

ПРИРОДА

№ 11, 2001 г.

В. Н. Холодов

О природе грязевых вулканов

© “Природа”

**Использование и распространение этого материала
в коммерческих целях
возможно лишь с разрешения редакции**



Сетевая образовательная библиотека “VIVOS VOCO!”
(грант РФФИ 00-07-90172)

vivovoco.rsl.ru
www.ibmh.msk.su/vivovoco

О природе грязевых вулканов

В.Н.Холодов

Грязевые вулканы представляют собой широко распространенное геологическое явление. На нашей планете насчитывается более 1700 надводных и подводных грязевулканических построек. Некоторые вулканы-гиганты, особенно часто встречающиеся на территории Азербайджана, имеют высоту 400—450 м, площадь кратерной площадки достигает 900—1000 м², а общий объем твердых выбросов в момент извержения превышает 2400 млн м³.

Обычная грязевулканическая деятельность четко распадается на два периода. Извержения начинаются со взрыва газов в кратере, разрушения кратерной пробки и выхода на поверхность потоков полужидких грязевых брекчий, содержащих большие количества воды, нефти, сероводорода и рассеянных сульфидов. Одновременно из жерла вулкана выбрасываются твердые обломки пород, нередко происходит самовозгорание углеводородных газов.

Извержение, как правило, длится несколько дней, сопровождается землетрясением, мощным подземным гулом. Затем вулкан надолго затихает. На кратерной площадке появляются многочисленные сальзы и грифоны (струи и каналы), непрерывно поставляющие на поверхность жидкую грязь, газ, воду, а ино-

© В.Н.Холодов



Владимир Николаевич Холодов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Геологического института РАН. Область научных интересов — геохимия осадочных пород, биогеохимия, грязевой вулканизм. Главный редактор журнала «Литология и полезные ископаемые». Неоднократно печатался в «Природе».

гда и нефть. Здесь у каждого источника, пробивающегося на поверхность, отлагается масса плотных глинистых корок, которые постепенно превращаются в миниатюрное подобие вулкана высотой не более 2—3 м. Они встречаются в кратерах в огромных количествах. Так, в кратере вулкана Дашгиль обнаружено 45 подобных построек, в кратере Айрантеяна — 66, а в кратере Отманбоздага даже 85.

Одновременно на стенках конуса начинается окисление и эрозия грязевулканических построек. Серые и зеленовато-серые глины, содержащие рассеянные сульфиды, окисляются и превращаются в бурые и красновато-бурые породы, обогащенные гидроксидами Fe и Mn. Склоны покрываются сетью

глубоких оврагов (барранкосов), радиально расположенных по отношению к кратерной площадке. По ним перемещаются как глубинные воды вулканов, так и атмосферные осадки, временно скапливающиеся в неровностях рельефа.

Таким образом, в грязевых вулканах постоянно чередуются периоды извержения с периодами относительного покоя. Извержения вулканов происходят крайне неравномерно. Вулкан Джау-Тепе (Керченский п-ов) с 1864 по 1942 г. извергался семь раз, Туорогай (Азербайджан) с 1841 по 1950 г. — шесть раз, тогда как в течение прошлого столетия зафиксировано только два извержения вулкана Шуго (Таманский п-ов). Впрочем, вполне

Полный текст статьи с библиографией и обширным именованным указателем размещен на интернет-сайте: www.inform.geol.msu.ru.

ГЕОЛОГИЯ

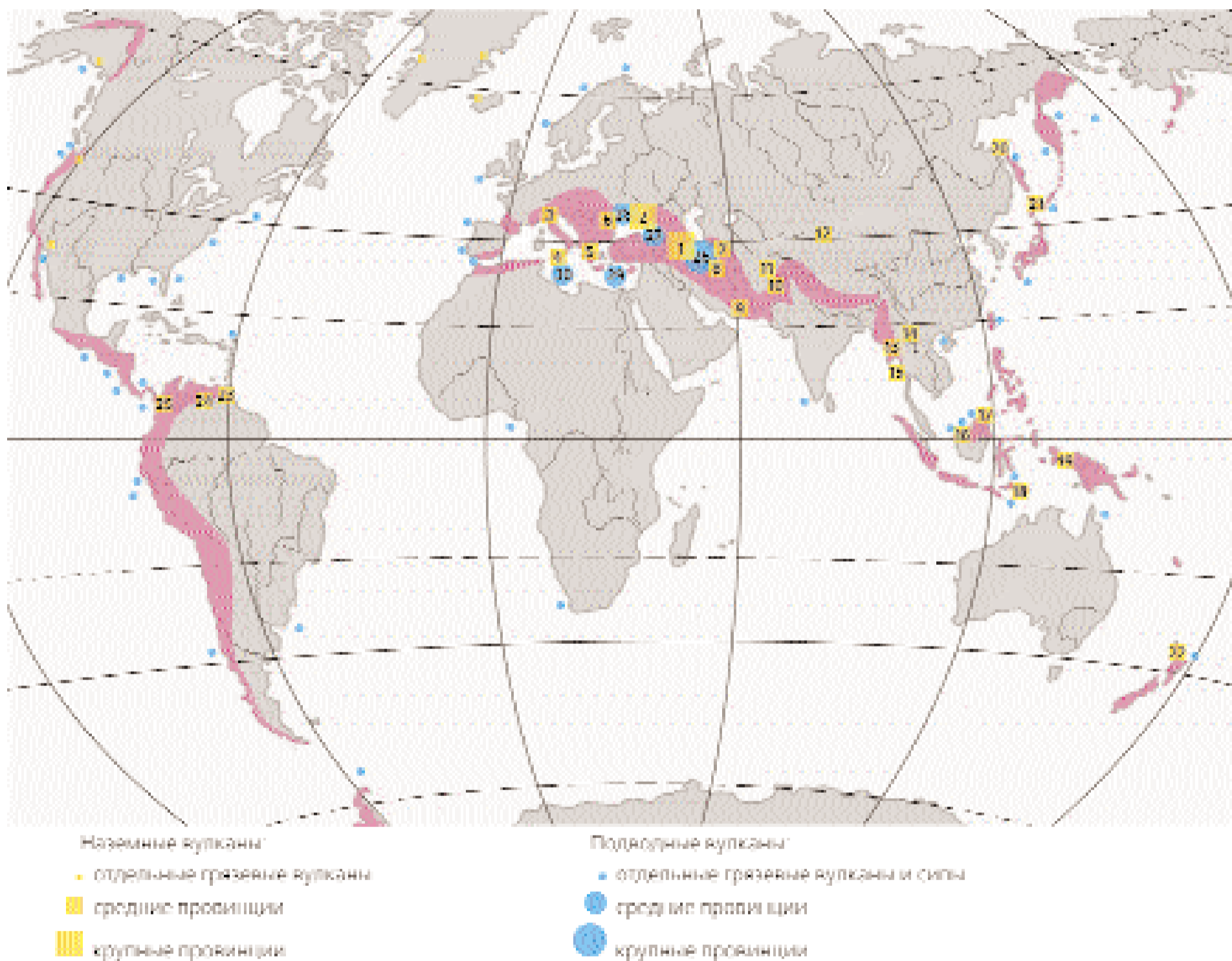
вероятно, что такая неравномерность грязевулканического процесса объясняется неполнотой выполненных наблюдений.

Грязевые вулканы с древнейших времен привлекали внимание геологов. При объяснении механизма их формирования в начале прошлого века обозначились три главных направления.

Одни исследователи, традиционно развивая идеи Г.В.Абиха, продолжали утверждать эндогенный (магматический) генезис вул-

канов. Другие геологи, вслед за академиками А.Д.Архангельским и И.М.Губкиным, предлагали тектоническое решение задачи и главным фактором, определившим возникновение грязевых вулканов, считали геодинамику — развитие диапировых складок, пологих надвигов или глубинных разломов. Наконец, наиболее популярным оказалось представление геологов-нефтяников, которые в соответствии со взглядами В.Н.Вебера, К.П.Калицкого, Б.Д.Голубятникова

и И.М.Губкина связывали образование грязевых вулканов с формированием и разрушением месторождений нефти и газа. При этом избыточное давление, возникающее в нефтяных залежах и обуславливающее прорыв грязебрекчий на поверхность через вулканические каналы, многие исследователи объясняли избыточным давлением углеводородных газов, сконцентрированных в недрах.



Распределение грязевых вулканов. 1 — Апшеронский п-ов, Юго-Западный Гобустан, Нижнекуруинская впадина; 2 — Керченский п-ов и Тамань; 3 — Северная Италия; 4 — о.Сицилия; 5 — побережье Албании; 6 — Румыния; 7 — Западно-Туркменская впадина; 8 — Гогранское побережье Ирана; 9 — Макранское побережье Ирана и Пакистана; 10 — районы Белуджистана и Пенджаба в Пакистане; 11 — провинции Ассам и Восточный Пенджаб в Индии; 12 — Джунгария (КНР); 13 — острова Западной Бирмы; 14 — среднее течение р.Иравади (Бирма); 15 — Андаманские о-ва; 16—17 — о.Калимантан (Малайзия); 18 — о.Тимор (Индонезия); 19 — о.Новая Гвинея (Индонезия); 20 — о.Сахалин (Россия); 21 — о.Хоккайдо (Япония); 22 — о.Северный (Новая Зеландия); 23 — о.Тринидад (Тринидад и Тобаго); 24 — Венесуэла; 25 — Северная Колумбия;

Закономерности распределения

Грязевые вулканы очень редко бывают одиночными. Чаще они группируются в наземные или подводные провинции. Наиболее крупные сосредоточены в юго-восточной и северо-западной частях Кавказа. В пределах Азербайджана (Апшеронский п-ов, юго-западный Гобустан и Нижнекуруинская 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 и Керченском п-овах, располагается еще одна крупная провинция. Здесь зафиксировано свыше 100 грязевулканических проявлений [3, 4].

Местных названий грязевых вулканов очень много. Их именуют сальзами, макалубами, глодурами, болборосами, пыклями (вариетет-пеклами), грифонами, потоссами, морнами, буффами, ярдами, эвидеросами, намарами, порсугелями.

Среди подводных грязевулканических провинций, пожалуй, самая крупная — Южно-Каспийская впадина. Здесь с помощью эхолотов, геоакустического профилирования и аэромагнитной съемки выявлено более 136 построек. Менее детально изучены провинции Черного и Средиземного морей. В них соответственно исследовано 25 и 16 грязевулканических сооружений.

Подводные грязевые вулканы широко распространены на шельфах океанов и внешних морей. Также, как и холодные потоки углеводородов (сипы), они обнаружены в пределах западного и восточного тихоокеанского побережий, на шельфах Атлантического океана, Норвежского и Баренцева морей.

Рассматривая закономерности распространения грязевых вулканов на континентах, а также в морях и океанах, нетрудно прийти к выводу, что большинство провин-

ций отчетливо тяготеет к альпийской зоне складчатости. При этом главная арена, где проявляется грязевой вулканизм, — предгорные и межгорные впадины, в которых накапливаются мощные (10—20 км) толщи терригенно-глинистых кайнозойских отложений. 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 широко развиты мощные глинистые толщи и зоны сверхвысоких пластовых давлений флюидов.

Морфогенетическая типизация

Если использовать данные, характеризующие более 500 наземных и подводных грязевых вулканов Крымо-Кавказского и Южно-Каспийского регионов, то можно выделить среди них ряд морфогенетических типов.

К первому типу построек относятся диапировые образования. Обычно это крупные вулканы, в которых грязевулканическая брекчия отличается вязкой консистенцией и выдавливается из кратерного канала, формируя столбообразные неки. Типичный пример — вулкан Разнокол, расположенный на левом берегу старой протоки р.Кубань, вблизи с.Юрьево. Здесь непосредственно из-под заросшей травой почвы, без каких-либо других проявлений грязевулканической деятельности, выдавливается огромное колбасоподобное тело высотой 2—3 м и шириной 15—20 м. Сползая вниз по откосу, вязкая масса разламывается на блоки и формирует гигантский оползень длиной 1.5 км и шириной 50—100 м. Он под прямым углом пересекает крутой левый берег протоки. В плотной глине встречены редкие обломки пород размерами от 0.50×0.70 до 1.5×3 м², сложенные

* Элизия — процесс погружения осадочных толщ в глубь стратисферы, уплотнение глинистых отложений и выдавливание из них воды, нефти и углеводородных газов.

песчаниками, карбонатами 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.

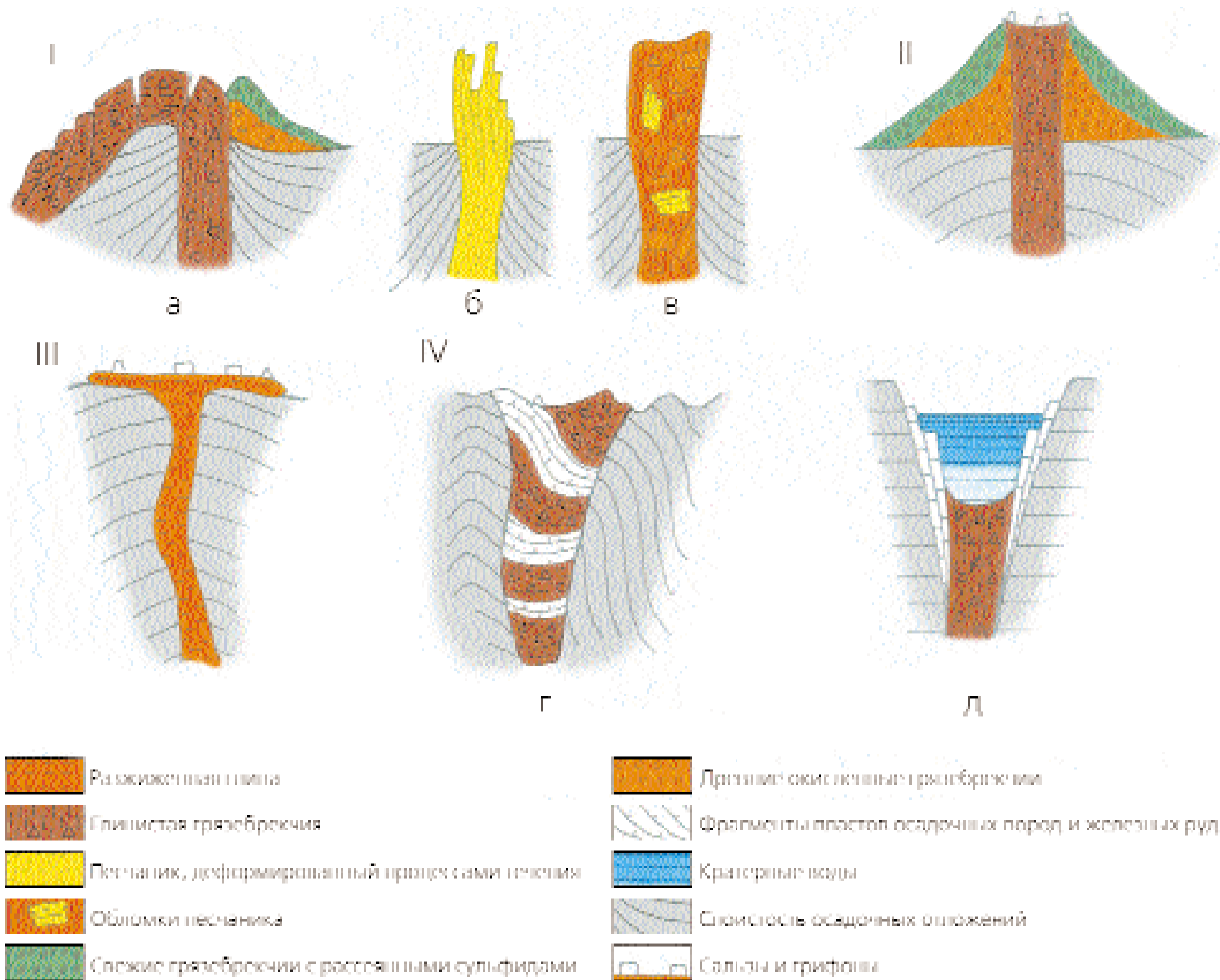
Скорость выдавливания глинистых грязебрекчий в сходном с Разноколом вулкане Котур-Даг оценивается в 1.2—1.5 м/мес. Наши замеры в 1987 г. позволили рассчитать ее величину в 1.0 м/мес.

Существенно отличается от Разнокола и Котур-Дага грязевой вулкан Кобек, расположенный на своде одноименной антиклинали, в 1.0—1.5 км северо-восточнее Боя-Дага (Западная Туркмения). Его неки похожи на так называемые шайтанские сады. Обычно это округлые в плане участки размером 10×5 или 25×30 м², в пределах ко-

торых сконцентрировано большое количество вертикальных труб из карбонатного песчаника высотой до 1.5—2.0 м, а диаметром — от 1.0 до 25—30 см. Они часто сливаются между собой, образуя сооружение, похожее на орган, но нередко обособлены и тогда похожи на редкие стволы деревьев в вырубленной роще. Высота неки достигает 5—12 м.

Посуществу столбообразное тело в жерле грязевого вулкана представляет собой песчаную кольматацию*, окаменевшую вследствие дегазации и падения давления CO₂. Формирование подобных систем 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, следствие быстрого падения давления в газоводном флюиде, содержащем много растворенных карбонатов. Об этом свидетельствует наличие тонких каналов, фиксирующих движение газов в центре трубок, и частые переходы последних в причудливые конкреционные тела.

По сути своей процесс тождествен формированию инъекционных пластических, песчаных даек, раз-



Морфогенетические типы грязевых вулканов Крыма, Кавказа и Западной Туркмении. I — диапиры: а — глинистый, б — песчаный, в — конгломератоглыбовый; II — конусовидные постройки из покровов грязебрекчий; III — вулканы, образующие полужидкий покров; IV — провал грязевулканической постройки: г — вдавленная синклиналь, д — кратерное озеро.

новидности которых были описаны в Азербайджане, Восточном Предкавказье, на Челекене и в Западной Туркмении.

Кара-Бурун (Черный Нос) — нект грязевого вулкана Боя-Даг — представляет собой каменистый усеченный конус с почти отвесными стенками; высота его достигает 30—40 м, а диаметр основания 20—30 м. Он осложняет присводовую часть Боядагской антиклинали и является хорошим географическим ориентиром в Западно-Туркменской впадине.

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

Ко второму типу грязевых вулканов относятся постройки, возникающие за счет периодического поступления на поверхность полужидких масс грязебрекчий. Во время извержения они растекаются от кратера к периферии вулкана, надстраивая его и увеличивая таким образом объем концентрически построенного конуса. Размеры таких грязевых вулканов достигают 30—40 м в высоту и 0,5 км² в основании, а в отдельных случаях — 400—420 м в высоту и 20—25 км² в площади основания.

Кратерные площадки грязевых вулканов второго типа обычно осложнены многочисленными сальзами и грифонами. Они постоянно

выделяют воду, жидкую грязь, газовые пузыри и пленки нефти. Общий вид их весьма экзотичен, и, группируясь, они напоминают лунный ландшафт.

К третьему типу следует отнести вулканы, в которых вместо грязевулканических 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 (несколько метров в высоту) сальзами или грифонами. Из них постоянно изливается жидкая грязь, вода, реже нефть.



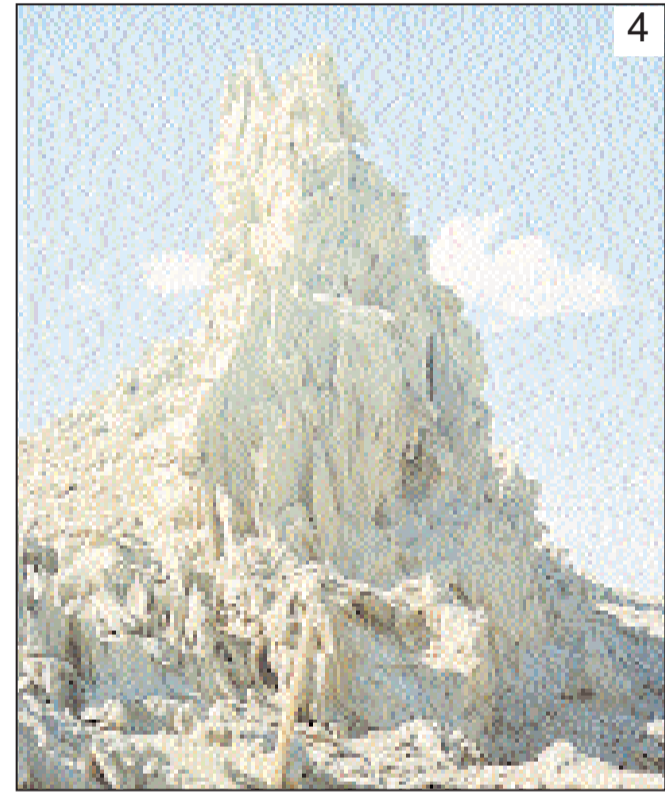
1



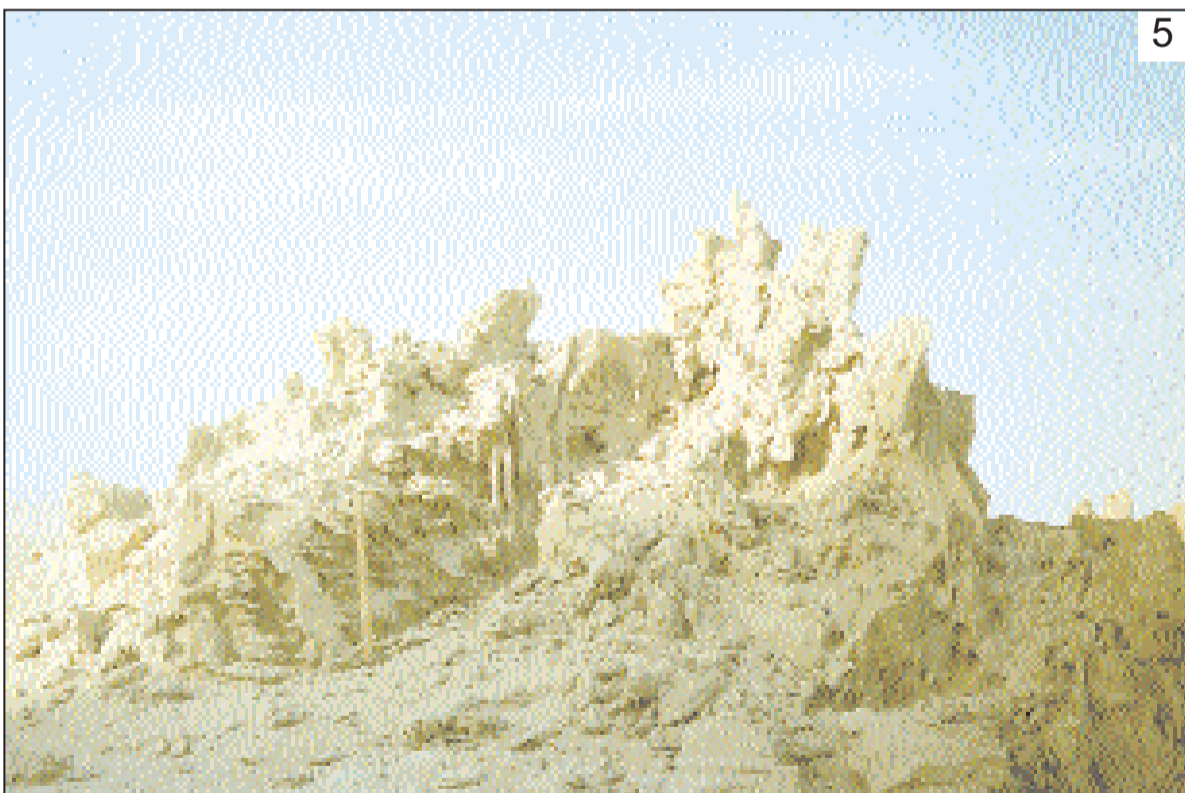
2



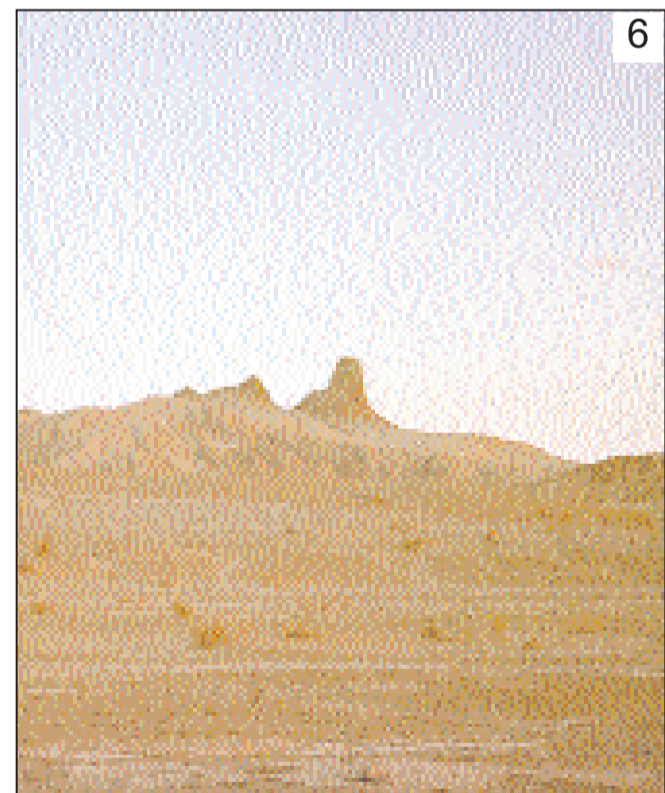
3



4

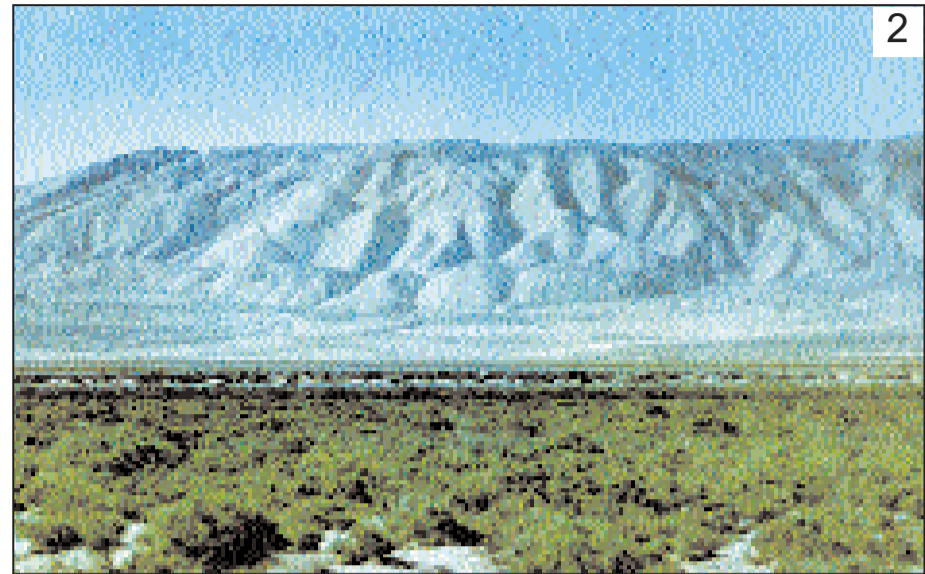


5



6

Некки диапировых грязевых вулканов. Вулкан Разнокол (Тамань): 1 — глиняный диапир; 2 — средняя часть грязебрекчиевого оползня; 3 — блоки грязебрекчий в средней части оползня; 4 — вулкан Кобек, «шайтанские сады» Челекена (Западная Туркмения); 5 — вулкан Боя-Даг (Западная Туркмения); 6 — неkk Кара-Буруна.



Морфология грязевых вулканов. 1 — вулкан мыса Аляты (Азербайджан); 2 — вулкан Туорогай (Азербайджан); 3 — кратерная площадка и сальзы вулкана Дашгяль (Азербайджан); 4 — действующая сальза вулкана Шуго (Тамань); 5 — Булганакское поле (Керчь, Крым); 6 — озеро вулкана Розовый Порсугель (Челекен).

Характерный пример этой группы — Булганакский грязевулканический очаг, находящийся в 8—10 км севернее г. Керчь, восточнее оз. Чокрак, на южном крыле Бондаренковской антиклинали, в непосредственной близости от берега Азовского моря. Он занимает площадь в 4 км², причем в его центре расположен огромный солончак глубиной более 25—30 м, который непрерывно бурлит и поставляет на поверхность более 100 м³/сут углеводородных газов и около 5 тыс. л жидкой грязи. В северной части очага располагаются сопки Андрусова, Павлова, Тищенко, Абиха, Вернадского, в южной — Обручева, Булганак и Ольденбургского, а на западе — Трубецкого и Шилова. Самая крупная сопка Андрусова возвышается над местностью на 5—7 м, имеет диаметр основания 300 м и кратерную площадку 50 м. Геологическое строение района под Булганакским полем грязевулканических впадин во многом неясно. Е.Ф.Шнюков предполагает здесь существование вдавленной синклинали, которая скрыта мощным чехлом сопочных брекчий.

Четвертый тип грязевых вулканов представлен вдавленными синклиналями Керченского п-ова и порсугелями Челекена. Обычно это крупные и округлые впадины диаметром более 200—300 м, расположенные на относительно ровной поверхности и окруженные кольцевыми разломами. Центральные части впадин заняты водой, которая местами пузырится от поступающих снизу газов.

Вдавленная синклиналь — грязевулканическая структура второго порядка, как правило, осложняющая присводовую часть антиклинали. Здесь по разломам, ограничивающим жерло, осуществляется опускание части грязевулканической постройки, в которой чередуются сопочные брекчии и нормальные осадочные отложения. Такие провалы особенно типичны для грязевых вулканов и складок Керченского п-ова.

Еще в позапрошлом веке Н.А.Головкинский предположил, что такие вторичные опускания связаны с извержением большой

массы грязевулканических и соответствующей убылью пород на глубине. В настоящее время принято считать, что грязевой вулканизм обеспечивает избыток грязевулканической на поверхности и дефицит ее на глубине. Вследствие создавшейся ситуации начинается формирование кольцевых разломов и грабенов, провоцирующих опускание нормально залегающих осадочных отложений, грязевулканических и оползней.

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

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 очага, питающего вулкан.

Корни грязевых вулканов

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

С помощью сейсмического профилирования глубина их проникновения 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.Н.Лебедев и Л.С.Кулакова обнаружили корни вулканов на глубине 9 км. Так как мощность осадочного чехла и в том и в другом случае ко-

леблется 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 определений газов вулканов Кавказа, Туркмении и о. Сахалин (см. табл.) позволяют заключить, что в них преобладает метан. Количество азота и тяжелых углеводородных газов невелико, а инертные аргон, ксенон и криптон присутствуют лишь в долях процента.

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

В последнее время геохимические исследования газовой фазы грязевых вулканов дополнились изотопными исследованиями. Работами В.Ю.Лаврушина с коллегами доказано отсутствие в природных газах мантийного гелия, что, по мнению авторов, однозначно указывает на коровый источник всех газовых составляющих (включая углеводороды) и их генетическую связь с осадочными толщами.

Глубину корней многие исследователи пробовали установить по стратиграфической привязке твердых выбросов, в том или ином количестве всегда присутствующих среди грязевулканических. Предполагалось, что возраст самых древних включений должен соответствовать максимальной глубине проникновения корней вулканов в осадочный чехол.

Если следовать чисто формальным построениям, то можно думать, что корни грязевых вулканов Керченского п-ова не опускаются глубже миоценовых отложений, а вулканов Тамани и Западно-Кубанской впадины прослеживают-

Таблица

Химический состав газов грязевых вулканов *

Регион	Количество во	Количество во	Состав газов, % (объемн.)						
			CH ₄	Тяжелые углеводо- роды	CO ₂	N ₂	Ar+Xe+Kr	He+Ne	
I	Прикаспийско-Кубанская область п-ов Апшерон	10	6	84.5—95.3	0.0—1.73	0.01—5.00	3.0—9.36	0.021—0.49	0.004—0.33
				90.9	0.52	2.72	5.52	0.26	0.012
	Прикуринская область	55	15	90.9—99.8	0.0—1.5	0.20—8.6	0.0—8.20	0.006—0.068	0.001—0.016
				96.0	0.561	2.65	0.98	0.031	0.007
Шемахино-Кобыстанский район	95	42	87.0—99.1	0.0—4.70	0.10—7.10	0.0—3.0	0.010—0.073	0.001—0.022	
			95.0	1.04	2.0	1.01	0.042	0.005	
II	Прибалхашская зона	32	5	85.6—98.3	0.0—6.68	0.43—5.2	0.0—5.84	0.007—0.02	0.003—0.008
				93.3	2.49	1.05	2.25	0.015	0.005
	Кеймир-Чикимлярская зона	67	7	85.3—96.1	0.0—2.25	0.3—10.46	0.74—5.59	0.01—0.04	0.002—0.006
				91.3	1.14	4.02	3.00	0.022	0.004
III	Керченский п-ов	120	11	8.1—99.0	0.0-следы	0.0—91.7	0.0—6.30	0.004—0.087	<0.001—0.014
				79.3	следы	18.52	0.98	0.023	0.004
IV	Таманский п-ов	110	17	61.1—99.4	0.0-следы	0.0—37.0	0.0—7.8	0.001—0.069	<0.001—0.014
				90.1	следы	9.32	1.21	0.025	0.004
IV	Пугачевский район	16	2	61.4—83.0	следы	12.7—27.72	1.7—13.07	0.016—0.033	0.001—0.007
				67.63		22.59	8.3	0.024	0.004
	Южно-Сахалинский район	10	1	28.0—47.84	следы	42.74—70.5	1.5—9.2	0.007—0.016	0.002—0.007
				38.99		56.39	4.6	0.012	0.004

* Данные А.А.Якубова, Б.В.Григорьянца, Ад.А.Алиева, 1980; И.М.Сирык, 1968; С.Д.Гемп и др., 1970.

В числителе дроби — пределы содержания компонента, в знаменателе — среднее значение.

I — Азербайджан, II — Западно-Туркменская впадина, III — Керченско-Таманская зона, IV — о.Сахалин.

ся в эоцен-палеоценовых толщах и даже в мелу.

Корни же 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 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 ори-

зонтов, 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.

Скорее всего, корни грязевых вулканов Азербайджана, Тамани и Западно-Кубанской впадины не опускаются ниже глинистых отложений майкопа. Что же касается Южно-Каспийской впадины, то здесь они, по-видимому, связаны с глинистыми плиоцен-четвертичными толщами.

В целом, данные по привязке твердых включений грязебрекчий к стратиграфической шкале региона хорошо согласуются с геофизическими и геохимическими данными.

Строение и механизм образования грязевулканических очагов

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). Грязевулканические провинции Крымо-Кавказского и Кавказско-Каспийского регионов не являются в этом отношении исключением.

Действительно, в пределах Керченского п-ова мощность майкопских глин достигает 1500 м, в Прикаспийско-Кубанском и Шемахино-Кобыстанском районах мощность майкопских и подстилающих их коунских глин — 2000 м, а на Апшероне — 1600 м. Для всех этих регионов особенно типичны огромные СВПД.

Нам представляется, что избыточные давления флюидов в мощных толщах глин формируются как правило за счет фазовых преобразований глинистых минералов в области высоких температур (и давлений), и в первую очередь — иллитизации смектитов (т.е. преобразования минералов группы монтмориллонита, обладающих высокой способностью к катионному обмену и содержащих 12—26% воды, в гидрослюды — группу трехслойных слюдоподобных минералов, имеющих сложный переменный химический состав и содержащих 8—9% воды).

Посмотрим на последний рисунок. В его верхней части приведен макет образования зоны разуплотнения и сверхвысоких поровых давлений в глинах. Мощный пласт преимущественно смектитовой глины опускается в глубь осадочного элизионного бассейна, последовательно занимая положение А, Б, В, Г по отношению к зоне критических температур и давлений, ниже которой смектитовая фаза существовать не может.

Процесс, реализующийся при фазовых превращениях глинистых минералов, изображен в левой части рисунка. 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. Вблизи от границы иллитизации закладывается зона разуплотнения глин — пласт, в котором иллитовые блоки взвешены в выделившейся кристаллизационной воде.

Глубже новообразованные блоки сближаются под действием возросшего геостатического давления, и вся поровая вода отжимается вверх, в зону разуплотнения. Иллитовая глина уплотняется, а над ней возрастает поровое давление жидкости — в зоне разуплотнения образуется область СВПД.

Ширина зоны разуплотнения глин и величина пластовых давлений в ней в значительной степени зависят от мощности преобразуемой толщи и от ее положения по

отношению к границе критических температур и давлений. Изначально эта зона и СВПД сравнительно невелики. 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 значительных масс гранитной магмы, выплавляющейся из мантии.

Структурно-геохимическое изучение глин позволяет предположить, что мощность зоны разуплотнения может достигать 400—500 м [7].

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

При погружении глинистых толщ в глубь осадочного бассейна и иллитизации смектита рост поровых давлений прекращается, 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 давлений 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 схемы приводится один из механизмов формирования кластических даек и горизонтов с включениями. Когда пласт I входит в область разуплотнения и СВПД, он превращается в плавун. Пластичности песчаника и глины выравниваются, и они деформируются как весьма сходные породы.

Иногда перепад поровых давлений в глинах и песчаниках настолько велик, что их соприкосновение приводит к 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. Они нередко ассоциируются с грязевыми вулканами, и это приводит к мысли, что в очаг подобных образований помимо разжиженных флюидами глин могут входить и разжиженные пески-пывуны. Их проявления особенно типичны для грязевых вулканов Туркмении, где грязебрекчии часто содержат песчаники самой причудливой формы.

Таким образом, очаг грязевого вулкана представляет собой тело, сложенное глинами, реже — песками, которые часто содержат большое количество твердых обломков вмещающих пород и разжиженных гомогенизированными газовой флюидами (водой, нефтью, газами разного состава). Оно формируется на больших глубинах за счет саморазвития элизионных систем и при благоприятных обстоятельствах питает корни грязевулканических построек.

Потенциальные возможности таких грязевулканических очагов хорошо раскрываются при исследовании аварий нефтяных скважин. Очень распространенный случай описан А.Г.Дурмишьяном и Н.Ю.Халиловым. Бурение скважины 42 на грязевом вулкане Дашгиль (Бакинский архипелаг) завершилось тем, что из забоя была выброшена вся колонна бурильных труб длиной в 2500 м, которая оказалась кольцеобразно уложенной вокруг буровой вышки. Значительно чаще инструмент вытеснялся пластичной глинистой массой, напоминавшей грязебрекчии, а затем эти скопления грязи выдавливались из ствола скважины наподобие диапира.

Другие случаи связаны с так называемыми буйными скважинами, широко распространенными в США (штаты Техас и Луизиана), а также в Бакинском архипелаге. Аварии сопровождались внезапными выделениями большого количества воды и газа, провалами буровых вышек и образованием округлых

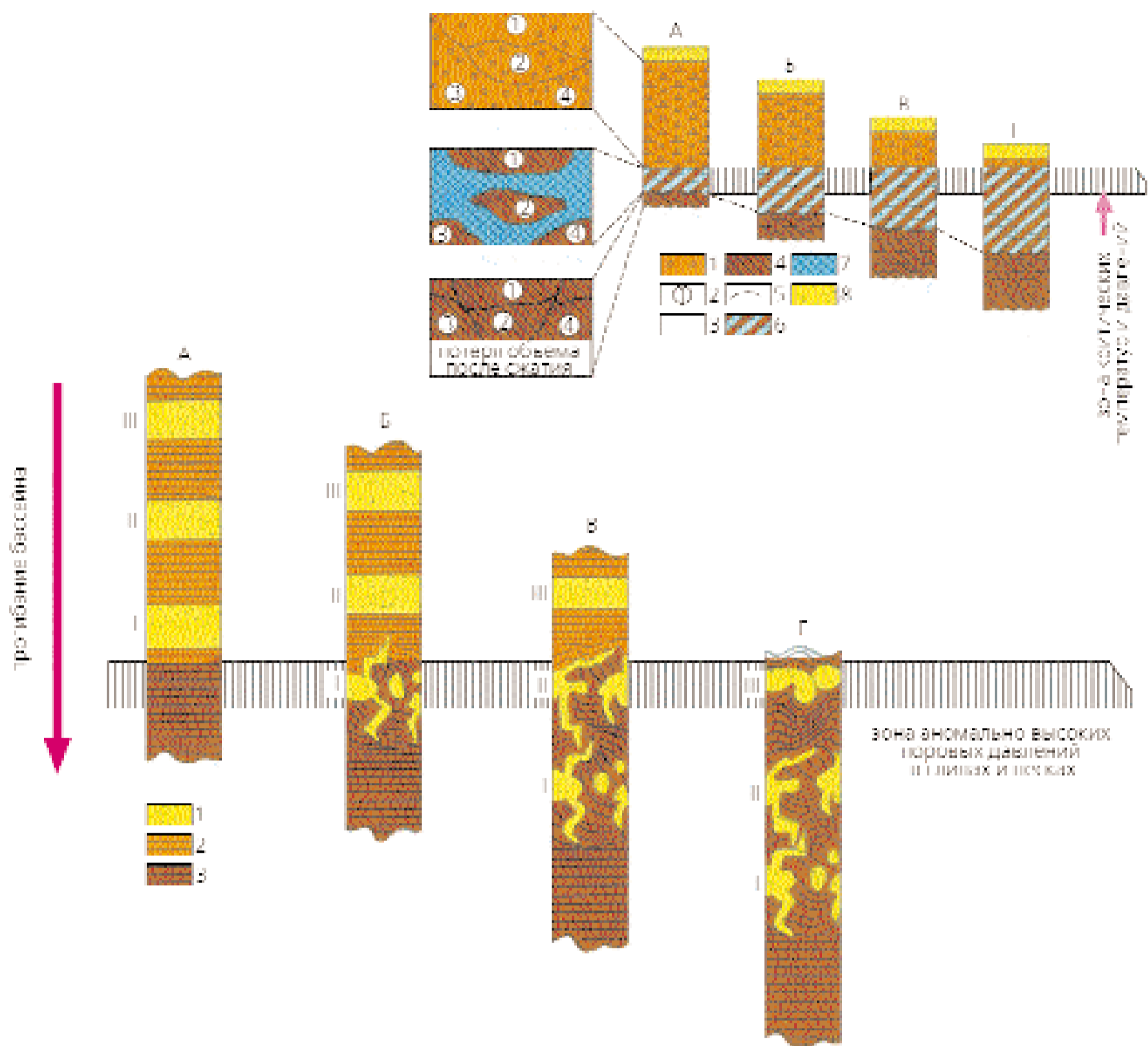


Схема фазового преобразования глин, формирования сверхвысоких пластовых давлений (СВПД), текстур песчаного диапиризма и очагов грязевых вулканов. Вверху — модель формирования СВПД и зоны разуплотнения в смектитовых глинах. 1 — смектитовая глина; 2 — иллитовая; 3 — кристаллизационная вода в порах зоны разуплотнения; 4 — микроблоки глинистого материала; 5 — границы микроблоков; 6 — песчаник; 7 — глина; 8 — формирующаяся зона разуплотнения и СВПД. Цифры в кружках — блоки смектитовой глины, превращающиеся в иллитовые. Внизу — схема образования текстур песчаного диапиризма (пластических даек и горизонтов с включениями) и очагов грязевых вулканов. 1 — песчаники, 2 — глины нормально залегающие, 3 — деформированные. I—III — пласты песчаников в глинах. А, Б, В, Г — положение разреза по отношению к зоне гидрослюдизации, разуплотнения и СВПД.

воронок диаметром 200—250 м. В течение длительного времени после аварии (8—10 лет) вода выносила на поверхность огромное количество глинистого материала.

Различия между этими крайними случаями заключаются в составе и строении грязевулканического очага и условиях его вскрытия скважинами. В первом — грязевулканический очаг реагировал на

введение в него забоя скважины как единое тело, стремившееся занять больший объем, а в других — из него удалялись вода и газ, падало давление, образовывалось свободное пространство в недрах, а около устья скважины сформировалась кальдера обрушения и произошло проседание пластов.

Эти два разных вскрытия очага грязевого вулкана скважинами до

некоторой степени аналогичны формированию крайних морфогенетических типов грязевых вулканов в предложенной типизации. Первый случай сходен с образованием диапировых вулканов и вулканов с мощными грязевулканическими постройками, а остальные — с вдавленными синклиналиями, всегда близкими по форме к кальдерам обрушения.

Очаги грязевулканической деятельности можно рассматривать как разжиженные линзовидные слои-волноводы, залегающие согласно напластованию, но местами пересекающие стратиграфические границы. В тех местах, где они сталкиваются с трещинами и разломами, образуются ответвления — собственно корни грязевых вулканов, выше сменяющиеся жерловыми грязебрекчиями, а уже на поверхности — полями кратерных и сопочных грязебрекчий.

Динамика развития

В развитии подавляющего большинства грязевых вулканов можно отчетливо различить три стадии:

— формирование грязевулканического очага, обусловленное особенностями эволюции элизионной системы;

— извержение грязевого вулкана, в значительной степени отражающее состав и условия залегания грязевулканического очага;

— возникновение пассивной грифонно-сальзовой деятельности, видоизменяющей последствия этого извержения и подготавливающей новый катаклизм.

Первая стадия протекает на фоне аккумуляции терригенно-глинистых отложений, углубления впадин и поступления флюидогенерирующих глин в области повышенных температур и давлений. Первичные свойства захороняемых глин определяют те соотношения компонентов во флюидах 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 explosивности определяют особенности извержения и характер вулканической постройки.

Большое значение играет величина суммарного СВПД, возникающего в очаге. Она, как и компонентный состав флюидов, зависит от первичных палеогеографических, седиментационно-диагенетичес-

ких, фациальных и тектонических условий залегания глинистых пород.

В целом формирование 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 начинается вскрытием грязевулканического очага системой разломов и трещин, в результате чего закрытая физико-химическая система переходит в открытую. Этот процесс сопровождается фазовой дифференциацией вещества и одновременным движением масс от очага к поверхности. Главный фактор, регулирующий извержение, — падение давления, связанное с таким перемещением. Снижение давления интенсивно воздействует на пластичность разжиженных глин. Как известно, уменьшение его превращает полужидкую массу в плотное глинистое тело.

Большую роль во время извержения играет потеря газовой составляющей. Она изменяет свойства остаточного раствора и нередко приводит к образованию аутигенных минералов. Так, например, потеря газообразного CO_2 вблизи поверхности смещает карбонатное равновесие в сторону выпадения твердой фазы карбонатов. Последние цементируют до этого подвижные пески-пльвуны, образуя пробки-кольматации, перекрывающие грязевулканический канал. Многократное повторение осаждения карбонатов и продавливание сквозь пробку газоводных песчаных пльвунов может создать целую систему карбонатных песчаных труб.

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

Большое значение при извержении грязевого вулкана имеет и поведение воды. Ее резкое выделение из грязебрекчий и уход по каналу к поверхности может вызвать

эффект «бешеной скважины», способствовать образованию дефицита массы на глубине и возникновению кальдеры проседания вокруг кратера.

Иногда запечатывание каналов вулкана происходит чисто механическим путем. В них могут застрять захваченные грязевым потоком обломки размерами до 5—10 м³.

Часто кратер вулкана забивается грязебрекчиями, объемы которых необычайно велики. По подсчетам А.А.Якубова и А.Д.Алиева, масса грязебрекчий, выброшенных на поверхность в результате деятельности 220 вулканов Азербайджана, составила 100—110 млн м³.

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

Третью, сальзово-грифонную стадию, с одной стороны, можно рассматривать как окончание извержения, а с другой — как подготовку следующего катаклизма. В этот период на глубине, в очаге вулкана, регенерируется СВПД, поскольку развивающиеся элизионные процессы в условиях замкнутой физико-химической системы способны восстанавливать свои исходные параметры (P, T). Одновременно уменьшается проницаемость пробки, запечатывающей грязевулканический канал.

Следует подчеркнуть, что грязебрекчии, 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 уже после завершения активных извержений известны длительные периоды, когда огненные факелы украшали кратерные площадки. Они представляют собой газооб-

разные углеводороды, сгорающие при выходе на поверхность.

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

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 грязевых скоплений, запечатывающих кратер. 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. И процесс начинается сначала. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных иссле-

дований. Проекты 01-05-64722 и 00-15-98483.

Литература

1. Якубов А.А., Али-Заде А.А., Зейналов М.М. Грязевые вулканы Азербайджанской ССР. Баку, 1971.
2. Якубов А.А., Али-Заде А.А., Григорьянц Б.В. и др. Грязевые вулканы нефтегазоносных областей Азербайджанской ССР. Баку, 1978.
3. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. Киев, 1986.
4. Шнюков Е.Ф., Науменко П.И., Лебедев Ю.С. и др. Грязевой вулканизм и рудообразование. Киев, 1971.
5. Холодов В.Н. Стратисфера — источник рудоносных растворов // Природа. 1990. №4. С.10—17.
6. Холодов В.Н. // Литология и полез. ископаемые. 2002. №3. С.227—241; №4. С.339—358.
7. Холодов В.Н., Недумов Р.И. // Литология и полез. ископаемые. 2001. №6. С.563—595.
8. Холодов В.Н. Постседиментационные преобразования в элизионных бассейнах (на примере Восточного Предкавказья). М., 1983.