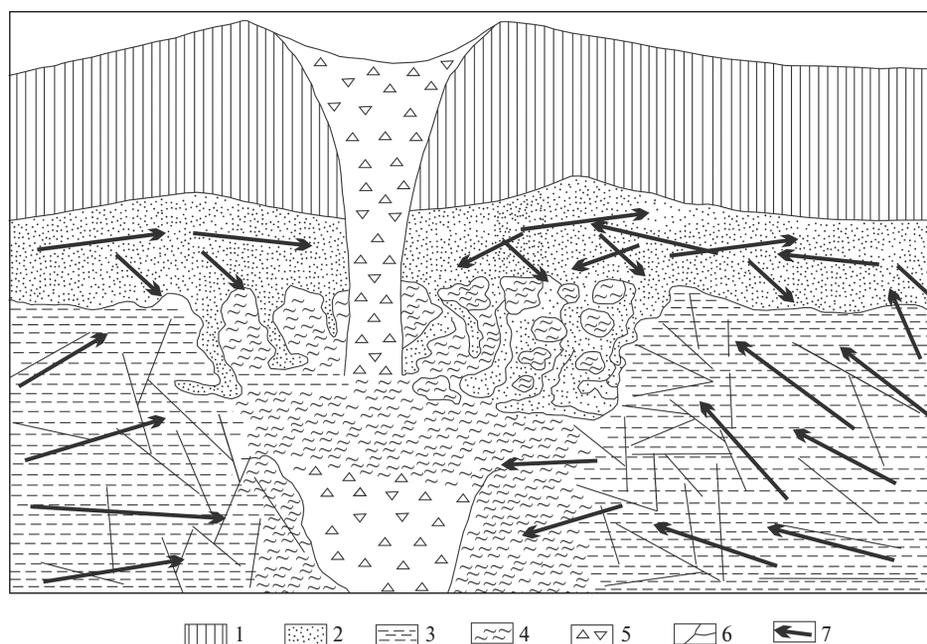


Рис. 7. Предполагаемая схема формирования глыбового меланжа и связанных с ним глинистых грязебрекчий вулкана Алигул.

1 – четвертичные отложения; 2 – песчано-глинистые толщи апшерона; 3 – глинистые толщи апшерона; 4 – глинистые грязебрекчии; 5 – глинистые грязебрекчии с глыбами разновозрастных пород; 6 – трещины и смещение в толще осадочных пород; 7 – направление движения флюидов (воды, нефти и газов), находящихся в области сверхвысоких давлений.

вязкой глинистой массы, составляющей основу вулканических грязебрекчий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Грязевые вулканы представляют собой весьма распространенное геологическое явление; на континентальном блоке нашей планеты насчитывается около 2000 грязевулканических построек, объединенных в 27 грязевулканических провинций.

Очаги или корни грязевых вулканов располагаются на глубине 8–10 км и пространственно тесно связаны с уплотненными глинистыми толщами, слагающими стратисферу. На такой глубине, в обстановке закрытой физико-химической системы, фазовые преобразования глин и органического вещества формируют сверхвысокие давления жидких и газообразных флюидов, возникновение которых описывается формулой:

$$P_{\text{свд}} = P_{\text{дегидр.}} + P_{\text{нефти}} + P_{\text{газа}}$$

Извержения грязевых вулканов сопровождаются выбросом углеводородных газов, нефти, воды, потоками гидробрекчий и глыб пород, слагающих разрез региона; постоянным спутником крупных извержений являются мелкофокусные землетрясения, охватывающие значительные

площади. Их эпицентры совпадают с корнями грязевых вулканов.

Изучение эпигенетических изменений нижнеапшеронских отложений древнего эродированного вулкана Алигул (Челекен, Туркмения) позволяет предложить следующее объяснение последовательности событий.

Предыдущее извержение вулкана и сопровождавшее его землетрясение привели к весьма неравномерному распределению трещиноватости в глинистых покрывках; максимальное количество трещин концентрировалось в очаге вулкана, минимальное – на периферии.

После извержения давление в очаге вулканической системы было минимальным, тогда как на периферии вулканической площади достигло максимума. В период грифоно-сальзового затихья происходило медленное выравнивание давлений, в основном, по системе трещин. Повышение давления флюидов в очаге вулкана сопровождалось разжижением песчаников, их внедрением в подстилающие толщи и формированием глыбового меланжа. Систематические толчки, возникавшие при обособлении глыб, способствовали разжижению глин, алевролитов и формированию грязебрекчий.

При извержении грязевого вулкана, подготовленная таким образом разжиженная масса выдавливалась через жерло на дневную поверхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абих Г.В.* О появившемся на Каспийском море острове и материалы к познанию грязевых вулканов Каспийской области // Мемог. Acad. Sci. Petersburg. VII Serie. 1863. V. 4. № 5 / Перевод с нем. // Труды Института геологии Аз. ФАН СССР. Т. XII. 1939. С. 15–48.
- Абих Г.В.* Геологический обзор полуостровов Керчи и Тамани // Записки Кавказ. отделения русского географ. общества. 1873. Кн. 8. С. 1–7.
- Авдусин П.П.* К петрографии продуктов извержения грязевых вулканов Крымско-Кавказской геологической провинции // Результаты исследования грязевых вулканов Крымско-Кавказской геологической провинции. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1939. С. 57–66.
- Архангельский А.Д.* Несколько слов о генезисе грязевых вулканов Апшеронского полуострова и Керченско-Таманской области // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1925. Т. 33. С. 3–4.
- Будько В.М.* К характеристике некоторых продуктов минерализации разрывных нарушений на острове Челекен // Геология Закаспия. Вып. 1. 1958. С. 46–59.
- Вебер В.В., Калицкий К.П.* Челекен // Труды Геолкома. Новая серия. 1911. Вып. 6. 180 с.
- Вистелиус А.Б.* Красноцветные отложения полуострова Челекен. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1966. 204 с.
- Вистелиус А.Б., Романова А.А.* Красноцветные отложения полуострова Челекен. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 227 с.
- Горин В.А., Буниат-Заде З.А.* Основные закономерности размещения нефтяных и газовых месторождений Азербайджана // Изв. АН Азерб. ССР. Сер. наук о Земле. 1967. № 5. С. 32–68.
- Горин В.А., Буниат-Заде З.А.* Глубинные разломы, газонефтяной вулканизм и залежи нефти и газа западного борта Южно-Каспийской впадины. Баку: Азерб. гос. изд-во, 1971. 190 с.
- Губкин И.М.* Тектоника юго-восточной части Кавказа в связи с нефтеносностью этой области. М.: ОНТИ НКТП СССР, 1934. 230 с.
- Губкин И.М.* Учение о нефти. М., Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1937. 456 с.
- Губкин И.М., Федоров С.Ф.* Грязевые вулканы Советского Союза и их связь с генезисом нефтяных месторождений Крымско-Кавказской геологической провинции. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 44 с.
- Губкин И.М., Федоров С.Ф.* Грязевые вулканы Советского Союза и их связь с нефтеносностью // Тр. XVII сессии Международного геол. конгресса СССР. Т. IV. М.: ГОНТИ, 1940. С. 9–22.
- Данильченко П.Г.* Морские и солоноватоводные рыбы Паратетиса // Стратиграфия СССР. Неогеновая система. Т. 2. М.: Недра, 1986. С. 302–306.
- Двойченко П.А.* Естественные производительные силы Крыма // Весь Крым. Симферополь: Крым ЦИК, 1926. С. 1–18.
- Дворов В.И.* Термальные воды Челекена и геохимические особенности их формирования. М.: Наука, 1975. 178 с.
- Дурмишьян А.Г., Асланов В.Д., Рахманов Т.Р. и др.* Закономерности изменения пластовых давлений в мезозойско-кайнозойских отложениях // Геология нефти и газа. 1976. № 10. С. 55–61.
- Иностранцев А.А.* Геология. Общий курс лекций. Т. I. Петербург: Типография Стасюлевича, 1889. 560 с.
- Калинко М.К.* Основные закономерности распределения нефти и газа в земной коре. М.: Недра, 1964. 205 с.
- Калицкий К.П.* Об условиях залегания нефти на о. Челекен. С-Петербург: Изд-во Комиссии Геолкома, 1910. 79 с.
- Ковалевский С.А.* Газовый вулканизм (вулканы и вулканоиды) // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1935а. № 1. С. 42–68.
- Ковалевский С.А.* Еще о газовом вулканизме // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1935б. № 9а. С. 32–59.
- Ковалевский С.А.* Грязевые вулканы Южного Прикаспия. Баку: Азнефтеиздат, 1940. 152 с.
- Лебедев Л.И., Кулакова Л.С.* Некоторые черты грязевого вулканизма в Южном Каспии // Каспийское море. Вопросы геологии и гидрогеологии. М.: Наука, 1990. С. 96–104.
- Лебедев Л.М., Никитина И.Б.* Челекенская рудообразующая система. М.: Наука, 1983. 240 с.
- Мушкетов И.В.* Физическая геология. Общие свойства и состав Земли; вулканизм, землетрясения, тектоника. Л.: Госиздат, 1924. 770 с.
- Науменко П.И.* Современная деятельность грязевого вулканизма Керченского полуострова // Материалы по минералогии, петрографии и геохимии осадочных пород и руд. 1976. Вып. 4. С. 115–135.
- Путкарадзе А.Л., Халилбейли Ч.А.* Грязевые вулканы в геологическом прошлом Юго-Восточного Кавказа // Ученые записки Азерб. университета. Серия геолого-географ. наук. 1964. Вып. 1. С. 88–103.
- Рахманов Р.Р.* Грязевые вулканы и их значение в прогнозировании газонефтеносности недр. М.: Недра, 1987. 174 с.
- Романова М.А.* Парагенезисы обломочных минералов красноцветных отложений острова Челекен // Записки ВМО. 1957. Ч. 86. Вып. 1. С. 42–75.
- Семенович В.В.* Геологическое строение и нефтегазосодержание Челекена // Тр. КЮГЭ АН СССР. Вып. 5. Л.: Гостоптехиздат, 1960. 158 с.
- Строганов В.А.* Типы нефтяных залежей Челекенского месторождения и условия их формирования // Новости нефтяной и газовой техники. Серия геол. 1959. № 4. С. 21–48.

- Султанов Р.Г. О связи грязевых вулканов Юго-Западно-го Кобыстана с тектоническими разрывами // Ученые записки АГУ. Сер. геол.-географ. 1966. № 6. С. 32–68.
- Сунгуров А.М. Особенности строения грязевых вулканов Юго-Западной Туркмении // Новости нефтяной и газовой техники. Серия геол. 1958. № 9. С. 6–15.
- Федоров С.Ф. Грязевые вулканы Крымско-Кавказской геологической провинции и диапиризм // Результаты исследований грязевых вулканов Крымо-Кавказской геологической провинции. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1939. С. 5–45.
- Холодов В.Н. Постседиментационные преобразования в элизионных бассейнах (на примере Восточного Предкавказья). М.: Наука, 1983. 150 с.
- Холодов В.Н. К проблеме генезиса полезных ископаемых элизионных впадин. Статья I. Южно-Каспийский элизионный бассейн // Литология и полез. ископаемые. 1990. № 6. С. 3–35.
- Холодов В.Н. К проблеме генезиса полезных ископаемых элизионных впадин. Статья II. Челекен-Боядагская гидротермальная система // Литология и полез. ископаемые. 1991. № 2. С. 104–123.
- Холодов В.Н. Грязевые вулканы: закономерности размещения и генезис. Сообщение I. Грязевулканические провинции и морфология грязевых вулканов // Литология и полез. ископаемые. 2002а. № 3. С. 227–241.
- Холодов В.Н. Грязевые вулканы; закономерности размещения и генезис. Сообщение 2. Геолого-геохимические особенности и модель формирования // Литология и полез. ископаемые. 2002б. № 4. С. 339–358.
- Холодов В.Н. О природе грязевых вулканов // Природа. 2002в. № 11. С. 47–58.
- Холодов В.Н. Геохимия осадочного процесса. М.: ГЕОС, 2006. 608 с.
- Холодов В.Н. Закономерность размещения и условия образования соленых диапиров и грязевых вулканов // Литология и полез. ископаемые. 2013. № 5. С. 441–460.
- Холодов В.Н. Термобарические обстановки глубин осадочно-породных бассейнов и их флюидодинамика. Сообщение 1. Зональность строения стратисферы и условия образования аномально-высоких и сверхвысоких давлений флюидов // Литология и полез. ископаемые. 2018. № 6. С. 539–557.
- Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 670 с.
- Шатский Н.С. Избранные труды. Т. III. Геологические формации и осадочные полезные ископаемые. М.: Наука, 1965. 345 с.
- Шнюков Е.Ф., Науменко П.И., Лебедев Ю.С. и др. Грязевой вулканизм и рудообразование. Киев: Наукова думка, 1971. 332 с.
- Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области (атлас). Киев: Наукова думка, 1986. 150 с.
- Шнюков Е.Ф., Гнатенко Г.И., Нестеровский В.А. и др. Грязевой вулканизм Керченско-Таманского района. Киев: Наукова думка, 1992. 200 с.
- Якубов А.А., Зейналов М.М. Грязевой вулканизм Азербайджана // Очерки по геологии Азербайджана. Баку: Изд-во АН АзССР, 1964. С. 130–145.
- Якубов А.А., Али-Заде А.А., Григорьянц Б.В. и др. Объяснительная записка к карте грязевых вулканов нефтегазоносных областей Азербайджанской ССР масштаба 1:500000. Баку: Изд-во МГ СССР, АН АзССР, 1978. 38 с.
- Якубов А.А., Григорьянц Б.В., Алиев А.А. и др. Грязевой вулканизм Советского Союза и его связь с нефтеносностью. Баку: ЭЛМ, 1980. 162 с.
- Badve R.M., Ghare M.A., Rejshkhar C. On the age of the ejected material from mud volcano of Raishekhar // Curr. Sci. (India). 1984. V. 53(5). P. 814–816.
- Krause D.C., White W.C., Piper D.S.W., Heezen B.C. Turbidity currents and cable breaks in the western New Britain French // Bull. Geol. Soc Amer. 1970. V. 81. P. 2153–2160.
- Terzaghi K. Varieties of Submarine slope Failures // Teknik ukeblad. 1957. № 43. P. 27–42.
- Terzaghi K. Varieties of Submarine slope Failures // Univ. Texas. Bur. Eng. Res. Spec. Publ. 1956. № 29. P. 41.
- Schmidt I. Studien über Erdheben / 2nd Ed. Leipzig, 1970. 240 p.

Thermobaric Depth Settings of Sedimentary Rock Basins and Their Fluid Dynamics: Communication 2. Superhigh Pressures and Mud Volcanoes

V. N. Kholodov

Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Pyzhevskii per. 7, Moscow, 119017 Russia

E-mail: rostislavn@yandex.ru

Received August 17, 2016

Abstract—The article discusses the patterns of placement of mud volcanoes, their spatial connection with tectonic faults, anticlinal uplifts, oil and gas fields. The connection of mud volcanic activity with ultrahigh pressures arising in the clay strata of the stratisphere as a result of phase transformations of clay minerals and organic matter is argued. The role of earthquakes in the formation of fractured clays, increasing their permeability and the formation of mud craters is emphasized. On the example of the mud volcano Aligula (Turkmenistan), the processes of dilution of sandstones and clays, the formation of volcanic mud-craters are considered.

Key words: *mud volcano, extreme pressure, earthquake, clastic dikes, oil and gas*

DOI: 10.31857/S0024-497X2019144-59