

Э.В. СОКОЛ, С.Н. КОХ

Восточная окраина бассейна Хатрурим. Странные конические холмы – древние грязевые вулканы, покоящиеся на основании из осадков мелового периода. Израиль, 2007 г. Фото Э. Сокол

В отблесках

“вечных огней”



СОКОЛ Элина Владимировна – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории метаморфизма и метасоматоза Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). Область научных интересов: минералогия и процессы «метаморфизма горения», обусловленного пожарами природного органического топлива. Автор и соавтор 90 научных работ

КОХ Светлана Николаевна – кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник лаборатории метаморфизма и метасоматоза Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 10 научных работ

В явлении Хатрурим огонь и вода были неразлучны: роговики (темно-зеленые породы) прошли обжиг при температуре выше 1000 °С, а «съедающие» их белые жилы возникли при участии растворов с температурой не более 40 °С. Комплекс Даба-Свага, Иордания, 2007 г. Фото Э. Сокол

Ключевые слова: пирогенный метаморфизм, грязевые вулканы, Мертвое Море, формация Хатрурим.
Key words: combustion metamorphism, mud volcano, Dead Sea area, Hatrurim formation

ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ

Когда все началось? Октябрь 2005 г., котловина бассейна Хатрурим в пустыне Негев. Глубоко внизу – впадина Мертвого Моря, напротив – вздернутый почти на километр иорданский борт рифта. Бассейн окружают ровной «стопочкой» уложенные осадки теплого мелового моря, а внутри – сотни палевых конусов, сложенных каким-то месивом невразумительных пород. (На деле оказалось, что они обладают прочностью хорошего бетона и молоток от них отскакивает со звоном.)

Мир, обесцвеченный солнцем – белесые породы, вылинявшее небо, пекло, вязкий воздух не колыхнется, а течет... И унылая мысль: «Что я здесь делаю? Это же не мое...» Остается добавить, что на тот момент без малого 20 лет моей профессиональной жизни были связаны с геологическим явлением угольных пожаров и так называемым «метаморфизмом горения». В этом качестве я и была приглашена в Израиль доктором Е. Вапником, нашим коллегой из Университета г. Беэр-Шевы.

Но если вдуматься, то событие, приведшее меня сначала на Хатрурим, а потом и к «вечным огням» газовых факелов, произошло почти на 20 лет раньше.

...Ноябрь 1986 г. Ильменский заповедник на Южном Урале, куда я была направлена по распределению после окончания университета. За день до моего возвращения в новосибирский Академгородок, в ранних осенних

сумерках и произошла сцена, которая могла бы сильно смахивать на эпизод безвкусного детектива, если бы ее главным действующим лицом не был замечательный уральский минералог Борис Валентинович Чесноков. Уже тогда корифей, человек несентиментальный и жесткий, да еще и секретарь парторганизации, он вместо напутствия положил мне на ладонь рулончик микропленки и, явно волнуясь, сказал: «Это что-то невероятное. И люди этого еще не поняли. Не отметайте ничего – там все могло быть. Прочтите. Думайте».

В Новосибирске я отпечатала на фотобумаге портретного формата полуслепый вариант книги под названием «The mineralogy of the Hatrurim formation, Israel». Ее автор – женщина с библейским именем Суламифь (*Shulamit Gross*) – беспристрастно описала 122 (!) минерала, опираясь при этом на многочисленные русские источники. (Только через 19 лет я узнаю, что Гросс, начав обучение на кафедре минералогии Львовского университета, закончила его в эвакуации в Ташкенте в 1944 г.)

Среди описанных ею фаз преобладали минералогические редкости. Часть из них – простые безводные оксиды и силикаты, которые обычно входят в состав шлаков, огнеупоров и цементов. Эти соединения могли возникнуть только на земной поверхности под воздействием очень высоких (до 1000 °С) температур. Прочие соединения представляли собой высоководные кристаллогидраты, аналогичные продуктам гидратации цементов. Причем здесь, в породах Хатрурим, они обычно сосуществовали в одном куске породы. Постичь, как и почему возникли эти невероятные минеральные сообщества среди карбонатных осадков окрестностей Мертвого моря, я, разумеется, не могла. Гросс тоже избегала генетических интерпретаций, дистанцируясь, в том числе, и от принятой в Израиле гипотезы классика тамошней геологии академика Бентора (*Bentor et al.*, 1963), считавшего, что комплекс Хатрурим возникли в результате выгорания органического вещества мелов.

Случай увидеть Хатрурим представился мне только через 19 лет. С доктором Вапником мы день за днем проводили в пустыне, и я уже совсем отчаялась найти черты сходства между здешними геологическими объектами и хорошо знакомыми мне комплексами, преобразованными теплом угольных пожаров. (Ведь здешние горючие сланцы, точнее, «горючие мелы» – тоже твердое топливо, как и уголь, только низкокалорийное и горит не очень охотно.)

Каждый следующий маршрут все больше убеждал меня в том, что геологическая действительность формации Хатрурим не может быть объяснена в рамках концепции горения твердого топлива. Природные угольные пожары, создавшие неповторимые пирогенные (рожденные огнем) ландшафты, характерные для американских Великих Равнин или Кузбасса,

неизменно возникали на территориях с засушливым климатом в периоды максимального погружения зеркала грунтовых вод. Именно обожженные породы, будучи гораздо более прочными и устойчивыми к выветриванию, чем угленосные осадки, определяли затем развитие рельефа на этих территориях.

А в бассейне Хатрурим все оказалось наоборот: прочные спеченные породы образуют здесь только десятки разрозненных компактных очагов среди странных осадков. Большинство из этих пород имело мощность не более 1–2 м, а ниже этой глубины они были преобразованы агрессивными водными растворами. Толща в основании конических холмов нередко была вся иссечена гидротермальными жилами. Очевидно, что в явлении Хатрурим огонь и вода были неразлучны.

Самыми невероятными геологическими телами оказались концентрические валы на макушках конусов, состоявшие из роговиков – сваренных в монолит глыб обожженных пород. К 2005 г. наш израильский коллега нашел уже 15 таких «обоженных колец»! Анализ геологической ситуации заставлял сделать вывод, что по периметру этих отверстий (10–15 м в диаметре), сейчас заполненных невразумительной мелкозернистой массой, некогда развивались огромные температуры.

С появлением среди геологических реалий Хатрурим еще и «обоженных колец» в воздухе повисает стойкий аромат сумасшествия. Терять уже нечего, и я рассказываю о словах Б. В. Чеснокова, о его фантастической профессиональной интуиции.

И вот мы лезем на господствующую над бассейном библейскую (опять библейскую, но тут никуда не денешься, во времена написания Библии мир именно тут и располагался!) гору Зоар, чтобы оттуда попытаться обнаружить систему в расположении фокусов горения. Внизу – хаос из сотен конусов. По результатам реконструкции рукотворно-техногенная версия происхождения пород формации Хатрурим с видимым облегчением отбрасывается. Спустя год мой коллега, специалист по современным геологическим процессам И. С. Новиков напишет: «Версию о посадке межпланетного космического корабля мы, хотя в отчаянии и рассматривали, но отвергли, как не объясняющую многоэтапность метаморфических и гидротермальных преобразований».

В Новосибирск я вернулась с убеждением, что очаги высоких температур в бассейне Хатрурим были локальны и располагались непосредственно вблизи земной поверхности – как будто землю здесь гладили горячим утюгом. Главной находкой первого полевого сезона явились узкие, почти вертикальные подводящие каналы, заполненные дробленой массой пород – именно над ними на дневной поверхности располагались пресловутые «обоженные кольца». Это позволило сформулировать и первую гипотезу: явление Хатру-



Овальные тела (как правило, не более 3 м в поперечнике) обычно сложенные роговиками, отмечали местоположение в теле грязевого вулкана обожженных пробок, прочно запечатавших мелкие паразитные жерла. Судя по особенностям химического состава этих пород, обжигу здесь подвергались тонкие глинисто-карбонатные илы. На одной из крупных грязевулканических построек на юге Хатрурим обнаружено более 20 таких пробок! Гораздо реже встречаются «обоженные кольца», навсегда запечатлевшие внешний контур горевших здесь некогда газовых факелов.
Израиль, бассейн Хатрурим, 2005 и 2007 гг.
Фото Э. Сокол

рим связано с трубками взрыва, а главным источником термических преобразований был горючий газ, возгорающийся при выходе в атмосферу. Не хватало самой «малости» – эта версия в корне противоречила принятой в Израиле трактовке геологической ситуации данного региона.

Геологический аналог явления Хатрурим был найден неожиданно быстро. Вернувшись из Израиля, я рассказала об этом невероятном месте Игорю Новикову. И уже через месяц он произнес ставшие сейчас обыденными, а тогда совершенно неожиданные слова: «Это – грязевые вулканы».

Известие не произвело на меня особого впечатления – на тот момент мои представления об этом явлении целиком ограничивались картинкой озера вязкой грязи, пыхающей пузырями наподобие манной каши. Игорь оставляет мне какую-то унылую книжку об аномально высоком пластовом давлении. Добросовестно читаю, и уже через пару дней начинается замечательный этап узнавания, тревожного сопоставления и, наконец, радостный итог: нашли!



Остальное стало делом техники добычи вещественных доказательств. (Вещественных в прямом смысле слова, поскольку они касались преимущественно минерального вещества.)

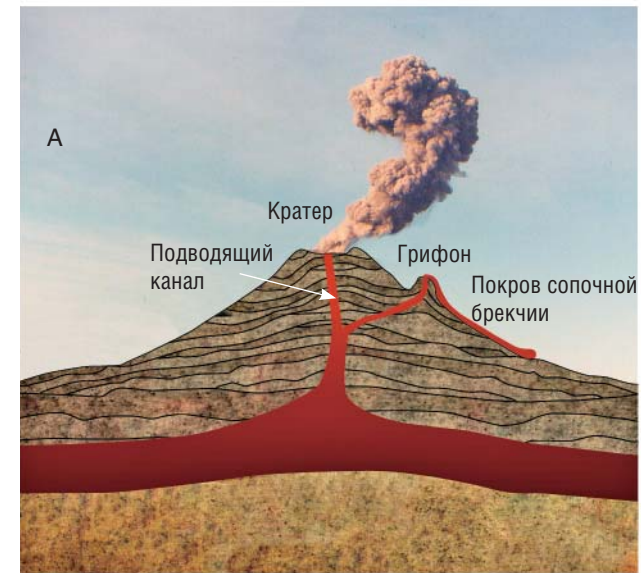
Следующим минералогом, кто спустя 30 лет после работ Гросс продолжил изучение минералов формации Хатрурим, стала Светлана Кох, в то время аспирантка. Ей достался едва ли не самый удивительный объект формации Хатрурим – кратерный комплекс потухшего грязевого вулкана *Nabi Musa hil* (с арабского – холм Пророка Моисея) на Западном берегу реки Йордан.

Э.В. Сокол

Грязевый вулканизм представляет собой процесс естественной дегазации погребенных осадочных толщ, обогащенных рассеянным органическим веществом. Его итогом является массовый выброс в атмосферу легких газообразных углеводородов, который сопровождается извержением воды, грязевых масс, фрагментов пород, а иногда и нефти.

Универсальное определение грязевого вулканизма было дано с позиций действия архимедовой силы: «Подъем и извержение грязевых масс – это процесс, в ходе которого флюидонасыщенные и дезинтегрированные осадки движутся вверх по разрезу вследствие своей плавучести» (Корф, 2002). Есть и иная, более образная трактовка С. А. Ковалевского (1940): «Грязевые вулканы – суть отдушины, проложенные напором газов к дневной поверхности от залегающих на некоторой глубине газовых очагов».

В провинциях грязевого вулканизма действительно повсеместно распространены газовые струи различного дебета и преимущественно метанового состава. Большую часть времени истечение газов происходит в спокойном режиме. Стремительный прорыв к поверхности насыщенными газами и обводненных масс завершается извержениями, сценарии которых варьируются от спокойного истечения грязевых потоков до взрывов, целиком уничтожающих вулканические конусы.



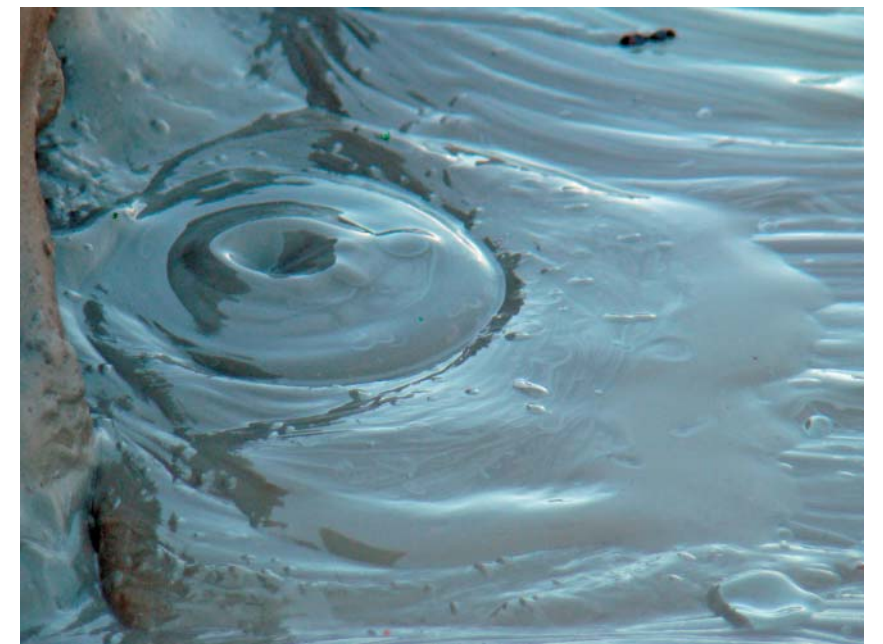
Грязевые вулканы формируются в результате выброса на поверхность значительных масс воды, газа и дезинтегрированного материала осадочных толщ. В вертикальном сечении выделяется три главных элемента: грязевулканическая постройка, подводящий канал и область корней вулкана.

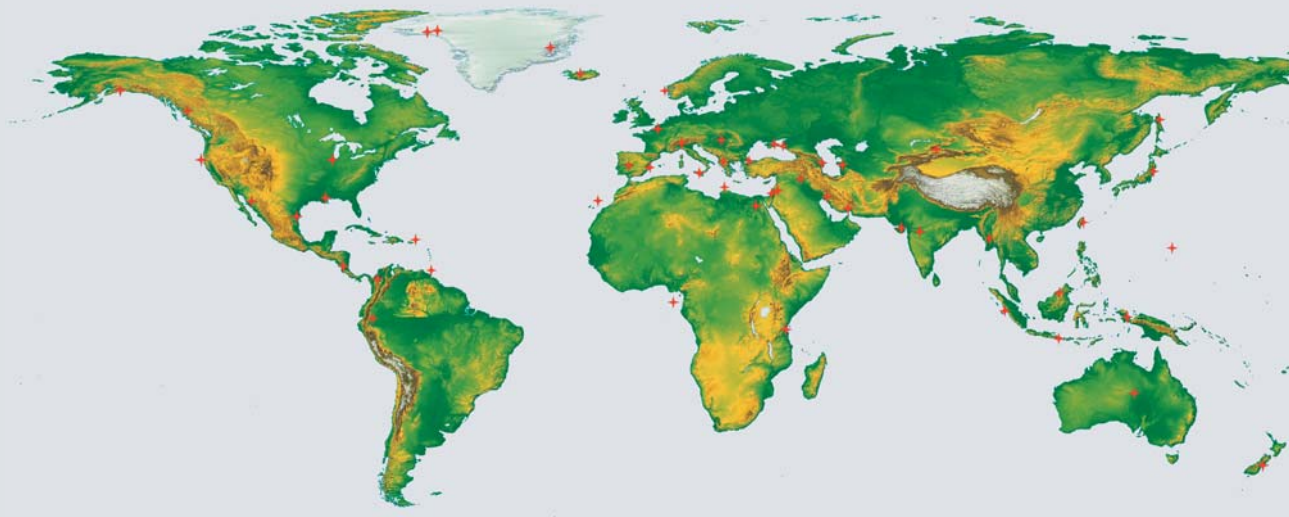
Высота грязевых вулканов всегда много меньше диаметра их основания, а крутизна склонов не превышает нескольких градусов, что объясняется низкой плотностью и высокой подвижностью продуктов извержения, обусловленных высоким содержанием воды и газов. По мере роста вязкости эта полужидкая, подвижная масса при затвердевании образует потоки, покровы, плосковершинные холмы, холмы с кальдерами обрушения, конические холмы с различной крутизной склонов (А). Грязевые вулканы, извергающие жидкую илистую массу, обычно вообще не выражены в рельефе или же представляют собой провал, заполненный водой (Б)

На фото слева и внизу — действующий грифон в кратере грязевого вулкана Карабетова гора. Тамань. 2008 г. Фото С. Кох

Грязевые вулканы в основном сосредоточены на площадях, где происходила или сейчас происходит генерация углеводородных газов и нефти (Холодов, 2002; Корф, 2002). Классический пример – Каспийская нефтегазоносная провинция. Геологоразведочные работы, проведенные в первой половине XX в. на крупных грязевулканических полях по всему миру, привели к открытию новых нефтяных залежей.

С 1970-х гг., когда резко возросли технические возможности эксплуатации месторождений на шельфе, акцент в исследовании грязевого вулканизма сместился в направлении подводных вулканических провинций. В этот период были открыты грязевые вулканы в акватории Черного, Средиземного,





Распределение областей грязевого вулканизма на земном шаре в значительной мере контролируется тектоническими факторами. Наибольшее число грязевых вулканов сосредоточено в Средиземноморье и в Прикаспийской провинции.
По: (Korff, 2002; Шнюков и др., 2005; по данным авторов)

НЕУГАСИМЫЕ АТАШКЯ

Для народов, обитавших по соседству с грязевыми вулканами, они были обиходной реальностью, запечатленной в топонимах. В полной мере это относится к Керченско-Таманской и Прикаспийской грязевулканическим провинциям, топонимы которых бережно собрали профессор С.А. Ковалевский (1940) и академик НАН Украины Е. В. Шнюков (2005).

Первая генетическая классификация действующих грязевых вулканов Тамани была дана казаками, кои подразделили их на «пеклы» и «блеваки» (т.е. по типу извержений – на «огненные» и грязевые, соответственно) Пекло Азовское, Пекло Черноморское, гора Горелая и в противоположность ей – гора Гнилая.

На Керченском п-ве, в Азербайджане и Туркмении те же полярные стороны явления отражают тюркские и персидские топонимы: Джау-Тепе (Вражья гора), Кайнар-Джа (Кипящее Место, Кипящий Бугор); Лок-Батан, Ат-Батан (Батан – трясына; Лок-Батан – Провалившийся Верблюд), Отман-боз-даг – Стреляющая Серая Гора.

Западный берег Каспия — территория «огненных» топонимов. Название «Вечные огни» известно в Бакинском и Сураханском р-нах, под Баку и близ Дербента. Газовые струи месторождения Даггни были описаны еще в V в. н. э. Приском Понтийским как «огонь, выходящий из скалы, лежащей у приморской дороги на Кавказ» (Дербентский проход) (Ковалевский, 1940). Дебет этих струй был настолько значителен, что до 1916 г. газ использовался населением для обжига извести и кирпича.

Однако чаще других здесь встречается тюркское название Отаж-Кая или Аташкя (Огненная скала). Первоначальный его смысл – культовый, оно означало «жертвенный огонь». Это название и сейчас используется в отношении горящих струй, способных поддерживать неугасимый огонь

Северного, Баренцева, Карибского морей, Мексиканского и Бенгальского заливов, в Западной Атлантике и пр.

К настоящему времени обнаружено более 1800 наземных и подводных грязевых вулканов, сгруппированных в несколько крупных поясов, континентальных шельфов и подножий материковых склонов. Большинство из них приурочено к Альпийско-Гималайскому и Тихоокеанскому подвижным поясам. Отдельные площади грязевого вулканизма располагаются в районах развития соляных куполов, а также связаны с зонами, которые отличаются аномально высокими скоростями современного осадконакопления (например, конусы выноса крупных рек на шельфах).

«Огненные явления» глазами очевидцев

Извержения грязевых вулканов в Иране, Азербайджане, Курдистане, на Тамани и о. Тринидад регулярно сопровождаются «огненными явлениями». Длительность «огненных эпизодов» варьируется от нескольких минут до нескольких лет.

Типичные конусы грязевых вулканов достигают высоты 40—80 м и имеют хорошо оформленный кратер диаметром от десятков до сотен метров. Максимальная высота известных на сегодня вулканов достигает 300—500 м.

На территории одной провинции могут быть сосредоточены вулканы едва ли не всех морфологических типов. Для грязевых вулканов характерна также изменение форм их построек со временем, обусловленная изменением вязкости извергающихся масс, в результате чего вулканические конусы могут располагаться на обширном основании плоских сопочных покровов, занимающих территории в десятки, а иногда и сотни км² (Холодов, 2002; Корф, 2002)



Действующий грязевой вулкан Бориса и Глеба (вид со стороны ст. Ахтанизовской). Керченский п-ов, 2008 г. Фото С. Кох

Постоянно действующий грифон, названный в честь одного из первых исследователей грязевого вулканизма Конусом Абиха, сохраняет активность и поддерживает «идеальную» коническую форму на протяжении как минимум ста лет. Булганакский грязевулканический очаг, Керченский п-ов. Фото Э. Сокол

Парадоксы грязевого вулканизма: сопка Ольденбургского, расположенная в пределах Булганакского сопочного поля, представляет собой впадину диаметром около 100 м и глубиной до 4 м. Здесь расположены многочисленные озерца с газирующей илистой водой, а жидкие продукты выброса растекаются по котловине. Керченский п-ов, 2008 г. Фото С. Кох





Главная движущая сила извержений грязевых вулканов – избыточное пластовое давление, не скомпенсированное весом вышележащей осадочной толщи. Снятие этого давления может происходить либо постепенно – тогда из недр к поверхности медленно поднимаются («всплывают») огромные массы пластичных осадков, прежде всего солей и глин. Реальная «иллюстрация» этого процесса – Сдомский соляной купол (диапир), расположенный к югу от бассейна Хатрурим. На фото – соляные «скульптуры» Сдомского диапира. Израиль, 2005 г. Фото Э. Сокол

землю более, чем в 2 км от центра извержения. Поднявшись на Лок-Батан через полтора месяца после извержения, Х. Шегрен обнаружил, что газ продолжал с шумом вырываться из кратерных трещин и все еще горел. Брекчия вокруг была обожжена до кирпично-красного цвета, а местами превращена в стекло. По его оценкам, за несколько часов Лок-Батан выбросил около 250 тыс. т вязкой брекчии!

Еще более впечатляют возгорания огненных факелов над морем во время подводных извержений. По словам Е.Ф. Шнюкова, во время знаменитого Крымского землетрясения 1927 г. над Черным морем в нескольких километрах от берега ночью возникла огненная дуга, отчетливо видная с берега. Она трассировала траекторию глубинного разлома, подвижки по которому и явились причиной землетрясения.

«Огненные явления» неоднократно наблюдались очевидцам и в акватории Каспийского моря. Характеризуя извержение грязевого вулкана на банке Кумани, произошедшее в 1927 г., капитан корабля «Сальянца» отметил, что

«...огонь в первый момент образовался в верхней части столба над морем и потом уже спустился вниз к основанию столба». При извержении на о. Лось в 1923 г. воспламенение газового столба также произошло вверх, и лишь затем огонь распространился вниз, обжигая сухую траву и спины птиц. Эта страшная картина повторилась и в 1940 г. при извержении грязевого вулкана на о. Булла, где упавшее вниз пламя спалило спины обитавших на острове животных и птиц.

Нужно отметить, что воспламенение факела практически всегда завершается оседанием пламени – стремительным или постепенным. Причиной этого является падение дебета газовой струи, в результате чего фронт горения смещается в область избытка топлива. Такой эффект *засасывания пламени* хорошо известен в технике (Кнорре, 1955).

Оседание пламени на уровень разбитых трещинами сопочных полей формирует стационарные очаги обжига пород. По сведениям С. А. Ковалевского (1940), газовые струи на сопочных полях Апшерона между извержениями могли непрерыв-



Горячие газовые струи – «вечные огни» грязевого вулкана Янар-Даг. Апшерон, 2008 г. Фото Е. Вапника



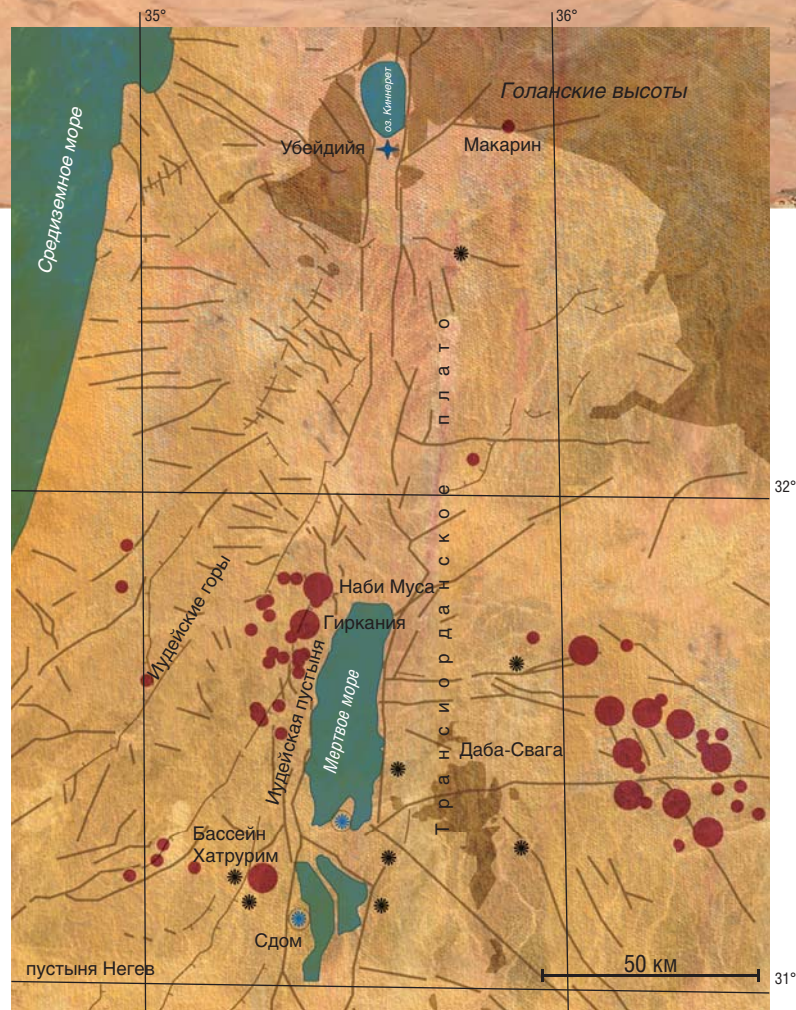
Эта жила, расположенная в глубине древнего грязевого вулкана Наби Муса, сразу привлекла внимание необычным цветом. Позднее было установлено, что жила состоит из брусита ($Mg(OH)_2$) и поваренной соли ($NaCl$) – минералов бесцветных, а ее окраску обеспечивает присутствие уранил-, молибдат- и хромат-ионов, содержание каждого из которых достигает 0,5–1 г/кг породы! Израиль, 2007 г. Фото Э. Сокол

В Таманской провинции за период 1818–2005 гг. 12 из 77 извержений сопровождались «огненными явлениями» (Шнюков и др., 2005).

В Азербайджане из 196 извержений, произошедших в 1810–1974 гг., уже 40% были «извержениями с пламенем», причем половину из них сопровождали горящие факелы. Большинство газовых фонтанов поднималось на высоту от 40 до 200 м, а высота одного превышала километр (!) (Якубов и др., 1974).

15 января 1887 г. произошло крупное «огненное» извержение вулкана Лок-Батан в 14 км от Баку, подробное описание которого дошло до нас благодаря одному из первых исследователей грязевых вулканов Х. Шегрену (Siögren, 1887, цит. по Ковалевскому (1940) и Якубову (1941).

За 15 минут до начала извержения газ начал выходить наружу с шумом, похожим на шипение вырывающегося из котла пара. «...Извержение уже некоторое время было в полном ходу ...когда была достигнута точка воспламенения углеводородов; при этом произошел взрыв смешанного с воздухом столба газов над кратером». По словам очевидцев, горящая струя походила на огненный фонтан, высота которого достигала 400–500 м! На минуту в Баку стало светло как днем, а в поселке Аджиабул (в 70 км к югу) свет пламени Лок-Батана позволял читать газету. В 2 км от места извержения ощущался невыносимый жар, а шум газового столба заглушал сигналы паровозов. Слабый ветер колебал огненный столб и относил к югу камни и грязь, которые падали на



- комплексы формации Хатрурим площадью до 10 км²
- комплексы формации Хатрурим площадью от 10 до 100 км²
- флексуры
- разломы
- четвертичные базальты
- газовые купола, места обнаружения нефти и протечек асфальтенов
- соляные и глиняные диапиры
- стоянка архантропов

Левантийская провинция древних грязевых вулканов – это 15 комплексов на обоих берегах рифтовой долины Мертвого моря. Будучи в течение 140 лет объектом внимания геологов, она так и не обрела адекватного геологического аналога и с 1970-х гг. стала фигурировать под именем собственным – «явление Хатрурим»

но гореть до 2-х лет. Зона высоких температур при этом располагалась под слоем трещиноватых пород на глубине 2–12 м и распознавалась по характерному свечению пород (например, красному – 850–900 °С; желтому – 1000–1050 °С; белому – 1200–1300 °С). Наблюдения на больших глубинах исследователь провести не смог – начал оплавляться металлический бур.

И снова Хатрурим

После года интенсивной работы стало ясно, что мы столкнулись с почти невероятной ситуацией: в досконально изученном районе существует неопознанная провинция древних грязевых вулканов. Позже мы называли ее Левантийской.

Несмотря на то, что проявления грязевого вулканизма в истории Земли известны с кембро-ордовика (542–444 млн лет назад), достоверные находки даже фрагментов дочетвертичных грязевулканических построек единичны. Распознать реликты древних грязевых вулканов непросто, т.к. их конусы, сложенные рыхлыми сопочными массами, стремительно разрушаются, а четкие

критерии их идентификации отсутствуют. Потребность же в последних огромна, поскольку древние провинции, также как и современные, являются индикаторами залежей углеводородов. Завершение активной деятельности грязевых вулканов свидетельствует лишь о снятии аномально высокого пластового давления в грязевулканическом очаге, а не об истощении залежей углеводородов.

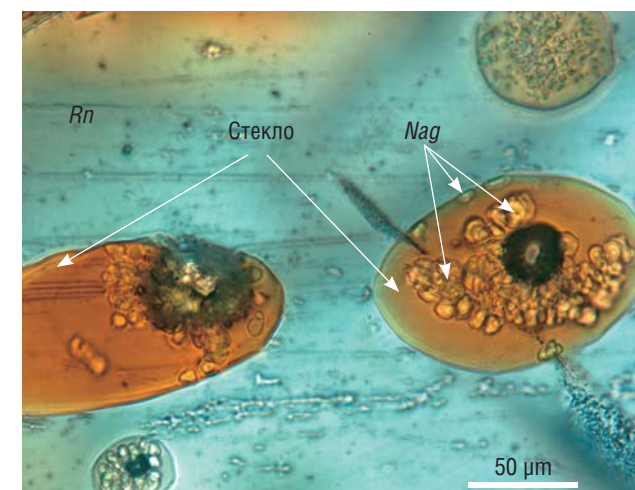
Левантийская провинция оказалась уникальным местом: здесь, в пустыне Негев, в Иудейской пустыне, а позднее и на Трансиорданском плато, были обнаружены десятки прекрасно сохранившихся вулканических жерл, подводящие каналы, паразитные кратеры и грифоны.

Какие процессы обеспечили их сохранность? С одной стороны – обжиг пород жерловой и кратерной частей вулканов в результате стационарного горения метановых струй. С другой стороны – карбонатизация и кристаллизация гидросиликатов кальция, превратившие исходно рыхлые сопочные массы в аналоги «состарившихся» бетонов. Эти преобразования совершили ультращелочные воды, сопровождавшие извержения здешних вулканов. Трудно представить, но и сегодня на территории комплекса Макарин в Иордании имеются артезианские источники со щелочными водами, водородный показатель (рН) которых может достигать 12.9 (для сравнения – близкие значения рН имеет 5% раствор едкого калия, сильной щелочи). Получается, что постройки Хатрурим в равной мере сохранили огонь и вода, а еще, конечно, экстрааридный климат пустынь Ближнего Востока.

Особенности геологических тел и минеральный состав пород, метаморфизованных огнем, позволили

Панорама бассейна Хатрурим с горы Зоар (Zohar). На заднем плане – Мертвое море и иорданский берег рифтовой долины. 2005 г. Фото Э.Сокол

В высокотемпературных минералах из паралав (плавленных пород) грязевого вулкана Наби Муса присутствуют многочисленные крупные включения силикатного расплава. Их плавление начинается при температурах 1100–1250 °С, и даже при 1350 °С полная гомогенизация еще не достигается. Это означает, что исходный расплав возник при более высокой температуре. Захват крупных расплавленных включений – явление исключительно редкое для плавленных пород, связанных с пожарами горючих полезных ископаемых (в природных паралавах они обнаружены только во второй раз). Световая микроскопия в поляризованном свете. Фото С. Кох





реконструировать несколько режимов горения метана в периоды былой активности Левантийской провинции. Чаще всего газ горел под поверхностным слоем вязкого осадка, вынесенного с глубины, как это регулярно случается на Апшероне и Тамани. Сообщающаяся система трещин – непременных спутников извержений – обеспечивала и приток окислителя в зону горения, и отток раскаленных газообразных продуктов реакции.

Со временем эрозия уничтожила слабо преобразованные породы верхнего горизонта, а нижерасположенные спеченные сохранились как бронирующие поверхности. В разрезе грязевулканической постройки очаги прокаленных пород могут многократно повторяться, указывая на чередование периодов «огненных» извержений и эпизодов спокойного истечения обводненных сопочных масс.

Эта периодичность свидетельствует также о восстановлении избыточного газового давления в области корней грязевого вулкана, т.е. о притоке метана из основной залежи. Температура обжига таких пород, оцененная по минералогическим реперам, оказалась

Одно из поразительных мест в бассейне Хатрурим – отпрепарированная эрозией пробка из спеченной брекчии среди рыхлых пород тела вулкана. Она является наглядной иллюстрацией одной из ключевых особенностей метаморфизма горения – чрезвычайно высоких термических градиентов, которые в данном случае могли достигать нескольких сотен градусов на сантиметр.
Израиль, бассейн Хатрурим, 2007 г. Фото А. Сокола

Единственная в своем роде находка: обжиг законсервировал вязкую массу газифицирующего грифона.

На фото внизу – запеченные огнем грязевые такыры, превращенные в метаморфические ларнитовые породы.

Израиль, бассейн Хатрурим, 2005 г. Фото Э. Сокол



заурядной для данной группы пород и колебалась от 750 до 1000 °С.

Уже упомянутые «обоженные кольца», вероятно всего, возникли в режиме факельного горения газа. Их появлению предшествовал взрывной выброс газа и пород, приведший к образованию кратерного вала. Микроструктура роговиков и редкость очагов плавления указывает на то, что горение газа было непродолжительным. Плавленные породы – паралавы – формируют здесь лишь единичные линзы, а температура их образования не превышала 1220 °С.

Причины воспламенения газовых струй при извержении грязевых вулканов до сих пор не ясны. Анализ данных об извержениях грязевых вулканов Керченско-Таманской и Прикаспийской провинций позволяет выделить две наиболее часто повторяющиеся последовательности событий.

Сценарий I: подземный гул и колебания почвы – выход газов из трещин – взрыв – мощный газовый выброс – появление газового столба – локальное воспламенение газа в атмосфере (или взрыв в атмосфере,

сопровождающийся воспламенением) – распространение (опускание) пламени на весь газовый столб.

Сценарий II: гул – взрыв – толчок – появление столба дыма – появление столба пламени.

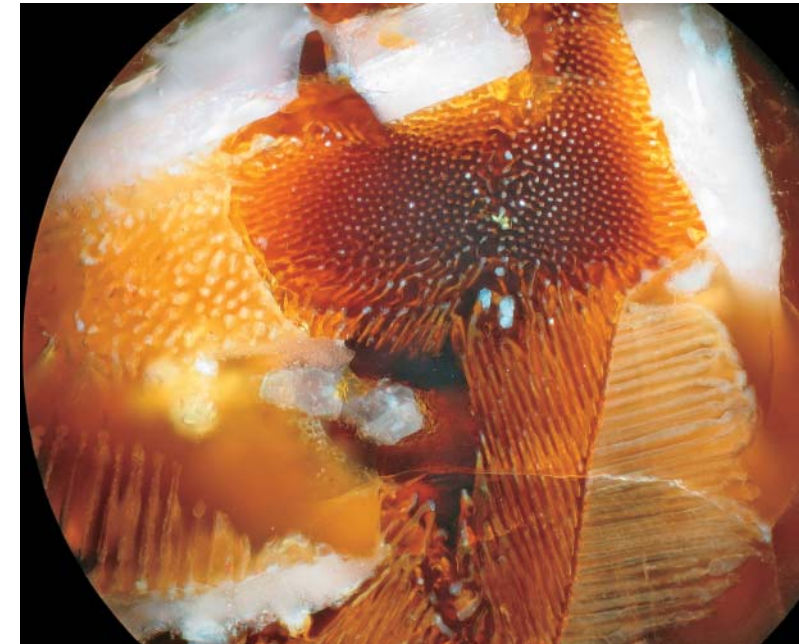
С позиций физики горения и взрыва первый сценарий может быть проинтерпретирован следующим образом. Извержению всегда предшествует значительный рост газового давления в резервуарах, находящихся близ поверхности. Снятие напряжения происходит в результате взрыва и последующего извержения, начинающегося с выброса наиболее мощной газовой струи. В результате сквозь выброшенный в атмосферу газовый столб проходит ударная волна, на фронте которой происходит адиабатическое сжатие газа, сопровождающееся значительным разогревом, а в тылу возникает зона разрежения и охлаждения.

Возникновение такой волны в горючей смеси приводит к ее немедленному самовоспламенению даже в отсутствие посторонних источников зажигания (Кнорре, 1955). В более редких сценариях извержений детонирует уже горящий факел, причиной чего явля-



Тамани писал Гомер в «Одиссее», поместив здесь, «в печальной оголенной местности», вход в царство Плутона. В основе этой убежденности – палеогеографические реконструкции, согласно которым «Арго» двигался по старому руслу Кубани, через Таманский залив и Ахтанизовский лиман. Именно в этом случае корабль должен был пройти сквозь цепь «огнедышащих» гор – мимо грязевых вулканов гор Горелой и Карабетовой, Цимбалы, Бориса и Глеба и Ахтанизовской сопки.

Немногочисленные абсолютные датировки пород формации Хатрурим, а также палеогеографические реконструкции (Sokol et al., 2010), указывают на то, что в окрестности Мертвого моря «огненные извержения» происхо-



ется увеличение поверхности фронта пламени и его распространение на весь объем горючей смеси.

Пределы горючести газов, присутствующих в выбросах грязевых вулканов, в смеси с воздухом при 1 атм. и 0°C составляют: метан – 5.0–15.0%; водород – 4.0–74.2%; ацетилен – 2.5–80.0%; СО – 12.5–74.2%. Всякий предварительный прогрев смеси расширяет границы ее горючести (Кнорре, 1955). Поскольку газовые выбросы грязевых вулканов по существу являются метановыми, именно его смешение с воздухом и формирует самовоспламеняющиеся горючие смеси.

Во втором сценарии возгорание газового столба происходит с задержкой, длительность которой, вероятно, лимитируется скоростью образования горючей смеси. Наибольшая вероятность самовозгорания существует в той зоне газового столба, где к моменту прохождения фронта адиабатического сжатия и разогрева газа уже возникла метаново-воздушная смесь, разбавленная до пределов горючести. И наоборот, самопроизвольному воспламенению газового столба будут препятствовать малая мощность ударной волны, не обеспечивающая

В основании древних грязевых вулканов лежат ни на что не похожие породы: по виду – труха, по крепости – бетон. *Израиль, Иудейские горы, окрестности крепости Гиркания, 2007 г. Фото А. Сокола*

разогрева газа до температуры самовоспламенения, а также медленное образование горючей смеси, отстающее от движения фронта адиабатического сжатия.

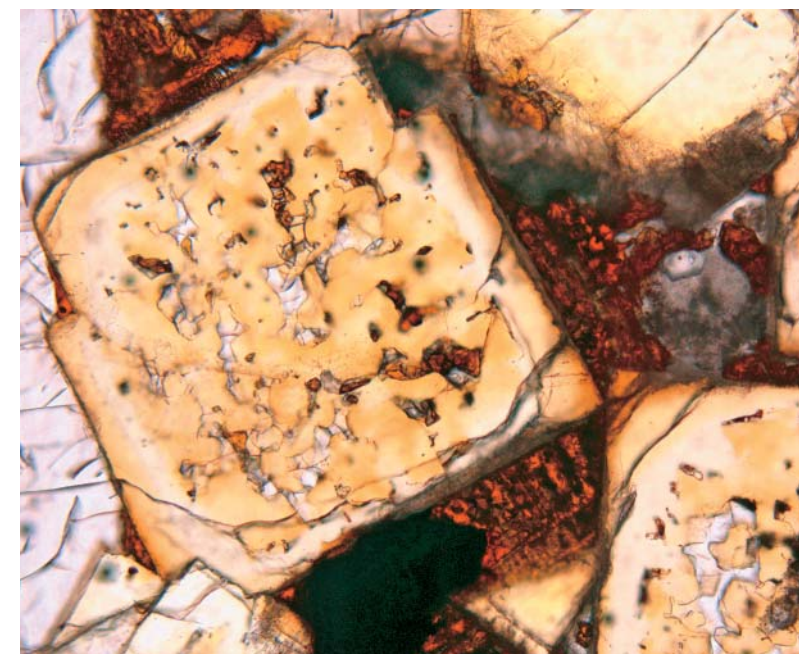
Мифы и гипотезы

«Огненные» извержения во все времена потрясали очевидцев. Отблески «вечных огней» должны были сохраниться в древних текстах. Но узнаем ли мы их? Ведь устные предания, записанные много позднее, полны ярких, необъяснимых деталей, которым не было место в повседневном опыте летописца. Потомки назовут эти сообщения мифами. А очевидцы древних событий – что видели они?

Лучший знаток грязевого вулканизма акватории Черного моря Е. Ф. Шнюков и С. А. Ковалевский были солидарны во мнении, что именно о грязевых вулканах

Силикато-карбонатный протолит пирогенных пород формации Хатрурим при обжиге испытывал преобразования, идентичные тем, которые реализуются в процессах производства цементного клинкера. Фактически эти породы представляют собой природные аналоги портланд-цементов. Экстрааридный климат пустыни Неgev и Иорданского плато обеспечил уникальные условия для их естественной консервации. В породах формации Хатрурим был обнаружен и целый ряд минералов-индикаторов метаморфизма сверхвысоких температур и низких давлений. Например, нагельшмидтит, образующий ажурный рисунок в титансодержащем гранате (фото вверху), и геленит, тетрагональные кристаллы которого наполнены включениями ларнита (фото внизу).

Световая микроскопия в поляризованном свете. Фото С. Кох



дили регулярно в период от 3 млн до 100 тыс. лет назад. А что было позже?

Израильский геолог Авнимелех (Avnimelech, 1964) первым попытался использовать здешнюю топонимику, чтобы прояснить природу и историю формации Хатрурим. Он обнаружил, что одна из его площадей – *Kefar Uriah* – находится по соседству с деревней *Amwas* (искаженное греческое *Emmaus*, означающее «горячий ключ, источник»). Позднее это название было преобразовано в *Hammat* на иврите. Хотя сегодня горячие ключи здесь

уже не бьют и о них забыли, это название упоминается в Талмуде. Не означает ли это, что последние фазы своей активности Левантская провинция переживала уже на глазах греческих колонистов? И что в библейские времена она пребывала на той же стадии развития, на какой ныне находится Керченская провинция, где на фоне затухающей активности происходят отдельные мощные извержения?

И вот здесь возникает одна догадка – спорная и пока недоказуемая. Во всех версиях библейского мифа о Со-



Античные дворцы Петры (фото справа) вырезаны в красноцветных песчаниках нубийского типа – фрагменты именно таких пород и были обнаружены в выбросах древнего грязевого вулкана Наби Муса. Иордания, 2007 г. Фото С. Кох

Породы формации Хатрурим можно встретить в Храме Рождества Христова в Вифлееме (фото слева), в стенных блоках и напольной мозаике разрушенной крепости Гиркания в глубине Иудейских гор, в декоре современных зданий Аммана (фото вверху). Израиль. Фото И. Новикова и Е. Вапника



доме и Гоморре повторяется одна удивительная деталь: «огонь падал с небес», почему этот пожар и был признан наказанием от Бога, а не просто результатом рядового набега соседей. Города были уничтожены целиком, поскольку их накрыло упавшее с неба пламя – такое сложно придумать, но можно увидеть своими глазами. Вспомним огненные извержения на Каспии – опаленные кусты, животные, птицы... Падает дебет газового фонтана, и пламя опускается на землю.

Погибшие города не найдены, но живы топонимы, и Сдомский соляной купол соседствует с бассейном Хатрурим. Конечно, есть и другие версии прочтения этой ветхозаветной притчи – каждый волен выбрать свою.

До сих пор речь шла об исторических временах. А если мы заглянем еще дальше – в палеолит? Работая в Израиле и Иордании, мы регулярно находили позднепалеолитические каменные артефакты (орудия, заготовки, отщепы) именно на эродированных грязевулканических постройках. Это удивляло, ведь коренные

горизонты кремней распространены здесь повсеместно. И только после того, как в 2007 г. Е. Вапник и И. С. Новиков обнаружили на макушке древнего грязевого вулкана в бассейне Хатрурим первую мастерскую по производству кремневых орудий, целесообразность действий наших предков стала очевидна.

Вероятно, древнейшее население этих мест не тратило силы на дробление монолитов коренных пород, а использовало подходящие природные заготовки – кремневые гальки из выбросов грязевых вулканов. Дело в том, что в ходе извержения обломки пород проходят сортировку в «миксере» вулканического канала, где испытывают мощное механическое воздействие, и только наиболее прочные из них в виде окатанных глыб и галек достигают кратера.

Было ли это только местной особенностью, или палеолитическое население Евразии осваивало ландшафты и других грязевулканических провинций? Достоверных фактов пока немного. Так, С. А. Ковалевский (1940) обнаружил палеолитический скребок из кварцита



Эти каменные орудия, изготовленные в палеолитической мастерской на антиклинали Гурим, пока не имеют аналогов в мире. Они сделаны из ларнитовых пород, возникших в периоды «огненных извержений» грязевых вулканов. Израиль, бассейн Хатрурим, 2010 г. Фото Е. Вапника

Иными словами – стационарные источники пламени, те самые «вечные огни» грязевых вулканов.

Нам остается добавить последнее звено в цепочку предположений. Огонь, вода (минерализованная), соли и каменное сырье – всем этим могли обеспечить популяции архантропов и Прикаспийские, и ряд Средиземноморских ареалов грязевого вулканизма. Те, кого эта мысль задела за живое, могут сами попробовать сопоставить схему расположения поясов грязевого вулканизма и предполагаемые пути расселения раннепалеолитического населения Евразии.

Апрель 2007 г., последний маршрут. Едем по новой дороге Иерусалим–Иерихон. Дорога сечет очередной покатый холм, и перед нами среди слепящих белых, светлослимонных и палевых осадков на высоту 30 м веером раскрывается огромная воронка – сургучные тона и хаос выброшенных из глубины глыб кремней и доломитов.

Проскакиваем мимо, поскольку в первые секунды просто каменеем. Слишком невероятна удача – перед нами полный разрез кратера древнего грязевого вулкана. Скорее всего, мы оказались первыми из специалистов, кому выпало воочию увидеть, как локализованы в теле вулкана очаги плавления осадков. Их многочисленные бескорневые жилы располагались на глубине от 7 до 25 м от поверхности и были приурочены к узким извилистым трещинам, по которым некогда поднимались

струи раскаленного газа. Позднее идентификация минералов-индикаторов сверхвысоких температур и исследование расплавных включений позволило уверенно реконструировать температуру начала их образования в 1500 °C (Sokol et al., 2010). В естественных условиях такие параметры могли быть достижимы только в горящем газовом факеле.

Но и эти находки не исчерпали всех подарков древнего вулкана Наби Мусы. Среди выброшенных извержениями глыб были найдены фрагменты красноцветных песчаников, известных в Аравии и Северной Африке под именем «нубийских». (Все, кто видел фильмы о подвигах Индианы Джонса, имеют представление

Литература

Кнорре Г. Ф. *Что такое горение?* М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. 223 с.

Ковалевский С. А. *Грязевые вулканы южного Прикаспия (Азербайджана и Туркмении)*. Баку: Азгостоптехиздат, 1940. 200 с.

Холодов В. Н. *О природе грязевых вулканов*. Природа, №11. 2002. С. 47–58.

Шнюков Е. Ф., Шереметьев В. М., Маслаков Н. А. и др. *Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона*. Краснодар: ГлавМедиа, 2005. 176 с.

Якубов А. А. *Грязевые вулканы западной части Апшеронского полуострова и их связь с нефтеносностью*. Баку: Изд-во АзФАН, 1941. 102 с.

Якубов А. А., Али-Заде А. А., Рахманов Р. Р., Мамедов Ю. Г. *Каталог зафиксированных извержений грязевых вулканов Азербайджана (за период 1810–1974 гг.)*. Баку. 1974. 33 с.

Материалы международной конференции «Ранний палеолит в Евразии: новые открытия», Краснодар-Темрюк, 1-6 сентября. 2008. 208 с.

Bentor, Y. K., Gross, S. & Heller, L. (1963). *Some unusual minerals from the «Mottled Zone» complex, Israel*. *American Mineralogist*, V. 48. P. 924–930.

Gross S. (1977). *The mineralogy of the Hatruvim formation, Israel*. *Geological Survey of Israel, Bulletin no. 70*. P. 80.

Kopf A. J. *Significance of mud volcanism*. *Reviews of Geophysics*. 2002. V. 40(2). P. 1005–1012.

Sokol E., Novikov I., Zateeva S., Vapnik Ye., Shagam R., Kozmenko O. *Combustion metamorphism in Nabi Musa dome: new implications for a mud volcanic origin of the Mottled Zone, Dead Sea area*. *Basin Research*, 2010, V. 22. P. 414–438.

Svensen H., Planke S., Polozov A. G., Schmidbauer N., Corfu F., Podladchikov Y. Y., Jamtveit B. *Siberian gas venting and the end-Permian environmental crisis*. *Earth and Planetary Science Letters*. 2009. V. 277. P. 490–500.

об этих породах – ведь именно в них были высечены знаменитая Петра и другие набатийские города-храмы.) Эти легендарные породы обладают и весьма утилитарными функциями – являются одним из главных типов нефте-газовых коллекторов на Аравийском полуострове.

Все это дает основания для вывода, что хотя левантские газовые резервуары, несомненно, уступали апшеронским, вместе с тем они длительно питали многочисленные грязевые вулканы этой обширной территории и, с высокой степенью вероятности, не истощены и сейчас. Хочется думать, что ревизия углеводородного потенциала этой провинции не за горами...

Авторы выражают глубокую благодарность своим друзьям, коллегам, оппонентам и собеседникам, делившим с ними полевой быт, разочарования и озарения: Е. Вапнику, И. Новикову, Л. Гилату, А. Соколу, В. Калугину

Исследование поддержано РФФИ (грант №09-05-00285) и грантом Президента РФ для государственной поддержки российских ученых — кандидатов наук (МК-6750.2010.5)

