**О природе грязевых вулканов**

Профессор, д. г.-м. н. В.Н.Холодов, Геологический институт РАН, Москва

Грязевые вулканы представляют собой довольно широко распространенное геологическое явление. В настоящее время на нашей планете насчитывается более 1700 надводных и подводных грязевулканических построек. Некоторые грязевые вулканы-гиганты, особенно часто встречающиеся на территории Азербайджана, имеют высоту 400-450 м, площадь кратерной площадки 900-1000 м2, а общий объем твердых выбросов в момент извержения в них превышает 2400 млн м3. Особенно крупных размеров достигают грязевые вулканы Алятской гряды - Туорогай, Большой Кянизадаг, Дашгиль, Котурдаг, Айрантекян, Каракюре, Солахай и др.

Обычная грязевулканическая деятельность четко распадается на два периода. Извержения начинаются со взрыва газов в кратере, разрушения кратерной пробки и поступления на поверхность потоков полужидких грязебрекчий. Одновременно из жерла вулкана выбрасываются твердые обломки и глыбы пород, нередко происходит самовозгорание углеводородных газов и над кратером появляется горящее пламя. Его высота может достигать нескольких сотен метров. Массы грязебрекчий, содержащих большие количества воды, нефти, сероводорода и рассеянных сульфидов, растекаясь на площади, надстраивают старый конус. При этом объемы твердых выбросов огромны.

Извержение вулкана обычно длится несколько дней, сопровождается землетрясением, мощным подземным гулом и иногда распадается на отдельные фазы, в течение которых преобладают то одни, то другие продукты грязевулканической деятельности.

Затем вулкан надолго затихает. На кратерной площадке его появляются многочисленные сальзы и грифоны, непрерывно поставляющие на поверхность жидкую грязь, газ, воду. а иногда и нефть. Здесь у каждого источника, пробивающегося на поверхность, отлагается масса плотных глинистых корок, которые наращиваясь, превращаются в миниатюрное подобие вулкана. Такие сальзы. размерами не более 2-3 м высотой встречаются в кратерах в огромных количествах. Так, в кратере Дашгиль установлено 45 подобных построек, в кратере Айрантекяна - 66, а в кратере Отманбоздага даже 85.

Одновременно на склонах вулканического конуса начинается окисление и эрозия грязевулканических построек. Серые и зеленовато-серые глины, содержащие рассеянные сульфиды окисляются и превращаются в бурые, красновато-бурые породы, обогащенные гидроксидами железа и марганца. Склоны покрываются сетью глубоких оврагов (барранкосов), радиально расположенных по отношению к кратерной площадке; по ним перемещаются как глубинные воды вулканов, поступающие из грифонов и сальз, так и атмосферные осадки временно скапливающиеся в неровностях рельефа.

Таким образом, в грязевых вулканах постоянно чередуются периоды извержении с периодами относительного покоя. Во времени извержения различных грязевых вулканов происходят крайне неравномерно. Так, например, вулкан Джау-Тепе (Керченский полуостров) с 1864 по 1942 г. извергался 7 раз, Туорогай (Азербайджан) с 1841 по 1950 г. - 6 раз, тогда как в течение XX столетия зафиксировано только 2 извержения вулкана Шуго (Тамань). Впрочем, вполне вероятно, что такая неравномерность грязевулканического процесса объясняется неполнотой выполненных наблюдений.

Грязевые вулканы с древнейших времен привлекали внимание геологов; им посвятили свои работы такие выдающиеся ученые как Н.И.Андрусов. И.В.Мушкетов, Г.В,Абих, В.И.Вернадский, А.Д.Архангельский, И,М.Губкин. К.Н.Калицкий, Д,В.Голубятников, В.В.Белоусов, Н.С.Шатский, А,Б.Ронов, П.Н.Кропоткин, В.Е.Хаин, А. И. Косыгин, Е.Ф.Шнюков и др.

При объяснении механизма формирования собственно грязевых вулканов в начале XX века обозначилась три главных направления.

Одни исследователи, традиционно развивая идеи Г.В.Абиха, продолжали утверждать эндогенный, магматический генезис вулканов, акцентируя внимание на отдельных, не всегда однозначно объяснимых особенностях этого явления (Э.П.Штебер, С.А.Ковалевский, В.А.Горин, Н.А.Кудрявцев, П.Н.Кропоткин, Б.М.Валяев, Ш.Ф.Мехтиев, С.Д.Гемп, 3.А. Буниат-Заде, К.К.Уилсон и др.).

Другие геологи, вслед за академиками А.Д.Архангельским и, отчасти, И.М. Губкиным предлагали тектоническое решение задачи и главным фактором, определившим возникновение грязевых вулканов, считали геодинамику - развитие диапировых складок, пологих надвигов или глубинных разломов (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.).

Наконец, наиболее популярным оказалось представление геологов-нефтяников, которые в соответствии с взглядами В.Н.Вебера, К.П.Калицкого, В.Д.Голубятникова и И.М.Губкина связывали образование грязевых вулканов с формированием и разрушением месторождений нефти и газа (М,К,Калинко, А.А.Якубов, М.М.Зейналов, З.А.Буниат-Заде, P.P. Рахманов, Б.В.Григорьянц, Е.Ф.Шнюков и многие др.). При этом, избыточное давление, возникающее в нефтяных залежах и обуславливающее прорыв грязебрекчий на поверхность через эруптивные каналы вулканов многие исследователи объясняли избыточным давлением углеводородных газов, сконцентрированных в недрах.

**О закономерностях распределения грязевых вулканов**

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 1. Распределение грязевых вулканов |

Как наземные, так и подводные грязевые вулканы очень редко бывают одиночными; чаще они группируются в грязевулканические провинции разных размеров (рис. 1).

Наиболее крупные провинции грязевых вулканов сосредоточены в юго-восточной и северо-западной частях Кавказа.

В пределах Азербайджана (Апшеронский полуостров, юго-западный Гобустан и Нижнекуринская впадина) закартировано свыше 220 грязевулканических структур. Обычно они связаны с антиклинальными поднятиями, отчасти контролируются тектоническими разломами и иногда пространственно совпадают с крупными нефтяными и газовыми месторождениями[1, 2].

В северо-западной части Западно-Кубанской впадины, на Таманском полуострове, а также в пределах Керченского полуострова располагается еще одна крупная грязевулканическая провинция. Здесь зафиксировано свыше 100 грязевулканических проявлений [3, 4].

Менее крупные грязевулканические провинции, в состав которых входит обычно несколько десятков грязевых вулканов, установлены в Италии (долина р.По, о.Сицилия), в Албании, в Румынии, в западной Туркмении, в пределах Горганской равнины Ирана, на макранском побережье Ирана и Пакистана, в северном Белуджане Пакистана, в Джунгарии (КНР), в западных районах Бирмы, на островах Малайзии и Индонезии, на острове Новая Гвинея. Характерно широкое распространение грязевых вулканов на острове Сахалин, на островах Хонсю и Хоккайдо (Япония), а также в Новой Зеландии.

В западном полушарии грязевые вулканы известны на острове Тринидад (государство Тринидад и Тобаго), в Венесуэле и в северной Колумбии; они установлены также на побережье Мексиканского залива, в Калифорнии, в Гренландии и в Исландии.

Местные названия грязевых вулканов варьируют в очень широких пределах; их именуют сальзами, макалубами, глодурами, болборосами, пыклями (вариетет-пекло), грифонами, потоссами, морнами, буффами, ярдами, эрвидеросами, намарами, порсугелями.

Среди подводных грязевулканических провинций, пожалуй, самой крупной является Южнокаспийская впадина; здесь с помощью эхолотирования, геоакустического профилирования и аэромагнитной съемки выявлено более 136 грязевулканических построек на дне моря.

Менее детально изучены подводные грязевулканические провинции Черного и Средиземного морей; в них соответственно исследовано 25 и 16 грязевулканических сооружений.

Подводные грязевые вулканы довольно широко распространены на шельфах океанов и внешних морей; также как холодные потоки углеводородов ("сипы") они установлены в пределах западного и восточного тихоокеанского побережий, на шельфах Атлантического океана. Норвежского и Баренцева морей ( рис. 1).

В целом, рассматривая закономерности распространения грязевых вулканов на континентах планеты, а также в морях и океанах (рис.1) , нетрудно придти к выводу, что большинство грязевулканических провинций отчетливо тяготеет к альпийской зоне складчатости. Ее распространение также обозначено на рис. 1 и подтверждает вывод, сделанный ранее в работах М.К.Калинко, Р.Р.Рахманова, - современный грязевой вулканизм контролируется расположением альпийских горных сооружений.

При этом главной ареной, на которой проявляется грязевой вулканизм, являются предгорные и межгорные впадины, в которых накапливаются мощные толщи терригенно-глинистых кайнозойских отложений. Так, общеизвестно, что в пределах Мексиканской впадины мощность осадочного чехла оценивается в 10 км, в Южно-Каспийском бассейне она равна I9-20 км, в Западно-Туркменской впадине - 14 км, в Омано-Макранской депрессии - 11 км, а в пределах Иорвадийско-Андаманского региона она колеблется от 14 до 18 км.

Обычно области распространения грязевых вулканов совпадают с наиболее крупными нефтегазоносными бассейнами и соответствующими им элизионными системами [5, 6].

Наконец, следует подчеркнуть, что в грязевулканических провинциях обычно очень широко развиты мощные глинистые толщи и зоны сверхвысоких пластовых давлений флюидов (СВПД). Последнее обстоятельство особенно рельефно доказал М.К.Калинко, установивший их проявления в районах Мексиканского залива и острова Тринидад, в Западно-Кубанской впадине и на Апшеронском полуострове, в Западно-Туркменской впадине, в районе Эльбурса, на Макранском побережье Ирана и Пакистана, в Джунгарской впадине, в Западной Бирме и на острове Ява.

**Морфогенетическая типизация грязевых вулканов**

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2. |

Если использовать данные, характеризующие 500 и более наземных и подводных грязевых вулканов Крымо-Кавказского и Южнокаспийского регионов, то можно выделить среди них ряд морфогенетических типов (рис.2).

К первому типу грязевулканических построек относятся диапировые образования (I а,б,в). Обычно это крупные грязевые вулканы, в которых грязевулканическая брекчия отличается вязкой консистенцией и выдавливается из кратерного канала, образуя столбообразные некки. Типичными примерами вулканов этой группы могут служить Разнокол (Тамань), Котурдаг (Гобустан), Кобек и Боя-Даг (Западная Туркмения).

|  |
| --- |
|  |
| Рис 3.1 |

Разнокольский грязевой вулкан расположен на левом берегу старой протоки р. Кубань, вблизи от села Юрьево. Здесь непосредственно из-под заросшей травой почвы, без каких-либо других следов грязевулканической деятельности, выдавливается огромное колбасоподобное тело, высотой в 2-3 м и шириной в 15-20 м (рис. 3.1). Сползая вниз по откосу берега вязкая грязебрекчия разламывается на блоки и формирует гигантский оползень, длина которого достигает 1.5 км, при ширине в 50-100 м; он под прямым углом пересекает крутой левый берег протоки (рис. 32,3). В плотной глине потока встречены редкие включения обломков пород и глыб размерами от 0.50 х 0.70 до 1.5 х 3 м; они слагаются песчаниками, карбонатными обломками и сидеритовыми конкрециями. По Е.Ф.Шнюкову выдавливание диапира осуществляется неравномерно; в одних частях оно определено в 12 см/мес., в других - до 75 см/мес. Во времени интенсивность процесса тоже меняется, то ускоряясь, то замедляясь.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 3.2 |

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 3.3 |

Грязевой вулкан Котурдаг представляет собой огромную конусовидную гору, осложненную небольшой кратерной площадкой, напоминающей гигантский бархан. Из кратера вулкана выдавливается бугор плотной глинистой грязебрекчии; его ширина достигает 30 м, а высота - 15 м. Так же, как в пределах Разнокола, грязебрекчиевый язык разламывается на фрагменты, прорывает кратерный вал в его южной части и протягивается вниз по склону грязевулканической горы на расстояние 1.5 - 2 км. В плотной глине вулкана видны многочисленные зеркала скольжения; на фоне плотной глинистой массы темно-коричневого цвета разбросаны редкие, но крупные обломки мергелей, зеленовато-серых песчаников и красноцветных глинистых пород. А.А.Якубов и М.М.Зейналов установили, что скорость выдавливания глинистых грязебрекчий в Котур-Даге оценивается в 1.2-1.5 м/мес.; наши замеры в 1987 году позволили рассчитать ее величину в 1 м/мес.

|  |
| --- |
|  |
| рис. 3.4, 3.5 |

Существенно отличается от Разнокола и Котурдага строение грязевого вулкана Кобек, расположенного на своде одноименной антиклинали в 1.0-1.5 км северо-восточнее Боядага (Западная Туркмения). По особенностям строения некк вулкана Кобек мало отличается от так называемых "шайтанских садов". Обычно это округлые в плане участки размером 10 х 5 или 25 х 30 м, в пределах которых сконцентрировано большое количество вертикальных труб, сложенных карбонатным песчаником. В длину отдельные тела достигают 1.5-2.0 м, диаметр их колеблется от 1.0 до 25-30 см; они часто сливаются между собой, образуя сооружение, похожее на музыкальный орган, но нередко обособлены друг от друга и тогда становятся подобны останцам стволов деревьев в вырубленной роще. Высота всего некка, состоящего из многочисленных труб, достигает 5-12 м (рис. 34,5).

По существу, столбообразное тело в жерле грязевого вулкана представляет собой песчаную кольматацию\*, окаменевшую и превращенную в песчаник вследствие дегазации и падения давления СО2. Формирование подобных систем песчаных трубок скорее всего следует связывать с многократным продавливанием жидкой песчаной пульпы сквозь проницаемую песчаную или глинистую пробку в жерле вулкана. Само же образование трубы несомненно является следствием быстрого падения давления в газоводном флюиде, содержащем много растворенных карбонатов. Об этом свидетельствует наличие тонких каналов, фиксирующих движение газов в центральных частях трубок, и частые переходы труб в конкреционные, причудливые по форме, тела.

По сути своей процесс тождественен формированию инъекционных пластических песчаных даек, различные разновидности которых были описаны в работах В.А.Горина, З.А.Буниат-Заде в Азербайджане, В.Н. Холодовым в Восточном Предкавказье, П.И.Иванчуком, В.Н.Холодовым на Челекене и в Западной Туркмении.

|  |
| --- |
|  |
| рис. 3.6 |

Некк грязевого вулкана Боя-Даг, известный в литературе под названием Кара-Бурун ("черный нос"), представляет собой каменистый усеченный конус с почти отвесными стенками; высота его достигает 30-40 м, а диаметр основания 20-30 м. Это столбообразное поднятие сложено глыбами и обломками серых и рыжевато-серых песчаников и включениями фрагментов песчаных карбонатных труб. Их размеры колеблются от 0.5 до 3 м, в поперечнике. Вся масса обломков сцементирована глинистой и алеврито-песчаной грязебрекчией.

Некк Кара-Бурун осложняет присводовую часть Боядагской антиклинали. Он хороший географический ориентир в Западно-Туркменской впадине (рис. 3.6 ).

|  |
| --- |
|  |
| рис. 4.1 |

Ко второму типу грязевых вулканов (рис. 2, II ) относятся постройки, возникающие за счет периодического поступления на поверхность полужидких масс грязебрекчий; во время очередного извержения они растекаются от кратера к периферии вулкана, надстраивая вулканическое сооружение и увеличивая, таким образом, объем концентрически построенного конуса.

|  |
| --- |
|  |
| рис. 4.2 |

Размеры таких грязевых вулканов колеблются от 30-40 м в высоту и до 0.5 км2 в основании, но в отдельных случаях достигают 400-420 м в высоту и 20-25 км2 в площади основания. Сравнительно небольшие вулканические постройки часто встречаются в пределах Керченско-Таманской области, а также в некоторых районах Западной Туркмении и Азербайджана. На рис. 4.1 показан внешний вид вулкана Аляты (Бихар), расположенного на берегу Каспийского моря в районе Гобустана; на рис. 4.2 - грязевой вулкан Туорогай, возвышающийся над равниной каспийского побережья.

Кратерные площадки грязевых вулканов второго типа обычно осложнены многочисленными сальзами и грифонами - миниатюрными подобиями материнской грязевулканической постройки. Их внешний вид и детали строения показаны на рис. 4.3, 4.4; они постоянно выделяют воду, жидкую грязь, газовые пузыри и пленки нефти. Общий вид этих образований весьма экзотичен и, группируясь, они напоминают лунный ландшафт.

|  |
| --- |
|  |
| 4.3 |

К третьему типу следует отнести грязевые вулканы, в которых вместо гряэевулканических сооружений образуются солончаки, заболоченные участки с лужами жидкой грязи, занимающие большие площади и практически не возвышающиеся над окружающим рельефом. Такое грязевое болото обычно бывает осложнено небольшими сальзами или грифонами, размеры которых не превышают нескольких метров в высоту; из них постоянно изливается жидкая грязь, вода, реже нефть (рис. 2 - III).

|  |
| --- |
|  |
| рис. 4.5 |

Во время извержений вулканов этой группы очень часто образуются потоки жидкой грязи, напоминающие сели (сили). В вулканическую грязь обычно бывают включены обломки твердых, преимущественно осадочных пород.

Характерно проседание отдельных участков грязевулканического поля. Нередко в пределах области развития грязевых брекчий образуются неглубокие озера и лужи, концентрирующие в себе поверхностные воды.

В Азербайджане эта группа грязевых вулканов представлена Астраханской, в Западной Туркмении - Кипящим бугром, а в Керченской области - Булганакскими и, возможно, Солдатско-Восходовскими вулканическими очагами.

Булганакский грязевулканический очаг находится в 8-10 км севернее г. Керчь, восточнее озера Чокрак, на южном крыле Бондаренковской антиклинали, в непосредственной близости от берега Азовского моря. Он занимает площадь в 4км2 ,причем в центральной его части расположен огромный грязевулканический солончак (рис.4.5). Его глубина превышает 25 - 30 м, центральная часть непрерывно бурлит и поставляет на поверхность более 100 м3/сут. углеводородных газов и около 5000 л жидкой грязи ( Шнюков и др., 1986). В северной части очага располагаются сальзы или сопки Андрусова, Павлова, Тищенко, Абиха, Вернадского, в южной части - сопки Обручева, Булганак и Ольденбургского, а на западе - Трубецкого и Шилова. Самая крупная сопка Андрусова возвышается над местностью на 5 - 7 м, имеет диаметр основания в 300 м и кратерную площадку в 50 м. Геологическое строение района, скрытого Булганакским полем грязебрекчий, во многом неясно. Е.Ф.Шнюков предполагает здесь существовалие "вдавленной синклинали", которая скрыта мощным чехлом сопочных брекчий.

|  |
| --- |
|  |
| рис. 4.6 |

Четвертый тип грязевых вулканов представлен вдавленными синклиналями Керченского п-ова и порсугелями Челекена (рис. 2, IV. г, д).

Вдавленные синклинали представляют собой грязевулканическую структуру второго порядка, обычно осложняющую присводовую часть антиклинали; здесь по разломам, ограничивающим жерло вулкана, осуществляется опускание части грязевулканической постройки, в которой чередуются сопочные брекчии и нормальные осадочные отложения. Такие провалы особенно типичны для грязевых вулканов и складок Керченского полуострова, хотя встречаются также в пределах Западно-Кубанского прогиба и в ряде других грязевулканических провинций Мира.

Еще в позапрошлом веке Н.А.Головкинский предположил, что такие вторичные опускания участков структуры связаны с извержением большой массы грязебрекчий и соответствующей убылью объемов пород на глубине. В настоящее время после работ К.А.Прокопова, Г.А.Лычагина, а также Е.Ф.Шнюкова принято считать, что грязевой вулканизм обеспечивает избыток массы грязебрекчий на поверхности и дефицит ее на глубине; вследствие создавшейся ситуации начинается формирование кольцевых разломов и грабенов, вовлекающих в процесс опускания фрагменты нормально залегающих осадочных отложений, грязебрекчий и оползни.

Очень близки к вдавленным синклиналям грязевые вулканы острова Челекен (Западный Порсугель, Розовый Порсугель), а также Куринской впадины (озера севернее вулкана Дуздаг) и Керченского полуострова (озеро Чокрак).

Обычно это крупные и округлые впадины диаметром в 200-300 м и более, расположенные на относительно ровной поверхности и окруженные кольцевыми разломами. По разломам отдельные блоки пород опущены сверху вниз. Центральные части впадин заняты водой, которая местами пузырится от поступающих снизу газов (рис. 5.6).

Описанные выше типы грязевых вулканов одновременно можно рассматривать как разные стадии единого процесса, поскольку нередко в. результате очередного грязевулканического извержения на месте крупной грязевулканической постройки может образоваться озеро, а вместо крупного озера - возникнуть новый конус грязевулканической постройки.

Не останавливаясь на многочисленных примерах подобных метаморфоз, следует подчеркнуть, что предложенная морфогенетическая типизация грязевых вулканов позволяет считать, что в целом грязевулканические процессы реализуются не только при избытке давлений в недрах, но и при их дефиците Этот вывод существенно ограничивает представления о механизме формирования грязевых вулканов и заставляет серьезно задуматься о расположении, строении, состоянии и преобразованиях грязевулканического очага, питающего вулкан.

\*Кольматацией принято называть пробку, возникающую в трубах в результате выпадения в осадок компонентов из циркулирующих по трубам растворов.

**О корнях грязевых вулканов**

Систему вертикальных и наклонных каналов, по которым на поверхность поступает масса грязебрекчий разной консистенции, воды, жидких и газообразных углеводородов, газов и др. компонентов в геологической литературе принято называть корнями грязевых вулканов. Глубины, на которые проникают корни, определялись несколькими независимыми методами.

С помощью сейсмического профилирования глубина проникновения корней грязевых вулканов была установлена в западной Туркмении и в Южно-Каспийской впадине. В первом районе, по данным А.М.Сунгурова, она оказалась равной 5 - 7 км, во втором Л.С.Кулакова и Л.Н.Лебедев обнаружили их на глубине 9 км. Так как мощность осадочного чехла и в том и в другом случае колеблется от 14 до 20 км можно определенно утверждать, что корневая система вулканов не выходит за пределы стратисферы - осадочной и вулканогенно-осадочной оболочки Земли.

Косвенные, но очень интересные данные о генезисе грязевых вулканов можно получить путем исследования состава газов, участвующих в процессах извержений или поступающих на поверхность в результате сальзово-грифонной деятельности. Результаты многочисленных анализов газов вулканов Кавказа, Туркмении и острова Сахалин позволяют заключить, что как правило в них преобладает метан; количество азота и тяжелых углеводородных газов очень невелико, а инертные аргон, ксенон и криптон присутствуют лишь в долях процента.

Только в некоторых вулканах Керченского региона и о-ва Сахалин, наряду с метаном,получает распространение углекислота.

В отличие от грязевых вулканов истинные или магматогенные вулканы практически не выделяют метан. В их газовой фазе обычно накапливаются хлориды, углекислота, азот, сероводород, сернистый газ и даже фториды, однако метан, как правило, отсутствует.

В последнее время геохимические исследования газовой фазы грязевых вулканов были усилены изотопическими исследованиями гелия. В работах А.А.Якубова и др., а также В.Ю.Лаврушина и др. было установлено отсутствие в природных газах мантийного гелия, что по мнению авторов однозначно указывает на коровый источник всех газовых составляющих, включая углеводороды.

В целом, очевидно, что состав газов в изобилии поставляемых грязевыми вулканами как во время извержений, так и в сальзово-грифоновую стадию позволяет считать их генетически связанными с осадочными толщами грязевулканических провинций.

Оценку расположения корней грязевых вулканов многие исследователи пробовали установить по стратиграфической привязке твердых выбросов, в том или ином количестве, всегда присутствующих среди грязебрекчий. В этом случае предполагалось, что возраст самых древних включений должен соответствовать максимальной глубине проникновения корней вулканов в осадочный чехол.

Если следовать чисто формальным построениям, то по материалам А.Н.Шарданова, В.Т.Малышека, В.П.Пекло, Е.Ф.Шнюкова, П.И.Науменко, Ю.С.Лебедева, А,А.Якубова, А.А.Ализаде, М.М.Зейналова, Б.В.Григорьянца, А.А.Алиева и др. геологов можно думать, что корни грязевых вулканов Керченского полуострова не опускаются глубже миоценовых отложений, а корни вулканов Тамани и Западно-Кубанской впадины, по--видимому, прослеживаются в эоцен-палеоценовых толщах и даже в мелу.

Обратная картина наблюдается в положении очагов грязевых вулканов Апшерона, Кобыстана и Южно-Каспийской впадины. Корни большинства грязевых вулканов Азербайджана связаны с меловыми и палеоген-миоценовыми отложениями. Однако по направлению к центру Южно-Каспийской впадины они переходят в более молодые плиоцен-четвертичные отложения.

В этой условной схеме большие сомнения вызывает меловой возраст наиболее глубоко проникающих корней вулканов. Дело заключается в том, что во многих районах юго-восточного и северо-западного Предкавказья в палеогеновых отложениях широко развиты олистостромовые горизонты, в которых глины содержат глыбы и обломки меловых пород; одни исследователи рассматривают их как палеогеновые фации береговых обвалов и оползней, другие - как тектонические брекчии или "горизонты с включениями".

Каков бы ни был механизм образования олистостромовых горизонтов, ясно одно: в них широко распространены обломки меловых известняков, поступивших сюда в более позднее время, когда меловые карбонатные формации уже сформировались. Захваченные в момент извержения грязевого вулкана и вынесенные на поверхность они заставляют сильно "удревнять" привязку корней вулканов.

Все сказанное позволяет предполагать, что корни грязевых вулканов Азербайджана, а также Тамани и Западно-Кубанской впадины не опускаются ниже глинистых отложений Майкопа. Что же касается Южно-Каспийской впадины, то здесь они, по-видимому, оказываются связанными с глинистыми плиоцен-четвертичными толщами.

В целом, данные по привязке твердых включений грязебрекчий к стратиграфической шкале региона хорошо согласуются с материалами геофизики и геохимии, рассмотренными в начале этого раздела.

**Строение и механизм образования грязевулканических очагов**

Как это было показано выше, скопления грязевых вулканов тяготеют к нефтегазоносным впадинам альпийской зоны складчатости, в которых накапливаются терригенно-глинистые осадочные отложения и формируются мощные толщи глин со сверхвысокими пластовыми давлениями флюидов (СВПД). Грязевулканйческие провинции Крымо-Кавказского и Кавказско-Каспийского регионов не являются в этом отношении исключением.

Действительно, в районе Керченского полуострова мощность майкопских глин достигает 1500 м, в Прикаспийско-Кубанской области майкопские и подстилающие их коунские глины имеют мощность в 2000 м, на Апшероне - 1600 м, а в Шемахино-Кобыстанском районе - более 2000 м. Для всех этих районов особенно типичны огромные СВПД.

Нам представляется, что избыточные давления флюидов в мощных толщах глин формируются главным образом за счет фазового преобразования глинистых минералов в области высоких температур (и давлений) и, в первую очередь, за счет иллитизации смектита.

|  |
| --- |
|  |
| рис. 5 |

В схеме этот процесс можно представить себе так, как он изображен на рис. 5. В верхней части рисунка приведен макет образования зоны разуплотнения и сверхвысоких поровых давлений (СВПД) в глинах. Здесь мощный пласт преимущественно смектитовой глины опускается в глубь осадочно-породного элизионного бассейна, последовательно занимая положение А, Б, В и Г по отношению к той зоне критических температур и давлений, ниже которой смектитовая фаза существовать не может.

В микромасштабе процесс, что реализуется в глинах при фазовых превращениях глинистых минералов, изображен в левой части графика. Здесь показано, как блоки смектитовой глины (1,2,3,4) при погружении превращаются в иллитовые (1,2,3,4), уменьшаясь в объеме и выделяя кристаллизационную воду в зоне критических температур и давлений. В результате этого процесса, вблизи от границы иллитизации закладывается зона разуплотнения глин - пласт, в котором иллитовые блоки взвешены в выделившейся, кристаллизационной воде.

Глубже новообразованные блоки иллита сближаются между собой под действием возросшего геостатического давления и вся поровая вода отжимается вверх, в зону разуплотнения. В результате иллитовая глина уплотняется, а над ней возрастает поровое давление жидкости - в зоне разуплотнения глин образуется область СВПД.

Мощность зоны разуплотнения глин и величина пластовых давлений в ней в значительной степени зависят от мощности преобразуемой глинистой толщи и от ее положения по отношению к границе критических температур и давлений. Изначально зона разуплотнения и СВПД сравнительно невелика. Но по мере того, как опускающаяся в глубь стратисферы глинистая толща все больше охватывается иллитизацией, область разуплотнения становится все мощнее, а СВПД - возрастают.

Процесс по сути своей в какой-то степени напоминает "зонную плавку", предложенную А.П.Виноградовым и А.А.Ярошевским для объяснения. происхождения значительных масс гранитной магмы, выплавляющейся из мантии.

Изучение структурно-геохимических глин позволяет предположить, что мощность зоны разуплотнения может достигать 400-500 м и более [7].

В реальных условиях элизионных систем предложенная нами идеализированная схема фазовых превращений глинистых минералов существенно усложняется [8]:

I. Количество смектита в трансформирующихся глинах не обязательно должно резко преобладать над всеми остальными глинистыми минералами; расчеты показывают, что при исходном содержании 25-30 % смектита иллитизация 1 м3 глины сопровождается выделением 17-20 кг Н20+. Нетрудно понять, что глинистые толщи мощностью в 1.5-2.0 км могут создать весьма значительную зону обводнения в осадочном чехле.

3. Формирование подземных глинистых плывунов резко увеличивает проницаемость отдельных участков глинистой толщи и стимулирует усиление реакций термолиза и термокатализа рассеянного органического вещества, гидролиза карбонатов и растворения силикатного - всех тех процессов, что происходят в главную фазу нефте- и газообразования.

4. Пластовое давление в грязевулканическом очаге растет за счет поступающего в него газа и нефтяных углеводородов; осуществляется интенсивная интеграция парциальных давлений и относительная гомогенизация всех составляющих, включенных в систему. В зонах разуплотнения образуются не воды, а сложные по составу газоводные флюиды.

5. В зоне разуплотнения глин протекает интенсивное упорядочение ориентировки частиц глинистых (и терригенных) минералов и перераспределение химических элементов, меняющих свои формы нахождения.

Здесь рождаются новые ассоциации аутигенных минералов, отражающие особенности новой физико-химической среды.

В ходе погружения глинистых толщ в глубь осадочного бассейна и иллитизации смектита рост поровых давлений прекращается тогда, когда в область СВПД попадает разлом, вертикальная зона трещиноватости или песчаный пласт-коллектор. Тогда поровые флюиды, накопленные в зоне разуплотнения, устремляются в поровые пространства песков или уходят по плоскости разломов, а поровые давления в глинах падают до обычных для данных глубин.

При существенной разнице поровых давлении в глинах и коллекторах могут, по-видимому, возникать коллизии, существенно меняющие текстуру и характер залегания не только глин, но и других осадочных пород в разрезе. В нижней части рис. 5 приведена схема, характеризующая предположительный механизм формирования кластических даек и горизонтов с включениями; на ней чередование песков и смектитовых глин опускается в зону иллитизации, последовательно занимая положение А, Б, В и Г.

Очевидно, что когда пласт песка I входит в область разуплотнения и СВПД, он превращается в плывун, пластичность песчаника и глины выравнивается, и они оба деформируются как весьма пластичные и сходные образования.

Иногда перепад поровых давлений в глинах и песчаниках настолько велик, что их соприкосновение приводит к более ярким гидроразрывам; под огромным давлением разжиженный песок инъецируется в трещины, заполняет их и после декомпрессии цементируется компонентами, растворенными в пульпе.

Именно так формируются песчаные дайки, горизонты с включениями, диапировые апофизы и др. консеквентные тела, описанные нами в ряде предшествующих работ. Они нередко ассоциируются именно с грязевыми вулканами и это приводит к мысли, что в очаг подобных образований помимо разжиженных флюидами глин могут входить также разжиженные пески-плывуны. Их проявления особенно типичны для грязевых вулканов Туркмении, где грязебрекчии часто содержат тела песчаников самой причудливой формы.

Такям образом, очаг грязевого вулкана представляет собой тело, сложенное глинами, реже - песками, часто содержащими большое количество твердых обломков вмещающих пород и разжиженных гомогенизированными газоводными флюидами (вода, нефть, газы разного состава); оно формируется на больших глубинах за счет саморазвития элизионных систем и может при благоприятных обстоятельствах "питать" корни грязевулканических построек.

Потенциальные возможности таких грязевулканических очагов хорошо раскрываются при исследовании аварий нефтяных скважин.

Первый очень распространенный случай описан А.Г.Дурмишьяном и Н.Ю. Халиловым в связи со сверхвысокими пластовыми давлениямн в структурах Бакинского архипелага. Здесь при бурении ряда скважин наблюдался прихват инструмента, сужение ствола скважины, выбросы труб и выпирание глинистой массы на поверхность. Так, например, бурение скв. 42 на грязевом вулкане Дашгиль завершилось тем. что из забоя была выброшена вся колонна бурильных труб длиной в 2500 м, которая силой выброса оказалась кольцеообразно уложенной вокруг буровой вышки. Значительно чаще из забоя скважины бурильный инструмент вытеснялся пластичной глинистой массой, напоминавшей грязебрекчии, а затем эти скопления грязи выдавливались из ствола наподобие диапира.

Другой случай ассоциируется с появлением так называемых "буйных скважин", широко распространенных в США (штаты Техас и Луизиана), а также в Бакинском районе. Аварии в этом случае сопровождаются внезапным выделением большого количества воды и газа, провалом буровой и образованием округлых воронок диаметром 200-250 м. В течение длительного времени после аварии (8-10 лет) вода вы-носит на. поверхность огромное количество глинистого материала.

Различия между этими двумя крайними случаями заключаются в составе и строении самого грязевулканического очага, а также в условиях его вскрытия скважинами. В первом случае грязевулканический очаг реагирует на введение забоя скважины как единое тело, стремящееся занять больший объем, а во втором - из него удаляется вода и газ, падает давление, образуется свободное пространство в недрах, которое отражается у устья скважины формированием кальдеры обрушения и проседанием пластов.

Можно думать, что эти два разных случая вскрытия очага грязевого вулкана скважинами до некоторой степени аналогичны формированию крайних морфогенетических типов грязевых вулканов в предложенной нами типизации. Первый случай сходен с образованием группы диапировых вулканов и вулканов с мощными грязевулканическими постройками, а второй - с "вдавленными синклиналями" и порсугелями, всегда близкими по форме к кальдерам обрушения.

Очевидно, что аналогия в поведении буровых скважин и грязевых вулканов косвенно подтверждает наши представления об условиях и механизме формирования грязевулканических очагов.

С геологической точки зрения очаги грязевулканической деятельности можно рассматривать как разжиженные и линзовидные слои-волноводы, залегающие примерно в соответствии с напластованием слоев, но местами пересекающие стратиграфические границы. В тех местах, где они пересекаются системой трещин и разломов в них образуются консеквентные ответвления - собственно корни грязевых вулканов. Выше эти образования (ответвления) сменяются жерловыми грязебрекчиями, а уже на поверхности - полями кратерных и сопочных грязебрекчий, нередко формирующими вулканические постройки,

**Динамика развития грязевого вулкана**

В развитии подавляющего большинства грязевых вулканов можно отчетливо различить три стадии: 1) стадию формирования грязевулканического очага, обусловленную особенностями развития элизионной системы; 2) стадию извержения грязевого вулкана, в значительной степени отражающую состав и условия залегания грязевулканического очага; 3) стадию пассивной грифонно-сальзовой деятельности, видоизменяющую последствия извержения грязевого вулкана и подготавливающую следующее его извержение.

Первая стадия протекает на фоне аккумуляции терригенно-глинистых отложений, углубления впадин и поступления флюидогенерирующих глин в области повышенных температур и давлении. При этом первичные свойства захороняемых глин предопределяют те соотношения компонентов во флюидах грязевулканического очага, которые играют большую роль в определении типа извержения и даже морфогенетического типа грязевого вулкана; в этом отношении грязевой вулканизм очень похож на лавовый. в котором, как известно, кислотность - щелочность магмы и коэффициент эксплозивности предопределяют особенности извержения и характер вулканической постройки.

Очень большое значение в деятельности грязевых вулканов играет величина суммарного СВПД, возникающего в очаге. Оно, так же как и компонентный состав фдюидов в значительной степени зависит от первичных, палеогеографических, седиментационно-диагенетических, фациальных и тектонических условий залегания глинистых пород, слагающих элизионные системы.

В целом, формирование грязевулканического очага направлено в сторону интеграции и гомогенизации твердых, жидких и газообразных компонентов и в условиях закрытой физико-химической системы создает отличную от вмещающих отложений потенциально активную и подвижную среду слоя-волновода.

Вторая стадия развития грязевого вулкана начинается с вскрытия грязевулканическою очага системой разломов и трещин, что связывает переход закрытой физико-химической системы в открытую. Этот процесс сопровождается фазовой дифференциацией вещества и одновременным движением масс от очага к дневной поверхности.

Главным фактором, регулирующим извержение, является падение давления, связанное с перемещением грязевулканической массы по каналу от очага к дневной поверхности. Снижение давления очень интенсивно воздействует на пластичность разжиженных глин; как известно. уменьшение его превращает полужидкую массу в плотное глинистое тело.

Очень большую роль во время извержения вулкана играет потеря га-зовой составляющей; она меняет свойства остаточного раствора и неред-ко приводит к образованию аутигенных минералов, кольматирующих канал вулкана. Так, например, потеря газообразного СОо вблизи от дневной поверхности смещает карбонатные равновесия в сторону выпадения твердой фазы карбонатов. Последние цементируют до этого подвижные пески-плывуны и образуется пробка-кольматация, перекрывающая грязевулканический канал. Многократное повторение осаждения карбонатов и про-давливание сквозь сформировавшуюся песчано-карбонатную пробку газо-водных песчаных плывунов может создать целую систему карбонатных песчаных труб, известных под наименованием "шайтанские сады" (Западная Туркмения).

Потеря метана способствует концентрации тяжелых углеводородов и формированию кировых и асфальтовых образований цементирующих пески.

Очень большое значение при извержении грязевого вулкана имеет поведение трудносжимаемой воды. Ее резкое выделение из грязебрекчий и уход по каналу вулкана к поверхности может вызвать эффект "бешеной скважины", способствовать образованию дефицита массы на глубине и возникновению кальдеры проседания вокруг кратера вулкана.

В некоторых случаях запечатывание каналов вулкана происходит чисто механическим путем, так .как в них могут застрять глыбы и об-ломки твердых пород, захваченных грязевым потоком из вмещающих по-род; их размеры иногда достигают 5- 10 м3.

Очень часто кратер вулкана забивается грязебрекчиями, объемы которых необычайно велики. По подсчетам А.А.Якубова и А,Д.Алиева масса грязебрекчий выброшенных на дневную поверхность в результате деятельности 220 вулканов Азербайджана составила I00-II0 млн м3.

Как бы то ни было, но процесс извержения грязевого вулкана, в целом, направлен на разделение компонентов, интегрированных в грязе-вулканическом очаге. Он вызывает существенное падение СВПД в области питания системы, завершается запечатыванием ранее активно действую-щего канала и переходом к следующему, относительно спокойному этану развития.

Третий. сальзово-грифонный этап развития грязевого вулкана с одной стороны можно рассматривать как завершение извержения, а с другой - как подготовку следующего катаклизма. В этот период на глубине, в области очага вулкана, регенерируется СВПД, поскольку развивающиеся элизионные процессы в условиях замкнутой физико-химической системы способны восстанавливать свои исходные параметры (Р.Т ).

Одновременно уменьшается проницаемость той пробки, что запеча-тывает грязевулканический канал.

Следует подчеркнуть, что грязебрекчий, перекрывающие каналы вулкана и формирующие кратерную площадку редко представляют собой полностью непроницаемую систему; в них часто обнаруживаются трещины, зоны повышенной проницаемости и каналы, по которым в первую очередь двигаются и разгружаются газы. В истории многих грязевых вулканов известны длительные периоды существования огненных факелов, которые в течение значительного отрезка времени, уже после завершения активных извержений, украшали кратерные площадки. Они несомненно представляют собой результат миграции газообразных углеводородов, сгорающих при выходе на дневную поверхность.

По следам мигрирующих газов в сальзово-грифонный этап развития грязевых вулканов устремляются воды. Они выносят из запечатывающих эруптивный канал вулкана грязебрекчий большое количество тонкого глинистого материала, расширяя и совершенствуя пути разгрузки. В то же время они захватывают, частично растворяя в себе, такое большое количество глинистого материала, что превращаются в настоящий глинистый раствор искусственно создаваемый нефтяниками для нужд бурения.

Газоводные смеси, несущие массы пелитового глинистого материала, постепенно разрушают сплошность грязевулканической пробки, за-печатывающей эруптивный канал вулкана. С другой стороны, их выход на дневную поверхность сопровождается отложением глинистых скоплений со всех сторон окружающих канал разгрузки и постепенно формирующих конусообразные постройки в миниатюре напоминающие грязевой вулкан.

В целом сальзово-грифонные воды грязевых вулканов по составу очень похожи на пластовые воды нефтяных и газовых месторождений региона. Любопытно также, что в пределах одного и того же кратерного поля каждая сальза выносит воды разного класса и типа.

Таким образом, период усиленной сальзово-грифонной деятельности нарушает монолитность грязевулкавических скоплений запечатывающих кратер грязевого вулкана, делает их рыхлыми, пронизанными многочисленными вертикальными каналами и полостями. В результате эта разрыхленная масса грязебрекчий оказывается не в состоянии противостоять давлению грязевулканического очага и при первом же землетрясении, сейсмическом толчке, тектонической подвижке или другом нарушении равновесия вовлекается в новое извержение.