

**АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР**  
**ИНСТИТУТ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ АКАДЕМИИ НАУК СССР**

Акад. И. М. ГУБКИН и проф. С. Ф. ФЕДОРОВ

**ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА  
И ИХ СВЯЗЬ С ГЕНЕЗИСОМ НЕФТЯНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРЫМСКО-КАВКАЗ-  
СКОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР  
МОСКВА 1978 ЛЕНИНГРАД

Редактор *А. А. Смирновская*. Технический редактор *А. А. Базанова*. Корректор *Л. Г. Афанасьева*.

Сдано в набор 18.XI—1937 г. Подписано в печать 4.XI—1937 г. Формат 70×108 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Объем 3 <sup>1</sup>/<sub>4</sub> п. л. В 1 п. л. 4000 печ. зн., учетно-лит. л. Тираж 1500 экз. Удобр. Главы 6—33269. АВИ № 988. РИСО № 573. Заказ 1624.

Типография Военной Академии Инженерии и Артиллерии РККА им. Сталина, Красноармейск, л. 2.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Грязевые вулканы в большом количестве распространены в Азербайджане, а также в северо-западной части Кавказа — на Тамани и Керчи.

Среди выбросов грязевых вулканов часто находят породы, пропитанные нефтью; все грязевые вулканы в том или ином количестве выделяют горючий газ. Эти обстоятельства заставляли нефтяников обратить внимание на грязевые вулканы как спутники нефтяных месторождений, тем более, что давно известны некоторые грязевые вулканы, расположенные непосредственно в зоне нефтяных месторождений (Бога-Бога в пределах Балахань-Сабунчинского нефтяного месторождения, вулкан Бухты на Биби-Эйбате и др.).

У нас уже давно была идея приступить к разведке, разбурированию некоторых грязевых вулканов. С другой стороны, существовали точки зрения и даже опубликованы были некоторые „теории“, из которых следовало, что грязевые вулканы ни в какой мере с нефтяными месторождениями не связаны.

Высказывались предположения, что грязевые вулканы являются отрицательными факторами в оценке нефтяных месторождений: грязевые вулканы якобы разрушают существующие нефтяные месторождения. Вывод из этих суждений был таков: где имеются грязевые вулканы, там не может быть нефтяных месторождений.

Мы такие взгляды отрицали и добились того, что грязевые вулканы начали разбурироваться. Первым объектом разбурирования был грязевой вулкан Лок-батан, на котором в 1931 г. заложили скважины. Первая же скважина № 62 в марте 1932 г. дала фонтан. Затем здесь получены были другие фонтаны, в том числе фонтан в скважине № 15, который с глубины 400 м выбрасывал в сутки до 10 000 т нефти. А скважина № 45 давала в 1933 г. до 20 000 т в сутки. Это были скважины мирового масштаба. Таким образом, нефтеносность зоны грязевого вулкана была доказана, поэтому бакинские нефтяники стали готовиться к разбурированию грязевых вулканов в широком масштабе.

Чтобы помочь нефтяникам Союза в закономерном разбурировании грязевых вулканов, мы организовали в лаборатории Генезиса нефти и нефтяных месторождений Института горючих ископаемых Академии Наук коллектив преданных делу научных работников, главной задачей которого было выявить закономерную связь грязевых вулканов с неф-

твенными месторождениями и после получения положительных данных по первому вопросу перейти ко второму: выработать факторы промышленной оценки отдельных площадей грязевых вулканов.

Первую задачу этот коллектив разрешил. Краткое изложение результатов работ составляет содержание данной работы.

Первый этап наших исследований, этап весьма трудный по своему заданию и очень громоздкий по объему проделанной работы, закончен. И эти результаты наших исследований мы посвящаем 20-й годовщине Великой Октябрьской Социалистической Революции.

Акад. И. М. Губкин.

Глава I

ГЕОЛОГИЯ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

1. ИСТОРИЯ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Грязевые вулканы в Советском Союзе расположены на восточном и западном погружениях Кавказского хребта, в областях нефтяных месторождений Азербайджана, Кубани, Тамани, а также на Керченском п-ове, в зоне затухания Кавказского хребта и Крымской горной системы. Небольшое количество грязевых вулканов имеется в Грузии, на южном склоне Кавказского хребта (в Кахетии).

Это обстоятельство — тесная географическая связь грязевых вулканов с нефтяными месторождениями Крымско-Кавказской геологической провинции, которая давала и дает до 75% всей добычи нефти Советского Союза, — уже само по себе заставляло обращать на себя внимание исследователей. Если же учесть наличие грязевулканической деятельности на о. Тринидате, на некоторых островах Малайского архипелага, в Индии, а также в Румынии, то связь грязевых вулканов с нефтяными месторождениями будет менее случайной.

По этой причине исследователи начали давно интересоваться грязевыми вулканами Крымско-Кавказской геологической провинции. В настоящее время имеется более 500 работ, посвященных грязевому вулканизму.

Паалас в 1799 г., ознакомившись с грязевыми вулканами Тамани и Керчи, пришел к выводу, что под островом Таманью, отчасти и под Керчью на глубине залегает каменный уголь или битуминозный шифер в состоянии медленного горения. Морская вода, проникая к горящему углю, превращается в пар и выбрасывается на поверхность с грохотом и треском. Пар увлекает на поверхность также и продукты горения угля или битуминозного шифера. Результатом всего этого и является грязевулканическая деятельность на этих двух полуостровах.

Более детально грязевые вулканы изучил Абиш, который изложил свои исследования в двух известных монографиях.

Абиш, во-первых, отмечает линейное расположение грязевых вулканов: они приурочены к углам пересечения систем складок. Грязевые вулканы, следовательно, располагаются с той же закономерностью, с какой расположены и магматические вулканы. Все грязевые вулканы, во-вторых, приурочены к зонам разлома земной коры. Разломы эти—

следствия землетрясений. В результате трещин образовалась масса раздробленного материала. Воды морей (Каспия и Черного) по трещинам протекли вглубь. Битуминозные сланцы и мергеля, говорит Абих, при воздействии температуры магмы с парами воды могут дать газы, близкие к углеводородным газам грязевых вулканов.

Итак, по Абиху, следует: тепло дает магма, обломочную породу, материал для сопочной брекчии—зоны разлома, воду—море, газ—битуминозные породы. Импульс для начала грязевулканической деятельности—землетрясение.

Грязевые вулканы, по Абиху, образовались по законам той же динамики, что и вулканы магматические. А из всего сказанного Абихом о грязевых вулканах косвенно следует, что грязевые вулканы, являются сольфатарной стадией магматических вулканов.

Проф. Ковалевский принципиально ничего нового по существу не сказал; он лишь модернизировал гипотезу акад. Абиха и несколько конкретизировал ее. Ковалевский магму подтянул ближе к поверхности: тепло дают интрузии магмы, так называемые магматические шипы. Битуминозными породами, на которые воздействует тепло магмы, являются юрские сланцы. Главным двигателем грязевулканической деятельности, по Ковалевскому, является газ.

В 1925 г. акад. А. Д. Архангельский, после совместной поездки с И. М. Губкиным по районам грязевого вулканизма, опубликовал свою работу,<sup>1</sup> в которой единственной причиной деятельности грязевых вулканов считает диапировые складки. В этой работе Архангельский пишет, что грязевой вулкан будет действовать „в силу механизма образования самой диапировой складки“.

Н. С. Шатский и его соавторы<sup>2</sup> подошли к генезису грязевых вулканов с иной точки зрения. По мнению этих авторов, масса сопочной брекчии могла образоваться лишь вследствие огромных надвигов. Такими брекчиеобразовательными движениями могли быть горизонтальные перемещения одних комплексов осадочных пород по другим.

Эти массы брекчии, пропитанные водой, иногда нефтью и газами будут наиболее подвижным материалом и под влиянием бокового давления будут стремиться в наиболее слабые места. „Такими местами со слабым давлением являются раздробленные своды антиклиналей, периклинальные окончания и зоны разломов, направленные по нормали к простиранию пород“.

Акад. И. М. Губкин занимался изучением грязевых вулканов с 1910 г.

<sup>1</sup> А. Д. Архангельский. Несколько слов о теплоте грязевых вулканов Апшеронского полуострова и Керченско-Таманской области. Бюлл. МОИП, № 3, 1925.

<sup>2</sup> Н. С. Шатский, М. М. Жуков, Е. В. Михайловский и В. Е. Руженцев. Дислокационные брекчии и грязевые вулканы в Азербайджане, Бюлл. МОИП, № 1—2, 1929.

Основные принципы своих многолетних наблюдений по данному вопросу он изложил в 1933 г. на Конгрессе в США.<sup>1</sup>

Диапировый характер тектоники Апшеронского прова, северо-западной части Кавказа и Тамани И. М. Губкин установил еще в 1911—16 гг. В лекциях, читанных в Горной академии, он эту тему подробно развивал многочисленным слушателям, в числе которых были не только студенты.

На основе данных глубокого бурения, а также детальных геолого-разведочных работ И. М. Губкин установил, что диапиризм является общим законом в тектонике всей области погружения юго-восточного Кавказа. «Нефтеносность и образование нефтяных месторождений на юго-восточном Кавказе тесно связаны с диапиризмом и обусловлены им»

Диapiroвые складки, а следовательно, грязевые вулканы и нефтяные месторождения начали формироваться, — говорил на Конгрессе в 1933 г. акад. И. М. Губкин, — в акагыльский век. Как только начался процесс формирования диапировых складок, так к ядрам, «как к наиболее поднятым и наиболее измятым и разрыхленным местам, начал совершаться подток воды и газа, а потом и нефти. Стали подниматься и накапливаться те три элемента, которые обусловили возникновение и грязевых вулканов и нефтяных месторождений».

#### Наш метод исследования

Эти принципы акад. И. М. Губкина не явились для всех нас, в том числе и для С. Ф. Федорова, чуждыми, ибо они не расходятся с тем, что им опубликовано в Информационном сборнике НГРИ<sup>2</sup> в 1934 г. по вопросу о методике исследования грязевых вулканов.

Эти принципы, т. е. то, что грязевые вулканы тесно связаны с диапировыми складками, что при разрешении вопроса генезиса грязевых вулканов необходимо изучать и газ, и воду, и породы, — обусловили комплексный характер исследования данной проблемы.

В комплекс, в первую очередь, вошла геологическая группа, геолого-нефтяники. Руководитель геологической группы был поставлен во главе комплекса, чем и была определена роль геологии в составе этого комплекса.

Кроме геологической группы, в состав комплекса вошли следующие группы: макропалеонтологическая, литологическая, геохимия вод и пород, геохимия битумов, газовая группа и группа микробиологии.

Общее научное руководство работами комплекса возглавлял акад. И. М. Губкин. Непосредственным руководителем комплекса был проф.

<sup>1</sup> Акад. И. М. Губкин. Тектоника юго-восточной части Кавказа в связи с нефтеносностью этой области. Москва, ОНТИ, 1934.

То же на англ. языке. См. Bull. Amer. Ass. Pet. Geol., V, 1934.

<sup>2</sup> С. Ф. Федоров. Грязевые вулканы. Информ. сб. НГРИ, Москва, 1934.

С. Ф. Федоров. Участие в работах принимали, кроме указанных, следующие лица: в геологической группе—Е. В. Кудряшев, А. Н. Резаков и ряд временных работников во время экспедиций; М. А. Глесснер, микропалеонтолог, и Н. С. Краевская; П. П. Авдусин, руководитель литологической группы с сотрудниками (Э. В. Варовой и Т. Г. Махаринской). Группа геохимии вод и пород: В. А. Сули (руков. группы), Л. А. Гуляева, Е. С. Иткина, Н. Н. Немченко, Е. А. Барс и Л. Н. Казаринова. Группа геохимии битумов: В. Э. Левенсон (руков. группы), С. Н. Максимова, Н. П. Кузнецова и М. Н. Соколова. Группа микробиологии: Т. А. Гинзбург-Карагичева (руков. группы), Н. Р. Гаркина и А. Г. Тимофеева. Газовая группа: В. А. Соколов (руков. группы), Л. Я. Орлова и И. П. Хлыстова.

Таким образом, эта статья представляет собой краткий итог двухлетней работы большого коллектива научных работников Института горючих ископаемых Академии Наук. Более того, мы в своих работах имели большую помощь от коллектива работников треста Азнефтеразведки, который нам активно помогал и материально (деньгами, транспортом) и, что еще более ценно, своими богатейшими фондовыми материалами.

## 2. СТРАТИГРАФИЯ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА

На Керченском и Таманском полуостровах грязевые вулканы расположены в зонах развития третичных отложений от киммерийского яруса до майкопской свиты включительно. В Азербайджане диапазон еще более широкий: от бакинского яруса (постпалеоцен) до нижнего мела. Осмотренные нами грязевые вулканы Грузии занимают в этом отношении промежуточное положение.

Коллектив геологов вместе с литологом и микропалеонтологом занялись, в первую очередь, изучением разрезов Азербайджана с целью сопоставления их между собой, во-первых, и сопоставления всего разреза Азербайджана с разрезами Керчи—Кубани, во-вторых.

Дело в том, что до наших работ разрезы отдельных площадей Азербайджана, например, разрезы Юнусдагской гряды, всего Кабристана и Дибрара, отдельные группы геологов сопоставляли каждая по-своему.

Мы тщательно изучили эти разрезы и литологически и стратиграфически, особенно тщательно изучили их микрофауну и пришли к следующему мнению по их возрастному сопоставлению. (См. табл. 1).

## 3. ТЕКТОНИКА ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА

Из тех материалов, которые были доложены акад. И. М. Губкиным на Конгрессе в 1933 г., следовало, что почти все грязевые вулканы приурочены к антиклинальным складкам определенного типа. И. М. Губкин в своем докладе отмечал: „Нам известны лишь отдельные случаи расположения грязевых вулканов в синклинальных прогибах пластов“. И



Таблица 1

| Возраст      | Зоны    | Юго-восточный Кавказ                                  |                       | Северо-западный Кавказ |  |
|--------------|---------|---|-----------------------|------------------------|--|
|              |         | Сияны   |                       | Сияны                  |  |
| Н. Мiocен    |         | Майкопская  |                       | Майкопская             |  |
| Оligоцен     | XVI     | Горизонт с <i>Variatusium fallax</i>                  |                       | XVI                    | Горизонт с <i>Variatusium fallax</i>       |
| В. эоцен     | XV      | Верхний коун  |                       | XV                     | Горизонт белых глин                        |
|              | XIV     | Средний коун  |                       | XIV                    | Горизонт с <i>Luzoteria caucasica</i>      |
| Ср. эоцен    | XI—XIII | Нижний коун   |                       | XIII                   | Горизонт с <i>Hankentia liebusi</i>        |
|              |         |   |                       | XII                    | Горизонт с <i>Globorotalia atagonensis</i> |
| Н. эоцен     |         |   |                       | XI                     | Горизонт с <i>Globorotalia crassata</i>    |
| Палеоцен     | X       | Сумгалт   |                       | X                      | Св. Горячего Камня                         |
| Датский ярус | IX      | Ильтидаг  | г. Ильтидаг — Дабрара | IX                     | Амалская — Тухтинская — Забурганская св.   |
| Мастрихт     | VIII    | Юуседат   |                       | VIII                   | Св. Агай                                   |
| Кампан       | VII     | Орбитолюнный горизонт. Верхний отдел Дабрарской сияны |                       | VI—VII                 | Св. Дедерей                                |
| Салтоя       | VI—V    | Нижний отдел Дабрарской сияны (т. н. Юуседат Дабрара) |                       |                        |  |
| Эммер        | IV      | Кемчи   |                       | IV—V                   | Св. Мариата (перерыв)                      |
| Турра        |         | (Перерыв)   |                       |                        |  |
| Сенская      | III     | Подкемчи  |                       | III                    | Сенская                                    |
| Альб         |         | (Перерыв)   |                       |                        | Альб                                       |
| Алт          | I       | Алт   |                       | I                      | Верхнесендеритовая сияна                   |
|              |         | Алт — Баррен  |                       |                        |  |

Формации форака сияны

Мелкоз. флора  
Сияны Кавк.

это объясняется, быть может, тем, что „истинной“ тектоники этих мест мы не знаем. Наши исследования показали, что и эти исключения теперь отпадают.

Таких „синклинальных“ грязевых вулканов в Азербайджане известно три: Малая Кяниза, Отман-бозы-даг и Давали-даг.

Как показали наши работы в районе Дуванном, здесь имеется брахиантиклинальная складка направления NW—SO, ближе к широтному, в сводовой части которой выходят верхи продуктивной толщи. На северо-западном окончании этой брахиантиклинали сидит грязевой вулкан Малая Кяниза.

Слой акчагыльского яруса, выходящие на поверхность у подошвы вулкана, хорошо вырисовывают периклиналь; тогда как слой бакинского яруса образуют синклинальную чашу: падение к вулкану.

Такое строение можно объяснить следующим образом. Деятельность грязевого вулкана М. Кяниза началась после сформирования акчагыльской складки. Во время мощных извержений этого вулкана была выброшена на поверхность огромная масса брекчии, в результате чего на некоторой глубине образовалась каверна. По этой причине под сопочной брекчией свод антиклинали начал медленно прогибаться. Получилась блюдцеобразной формы впадина, „синклиналь“. Отсюда ясно, что грязевой вулкан М. Кяниза сидит не в синклинали, а на своде антиклинальной складки, только несколько осложненной вмятием брекчии.

На Давали-даге, по нашим данным, подобная же картина. Наши исследования показали, что челянская антиклинальная складка, миновав гору Чемл, продолжается не в восточном направлении, а в юго-восточном, постепенно погружаясь к горе Давали-даг. К этому погружению челянской антиклинали и приурочены два грязевых вулкана Давали-дага.

Что и здесь мы имеем не синклиналь, а осложнение, вмятие на погружении антиклинали, видно еще и из следующего. Общее направление азимутов падений известняков среднего отдела апшеронского яруса восточное, но на восточном склоне северного вулкана можно наблюдать следующее: в глыбах нижнего отдела апшерона слои падают к востоку, а в известняках — к западу, т. е. известняки наклонены внутрь, к вулкану. Таким образом, и здесь прогиб свода.

Третьим „синклинальным“ вулканом считали вулкан Отман-бозы-даг. И здесь нет синклинали. Антиклинальная складка Кызыл-тепе имеет меридиональное направление. Дойдя до горы Карадаг, она резко поворачивает на запад, а затем, за сальзой Пильпиля, идет на юго-запад, к Отман-бозы-дагу. От горы Отман-бозы-дага эта антиклинальная линия раздвигается: одна ветвь идет к Шики-каю, а другая — к Миаджжу. К месту разветвления этих складок и приурочен мощный грязевой вулкан Отман-бозы-даг. Описанная антиклинальная линия то погружается, то выдвигается, образуя ряд куполов и брахиантиклиналей. К одной из таких выдвиганий в месте раздвоения антиклинальной линии приурочен грязевой вулкан

Отман-бозы-даг, а к местам резких поворотов антиклинали приурочены два грязевых вулкана Карадагской группы.

Таким образом, в пределах Азербайджана синклинали вулканов нет: все грязевые вулканы приурочены к антиклинальным складкам диапирового типа. Имеются антиклинали резко диапирового типа; но большая часть — криптодиапирового строения: ядро протыкания на поверхность не выходит (Отман-бозы-даг, Лок-батан и др.).

Мы обследовали 10 грязевых вулканов Грузии, а все они — кроме грязевого вулкана Ахтала (Гурджаани), геологическое строение которого еще не выявлено, — приурочены к антиклинальным складкам диапирового типа. Классическим примером антиклинали диапирового строения в Грузии является Тюльки-тапа.

Грязевые вулканы Кубани, Тамани и Керченского п-ова, как известно, все приурочены к антиклиналям диапирового типа.

В зонах грязевых вулканов Керченского п-ова особенно широко развиты синклиналиподобные осложнения, вмятия сводов антиклинальных складок. Эти осложнения еще Головкинский (в 1889 г.) правильно объяснил провалами, вследствие выделения сопочной брекчии на поверхность и образования пустот на глубине. Многие последующие исследователи это положение отвергли, но мы считаем, что в принципе Головкинский был прав и что подобные явления имеют место не только на Керченском п-ове, но и в Азербайджане.

Процесс образования диапировой структуры — процесс очень длительный и напряженный. При формировании таких складок в присводовых частях структуры породы претерпевают максимальное механическое воздействие. Следствием этого являются брекчии. Образованию брекчии способствуют дизъюнктивные нарушения — неперемывные спутники диапировых структур. Брекчии, образованные таким путем, являются брекчиями трения или автокластитам.

Вследствие воздействия воды (а также и нефти) и газа на брекчии трения (автокластиты) образуются два других типа брекчии: собственно сопочные брекчии и сопочные пелиты (илы).

Подробно образование и характеристика брекчий грязевых вулканов будут описаны в последующих специальных статьях. Здесь же мы в двух словах охарактеризуем три указанные типа брекчий.

Брекчии трения представляют собой породу, однородную (по возрасту), но сильно деформированную (обильные зеркала скольжения и т. п.). Эти брекчии иногда выдавливаются на поверхность в виде глыб — например, майкопского возраста, — в которых можно замерять падение. Такие автокластиты можно наблюдать на многих грязевых вулканах: «глыбы» майкопа на склоне Лок-батана, то же на Ахтарме-Путинской, на Ахтарме-Карадагской и в других местах.

Автокластиты, будучи подвергнуты дальнейшему механическому воздействию ядра протыкания при неперемывном участии воды (нефти) и

газа, дают ту основную массу брекчии, которую все наблюдают на грязевых вулканах. Эту брекчию мы и будем называть сопочной брекчией.

Илы или сопочные пелиты образуются при осаждении мути из воды при спокойных выливах (переливании). Этот тип брекчии имеет местами прекрасную слоистость (напр., на Юркинских сальзах в Кабристане).

В литературе по грязевым вулканам имеются указания на находки среди пород сопочной брекчии обломков магматических пород. Наши работы показали, что наличие изверженных пород среди сопочной брекчии грязевых вулканов объясняется следующим: гальки змеевика, гранита и других изверженных пород, находимые в брекчии вулкана Котурдаг, попали туда из прилежащих четвертичных террас. Это особенно хорошо видно, если внимательно просмотреть обрывы кольцевого вала Котурдага в его восточной части.

Подобные явления наблюдаются и в других вулканах (М. Харамы, Мишов-даг). Имеются и другие случаи. Так, например, на вулкане Шуго и Гладковском (Кубань) наблюдаются обломки кварцевых порфиритов и порфиров из конгломератовых прослоев нижнего мела.

Куски андезитов и других изверженных пород среди массы сопочной брекчии грязевых вулканов фанагорийской гряды (Тамань) являются остатками культурного слоя. На фанагорийской гряде эти обломки того же происхождения, что и обломки кувшинов и другой посуды, т. е. занесены сюда людьми.

Из изложенного видно, что все виды брекчий грязевых вулканов сложены породами осадочного происхождения.

Весьма важным является кратко выяснить причину действия грязевых вулканов.

Как уже было изложено выше, все грязевые вулканы связаны со структурами диапирового типа. Следовательно, диапиризм является одним из основных факторов деятельности грязевых вулканов, но не единственным. Мы не можем согласиться с акад. А. Д. Архангельским, который писал, что одного диапиризма достаточно, чтобы грязевой вулкан действовал. На самом деле, имеются прекрасно выраженные диапировые складки (напр., Шубаны), но грязевых вулканов там нет. Значит, одного наличия структуры диапирового типа еще недостаточно для того, чтобы появился грязевой вулкан.

Вторым важным фактором генезиса грязевых вулканов, по нашим данным, является вода, точнее говоря, гидрогеологическая обстановка. В данном конкретном случае (в Шубанах) мы имеем следующие гидрогеологические условия. Сводная часть Атацкинской антиклиналя (Шубаны) высоко приподнята; в ней нет достаточно сильного подпора вод с крыльев, а потому нет и грязевого вулкана при наличии классического диапиризма.

Роль воды в деятельности грязевых вулканов, по нашим данным, двоякая: во-первых, вода (как и нефть), смачивая пласты, размягчает

их, делает пластичными; во-вторых, в ряде случаев вода играет и активную механическую роль, является своего рода гидравлическим прессом, способствуя вместе с давлением ядра протыкания и газом выдавливание брекчии на поверхность.

Роль газа в деятельности грязевых вулканов, несомненно, огромная. Но признавая такую большую роль газа в грязевулканической деятельности, мы не можем согласиться со взглядами проф. Ковалевского, который считает, что газ „причина всей деятельности грязевых вулканов“.

Изучая грязевые вулканы Азербайджана, Керчи, Тамани, Грузии, мы могли наблюдать в ряде случаев довольно активную современную грязевулканическую деятельность (вулкан Карабетовка на Тамани, вулкан Иги в Азербайджане и др.), где газа выделяется незначительное количество. Возьмем хотя бы тот же Котур-даг.

И, наоборот, имеются вулканы с обильным выделением газа, но со слабой грязевулканической деятельностью (вулканы Набурской группы и др.). Таким образом, газ не является первопричиной грязевого вулканизма: по нашему мнению, он играет такую же важную роль, как и диапировая структура и гидрогеологическая обстановка. Вопрос о генезисе диапировых структур, так же, как и о генезисе газа, мы рассмотрим в последующих, более подробных специальных статьях. Вернемся к роли газа.

Газ, поднимаясь вверх по тектоническим трещинам и через поры пород, может скопиться при наличии, например, рыхлых брекчий в огромном количестве. Будучи закупоренным вышележащими породами, давление газа, в конце концов, превысит предел их сопротивляемости (упругости), и вся масса вылетит вверх. Начнется бурная грязевулканическая деятельность.

Но это одна сторона, так сказать чисто механическая, деятельности газа. В этом случае давление газа взрывает покрывку. Но необходимо учитывать и другую сторону роли газа в процессе деятельности грязевых вулканов. Мы имеем в виду медленное и длительное проникновение газа в поры и мелкие трещины пород. Газ и в этом случае разрушает породу, помогает образованию брекчий. Следовательно, и в этом случае газ принимает активное участие в деятельности грязевых вулканов, и для нас еще не ясно, какая из указанных двух ролей газа в деятельности грязевых вулканов важнее: первая или вторая.

Несомненно, огромную роль в генезисе грязевых вулканов играет и характер породы. Не случайно, как будет отмечено в следующей главе, основная масса брекчии сложена мягкими, пластичными породами: главным образом, глинами, отчасти мергелями.

Из изложенного следует, что факторами, обуславливающими появление и деятельность грязевых вулканов являются: 1) диапировая структура, 2) газ, 3) гидрогеологическая обстановка и 4) наличие пластичных масс. Там, где отсутствуют эти четыре, совершенно необходимые усло-

нии, вет и Фризе-вулканической деятельности, и наоборот. Поэтому отпадает вопрос, что важнее в деятельности грязевых вулканов: газ, тектоника, вода или пластичные породы. Мы отвечаем: все четыре фактора важнее всего, так как отсутствие одного из них делает невозможным и генезис грязевых вулканов. И еще одно: магматическая обстановка не имеет никакого отношения к генезису грязевых вулканов. Это последнее положение мы еще будем доказывать и в следующих главах.

После краткого изложения основных вопросов геологии грязевых вулканов и, в частности, основных факторов грязе-вулканической деятельности, мы считаем совершенно необходимым изложить, хотя бы столь же кратко, классификацию грязевого вулканизма.

#### 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА

Несмотря на обильную литературу по грязевому вулканизму, до сих пор не сделано определений и классификации грязевого вулканизма: каждый исследователь, не давая точных определений тем или иным явлениям, называет их по-разному. Мы здесь все многообразие грязевой деятельности Крымско-Кавказской геологической провинции оформляем в виде следующих тезисных положений.

*Грязевой вулкан* — одно из проявлений тектоники, в основном диапирового типа, связанное с выделением газа, воды, брекчии, то спокойно, то бурно. Выделенная вулканом масса брекчии, часто по внешнему виду напоминающая форму лавовых вулканов, но в действительности ничего общего с ними, кроме морфологии, не имеющая, отражается в рельефе в виде определенных морфологических единиц.

*Грязевая сальза* — отдельно стоящий конус (или поровка) той или иной формы, выделяющий брекчию в основном пелитового типа (ил), иногда с внедрениями обломков пород. Извергается без сильного шума и пароксизма. Размеры небольшие: редко более 4—6 м. Примеры: Джейран-учаг, Юркины сальзы.

*Грязевая сопка* — большой эруптивный аппарат грязевого вулкана, принимающий в зависимости от времени (фазы) деятельности вулкана и от гидрологических, литологических и других условий, форму то конуса, то ядра выпирания, то веровки. Иногда все эти формы сопки можно наблюдать одновременно на одном и том же грязевом вулкане, но в разных частях сопочерго поля.

*Грязевой грифон* — мелкий эруптивный аппарат сальзы и сопки, выделяющий или только грязь, или воду, или газ, или все одновременно, но в небольших количествах. Размеры грифонов до 0,5 м высоты.

Итак, мы выделяем два класса: 1) грязевой вулкан и 2) грязевую сальзу. Терминами грязевая сопка и грифон мы обозначаем эруптивные аппараты этих двух классов.

Более точно эти два класса грязе-вулканической деятельности можно охарактеризовать следующим образом (см. табл. 2).

Таблица 2

## Классификация грязевулканической деятельности Крымско-Кавказской геологической провинции

| Класс                                    | Тип брекчии   | Характер деятельности  | Продукты выделений (кроме брекчии)   | Размеры (высота над ур. прилежащей площади) | Геологические признаки   |
|--|---|--|--|---|--|
| Грязевой вулкан<br>А. С избыточной водой | А. Брекчия грязевых вулканов:<br>1) брекчия трещинно-выпирания, или лавтоластиты;<br>2) сопочная брекчия;<br>3) сопочные полеты (илы) | А. 1) Извержения со взрывом;<br>2) без взрывов — типа извержения вулкана Лок-батани в 1935 г.;<br>3) выдавливание брекчии;<br>4) спокойное выделение газа и жидкой грязи разной концентрации | А. 1) Воды, главным образом, щелочные, очень редко жесткие — элварвальциевые;<br>2) газ — преобладающие углеводороды (метана до 58%) | А. До 400—500 м                             | А. 1) Дипированная структура;<br>2) часто как вспомогательное явление сбросы, разломы;<br>3) газ;<br>4) вода;<br>5) наличие плавучих пород |
| II. Без избыточной воды                  | Б. 1) Брекчия трещинно-выпирания, или лавтоластиты;<br>2) сопочная брекчия  | Б. В общем то же, что и в „А“  | Б. Газ того же типа, что и в „А“.  | Б. То же                                    | Б. То же, что и в „А“  |
| Грязевая сольза                          | 1) Сопочная брекчия;<br>2) сопочные полеты (илы)  | Спокойное выделение газа, воды, грязи  | 1) Вода ) того же ) типа, что<br>2) Газ ) и в „А“  | Небольшая, обычно до 4—6 м, редко выше      | 1) Газ;<br>2) Вода.<br>Могут образовываться и без непосредственного влияния джандира   |

Фазы деятельности грязевых вулканов различны для вулканов с избыточной водой (выделяющие воду на поверхность) и для вулканов без избыточной воды. Вулканы с избыточной водой имеют различную форму сопки, тогда как вулканы без избыточной воды сопки не имеют: при своей деятельности они выдавливают брекчию (автокластиты и сопочную брекчию), которая вместе со старой брекчией сползает вниз по склону вулкана медленно или быстро.

Фазы деятельности будут описаны в последующей, более полной статье. Заключившая геологическую часть, мы можем сделать следующие выводы:

1) все грязевые вулканы Крымско-Кавказской геологической провинции приурочены к антиклинальным складкам диапирового типа (с прорваным ядром или криптодиапирой);

2) при формировании диапирового ядра структура разбивается многочисленными сбросами и взбросами, обычно небольшой амплитуды;

3) большинство грязевых вулканов расположено в периклинальных частях структуры, реже они располагаются в наиболее приподнятых частях структуры (особенно в скрытых диапирах), а также и на крыльях (при наличии значительных дизъюнктивных осложнений этой структуры);

4) при формировании диапировой структуры образуется брекчия трения — автокластиты, — которая при последующей обработке ее водой и газом дает два других типа брекчии: сопочную брекчию и сопочные пелиты (илы);

5) находки среди кластического материала брекчии грязевых вулканов магматических пород объясняются наличием здесь или четвертичных галечников, или конгломератов в подстилающем комплексе, или, наконец, это — отложения культурного слоя.

## Глава II

### К ПЕТРОГРАФИИ ПРОДУКТОВ ИЗВЕРЖЕНИЙ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

#### 1. СТРУКТУРА ПРОДУКТОВ ИЗВЕРЖЕНИЙ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ

Опуская изложение общих принципов классификации грубобломочных осадочных образований, хотя это и необходимо было бы для более полного обоснования выдвигаемых ниже положений, мы приводим сейчас лишь те наблюдения над структурой продуктов извержений грязевых вулканов, которые удалось собрать, с одной стороны, в поле, а с другой — путем изучения под микроскопом плоско-параллельных препаратов характерных типов брекчии.

Результаты этих исследований позволяют все продукты извержения твердой фазы грязевых вулканов подразделить на следующие, чаще всего встречающиеся типы:



- а) брекчии грязевых вулканов или автокластиты;
- б) сопочные брекчии;
- в) сопочные пелиты.

Анализ продуктов извержений в поле, данные глубоких расчисток шурфами и, наконец, исследование кернов глубокого бурения (Лок-батан, Сарыяча и др.), с одной стороны, и результаты микроскопического анализа — с другой, показывают, что тело вулкана (и эруптивный аппарат) сложены пластичной, поддающейся под воздействием тектонических усилий выжиманию, массой сильно перемятых пород подстилающего комплекса осадков.

Главная масса кластического материала обычно представлена глинистыми типами пород, различающимися по структуре и окраске. На долю обломков таких твердых пород, как песчаники, известняки и доломиты, обычно падает всего 3-8% от массы всей брекчии.

Особенностью брекчий грязевых вулканов является отсутствие элементов механической обработки кластического материала и полная неотсортированность его, — это типичные *автокластиты*.

Струи газовых эманацій, часто сопровождающие процессы извержений, и увлекаемая ими жидкая фаза вступают в физическое и физико-химическое взаимодействие с брекчиевидной массой, размягчают и частично перерабатывают ее и свои выходы сопровождают излияниями вязких серых масс *сопочной брекчии*.

Микроскопический анализ не всегда позволяет заметить изменение структуры автокластитов, переходящих в сопочную брекчию, но под микроскопом в плоско-параллельных препаратах следы обработки кластического материала жидкой фазой проявляются отчетливо; в шлифах с большой площадью удается наблюдать часто и некоторую сортировку материала.

Эти структурные особенности сопочной брекчии — механическая обработка кластического материала жидкой фазой и следы начавшихся процессов дифференциации его по абсолютной величине обломков и являются отличительными признаками второго типа продуктов извержений твердой фазы.

Более энергичное и продолжительное действие газового фактора, при избытке жидкой фазы, приводит иногда к полной дезинтеграции крупных обломков брекчии и к образованию высокодисперсной пелитовой массы, в различной степени разбавленной водой. Это — *сопочные пелиты* или, как их еще называют, *сопочные илы*.

Образование последнего типа пород может быть и не связано с дезинтеграцией непременно сопочных брекчий. — сопочные пелиты образуются всюду, где на пути выделения газов и увлекаемой ими воды встречаются легко размываемые породы.

## 2. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ИЗВЕРЖЕНИЙ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

Не останавливаясь сейчас на методике петрографического анализа продуктов твердой фазы извержений грязевых вулканов, мы вкратце коснемся минералогического состава этих продуктов.

Детальному минералогическому исследованию подвергались как клас- тический материал и цементирующая масса брекчиевидных пород и сопочные пелиты, так и налеты и выцветы, часто образующиеся на поверхности сопочных покровов.

Пока установлено более 70 отдельных минералогических видов, встре- чающихся в твердых продуктах извержений. Подробный перечень их дается в табл. 3.

Все эти минеральные образования по генетическим признакам могут быть разбиты на 3 группы.

К первой группе относятся минералы, представляющие собой про- дукты механической дезинтеграции пород осадочного комплекса, при- нимающего участие в геологическом строении областей развития гря- зевого вулканизма. Это sui generis реликтовые минералы. К ним отно- сятся полевые шпаты, бейделит и другие минералы глина, кварц, слю- ды и другие образования.

Вторая группа объединяет минералы, которые генетически связаны с процессами, протекающими в твердой фазе продуктов извержений. Эта группа в свою очередь может быть подразделена на две подгруп- пы. К первой подгруппе относятся минеральные образования, встре- чающиеся как эпигенные и в осадочных образованиях подстилающего комплекса; ко второй — минералы, в осадках этого комплекса не обнару- женные.

В минералах первой подгруппы наибольшим распространением поль- зуются сульфаты  $\text{Ca}$  (и  $\text{Mg}$ ), сульфиды  $\text{Fe}$  и карбонатные образования.

Во второй подгруппе минералов особый интерес представляют образования, содержащие бор — улексит ( $\text{NaCaB}_3\text{O}_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) и бура ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). В значительных количествах эти минералы встре- чены в выбросах грязевых вулканов Керченского и Таманского п-овов.

Обнаруженное в некоторых породах майкопской свиты иногда зна- чительное содержание бора и то обстоятельство, что борные минералы встречены только в тех грязевых вулканах, в продуктах выбросов ко- торых преобладают майкопские осадки, опровергают гипотезы С. П. По- лова и С. А. Ковалевского о магматогенном происхождении этого бора и заставляют смотреть на улексит и буру как на экзогенные образования, связанные с выщелачиванием бора из обломков пород (брекчий) майкопского возраста.

Несколько обособленно стоит группа минералов, являющихся про- дуктами термального метаморфоза брекчий, подвергшихся воздействию высоких температур горевших газов. Минералы этой группы нередко

Таблица 3

Минералы, обнаруженные в продуктах извержений грязевых вулканов Крымско-Кавказской геологической провинции

| Минералы реликтовые<br>(из осадочных пород) | Минералы грязевых вулканов |   | Минералы термального метаморфоза<br>(в обож. брек.) |   |
|---|----------------------------|---|---|---|
| Кварц                                       | Глаукофан                  | ← Карбонаты кальция $[CaCO_3] \rightarrow$                          | Арагонит $[CaCO_3]$                                 | Алты $[3CaOSiO_2 + 3CaOAl_2O_6]$                  |
| Полевые шпаты                               | Диоксид                    | ← Доломит $[CaCO_3 \cdot MgCO_3] \rightarrow$                       | Аптраколит<br>$\{CaCO_3 + CaH_2\}$                  | Белиты $[2CaO \cdot SiO_2]$                       |
| Анальцим                                    | Гиперстен                  | ← Сидерит $[FeCO_3] \rightarrow$                                    | Термонарит<br>$[Na_2CO_3 \cdot H_2O]$               | Ива-натр. пол. шпаты (?)                          |
| Бейделит и группа др. мин.                  | Эпидот                     | ← Сера $[S] \rightarrow$  | Эпсомит $MgSO_4 \cdot 7H_2O$                        | Железо α  |
| Глина                                       | Цоизит и клиноцоизит       | ← Пирит $[FeS_2] \rightarrow$                                       | Улексит $[NaCaB_6O_{10} \cdot 8H_2O]$               | Аморфн. кремнезем                                 |
| Слюда                                       | Ставролит                  | ← Марказит $[FeS_2] \rightarrow$                                    | Буря $[Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O]$                    | Оксиды кальция                                    |
| Халцедон                                    | Дистен                     | ← Гидротроилит $[FeSiH_2O] \rightarrow$                             |   | Стекло бурое и зеленое<br>( $n = 1.495 - 1.530$ ) |
| Вулканическое стекло                        | Силламанит                 | ← Гипс $[CaSO_4 \cdot 2H_2O] \rightarrow$                           |   |   |
| Углистые и битум. образования               | Андалузит                  | ← Ангидрит $[CaSO_4] \rightarrow$                                   |   |   |
| Грипал                                      | Титанит                    | ← Барит $[BaSO_4] \rightarrow$                                      |   |   |
| Бурый шпатель                               | Озунит                     | ← Целестит $[SrSO_4] \rightarrow$                                   |   |   |
| Циркон                                      | Глаукозит                  | ← Ярозит $[(K_7Na)_2Fe_6(OH)_{12}(SO_4)_4] \rightarrow$             |   |   |
| Рутил                                       | Ильменит                   | ← Квасцы аммиачные<br>$[(NH_4)Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O] \rightarrow$ |   |   |
| Апатит                                      | Айкновес                   | ← Селитра $[NaNO_3] \rightarrow$                                    |   |   |
| Бруксит                                     | Магнетит                   | ← Галит $[NaCl] \rightarrow$  |   |   |
| Апатит                                      | Красные окислы железа      | ← Атакамит $[CuCl_2 \cdot 3Cu(OH)_2] \rightarrow$                   |   |   |
| Коллофанит                                  |                            | ← Халькопирит $[CuFeS_2] \rightarrow$                               |   |   |
| Далит                                       | Турмалины                  |   |   |   |
| Бесцветные слюды                            |                            |   |   |   |
| Бистит                                      |                            |   |   |   |
| Зеленые слюды                               |                            |   |   |   |
| Эмсавик                                     |                            |   |   |   |
| Тремсаит                                    |                            |   |   |   |
| Актыолайт                                   |                            |   |   |   |
| Обыкновен. роговая обманка                  |                            |   |   |   |
| Бичаэйт. роговая обманка                    |                            |   |   |   |

образуются и в процессах искусственного обжига пород; это клинкерные образования (силикаты кальция), окись кальция, изв.-ватровые полевые шпаты, (?) железо металлическое и стекло.

Петрографический анализ как цементирующей массы брекчии, так и кластического материала ее приводит к тому, что продукты твердой фазы извержений грязевых вулканов состоят из элементов осадочных пород подстилающего комплекса.

Редкие находки среди кластического материала брекчии магматических пород объясняются тем, что это или элементы делювия после третичных галечниковых образований, примешивающиеся к продуктам выбросов (Харамы, Мишов-даг, Котур-даг), или элементы грубообломочных пород (конгломератов) подстилающего комплекса (Шуго), или, наконец, это отложения культурного слоя (грязевые вулканы близ Фангорик).

#### ВЫВОДЫ

Петрографический анализ твердой фазы извержений грязевых вулканов и сопоставление результатов его с петрографическим составом всего комплекса осадков, развитых в зонах погружения Кавказского хребта, позволяют не только выяснить строение грязевых вулканов, но и подойти к разрешению основных вопросов их генезиса.

Если взять область восточной оконечности Кавказского хребта, то оказывается, что все хрульные формы проявления грязевого вулканизма (Боз-даг, Отман-бозы-даг, Тоурагай, Давали-даг и др.) связаны с участием в строении эруптивного аппарата, главным образом, пластичных масс майкопских, средиземноморских и повнеческих отложений или второй не компетентной толщи разреза—нижнемеловых и барремских глин (грязевые вулканы близ с. Астраханка). Несмотря на то, что многие из вулканов Тоурагай, Давали-даг, Отман-бозы-даг и др. сидят на отложениях—или выше—продуктивной толщи, особенно богатой твердыми породами, главная масса выбросов представлена майкопскими и средиземноморскими осадками; элементы продуктивной толщи, несмотря на ее громадную мощность, отмечаются в подчиненных количествах.

Аналогичные взаимоотношения между характером пород подстилающего комплекса и строением грязевых вулканов наблюдаются и на площади Керченского и Таманского п-вов.

Проявление крупных диапировых структур и грязевых вулканов, сопровождающихся пульсирующими выделениями иногда больших количеств газообразных углеводородов, всюду связано с обязательным сочетанием характерного комплекса пластичных и, так называемых, компетентных пород.

Участие в строении этих тектонических форм мощных пластичных газонепроницаемых толщ обеспечивает концентрацию газовой фазы в определенных (сводовых) частях структур.

Развивающиеся тектонические процессы приводят к внедрению иногда значительных масс сильно комприммированного газа в пластичную толщу.

Перемещение же этих газообразных масс в процессах извержений к дневной поверхности приводит к нарушению равновесия между сжатым газом и давлением прикрывающей толщи пород и к образованию бурных извержений, часто сопровождающихся взрывами.

### Глава III

## ГЕОХИМИЯ ВОД И ПОРОД ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

Вода является неперенным продуктом деятельности грязевых вулканов, принимающим участие в образовании и пластичных масс вязкой сопочной брекчии мощных извержений вулканов, и полужидких сметанообразных илов или жидких выделений грифонов вулканов в моменты затишья их эруптивной деятельности.

Выяснение генезиса вод грязевых вулканов и установление характера их воздействия как на эруптивную деятельность, так и на построение морфологических особенностей грязевых вулканов является одной из важнейших частей проблемы генезиса и самих грязевых вулканов.

Первые этапы проведенных работ по изучению грязевых вулканов позволяют уже сейчас сделать некоторые предварительные выводы, заключающиеся в следующем:

1. Поверхностные инфильтрационные воды играют крупную роль в образовании запасов вод грязевых вулканов.

2. Относительное богатство продуктов деятельности вулканов водой стоит в некоторой зависимости от климатических особенностей районов распространения грязевых вулканов, от величины бассейна питания инфильтрационных вод, поступающих в вулканы, легкости проникновения вод в вулканы (характер проводящих путей) и, наконец, от величины гидростатического напора этих вод.

Относительное богатство водой вулканов Северной Астрахани, Набура, Айран-Теяна, Дышгиля, Ахталы, Булганака и бедность ею Котур-дага, Отман-бозы-дага, Лок-батава иллюстрирует сказанное.

3. Степень участия воды в продуктах деятельности грифонов определяет их морфологические особенности. Преобладание в их составе воды создает плоские лелешкообразные конуса или воронки-озерки (Набур, Айран-теяни), бедность водой — высокие, часто остроконечные конусы.

4. Среди вод грязевых вулканов Крымско-Кавказской провинции имеют распространение два типа вод: слабо минерализованные бессульфатные (или слабо сульфатные) щелочные и более высоко минерализованные хлоркальциевые. Преобладающее развитие среди вод грязевых

вулканов имеют воды щелочные. Хлоркальциевые воды встречены лишь в немногих грязевых вулканах.

К ним принадлежат: а) в Азербайджане—Утальги-Ахтарма, Дышгиль, Малый Харамы, „Нефтяной“ овраг Мишов-дага и вулканы Куринской низменности, в частности Хидырлы-Бяндованского района, б) в Грузии—Кила-купра, Мирзаанская сопка, Пховели, в) на Кубани—Б. Гладковские сопки.

На Таманском и Керченском полуостровах хлоркальциевых вод в грязевых вулканах не встречено.

5. Щелочные воды грязевых вулканов несут в себе, преимущественно, различные комбинации хлоридов, бикарбонатов и карбонатов щелочей. Сульфаты щелочей или отсутствуют, или наблюдаются в незначительных количествах. Карбонаты и бикарбонаты щелочных земель встречаются в водах также только в небольших количествах.

Отличие отдельных типов щелочных вод друг от друга заключается в различных соотношениях в их составе между хлоридами щелочей и их карбонатами и бикарбонатами.

В одних случаях хлориды щелочей преобладают над их карбонатами, и тогда формула воды в характеристиках Пальмера получает вид  $S_1, A_1, A_2^1$ , в других—доминирующее значение получают бикарбонаты и карбонаты щелочей, и формула данного типа воды превращается в  $A_1, S_1, A_2$ .

Минерализация щелочных вод, выраженная суммой мг-экв. ионов, содержащихся в 100 г воды, колеблется в пределах от 11 до 126 мг-экв. Обычная величина минерализации этих вод составляет 20—50 мг-экв., цифры, превышающие 100 мг-экв. встречаются как единичные исключения.

б. Хлоркальциевые воды грязевых вулканов имеют минерализацию от 66 до 400 мг-экв. в 100 г воды. Обычно минерализация редко спускается ниже 100 мг-экв.

Химический состав хлоркальциевых вод выражен хлоридами щелочей и щелочных земель—кальция и магния. Хлориды щелочей резко преобладают. Карбонаты и бикарбонаты щелочей играют совершенно подчиненную роль.

Формула хлоркальциевых вод  $S_1S_2A_2$ .

7. Общей особенностью вод грязевых вулканов и щелочных, и хлоркальциевых, является незначительное содержание или полное отсутствие в их составе сульфатов. Количество  $SO_4^{--}$  в водах сопки, как правило, не превышает 0.6 мг-экв. в 100 г воды.

<sup>1</sup> Формула воды представляет собой рядом расположенные характеристики Пальмера в порядке их убывающей величины. См. В. А. Сулиев. Воды Нефт. месторождения СССР. Изд. ОНТИ, 1935.

Накопление сульфатов наблюдается иногда лишь в сероводородных грифонах грязевых вулканов, обычно приуроченных к краевым участкам вулканического поля.

В этих грифонах содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  повышается иногда до 10—20 мг экв в 100 г воды.

8. Запасы вод грязевых вулканов имеют преимущественно инфильтрационно-поверхностное происхождение.

9. Характерная геохимическая обстановка грязевых вулканов, выражающаяся в наличии в них битумов (углеводородный газ, нефть), тождественна обстановке нефтяных месторождений.

10. Эта обстановка вызывает течение восстановительного комплекса реакций, с одной стороны, а с другой—вызывает накопление в составе продуктов деятельности грязевых вулканов некоторых элементов, находящихся обычно в состоянии рассеяния в осадочных породах, но накаплиющихся в нефтяных месторождениях (напр., В, Br, J).

11. Поверхностные (обычно сульфатные) воды, поступая в грязевые вулканы и попадая в зону воздействия своеобразной геохимической обстановки грязевых вулканов, претерпевают коренные изменения своего состава, приводящие к появлению новых типов вод, обычно чуждых земной поверхности, но тождественных водам нефтяных месторождений.

12. Эти изменения текут по путям: а) выщелачивания брекчий грязевых вулканов, б) концентрирования состава вод, связанного и с процессами выщелачивания, и с испаряющим воздействием на состав вод углеводородных газов вулканов, в) взаимодействия вод с восстанавливающим органическим комплексом грязевых вулканов (газ, нефть) или непосредственно, или в результате течения биогенных процессов, бактериального порядка.

13. Эти изменения состава инфильтрационных вод приводят: а) к резкому обновлению их солевого состава, б) к исчезновению или резкому относительному уменьшению содержания в составе вод сульфатов, в) к появлению в водах закисных соединений различных элементов, г) к обогащению вод бором, бромом и иодом.

14. Изменения солевого состава инфильтрационных вод, поступающих в грязевые вулканы, заключаются: а) в выпадении карбонатов щелочных земель, т. е. в резком уменьшении значения второй щелочности ( $A_2$ ), обычно доминирующей в составе инфильтрационных вод; б) в исчезновении из состава вод сульфатов щелочных земель ( $S_1$ ); в) в исчезновении или резком уменьшении содержания в водах сульфатов натрия; г) в обогащении вод хлоридами, карбонатами и бикарбонатами щелочей.

15. Выпадение карбонатов щелочных земель есть результат концентрирования вод. Выделение из состава вод сульфатов—результат течения реакции восстановления. Их частный случай—восстановление суль-

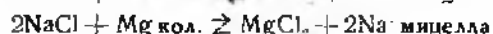
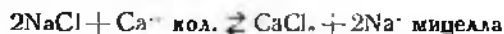
фатов натрия—ведет при воздействии образующейся при этом углекислоты к появлению бикарбонатов и карбонатов натрия, т. е. к образованию первой щелочности вод.

В результате течения этих процессов поверхностные инфильтрационные воды, обычно принадлежащие классам  $A_2, S_1 A_1$  или  $A_2 S_1 S_0$  и  $A_2 S_1 S_1$ , превращаются в воды состава  $A_1 S_1 A_2$  или  $S_1 A_1 A_2$ .

Таков путь превращения поверхностных инфильтрационных вод в щелочные воды грязевых вулканов, а равно и нефтяных месторождений.

16. Хлоркальциевые воды грязевых вулканов являются продуктом вторичного превращения щелочных вод в недрах грязевых вулканов.

Генезис хлоркальциевых вод обязан течению реакций обмена основаниями между щелочными водами и поглощенными основаниями пород. Обмен основаниями по реакциям:



приводит к появлению в составе вод вулканов хлоридов щелочных земель.

Первые этапы течения реакции приводят к взаимодействию хлоридов щелочных земель и карбонатов и бикарбонатов щелочей и к их обоюдному уничтожению по реакции:



В результате в водах растет содержание  $NaCl$ , т. е. их первая соленость.

Лишь по завершении этой реакции начинается накопление в водах хлоридов щелочных земель, в результате продолжающейся реакции обмена иона  $Na^+$  вод на поглощенные щелочные земли пород.

Реакция обмена основаниями между щелочными водами и породами может начаться только тогда, когда содержание натрия в водах достигнет значительной величины в результате процессов концентрирования, текущих в недрах грязевых вулканов и нефтяных месторождений.

Усиленное воздействие натрия вод на поглощенные щелочные земли пород идет при минерализации 80—120 мг/экв.

Таким образом, в недрах грязевых вулканов и нефтяных месторождений Крымско-Кавказской провинции течет процесс превращения щелочных вод по достижении ими указанной минерализации в воды жесткие, хлоркальциевые.

Этим обстоятельством объясняется факт отсутствия среди нефтяных месторождений грязевых вулканов высоко минерализованных щелочных вод и наличие высоко минерализованных хлоркальциевых вод.

17. Течение процессов десульфирования вод приводит к появлению в зонах развития этого процесса сероводородных вод и к появлению в водах значительных количеств „недоокисей“ серы ( $S_2O_3^{--}$ ,  $SO_3^{--}$ ).



18. В грязевых вулканах дифференцируются следующие геохимические зоны:

А) Бессульфатная зона—зона законченного цикла восстановительных реакций, несущая воды, лишенные сульфатов и сероводорода, богатые закисными соединениями ионов  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{F}^-$  и брекчий, богатые пиритом.

Б) Сероводородная зона—зона наибольших значений окислительно-восстановительного потенциала (по данным В. Э. Левенсона), характеризующаяся борьбой различных направленных окислительно-восстановительных процессов и присутствием сульфатов в составе вод и брекчий.

В) Краевая сульфатная зона—поле деятельности реакций окислительного типа.

19. В водах грязевых вулканов течет процесс накопления различных микроэлементов, как-то: иода, брома, бора и др.

20. Содержание иода в грязевых вулканах в процентных нижеследующее: в Азербайджане  $1.5 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}\%$ , в Грузии  $1.2 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}\%$ , на Кубани  $3 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}\%$ , на Таманском, Керченском полуостровах  $2 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}\%$ .

Максимальное содержание иода обнаружено в водах следующих вулканов:

а) в Азербайджане—Ахтарма-Нардаранская—до  $9.6 \cdot 10^{-3}\%$ , Хидырлы—до  $8.3 \cdot 10^{-3}\%$ , Алдам—до  $5.7 \cdot 10^{-3}\%$ ; б) на Кубани—Зап. Гладковская сопка—до  $5.7 \cdot 10^{-3}\%$ ; в) на Таманском полуострове—г. Гнилая—до  $5.6 \cdot 10^{-3}\%$ ; г) на Керченском п-ове—Булганак—до  $5.5 \cdot 10^{-3}\%$ .

Содержание иода в водах грязевых вулканов не зависит от геологического возраста пород его основания и его корней.

Концентрация воды в природных условиях также оказывает весьма малое воздействие на содержание иода в водах. Так, максимальное содержание иода обнаружено в водах Ахтармы-Нардаранской ( $9.6 \cdot 10^{-3}\%$ ), имеющей минерализацию около 67 мг экв. в 100 г воды; в водах же Хидырлов, при минерализации 150—200 мг экв., содержание иода составляет  $3.8 \cdot 10^{-3}\% - 4.5 \cdot 10^{-3}\%$ . Отсутствие пропорциональной зависимости между содержанием иода и минерализацией воды объясняется поглощением иода породами и частичной потерей его при концентрировании вод, особенно в застойных грифонах-озерах на дневной поверхности.

Потеря иода происходит во многих случаях в результате окисления иодидов в условиях дневной поверхности. Это окисление идет в частности, под воздействием нитритов, обычно образующихся у дневной поверхности из  $\text{NH}_4^+$ , всегда имеющегося в водах вулканов. Факты нахождения совместно с нитритами в водах грязевых вулканов иодатов и свободного иода подтверждают вышесказанное. Важно сопоставление содержания иода вод грязевых вулканов и минеральных источников Кавказа.

Так, воды нарзанов Военно-Грузинской дороги, приуроченных к поясе развития изверженных пород и надвигов, показывают следующее

содержание иода: Базиленские нарзаны  $1.3 \cdot 10^{-6}\%$  (при минерализации 5.9 мг экв. в 100 г воды), Кобийский сероводородный нарзан  $3.2 \cdot 10^{-5}\%$ , Пассанаурский  $4 \cdot 10^{-5}\%$  (минерализация 33 мг экв. в 100 г воды).

Некоторые нарзаны совершенно не показывают содержания иода при определении его с точностью до  $9 \cdot 10^{-6}\%$ .

Сопоставляя содержание иода грязевых вулканов с содержанием его в Пассанаурском нарзанае, показавшим максимальное из всех нарзанов содержание иода, видим, что в Пассанаурском нарзанае иода, примерно, в 100 раз меньше, чем в водах грязевых вулканов. Содержание иода в грязевых вулканах того же порядка, что и в водах нефтяных месторождений.

Среди последних особенно знаменателен установленный экспедицией факт накопления в водах Мирзаанского месторождения (Грузия) значительных количеств иода.

Здесь в почти пресных водах (минерализация 2—10 мг/экв.), содержание иода колеблется в пределах  $6 \cdot 10^{-1} - 2.6 \cdot 10^{-3}\%$ .

*Накопление иода в водах грязевых вулканов связано с наличием в них битумов нефти.*

21. Содержание брома в водах грязевых вулканов составляет: в Азербайджане  $4 \cdot 10^{-4} - 1.7 \cdot 10^{-2}\%$ , в Грузии  $2.5 \cdot 10^{-5} - 5.4 \cdot 10^{-3}\%$ , на Тамани  $2.5 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-3}\%$ , на Кубани  $3 \cdot 10^{-8} - 4 \cdot 10^{-3}\%$  и на Керченском полуострове  $1.5 \cdot 10^{-3} - 2.5 \cdot 10^{-3}\%$ , а в целом, по вулканам,  $2.5 \cdot 10^{-4} - 1.7 \cdot 10^{-2}\%$ .

По сравнению с содержанием брома в морской воде ( $6.5 \cdot 10^{-3}\%$ ) количество брома в водах грязевых вулканов не является особенно большим.

Существенным является рассмотрение соотношения хлора и брома в водах различных вулканов. Отношение Cl:Br для морской воды составляет 308. В водах вулканов оно меняется следующим образом: а) Азербайджан — вулканы мела 220—300, вулканы, сидящие на майкопе, 100—170, на продуктивной толщине от 93 до 145—200; б) Грузия — мел 270—360, майкой — мирзаанская толща, 111—140; в) Кубань до 280—380; г) Тамань 106—300, Керчь 108—400.

Лишь в редких случаях Cl:Br достигает величины больше 308. Таким образом, в грязевых вулканах течет процесс относительного накопления брома по сравнению с содержанием хлора.

Бром вод грязевых вулканов — продукт выщелачивания их брекчий, несущих в себе породы морского образования, захватившие бромистые соли в процессе седиментации.

22. Содержание бора в водах грязевых вулканов составляет  $1 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-10}\%$ . Колебание в содержании бора связано: а) с географическим положением вулкана, б) с геологическим возрастом пород основания вулкана.

Резкое обогащение бором дают грязевые вулканы мела и майкопа Азербайджана, Кубани, Керченского и Таманского полуостровов. Сред-

нее содержание бора меловых вулканов этих районов  $1.2 \cdot 10^{-10}$ %, майкопских —  $1.2 \cdot 10^{-10}$ %, по Керченскому району и несколько ниже по Азербайджану. Майкопские вулканы Грузии дают пониженное содержание бора  $1.2 \cdot 10^{-10}$  —  $1.7 \cdot 10^{-10}$ %. Вулканы продуктивной толщи Азербайджана показывают содержание бора в водах  $1 \cdot 10^{-10}$  —  $4 \cdot 10^{-10}$ %. Обследование пресных вод и минеральных источников Крымско-Кавказской провинции показало содержание бора: в пресных водах  $5 \cdot 10^{-10}$ %, в минеральных  $5 \cdot 10^{-8}$ %.

Таким образом, бор, распространенный элемент осадочных серий, и накопление его в водах грязевых вулканов — *результат выщелачивания водами их пород.*

Подлежат выяснению условия накопления его в осадочных толщах.

23. Содержание калия в водах грязевых вулканов составляет  $1.2 \cdot 10^{-3}$  —  $6.3 \cdot 10^{-3}$ %. Его содержание меняется в зависимости от географического положения вулкана и возраста пород его основания.

Максимальное содержание калия дают вулканы продуктивной толщи Азербайджана:  $1.6 \cdot 10^{-2}$  —  $6.3 \cdot 10^{-2}$ %, майкопа Керченско-Таманской провинции  $7.2 \cdot 10^{-3}$  —  $2 \cdot 10^{-2}$ %.

Интересно изменение отношения  $\text{гNa}:\text{гK}$  в водах различных вулканов. Это отношение в морской воде равно 48. В вулканах продуктивной толщи и Азербайджана оно равно 61 — 105, майкопа 160 — 529. Вулканы Грузии дают отношение 49 — 177, Тамани 40 — 142, Керчи 37 — 112.

Воды обследованных пресных родников имеют отношение  $\text{гNa}:\text{гK}$  1.5 — 60. Таким образом,  $\text{гNa}:\text{гK}$  вод вулканов обычно повышен по сравнению с величиной его не только в пресных водах, но и в морской воде. Различные величины этого отношения в водах различных вулканов — показатель условий выщелачивания и его длительности.

24. Воды всех грязевых вулканов содержат аммоний, количество которого изменяется от  $2 \cdot 10^{-5}$  до  $9 \cdot 10^{-3}$ %. Наличие в водах аммония связано с органическим веществом.

25. Для щелочных вод грязевых вулканов характерно накопление  $\text{SiO}_2$ , для жестких — закисного железа.

26. Накопление форм закисных соединений железа, серы, аммония — характерное явление для илаз грязевых вулканов. Пирит и сульфиды постоянно присутствуют в илах вулканов.

27. Своеобразная геохимическая обстановка грязевых вулканов включает также накопление в илах легко растворимых силикатов, в частности — магnezияльных, и карбонатов щелочных земель.

28. Все илы вулканов содержат значительное количество органического вещества. Определение в илах органического углерода показало содержание его в пределах 0.2 — 4%.

29. Гидрогеологическая характеристика и геохимическая обстановка грязевых вулканов в целом не отмечает участия в их деятельности ювенильно-эндогенных факторов.

## Глава IV

## ГЕОХИМИЯ БИТУМОВ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

Одним из необходимейших элементов комплексного изучения проблем грязевого вулканизма являются исследования битуминологические.

Наша работа в этой области складывается из двух неразрывно связанных между собой, но вместе с тем совершенно различных частей. Это, во-первых, собственно битуминологические исследования, — исследования над битуминозными образованиями грязевого вулкана и совершающимися в них явлениями,<sup>1</sup> и, во-вторых, изучение сопряженных процессов в окружающей неорганических средах.<sup>2</sup>

Начнем с первой.

Вопрос, который здесь прежде всего привлекает внимание битуминолога, это суммарное содержание битума, картина его распределения в системе вулкана.

Из 40 объектов, которые мы посетили во время первой экспедиции, такие определения проведены нами по 17.

В 12 случаях нам удалось отобрать по одному и тому же вулкану одновременно и брекчии (18 образцов) и коренные породы из горизонтов, на котором он расположен, а также из более глубоких (26 образцов). Исследование показало, что по десяти из этих двенадцати вулканов брекчия содержит больше битума (часто гораздо больше), чем соответствующие коренные породы. Два случая представляют, как будто, отступление от этой закономерности, но есть основания думать, что и их не следует рассматривать в качестве исключений.

Таким образом, с полной объективностью можно, повидимому, сказать, что, по изученным до сих пор нами вулканам, в брекчиях — или, иначе говоря, в зоне очага вулкана — наблюдается, как правило, накопление битуминозных веществ.<sup>3</sup>

Мы располагаем в настоящее время уже некоторыми данными и о групповом составе битумов в системе грязевого вулкана.

В майкопской свите, диатомовых слоях и продуктивной толще, в каждой из трех стратиграфических единиц, нами отобраны, по одному и тому же вулкану, образцы пород с различной (иногда резко различной) суммарной битуминозностью. Во всех таких случаях, повышению содержания битума в коренной породе отвечает меньшая степень его асфаль-

<sup>1</sup> По этому разделу, требующему трудоемких камеральных анализов, мы имеем результаты пока только в отношении материалов экспедиции 1935 г. (Азербайджан).

<sup>2</sup> Главная масса этих экспериментальных исследований может считаться законченной.

<sup>3</sup> Недостаток места заставляет нас здесь, как и в дальнейшем, воздержаться от приведения цифрового материала, относящегося к нашим битуминологическим исследованиям.

прибавить, что уровень ее находится в тесной связи с общим запасом свободной химической энергии системы.

Благодаря трудам ряда выдающихся ученых (Valeroff, Le Blanc, W. M. Clark, Friedenwald, Kollhof, Michaels, Neumann, W. Ostwald, Peters) понятие окислительно-восстановительного потенциала играет в настоящее время значительную роль в различных областях химии (физической, аналитической, биологической и др.). Из наук о земной коре, оно слегка проникло в почвоведение и специальные отделы гидрологии.

Геохимии же, как таковой, оно до сих пор, насколько нам известно, продолжало оставаться совершенно чуждым.

Поэтому те интересные данные об окислительно-восстановительном потенциале в районах распространения грязевого вулканизма, которые мы позволим себе здесь сообщить, следует рассматривать не только как первый этап нашего изучения сопряженных явлений в неорганических средах, граничащих с битумами грязевого вулкана, но и вообще как первую попытку воспользоваться этой величиной в освещении проблем геологии.

Относящиеся сюда экспериментальные исследования складываются из полевых определений окислительно-восстановительного потенциала вод, жидких брекчий и коренных пород в зонах грязевых вулканов Керченского и Таманского районов, Кубани, Грузии и Азербайджана.

Из выяснившихся и намечившихся в этой области закономерностей мы остановимся сейчас на трех.

При исследовании брекчий и вод, прежде всего бросается в глаза тот факт, что пробы различного геологического материала, заключающие сероводород, безразлично, содержат или не содержат они нефть, показывают всегда более высокий уровень восстановительной интенсивности (более низкое  $\{H\}$ ), чем образцы с нефтью или без нее, но от сероводорода свободные.<sup>1</sup> Соотношения эти оказываются справедливыми не только для проб с одного и того же вулкана, но и при сравнении общих пределов значений окислительно-восстановительного потенциала для сероводородных и лишенных сероводорода проб по каждому изученному нами району (Керчь, Тамань, Кубань, Грузия, Азербайджан) в целом.

Особый интерес представляет более высокая восстановительная интенсивность образцов, содержащих  $H_2S$ , по сравнению с образцами, заключающими нефть. При таких соотношениях объяснить восстановление сульфатов просто, без дальнейшего, действием факторов, связанных с нефтью, химических ли, микробиологических или каких-либо иных, становится невозможным. В самом деле. Нельзя, очевидно,

<sup>1</sup> Всего в системах грязевых вулканов нами было исследовано 30 проб, содержащих сероводород, а 175 - не содержащих его.

чалк (Лок-батыл, с одной стороны, Тюльки-тапа, Будганякские сопки— с другой), вследствие ряда независевших от нас причин не могли быть прослежены до сих пор на массовом материале, достаточном для их окончательного установления.

Таким образом, здесь наблюдения носят еще предварительный характер.

В заключение этой части доклада, посвященной геохимической битуминологии грязевых вулканов, необходимо заметить, что, несмотря на самое прямое, очевидно, отношение сообщенных закономерностей к стоящим перед нами кардинальным проблемам грязевого вулканизма, мы сознательно воздерживаемся пока от каких-либо выводов общего порядка. Мы позволим себе перейти к ним только после того, как будут полностью пройдены основные этапы камеральной обработки образцов второй экспедиции и закончены некоторые дополнительные углубленные исследования всего материала.

#### Г л а в а V

### ГАЗ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

Задачи, стоявшие перед газовой группой, заключались в изучении газов, выделяющихся из грязевых вулканов, а главным образом, в изучении углеводородной их части.

Состав газов, выделяющихся непосредственно из их выходов, расположенных на площадях, занимаемых грязевыми вулканами, изучался многими исследователями, которыми и было установлено, что газ состоит главным образом из метана с примесью углекислоты и азота. В некоторых случаях в газах грязевых вулканов наблюдалось присутствие небольших количеств водорода и сероводорода. Следует заметить, что состав углеводородной части газа не был достаточно полно исследован в прежних работах, а в частности, оставался открытым такой вопрос, как наличие или отсутствие в метане тяжелых углеводородов. Между тем, это обстоятельство имело весьма существенное значение для установления связи грязевых вулканов с нефтеносностью тех площадей, на которых расположены изучаемые грязевые вулканы. По этой причине в наших исследованиях при анализах газов грязевых вулканов наибольшее внимание было уделено определениям метана и тяжелых углеводородов.

Помимо анализов газов из их выходов, было поставлено также изучение горючих газов, имеющих в поверхностных слоях горных пород (на глубине 2—5 м от дневной поверхности) в районах расположения грязевых вулканов. Целью этих исследований было установление состава и концентрации углеводородов диффундирующих из глубинных источников (залежей) газа сквозь толщу горных пород в атмосферу. Изучение горючих газов, имеющих в поверхностных слоях горных пород, производилось методом „газовой съемки“, представляющей собой новый

прибавить, что уровень ее находится в тесной связи с общим запасом свободной химической энергии системы.

Благодаря трудам ряда выдающихся ученых (Bancroft, Le Blanc, W. M. Clark, Fredenwald, Kolthof, Michaelis, Neumann, W. Ostwald, Peters) понятие окислительно-восстановительного потенциала играет в настоящее время значительную роль в различных областях химии (физической, аналитической, биологической и др.). Из наук о земной коре, оно слегка проникло в почвоведение и специальные отделы геологии.

Геохимии же, как таковой, оно до сих пор, насколько нам известно, продолжало оставаться совершенно чуждым.

Поэтому те интересные данные об окислительно-восстановительном потенциале в районах распространения грязевого вулканизма, которые мы позволим себе здесь сообщить, следует рассматривать не только как первый этап нашего изучения сопряженных явлений в неорганических средах, граничащих с битумами грязевого вулкана, но и вообще как первую попытку воспользоваться этой величиной в освещении проблем геологии.

Относящиеся сюда экспериментальные исследования слагаются из полевых определений окислительно-восстановительного потенциала вод, жидких брекчий и коренных пород в зонах грязевых вулканов Керченского и Таманского районов, Кубани, Грузии и Азербайджана.

Из выяснившихся и наметившихся в этой области закономерностей мы остановимся сейчас на трех.

При исследовании брекчий и вод, прежде всего бросается в глаза тот факт, что пробы различного геологического материала, заключающие сероводород, безразлично, содержат или не содержат они нефть, показывают всегда более высокий уровень восстановительной интенсивности (более низкое  $iH$ ), чем образцы с нефтью или без нее, но от сероводорода свободные.<sup>1</sup> Соотношения эти оказываются справедливыми не только для проб с одного и того же вулкана, но и при сравнении общих пределов значений окислительно-восстановительного потенциала для сероводородных и лишенных сероводорода проб по каждому изученному нами району (Керчь, Тамань, Кубань, Грузия, Азербайджан) в целом.

Особый интерес представляет более высокая восстановительная интенсивность образцов, содержащих  $H_2S$ , по сравнению с образцами, заключающими нефть. При таких соотношениях объяснить восстановление сульфатов просто, без дальнейшего, действием факторов, связанных с нефтью, химических ли, микробиологических или каких-либо иных, становится невозможным. В самом деле. Нельзя, очевидно,

<sup>1</sup> Всего в системах грязевых вулканов нами было исследовано 30 проб, содержащих сероводород, и 175 — не содержащих его.

вулкана и потому свободным от влияния той геологической обстановки, которую мы имеем в его непосредственном окружении. Выявляя в чистом виде специфические черты, свойственные битумам различных геологических периодов, такие исследования должны в дальнейшем помочь геологам и петрографам в трудных случаях определения возраста пород, участвовавших в образовании брекчии. С другой стороны, они, повидимому, помогут и битуминологам в познании метаморфизирующего влияния условий, так или иначе связанных с явлением грязевого вулканизма.

Изучение относящихся сюда образцов было выполнено по шести стратиграфическим единицам (акчагыл, продуктивная толща, диатомовые слои, майкоп, коун. юкусдаг). Не вдаваясь в подробный разбор результатов этих определений, укажем лишь на значительно более высокое содержание маслянистых компонентов в битумах продуктивной толщи и над нею по сравнению с битуминозными образованиями пород более древних.

Скорее прерывая, чем заканчивая на этом рассмотрение результатов наших исследований над явлениями в битуминозных образованиях грязевого вулкана, мы переходим теперь ко второй части работы, к изучению сопряженных с этими явлениями процессов и окружающих неорганических сред.

Общезвестна та исключительная роль, которую во всей природе играют процессы окисления и восстановления. Это колоссальное значение окислительно-восстановительных явлений с полной ясностью проявляется в различных областях естествознания.

Давно уже к сознанию необходимости изучения отдельных реакций восстановления и окисления присоединилась потребность в установлении величины, которая могла бы служить общим основанием для суждения об окислительно-восстановительной интенсивности любой системы.

В основу избранная этой величины было положено соображение о том, что окислительно-восстановительная интенсивность системы может быть приравнена к восстановительной интенсивности водорода, находящегося под некоторым определенным давлением. Величина давления водорода, находящегося в равновесии с системой, и может служить мерилем ее окислительно-восстановительной интенсивности. Так как значения этой величины, с которыми обычно приходится встречаться, весьма малы, вместо нее пользуются отрицательным ее логарифмом.

Таким образом, получают уровень окислительно-восстановительной интенсивности, выраженный в довольно простых положительных числах. Этот "отрицательный логарифм гипотетического давления водорода, находящегося в равновесии с системой" и обозначают термином окислительно-восстановительного потенциала, или знаком  $iH$  (иногда  $iH_2$ ). Для полного понимания важности этой величины следует



допустить восстановление, т. е. повышение восстановительной интенсивности системы, в результате воздействия на нее другой системы, обладающей, по сравнению с ней, восстановительной интенсивностью более низкой. Наблюдения наши ставят, таким образом, существующие теории восстановления сернокислых солей, связанного с присутствием нефти, во всяком случае, перед необходимостью надлежащего их развития, введения каких-то дополнений, ограничений или коррективов, которые смогли бы объяснить эти соотношения.<sup>1</sup>

Описанное сейчас явление максимальной восстановительной интенсивности образцов, содержащих  $H_2S$ , как показали наши исследования, не ограничивается образцами, относящимися к грязевым вулканам, но может быть констатировано также и в соответствующих пробах, взятых в нефтеносных районах, к грязевым вулканам не приуроченных.<sup>2</sup>

Нелишне, быть может, указать при этом, что восстановительная интенсивность сероводородных образцов может в миллион и более раз превосходить восстановительную интенсивность проб, свободных от  $H_2S$ , но содержащих нефть.

Мы не считаем, что имеющиеся уже в нашем распоряжении факты достаточны для объяснения этого явления. Вопрос, выдвигаемый нашими наблюдениями, не может быть ни в какой степени разрешен указаниями на сложность и многообразие процессов, протекающих параллельно и одновременно в интересующих нас комплексах. В величине ГН мы имеем единую равнодействующую, отражающую в себе полностью всю совокупность окислительно-восстановительных условий каждой из двух сравниваемых систем.

Совершенно несостоятельным было бы также предположение, что более высокая интенсивность сероводородных образцов объясняется просто тем, что восстановление до  $H_2S$  является лишь признаком более высокой восстановительной интенсивности нефти, с которой мы имеем в этом случае дело. по сравнению с теми нефтями, которые не в состоянии обусловить восстановительный процесс, заходящий так далеко. Действительно. Неужели правдоподобно предположение, что нефть (или связанная с нею микрофлора) с одного и того же промысла, из одного и того же горизонта, способна сообщить воде из этого же горизонта, в одной скважине в миллион раз большую восстановительную интенсивность, чем в другой? Что вследствие этого, в первой мы встречаем  $H_2S$ , а во второй его нет? А между тем, в нашем материале имеются такие случаи!

<sup>1</sup> Следует подчеркнуть, что уровень ГН образцов с нефтью, по липленным сероводорода, вообще не представляет достаточно характерных отличий при сравнении его со значениями этой величины для проб, свободных также и от нефти. Он даже не ниже (а иногда и выше), чем у средних по своей площади поля вне площадей, связанных с нефтяными выгодами.

<sup>2</sup> Здесь было исследовано 4 сероводородных воды и 7—несероводородных.

Мы думаем, что продвинут нас вперед в этом вопросе только дальнейшие углубленные исследования. Быть может, им суждено привести нас к некоторым новым выводам в области как генезиса нефти, так и занимающих нас здесь проблем грязевого вулканизма.

Знакомясь ближе с окислительно-восстановительными условиями в кратере грязевого вулкана, мы заинтересовались вопросом, как изменится  $\Gamma\text{H}$  жидкой брекчии на разных глубинах, по мере приближения к очагу вулкана.

Внимательное рассмотрение полученных данных приводит нас к заключению о наличии здесь определенной закономерности, которая может быть выражена следующим образом.

Образцы жидкой брекчии, отобранные из кратера грязевой сопки, в которой, или в непосредственной близости от которой (в расстоянии не более одного километра), имеются проявления жидкой нефти, показывают, как правило, с возрастающей глубиной отбора, падение  $\Gamma\text{H}$ , т. е. увеличение восстановительной интенсивности (в 9 случаях из 11 исследованных). В вулканах, вокруг которых в зоне указанного сейчас радиуса жидкой нефти нет,<sup>1</sup> такой закономерности не наблюдается (в 6 случаях из 8.<sup>2</sup>

Говоря здесь о проявлениях жидкой нефти, мы отнюдь не имеем в виду залежей промышленного масштаба. Естественно, возникает также вопрос о возможности воспользоваться определениями окислительно-восстановительного потенциала для суждения о наличии в районе вулкана пластов с нефтенасыщением именно промышленного порядка. Здесь должен, по видимому, представить интерес другой ряд наших наблюдений над окислительно-восстановительной интенсивностью геологического материала в системе вулкана.

В результате поставленных нами определений  $\Gamma\text{H}$  в коренных породах по линиям приближения к вулкану наметились изменения этой величины, различные для объектов, приуроченных к месторождениям нефти промышленного значения, и для сопки, не находящейся в непосредственной связи с зонами большого нефтенасыщения. В первом случае мы имеем по мере приближения к ядру вулкана правильное понижение восстановительной интенсивности в коренных породах, отобранных не только по одному и тому же пласту свиты, но и принадлежащих к разным пластам ее. Во втором, — эта тенденция наблюдается только по *простиранию* одной и той же узкой стратиграфической единицы или *не наблюдается вовсе*. Соотношения эти, ясно проявляющиеся в нескольких исследованных нами типичных слу-

<sup>1</sup> Асфальтизированные битумы могут преуспевать.

<sup>2</sup> Два первых отклонения носят явно случайный характер. Два последних, вероятно, вовсе не являются исключениями: мы полагаем, что соответствующие сопки относятся, в действительности, к первой категории.

Результаты анализов газов из их выходов показали, что в состав газов входят главным образом метан, углекислота и азот. Газы грязевых вулканов Азербайджана содержат, как правило, больше 90% метана. В некоторых случаях содержание метана доходит до 98—99%. Содержание углекислоты в этих газах составляет от десятых долей процента до 6—7%. Остальное приходится на долю азота. Примерно, такой же состав имеют газы грязевых вулканов Грузии с той только разницей, что в некоторых случаях содержание углекислоты выше 10% (Кила-Купра — до 14%  $\text{CO}_2$ ), в соответствии с чем и содержание метана в этих случаях ниже 90%.

Весьма интересным является состав газов грязевых вулканов Керченского полуострова. Здесь некоторые грязевые вулканы дают газ с большим содержанием углекислоты. Так например, один из вулканов Булганской группы дает газ, содержащий 42%  $\text{CO}_2$ .

Газ западного вулкана Тарханской группы содержит 39%  $\text{CO}_2$ . Наибольший процент  $\text{CO}_2$  имеется в газе другого вулкана Тарханской группы, расположенного в 3 км к северо-западу от эквонии „Малый Тархан“. Содержание  $\text{CO}_2$  в газе достигает здесь 92,5%. Содержание метана в последнем случае составляло около 7%. Следует отметить, что в газах остальных вулканов упомянутых групп содержание углекислоты лежало в пределах от 1 до 16%.

Газы грязевых вулканов Таманского полуострова в нескольких случаях также имели повышенное содержание  $\text{CO}_2$  (Карабетовка, южная группа 31—39%  $\text{CO}_2$ ; Северная Пекла, южная сопка 33%  $\text{CO}_2$ ).

Из остальных составных частей газов грязевых вулканов, кроме метана, углекислоты и азота, следует отметить наличие в нескольких случаях сероводорода, которое не превышало, однако, 1%.

Содержание водорода — в тех случаях, когда таковые определения производились — оказывалось ниже чувствительности аппаратуры. Содержание непредельных углеводов лежало обычно в пределах возможных погрешностей определений. Лишь в 2—3 случаях, нуждающихся в проверке, бромной водой было поглощено до 3% из анализируемого газа. Содержание гелия в проанализированных газах грязевых вулканов оказалось незначительным (порядка  $10^{-3}$ %).

Анализы газов грязевых вулканов на содержание тяжелых углеводов, произведенные на упомянутых приборах, дали весьма интересные результаты. Оказалось, что содержание тяжелых углеводов крайне незначительно как для грязевых вулканов Азербайджана, так и для грязевых вулканов Керченско-Таманского района. В проанализированных газах это содержание тяжелых углеводов имело величины порядка  $10^{-3}$ — $10^{-2}$ %. Лишь в двух случаях (Отман-боз-даг, Ахтарма-Карадагская) содержание тяжелых углеводов достигало 0,1—0,2%. Эти определения показывают, что в большинстве случаев метан, выделяю-

метод разведки<sup>1</sup>. Работа методом газовой съемки заключается в отборе проб подпочвенного воздуха (с глубин 2—5 м) и последующего анализа этих проб на микросодержание горючих газов. Сконструированная для этих целей аппаратура обладает высокой чувствительностью (до  $10^{-5}$  %) и позволяет определять отдельно легкую и тяжелую фракцию горючих газов.

Все проведенные работы по изучению газов грязевых вулканов разбиваются на две стадии: 1) экспедиционная работа непосредственно на грязевых вулканах и 2) исследование собранных проб в лаборатории Института в Москве.

Экспедиционная работа заключалась в отборе проб газов из выходов, причем обычно с каждого обследованного вулкана отбиралось по несколько проб из разных грифонов. В полевой лаборатории проводился при этом общий анализ газа с определением  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , отдельных углеводородов и  $\text{H}_2\text{S}$ . Отбор проб при газовой съемке проводился следующим путем. В намеченной точке вырывался небольшой шурф глубиной 30 см. В дне этого шурфа при помощи войслового бура бурилась скважина глубиной 2—3 м и диаметром 2 дюйма. В скважину забивалась обсадная труба и закрывалась пробкой с отводной трубкой. Устье скважины тщательно герметизировалось мокрой глиной. При помощи водяного насоса из скважины производилась предварительная откачка имеющейся в ней смеси атмосферного воздуха с почвенным. После того, как скважина была заполнена практически почвенным воздухом, отсасываемым с глубины забоя, производилась откачка подпочвенного воздуха в бутылку с водяным запором, которая в дальнейшем и направлялась в лабораторию для микроанализа.<sup>2</sup>

Исследование проб газов из их выходов на содержание тяжелых углеводородов проводилось на специально сконструированном для этой цели приборе, позволяющем производить разгонку углеводородов и обладающем чувствительностью до  $10^{-3}$  %.

Пробы газовой съемки анализировались на упомянутых приборах для микроанализа. Отдельно определялась легкая фракция (метан + этан) и тяжелая фракция, куда попадали те углеводороды и другие органические соединения, которые конденсировались, но не откачивались при температуре жидкого воздуха.

<sup>1</sup> В. А. Соколов. Новый метод разведки на нефть. Докл. конференции геологов-нефтяников, Москва, январь 1933.

В. А. Соколов. Гелий и другие редкие газы, март 1933.

В. А. Соколов. Газовая съемка. Монография, февраль 1936.

В. А. Соколов и П. П. Круглякова. О микроанализе при газовой съемке. Бюлл. Нефт. геофизики. № 4. 1937.

<sup>2</sup> Отбор проб проводился А. Я. Орловой; полевые анализы проводилась И. П. Хлыстовой, микроаналитические определения производилась А. А. Новиковой и О. И. Чебановой.

Результаты анализов газов из их выходов показали, что в состав газов входят главным образом метан, углекислота и азот. Газы грязевых вулканов Азербайджана содержат, как правило, больше 90% метана. В некоторых случаях содержание метана доходит до 98—99%. Содержание углекислоты в этих газах составляет от десятых долей процента до 6—7%. Остальное приходится на долю азота. Примерно, такой же состав имеют газы грязевых вулканов Грузии с той только разницей, что в некоторых случаях содержание углекислоты выше 10% (Кила-Купра — до 14%  $\text{CO}_2$ ), в соответствии с чем и содержание метана в этих случаях ниже 90%.

Весьма интересным является состав газов грязевых вулканов Керченского полуострова. Здесь некоторые грязевые вулканы дают газ с большим содержанием углекислоты. Так например, один из вулканов Булганакской группы дает газ, содержащий 42%  $\text{CO}_2$ .

Газ западного вулкана Тарханской группы содержит 39%  $\text{CO}_2$ . Наибольший процент  $\text{CO}_2$  имеется в газе другого вулкана Тарханской группы, расположенного в 3 км к северо-западу от экономии „Малый Тархан“. Содержание  $\text{CO}_2$  в газе достигает здесь 92,5%. Содержание метана в последнем случае составляло около 7%. Следует отметить, что в газах остальных вулканов упомянутых групп содержание углекислоты лежало в пределах от 1 до 16%.

Газы грязевых вулканов Таманского полуострова в нескольких случаях также имели повышенное содержание  $\text{CO}_2$  (Карабетовка, южная группа 31—39%  $\text{CO}_2$ ; Северная Пекла, южная сопка 33%  $\text{CO}_2$ ).

Из остальных составных частей газов грязевых вулканов, кроме метана, углекислоты и азота, следует отметить наличие в нескольких случаях сероводорода, которое не превышало, однако, 1%.

Содержание водорода — в тех случаях, когда таковые определения производились — оказывалось ниже чувствительности аппаратуры. Содержание непредельных углеводородов лежало обычно в пределах возможных погрешностей определений. Лишь в 2—3 случаях, нуждающихся в проверке, бромной водой было поглощено до 3% из анализируемого газа. Содержание гелия в проанализированных газах грязевых вулканов оказалось незначительным (порядка  $10^{-3}$  %).

Анализы газов грязевых вулканов на содержание тяжелых углеводородов, произведенные на упомянутых приборах, дали весьма интересные результаты. Оказалось, что содержание тяжелых углеводородов крайне незначительно как для грязевых вулканов Азербайджана, так и для грязевых вулканов Керченско-Таманского района. В проанализированных газах это содержание тяжелых углеводородов имело величины порядка  $10^{-3}$  %— $10^{-2}$  %. Лишь в двух случаях (Отман-боз-даг, Ахтарма-Кардагская) содержание тяжелых углеводородов достигало 0,1—0,2%. Эти определения показывают, что в большинстве случаев метан, выделяю-

цились из грязевых вулканов, является исключительно чистым и почти не содержащим тяжелых компонентов (начиная с  $C_2H_6$ ).

Пробы газовой съемки отбирались по профилям, проходящим через газовые вулканы. Расстояния между точками отбора проб составляло от 50 до 500 м. В некоторых случаях через грязевой вулкан проходило два профиля таким образом, что грязевой вулкан находился в точке пересечения профилей. Результаты анализов давали кривые содержания легкой и тяжелой фракции по соответствующим профилям.

*Анализы проб газовой съемки показали, что на участках, прилегающих к грязевым вулканам, наблюдается повышенное содержание метана, достигающее до величин  $10^{-20}$ .* На участках, значительно удаленных от грязевых вулканов (1—2 км), содержание метана снижается до пределов чувствительности аппаратуры. Эта закономерность наблюдается во всех случаях и свидетельствует о том, что наблюдаемые эффекты обусловлены источником газа, а не являются свойством того поверхностного слоя пород, откуда отбираются пробы. Весьма важным является тот факт, что в ряде проб газовой съемки наблюдалось значительное содержание тяжелой фракции. Из кривых газовой съемки видно, что тяжелая фракция обусловлена тем же источником газа, как и метан. Сожжение тяжелой фракции показало, что при этом процессе образуется углекислота, т. е., что тяжелая фракция является органическим соединением. Так как, согласно вышеуказанному, *газ грязевых вулканов не содержит тяжелых углеводородов*, а в то же время концентрация тяжелой фракции газовой съемки сравнима в ряде случаев с концентрацией метана в этих же пробах газовой съемки, то мы должны сделать заключение, что метан способен в обычных природных условиях превращаться в другие органические соединения. Это заключение подтверждается также и многими другими работами по газовой съемке, проведенными на нефтяных и газовых месторождениях.

## Глава VI

### МИКРОБИОЛОГИЯ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

В течение двух экспедиций микробиологами было собрано свыше 400 проб свежей сопочной грязи из вулканов, вод серных источников и нефтяных пластовых вод из буровых скважин, находящихся в районах грязевых вулканов, в Азербайджане, Грузии, Кубанской области и в Крыму—на Керченском п-ове.

Ряд наблюдений и исследований был проведен в экспедиции походной лабораторией. Дальнейшие исследования проводятся по возвращении из экспедиции в обычных лабораторных условиях.

По характеру сопочной грязи изучаемые грязевые вулканы можно отнести к трем основным категориям: явно битуминозные, явно сероводородные и лишенные явных признаков битуминозности и сероводорода.

В большинстве случаев сопочная грязь, особенно взятая из глубины кратера, представляет собой сильно вязкую маслянистую массу серого или темного цвета, сильно вскипающую с  $\text{HCl}$ , иногда с большой примесью сернистого железа и битуминозных веществ. Температура  $10-15^\circ$  (не везде измерялась).

Заселенность грязевых вулканов микробами в количественном отношении не уступает таковой в современных глубоководных илах (сотни миллионов, иногда миллиарды на 1 г сухой грязи). В поверхностном слое грязи в грифонах число бактериальных клеток меньше, чем в более глубоких слоях и возрастает с глубиной, что может быть объяснено постепенным вымиранием микробов в слоях, доступных воздействию солнца и кислорода воздуха. В пользу такого предположения говорит тот факт, что в сопках, имеющих поверх грязи слой нефти, количество бактерий в верхнем слое часто не только не меньше, но иногда и больше, чем в глубоких слоях; вероятно, нефть не только ограждает бактерий от вредного воздействия света и воздуха, но и является источником органического вещества для питания этих микроорганизмов.

Далее выяснилось, что более богаты микробами наиболее активно действующие вулканы, в которых происходит постоянное изливание потоков грязи, т. е. непрерывно выносятся на поверхность глубинная грязь, а также вулканы битуминозные и сероводородные. Все эти данные, по мнению Гинзбург-Карагичевой, свидетельствуют о том, что обнаруженные микробы выносятся из глубин грязевых вулканов, а не попадают туда извне, как можно было бы предполагать.

Повидимому, особенности химического состава вод и грязи вулканов (наличие иода, брома, бора и других ядовитых для большинства микроорганизмов элементов) препятствуют заселению грязевых вулканов окружающей почвенной микрофлорой; этим, вероятно, объясняется в большинстве случаев и полное отсутствие всякой растительности вокруг вулканов на поверхности вынесенной из недр и засохшей брекчия. Почти единственными обитателями безжизненных площадей с предохраняюще пытящими и шипящими сояками являются небольшие скопления диатомовых водорослей (относящихся к роду *Nauisula*) в мелких лужицах, образующихся вытекающими из кратера водами.

К каким же физиологическим группам должно быть отнесено многочисленное живое население недр грязевых вулканов? Каковы биохимические свойства этих организмов и в какой мере проливают они свет на стоящую перед нами проблему генезиса грязевых вулканов и генетической связи последних с месторождениями нефти? Многие уже выясняется, хотя микробиологические исследования находятся еще в начальной стадии. Повидимому, самой распространенной группой среди микрофлоры грязевых вулканов третичного возраста являются десульфуризаторы, энергично восстанавливающие сульфаты с образованием

сероводорода и сернистого железа. Бактерии эти морфологически сходны с микроспирой. Убедительным доказательством в пользу того, что десульфуризаторы не заносятся извне, а, наоборот, выносятся из недр грязевых вулканов, является факт отсутствия их во многих пробах, набранных с поверхности грифонов, — при наличии их в глубоких слоях тех же грифонов; характерно также отсутствие этих бактерий в многочисленных пробах из шурфов, вырытых вокруг вулканов на глубине 2—7 м.

По своим биологическим особенностям микроспира грязевых вулканов, повидимому, должна быть отождествлена с микроспирой нефтяных пластов, отличающейся (как это установлено Гинзбург-Карагичевой и исследователями США) от описанных в литературе трех видов микроспиры прекрасной приспособленностью к широким колебаниям температуры и концентрации солей. Восстановление сульфатов микроспирой грязевых вулканов происходит также при разной температуре: от 22 до 50°, однако, оптимальной температурой для этих организмов является, как и для нефтяных микробов, 37—40°. Принимая во внимание, что в настоящее время сопочный ил имеет довольно низкую температуру (10—15°), можно предположить, что микроспира обитает в недрах грязевых вулканов с тех времен, когда там была гораздо более высокая температура.<sup>1</sup>

В сопочной грязи установлено также наличие десульфуризаторов, которые используют в качестве источника органического вещества при восстановлении сульфатов целлюлозу.

Широкое распространение десульфуризаторов в недрах грязевых вулканов позволяет считать их виновниками бессульфатности вод последних так же, как и бессульфатности нефтяных пластовых вод, а биологические особенности, сближающие микроспиру грязевых вулканов и нефтяных пластов, вызывают вполне правдоподобное предположение об аналогичных условиях существования их, быть может, на протяжении геологических периодов с постепенной сменой условий температуры и концентрации солей в среде обитания. В сопочной грязи вулканов, особенно в поверхностных слоях, установлено наличие, так называемых тионовокислых бактерий, окисляющих тиосоединения и сероводород в сульфаты с выделением свободной серы. Наличием этой группы бактерий можно объяснить некоторое количество сульфатов в водах грязевых вулканов, несмотря на энергичную деятельность микроспиры.

На ряду с десульфуризаторами широко распространены в грязевых вулканах микробы, разлагающие различные органические вещества (белки, углеводы) с газообразованием: однако, также, как и для нефтяных пластов, для вулканов разных районов и геологических возрастов характерен состав тех или иных групп с резким преобладанием

<sup>1</sup> Это — мнение Гинзбург-Карагичевой (авторы).



никогда какой-либо из них. В продуктивной толще (Азербайджан) очень распространены микробы, анаэробно разлагающие белковые вещества с выделением газов. Выделенный в чистой культуре из грязи вулкана „Дышгил“ в Азербайджане возбудитель брожения белков бродит интенсивно при разных температурах от 20 до 50°; но оптимальной температурой для него является 40—45°, что сближает и этих микробов с микробами нефтяных пластов, с которыми они сходны и морфологически.

Таким образом, нефтяные пласты и грязевые вулканы продуктивной толщи вполне сходны по слабому наличию в них бактерий, разлагающих целлюлозу, и яркому преобладанию бактерий белкового брожения.

В такой же мере для майкопской свиты всех районов характерна большая распространенность бактерий, анаэробно разлагающих целлюлозу. Распад целлюлозы происходит с образованием летучих кислот и этилового спирта. В составе газов, выделяющихся при брожении целлюлозы, определены  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и высшие углеводороды. Интенсивность процесса брожения так велика, что уже на 5—6-й день при комнатной температуре наблюдается распад целлюлозы с газообразованием и появление пигмента различного цвета (главным образом розово-красного и желто-зеленого).

Развитие пигмента при анаэробном брожении целлюлозы установлено также в культурах нафталянской нефти (желтовато-розовый).

Кроме бактерий, вызывающих в анаэробных условиях распад целлюлозы обычно применяемой всеми исследователями фильтровальной бумаги (хлопчатая клетчатка), широко распространены в сопочной грязи вулканов бактерии анаэробного брожения целлюлозы хвойной. Впервые бактерии эти были открыты Гинабург-Карагичевой и Гаркиной в нафталянской нефти и в отложениях юры на Эмбе (1932 и 1934 гг.).

В большинстве бродящих целлюлозных культур наблюдается интенсивное сероводородное брожение, свидетельствующее о том, что оба вида целлюлозы используются десульфуризаторами в качестве источника органического вещества при восстановлении сульфатов. Во всех бродящих культурах установлено большое накопление слегка изогнутых длинных тонких палочек с конечной опорой, сходных с описанными Омелянским возбудителями анаэробного брожения целлюлозы; в культурах хвойной клетчатки преобладают спираллы со многими завитками, морфологически сходные с микробами хвойной клетчатки нафталянской нефти, в которой они были впервые открыты.

К числу распространенных в сопочной грязи анаэробных микроорганизмов следует отнести бактерии маслянокислого брожения, несомненно, существовавших и в прошлые геологические времена (Ван-Тигем нашел типичную маслянокислую бактерию *Clostridium Butyricum* в ископаемых остатках растений каменноугольного периода).

Широкое распространение микробов маслянокислого брожения в нефтяных пластах различных месторождений третичного возраста, совместно с микробами анаэробного брожения целлюлозы, установлено в районах ряда месторождений нефти СССР.

Наконец, следует отметить широкое распространение денитрификаторов, восстанавливающих нитриты до газообразного азота, во всех образцах сопочной грязи вулканов, расположенных на отложениях третичного возраста.

В илах некоторых грязевых вулканов Азербайджана установлено наличие микробов, разрушающих хитин.

Однако, наряду с таким разнообразием микрофлоры в иле вулканов третичного возраста очень характерно почти полное отсутствие этих же групп в иле вулкана Шуто, расположенного на отложениях мела.

Полученные до сих пор результаты микробиологических исследований вполне убедительно говорят о том, что грязевые вулканы Азербайджана, Грузии, Кубани и Крыма в микробиологическом отношении представляют собою объекты, связанные между собою рядом общих черт, обусловленных, видимо, общностью их генезиса, но имеющие свои индивидуальные особенности, зависящие, вероятно, от исходного органического материала для образования в результате бактериальных процессов газов, битумов и других продуктов, характерных для грязевых вулканов.

В то же время на фоне большого исследовательского материала совершенно отчетливо выступает несомненная связь между грязевыми вулканами и имеющимися в тех же районах выходами нефти, говорящая о том, что и нефть и газы грязевых вулканов обязаны, по мнению наших микробиологов, своим происхождением одной общей причине — биохимическим процессам, протекавшим в течение геологических периодов в среде, богатой органическим веществом.

### ВЫВОДЫ

1. Все грязевые вулканы Крымско-Кавказской геологической провинции приурочены к эпитермальным складкам диапирового типа (с провальным ядром или криптодиапиры).

2. При формировании диапирового ядра структура разбивается многочисленными сбросами и взбросами, обычно небольшой амплитуды.

3. Большинство грязевых вулканов расположено в периклинальных частях структуры, реже они располагаются в наиболее приподнятых частях структуры (особенно в скрытых диапирах), а также и на крыльях (при наличии значительных дизъюнктивных осложнений этой структуры).

4. При формировании диапировой структуры образуется брекчия трения — автоластиты, — которая при последующей обработке ее водой и газом дает два других типа брекчии: сопочную брекчию и сопочные пелиты (илы).

5. Находки среди кластического материала брекчии грязевых вулканов магматических пород объясняются или наличием здесь четвертичных галечников, или наличием конгломератов в подстилающем комплексе, или, наконец, это отложения культурного слоя.

6. Все минералы твердых продуктов выбросов грязевых вулканов — осадочного происхождения.

7. Литологические исследования пород грязевых вулканов показывают их осадочное происхождение и отрицают их непосредственную связь с магмой.

8. Вода — неперемный фактор в генезисе грязевых вулканов.

9. Воды грязевых вулканов в своем основном количестве — воды слабо минерализованные, бессульфатные щелочные воды и реже — воды хлоркальциевые.

10. Воды грязевых вулканов инфильтрационного поверхностного происхождения.

11. Геохимическая обстановка вод грязевых вулканов тождественна с геохимической обстановкой вод нефтяных месторождений.

12. Накопление мода в водах грязевых вулканов связано с наличием в них битума нефти. Бор и бром вод грязевых вулканов — осадочного происхождения.

13. Гидрологическая характеристика и геохимическая обстановка грязевых вулканов в целом не отмечает участия в их деятельности ювенильно-эндогенных факторов.

14. В зоне грязевого вулкана наблюдается, как правило: а) накопление битуминозных веществ в глубинной брекчии, по сравнению с удаленными коренными породами; б) параллельно увеличению содержания битума в коренной породе — уменьшение его асфальтизованности, т. е. приближение его по составу к нефти; в) увеличение восстановительной интенсивности или падение pH, с возрастающей глубиной, в иле сопки, связанной с проявлениями нефти; г) изменение величины pH по приближению к вулкану по коренным породам различное в зонах промышленной нефтеносности и в зонах промышленно не нефтеносных.

15. Газы грязевых вулканов преимущественно метановые с незначительными, как правило, примесями углекислоты и азота. Содержание тяжелых углеводородов крайне незначительно.

16. Микрофлора грязевых вулканов идентична микрофлоре нефтяных месторождений соответствующих областей.

#### Общий вывод

Грязевые вулканы Крымско-Кавказской геологической провинции и нефтяные месторождения соответствующих областей по своему генезису совершенно однородны.

### Практические выводы

1. Зоны грязевых вулканов Крымско-Кавказской геологической провинции — первоочередные объекты для разведки на нефть.

2. Все грязевые вулканы этой геологической провинции и в первую очередь грязевые вулканы Азербайджана третичного возраста должны быть разбурены крестом для «снятия» покровов сопочной брекчии и выявления поверхностной тектоники. После этого следует приступить к глубокому разведочному бурению по следующему плану:

а) при наличии структуры с ядром протыкания разбуривание должно быть начато с периклиналильной ее части;

б) при наличии криптодиализированной структуры бурение должно быть начато на сводовой, наиболее приподнятой части структуры;

в) грязевые вулканы мелового возраста Азербайджана, а также все грязевые вулканы Керчи и Тамани, могут быть объектом глубокого бурения при наличии коллекторов на глубине, доступной для бурения.