

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ДЕГАЗАЦИЯ ЗЕМЛИ И ГЕОТЕКТОНИКА

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
II ВСЕСОЮЗНОГО СОВЕЩАНИЯ**

Москва, февраль 1985 г.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
МОСКОВСКОЕ ОБЩЕСТВО ИСПЫТАТЕЛЕЙ ПРИРОДЫ

ДЕГАЗАЦИЯ ЗЕМЛИ И ГЕОТЕКТОНИКА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
II ВСЕСОЮЗНОГО СОВЕЩАНИЯ

Москва, февраль 1985 г.

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
П.Н. КРОПОТКИН



МОСКВА
"НАУКА"
1985

Глубинная дегазация Земли относится к числу наиболее актуальных и важных в теоретическом и практическом отношении проблем современной геологии. Она связана с проблемами дифференциации Земли на оболочки, формированием гидросферы и атмосферы, становлением и развитием жизни на Земле (эволюцией биосферы). Тектонические аспекты проблемы охватывают как вопросы тектонического контроля (глубинные разломы) и зональности, так и развития геодинамических процессов и участия в них глубинных флюидов. Наряду с этим с процессами глубинной дегазации связано образование залежей нефти и газа, рудных (в особенности гидротермальных) и нерудных месторождений скоплений термальных и минеральных вод.

В тезисах отражены новые разработки по многим аспектам проблемы дегазации Земли, причем в исследованиях по рассматриваемой проблеме советские геологи занимают лидирующее положение. Сборник представляет интерес для широкого круга геологов — специалистов в области петрологии и металлогении, геохимии, тектоники и в особенности в области нефтегазовой геологии.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемом сборнике собраны тезисы докладов, представленных ко Второму Всесоюзному совещанию по проблеме "Дегазация Земли и геотектоника". Первый симпозиум по этой проблематике состоялся в 1976 г. и также был организован по инициативе Московского общества испытателей природы и Геологического института АН СССР.

За прошедшие с тех пор восемь лет по различным аспектам этой проблемы были выполнены многочисленные исследования, значительно углубляющие понимание процессов дегазации Земли. Однако круг решаемых вопросов существенно не расширился. Наиболее важный новый фактический материал был получен при исследовании процессов глубинной дегазации на разломах, прорезающих дно океанов (это было достигнуто главным образом благодаря использованию для отбора придонных проб погружающихся подводных автономных аппаратов), а также в результате изучения газов, содержащихся в кристаллическом докембрийском фундаменте — на шитах и под базальными слоями осадочного чехла (по разрезам глубоких скважин, в первую очередь Кольской сверхглубокой скважины).

В последние годы проявился и продолжает расти интерес к проблеме дегазации Земли и среди иностранных ученых (Т.Голд, С.Сотер и др.), однако лидирующее положение советских геологов в исследовании рассматриваемой проблемы сохраняется.

Публикуемые в сборнике тезисы докладов отнесены к трем основным разделам, в каждом из которых значительное внимание уделено взаимосвязи процессов глубинной дегазации с тектоникой. В первый раздел "Петрологические (в связи с рудоносностью) и геохимические аспекты дегазации Земли" включены тезисы тех докладов, в которых обосновывается наличие восстановленных флюидов в мантии Земли и развиваются идеи акад. Д.С.Коржинского об их участии в процессах магматизма, метаморфизма, метасоматоза и рудогенеза. В них рассматриваются также глобальные аспекты дегазации Земли, в том числе дискуссионная дилемма ранней (катастрофической) или геологически длительной (более равномерной) дегазации Земли. Приведены новые оценки баланса глубинной дегазации; уделено внимание разделению глубинной мантийной компоненты на ювенильную и связанную с круговоротом вещества в метаморфогенно-экзогенном и биогенном циклах. При этом использованы новые данные, и прежде всего результаты изучения изотопного состава стабильных и радиоактивных элементов.

Во втором разделе — "Углеводороды в аспекте дегазации Земли" были собраны те тезисы, в которых суммированы новые данные в пользу

глубинного (с участием продуктов дегазации мантии) генезиса углеводородов. Эти материалы включают результаты изучения изверженных и метаморфических пород континентов и дна океана, продуктов вулканизма. Рассмотрены вопросы тектонического контроля нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции с учетом новых тектонических построений в рамках теории тектоники литосферных плит. Предлагаются механизмы миграции углеводородов и модели формирования их залежей, учитывающие роль сейсмостектонического фактора; обосновываются перспективы нефтегазоносности глубоких горизонтов стратисферы, особенно в пределах рифтовых прогибов. Многие авторы подтверждают те идеи о процессах и особенностях дегазации планеты, которые еще 50-100 лет назад были высказаны Д.И. Менделеевым и В.И. Вернадским.

В третий раздел - "Тектонический контроль и механизм процессов глубинной дегазации" - вошли тезисы докладов, посвященных анализу связей процессов глубинной дегазации (интенсивность, химизм) с тектоническим режимом различных регионов. Показывается контролирующая роль глубинных разломов, рассмотрены данные по вариациям химического и изотопного состава при разгрузке глубинных флюидов (включая гидротермы) на поверхности, в сопоставлении с тектоническими структурами, активностью неотектонических движений и современными геодинамическими процессами.

В четвертый раздел - "Дополнения" - нами включены те тезисы, которые по различным причинам было затруднительно отнести к какому-либо из перечисленных трех разделов, а также тезисы докладов, которые поступили в Оргкомитет со значительным опозданием.

Мы надеемся, что проведение II Всесоюзного совещания по проблеме "Дегазация Земли и геотектоника" привлечет внимание широкого круга геологов - специалистов в области петрологии, металлогении, геохимии, тектоники и в особенности в области нефтегазовой геологии. Можно выразить также уверенность, что дискуссия даст дополнительный импульс к расширению комплексных исследований по одной из наиболее актуальных и важных в теоретическом и практическом отношении проблем современной геологии - по проблеме дегазации Земли.

Оргкомитет совещания

РАЗДЕЛ I. ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ (В СВЯЗИ С РУДОНОСНОСТЬЮ) И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

ГЛУБИННАЯ ДЕГАЗАЦИЯ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

Ф.А. Летников

Институт земной коры СО АН СССР, г. Иркутск

Создание банка данных (около 20000 проб) по составу флюидов, заключенных в горных породах различного состава и возраста, позволило оценить процесс глубинной дегазации Земли во временном аспекте.

Как нами было установлено ранее, на рубеже раннего и позднего архея, а в отдельных регионах на рубеже архея и протерозоя, произошло изменение стиля эндогенных процессов, обусловленное сменой режима дегазации Земли в целом. Этот этап характеризовался глобальным воздействием восстановленных флюидов на все эндогенные системы, функционировавшие в то время. Это обстоятельство обусловило "сухость" парагенетических ассоциаций, широкое проявление сульфидного оруденения в мантийных породах и особый стиль всех процессов петрогенезиса, не повторявшийся более никогда в геологической истории Земли. По всей вероятности, высокие геотермические градиенты, свойственные архейскому этапу (50-80 град/км), были в значительной мере обусловлены глобальной дегазацией ранней литосферы, когда вклад флюидной составляющей в общий тепловой баланс был достаточно велик.

По мере старения Земли в эндогенных процессах, проявлявшихся в коре, все более нарастала роль окисленных флюидов с преобладающим влиянием воды. Иными словами, флюидный режим эндогенных процессов во все геологические эпохи не оставался постоянным, и уже на рубеже позднего архея начался глобальный процесс инверсии флюидного режима Земли в целом. Это обстоятельство сыграло решающую роль и в эволюции экзогенных геологических процессов. Таким образом, вся история развития Земли как космического тела характеризовалась отступлением вглубь мантии фронта восстановленных флюидов, когда на фоне снижения температуры верхних частей литосферы одновременно нарастала роль H_2O , что как бы компенсировало убыль тепловой энергии и создавало возможности для плавления горных пород. На этапе инверсии флюидного режима произошла смена "сухих" гранулитовых комплексов на метаморфические комплексы амфибол-биотит-мусковитового типа и региональных метасоматитов на базе существенно водных флюидных систем.

Основой всех флюидных систем являются углерод и водород. На их базе возникают соединения с кислородом, серой, хлором, фтором, азо-

том и т.д. На основании банка данных газовых хроматографических анализов было произведено сопоставление мольных отношений углерода и водорода во флюидах, заключенных в породах разного состава в возрастном диапазоне от архея до кайнозоя. В итоге сделанного сопоставления были получены принципиально новые данные, позволившие сделать фундаментальный вывод о том, что в отдельные геологические эпохи флюидный режим всех эндогенных процессов характеризовался по соотношению Н : С одним типом флюидов. Эта зависимость нарушается для фанерозойских гранитоидов, что является следствием наличия мощной земной коры и ее влиянием на развитие эндогенных процессов в фанерозое, когда коровые эндогенные процессы протекали под воздействием флюидов, имеющих коровомантийную природу. Из этого следует, что в фанерозое произошло разделение мантийных и коровых флюидных систем.

Из сделанного сопоставления следует, что ранние этапы развития Земли характеризовались интенсивным выносом флюидами углерода из недр на ее поверхность, и в этом плане сопоставление теперешнего состояния Венеры с архейским этапом развития Земли вполне правомерно. Интенсивный вынос углерода на поверхность Земли и его накопление здесь были благоприятным фактором зарождения и развития жизни. Таким образом, истощение верхней мантии по углероду и отступление "углеродного" фронта совпадали в общем с уровнем отступления фронта восстановленных флюидов и с уровнем истощения верхней мантии по щелочным и некогерентным элементам. Это привело к тому, что в фанерозое магмы, богатые углеродом, щелочами и некогерентными элементами могли генерироваться только в областях высоких давлений, где устойчив алмаз, формируются карбонатитовые расплавы и ультращелочные - щелочные магмы, обогащенные многими редкими элементами.

Анализ флюидного режима зон глубинных разломов позволил в широком временном интервале выделить по признаку обогащения флюидов водородом или углеродом Н- или С- структуры, с характерным набором флюидно-силикатных фаций и с отчетливыми явлениями инверсии флюидных систем по разрезу коры.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОТОКОВ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ГАЗОВ С ЛИТОСФЕРОЙ ПОДВИЖНЫХ ПОЯСОВ

П.Ф.Иванкин

ЦИНГРИ, г.Москва

Разработка геотектонических аспектов дегазации Земли предполагает типизацию структур и тепловых режимов их развития по характеру проницаемости земной коры для мантийных расплавов и глубинных газов с учетом взаимодействия последних с веществом коры. Выделенные типовые сочетания тепловых условий в мантии и земной коре, а также характеристика с этих позиций режимов развития геосинклиналей, платформ, срединных массивов и вулканогенных поясов (В.В.Белюсов, 1978) нуждаются в существенных дополнениях, учитывающих: а) качественно различный характер проницаемости земной коры для мантийных расплавов и газов в режимах ее растяжения и сжатия; б) химическое взаимодействие восстановленных ювенильных газов с породами литосферы в качестве главной причины теплового возбуждения и размягчения земной коры в пределах подвижных поясов.

Консолидированная трещиноватая земная кора в режимах растяжения (доинверсионная стадия геосинклиналей, рифтогенез, режим магматической активизации древних платформ) обладала весьма высокой транзитной проницаемостью. Потоки газов в этих условиях преимущественно рассеивались в трещиноватой среде, гидросфере и атмосфере. Их химическое взаимодействие с горными породами было ограниченным. Поэтому, несмотря на огромные объемы мантийных магм, вторгавшихся в земную кору и изливавшихся на ее поверхность, процессы регионального метаморфизма проявлялись слабо, а гранитизация отсутствовала. В режиме сжатия (инверсионные стадии геосинклиналей) происходит общее отступление фронта мантийных магм вниз; для них доступны лишь наиболее проницаемые зоны глубинных разломов, к которым приурочиваются сининверсионные пояса мелких базит-гипербазитовых интрузий, обычно выклинивающихся вверх на уровне гипабиссальной зоны. В этих условиях ювенильные газы становятся главным фактором мантийно-коровых взаимодействий: в среде тектонически сжатых пород в кинематически активных зонах они образуют уплотненные длительно развивающиеся потоки инфильтрации. Их химическое воздействие на твердые горные породы в обстановке "давление + сдвиг" приводит, с одной стороны, к постепенному окислению газов вследствие синтеза воды и уголекислоты, а с другой - к разогреванию, метаморфизму, метасоматозу и гранитизации пород. Поэтому чередование режимов "горячая" - "холодная" мантия (кора) отражает естественную смену одной формы мантийной активности другой при меняющейся проницаемости земной коры. Размягчение консолидированной коры, геосинклинальная складчатость, метаморфизм и гранитизация пород могут быть рассмотрены как разные формы

взаимодействия ювенильных газов с породами земной коры на этапах ее развития в режиме сжатия.

Зоны глубинных разломов, будучи структурными элементами подвижных поясов, непосредственно связывающими астеносферу с верхними оболочками Земли, являются удобными объектами для исследования проблемы дегазации мантии.

На инверсионном этапе они обуславливают возникновение региональных зон смятия и метаморфизма пород, сопровождаясь нередко большими сдвиговыми перемещениями блоков земной коры. Вторичная анизотропия таких зон (сланцеватые, гнейсовые текстуры метаморфических пород, плоскостная и линейная ориентировка минералов и их агрегатов) отражает структуру ламинарного течения вещества горных пород и их размягчения в процессе метаморфизма. Петрографически доказываются одновременность протекания и единство процессов деформации, перекристаллизации и метасоматоза пород, что свидетельствует о воздействии инфильтрирующих газов на динамически активную среду тектонитов и о тесном взаимопереплетении механохимических и кристаллизационных явлений в условиях температур от 800–900° до 200–150°С и менее.

Смены минеральных парагенезисов метаморфических (метасоматических) пород в вертикальном интервале около 10 км, как и данные изучения флюидных вытяжек из этих пород, указывают на общую восстановительно-окислительную направленность эволюции газовых потоков при их движении вверх по зонам глубинных разломов. На уровне амфиболитовой фации метаморфизма в газовой смеси преобладали угарный газ, углеводороды, водород при подчиненной роли воды и углекислоты. В области развития тонкослюдистых динамосланцев и филлитов доля воды и углекислоты в газовой смеси возрастает, но обстановка "сухого" пневматолита еще сохраняется. Поэтому одновременно со слюдами, кварцем, альбитом и сульфидами здесь в рассеянном виде кристаллизуются углесто-графитовые вещества, обуславливая появление в толщах метапелитов "черносланцевых фаций". Выше, где зоны динамосланцев распадаются на множество шнуров катаклазитов и бластомилонитов, происходит дальнейшее окисление флюидов; это приводит вначале к массовому отложению углесто-графитовых веществ в парагенезисе с низкотемпературными слюдами, кварцем, доломитом, сульфидами железа, цветных металлов и другими, а затем – к гидролизу пород и окислению углерода.

Такие вертикальные колонны метаморфизма, возникающие в глубинных разломах на фоне низкотемпературного "регионального метаморфизма" пород геосинклинальных этажей, могут служить геологическим доказательством ведущей роли потоков ювенильных флюидов в петрогенезисе, тепловом возбуждении земной коры и окислительной направленности их эволюции.

Представления об эволюции потоков ювенильных флюидов в различной геологической обстановке могут быть использованы при разработке мо-

делей образования гранитоидных батолитов, выяснении соотношений магматогенных и "метаморфогенных" рудных формаций и изучении проблемы генезиса шунгитов.

ТРАНСМАГМАТИЧЕСКИЕ ФЛЮИДЫ КАК ФОРМА ДЕГАЗАЦИИ МАНТИИ ЗЕМЛИ

И.А.Зотов, В.В.Жуков

ИГЕМ АН СССР, г.Москва

В ксенолитах мантийных пород, содержащихся в глубинных магмах, обнаружены признаки инфильтрационных метасоматических процессов, некоторые из которых несомненно совершались еще в мантии. Этим доказывается наличие в мантии потоков флюидов, называемых интерателлурическими (Кузнецов, Изох, 1969).

При выяснении роли мантийных флюидов в эволюции магматизма и рудообразования, проявляющихся в верхних горизонтах земной коры, важным вопросом является способ перемещения флюидов на эти уровни. По этому вопросу существует три точки зрения. 1) Многие петрологи, изучающие магматизм, считают, что легко летучие компоненты мантии переносятся магмами и что насыщение последних летучими компонентами с обособлением флюидной фазы происходит при приближении к земной поверхности и часто только на стадии кристаллизации. Утверждается даже, что флюидонасыщенные магмы не могут перемещаться на значительные расстояния, не будучи сильно перегретыми. 2) Среди металлогенистов и исследователей рудных месторождений распространено мнение о независимом от магм движении мантийных флюидов по глубинным разломам. Считается, что в этом случае флюиды и магмы связаны парагенетически, имея общий источник. 3) Согласно третьей точке зрения, сформулированной Д.С.Коржинским (1952), мантийные флюиды могут перемещаться к земной поверхности по восстающим магматическим колоннам в виде проходящих через магмы потоков трансмагматических флюидов.

Гипотеза Д.С.Коржинского описывает, видимо, широко распространенный в природе способ движения потоков мантийных газов к поверхности Земли. Например, магмы, зарождающиеся в мантии в зонах активной циркуляции флюидов и под их воздействием (такой процесс магмогенерации представляется наиболее вероятным), должны быть насыщены летучими компонентами. Но и в магмах, насыщающихся флюидами в процессе подъема, образуются потоки трансмагматических флюидов. Потоки же мантийных флюидов, движущиеся по разломам, обязательно будут сопровождаться магматическими потоками, которые образуются в мантии в силу снижения давления в зонах разломов или на путях движения флюидов за счет их флюирующего действия на окружающие породы. Последний процесс аналогичен явлениям магматического замещения, установленным в контактах многих интрузивов.

Растворимость таких распространенных в природе легко летучих газов, как H_2S , HCl , CO_2 низка и, по-видимому, эти трудно растворимые

газы образуют трансмагматические флюиды уже в основании магматических колонн и тем более на уровне земной коры.

Воспользуемся упрощенной "капельно-пузырьковой" моделью трансмагматических флюидов. В ней выделение флюидной фазы представляется как образование в магме зародышевых пузырьков или капель плотного флюида с последующим их ростом. Подъем (всплывание) капель и пузырьков флюидов в магме происходит вследствие различия в плотностях двух взаимодействующих фаз. При этом возможна инфильтрация флюидов в породы земной коры. Соотношения флюидопроводимости расплавов и твердых пород определяются концентрацией в магме пузырьков или капель флюидов и их размером, вязкостью (проницаемостью) проводящих сред. По приближенным количественным оценкам, породы глубоких горизонтов земной коры с проницаемостью менее 10^{-14} см² служат относительно экраном для флюидов, которые будут подниматься вверх преимущественно по магматическим столбам и колоннам. Породы верхних горизонтов земной коры с проницаемостью выше 10^{-12} см² более проницаемы для флюидов, чем магмы. Флюиды будут проникать из магмы во вмещающие породы.

Для проблем рудообразования имеют значение процессы обмена компонентами (в том числе рудными) между флюидами и магмой в потоке флюидов и взаимодействие флюидов с боковыми породами при выходе их из магмы. Результатом должны быть геохимическая зональность в воздымающихся магматических колоннах и обогащение рудными компонентами пород эндо- и экзоконтактов магматических массивов. Последнее обусловлено более восстановительными условиями в мантии и соответствующим состоянием трансмагматических флюидов сравнительно с породами и флюидами земной коры. Магматические тела, взаимодействующие с веществом коры лишь в боковых частях, способны предохранить мантийные флюиды от окисления вплоть до земной поверхности. Поэтому вопрос об участии мантийных флюидов в рудообразовании может решаться только в рамках гипотезы трансмагматических флюидов.

ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКАЯ РОЛЬ МАНТИЙНЫХ ФЛЮИДОВ

И.Д.Рябчиков

ИГЕМ НА СССР, г.Москва

Изучение геохимии и минералогии ксенолитов мантийного вещества и базальтов показывает, что сильно сжатые флюиды присутствовали и были химически активны в определенных участках Земли. Это подтверждается: 1) наличием флюидных микровключений в минералах шпинелевых лерцолитов, сформировавшихся в самых верхних мантийных горизонтах; 2) присутствием в мантийных породах минералов, содержащих летучие компоненты (амфибол, флогопит, апатит, карбонаты); 3) присутствием в мантийных перидотитах нескольких генераций ряда минералов (ильменит, рутил, флогопит), нередко различающихся по степени окисления

железа; 4) резкими вариациями содержания в мантийных породах и базальтах индикаторных редких элементов, трудно объяснимых действием процессов частичного плавления; 5) нередко наблюдаемым обогащением межзернового пространства мантийных перидотитов примесными элементами (в частности, редкими землями), легко растворимыми в сильно сжатых водно-углекислых флюидах.

Преобладание того или иного летучего компонента (воды, двуокиси углерода или метана) в мантийных флюидах контролируется окислительно-восстановительными условиями подкорковых зон. Полученные оценки летучести кислорода для парагенезисов минералов нодулей из верхних зон мантии (40-100 км) показывают, что они близки к буферу кварц-фаялит-магнетит (QFM). Расчетная экстраполяция на основе окислительно-восстановительной реакции между андрадитовым компонентом граната, оливином и двумя пироксенами для изохимического мантийного лерцолита показывает, что с ростом глубинности парциальное давление кислорода может стать заметно ниже, чем для буфера QFM.

Проведенные расчеты показывают, что вдоль стационарной континентальной геотермы в самых верхах мантии флюид нестабилен (H₂O расходуется на амфиболизацию, а CO₂ - на доломитизацию боковых пород), на больших глубинах появляются водные флюиды, равновесные с магнетитом лерцолитом, затем водные флюиды, равновесные с графитом и глубже с алмазосодержащей мантией. Вдоль более крутых геотерм, характерных для областей развития щелочных базальтоидов, в верхних мантийных горизонтах устойчива CO₂, а глубже картина должна быть аналогична предыдущей. В самых глубоких горизонтах верхней мантии могут оказаться устойчивыми флюиды, обогащенные CH₄.

Изучение растворимости мантийных минералов в водных флюидах показало, что самые высокие концентрации в них характерны для кремнезема (контролируются равновесием с оливином и ортопироксеном), алюмосиликатов щелочей и силикатов щелочей (их содержания определяются присутствием флогопита и омфациита). Суммарные растворимости силикатных компонентов во флюиде, взаимодействующем с перидотитом, на глубинах порядка 100 км могут превышать 50 вес.%, т.е. достигать значений, характерных для легкорастворимых солей в комнатных условиях. Это доказывает эффективность процессов флюидного массопереноса в мантии.

Имеющийся экспериментальный материал свидетельствует о том, что на определенных глубинах может происходить интенсивная фиксация некоторых компонентов из восходящих флюидов. Так, в самых верхах мантии мы можем ожидать присутствие метасоматизированных пород с повышенными содержаниями натрия, а калий должен концентрироваться на больших глубинах. Эти выводы согласуются с повышенной калиево-стью кимберлитов и дополнительно подтверждаются открытием в Западной Австралии высококалийных алмазосодержащих пород (лампроитов). Экспериментальные данные также показывают, что с ростом глубины должен

происходить рост щелочности мантийных флюидов. Это определяет подвижность в процессах мантийного метасоматизма такого многозарядного катиона, как титан, относимого к числу наиболее инертных компонентов в коровых гидротермальных процессах.

Анализ поведения серы в ходе мантийного флюидного массопереноса показывает, что этот компонент может активно фиксироваться в самых верхних частях мантии. Не исключено, что последующее взаимодействие богатых сульфидами участков с магматическими расплавами определяет потенциальную способность последних формировать магматические сульфидные руды после внедрения их в верхние горизонты земной коры.

ЮВЕНИЛЬНЫЕ ПОТОКИ ФЛЮИДОВ В СВЕТЕ ДАННЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПЕТРОЛОГИИ

В.А.Глебовицкий, И.С.Седова

ИГГД АН СССР, г.Ленинград

Современные данные физико-химической петрологии и, в частности, анализа флюидных систем метаморфических и магматических пород свидетельствуют о существовании стационарных ювенильных флюидных потоков, являющихся реальным выражением дегазации Земли. Одним из признаков восходящего потока, проникающего через всю литосферу, являются наблюдающиеся взаимосвязи между базальтовым мантийным магматизмом и коровым метаморфизмом и магматизмом в двоянных ортогеосинклинальных структурах, или поясах альпийского типа, развивавшихся на конвергентных границах океанических и континентальных плит геологического прошлого. Зарождающиеся в зонах субдукции на больших глубинах "спилитовые" магмы, богатые натрием и титаном, а также высокоглиноземистые андезитовые расплавы островодужного типа определяют резкую натриевую специализацию флюидов, которые, проникая в кору окраин континента, вызывают проявление метаморфизма и магматизма натривой специализации.

В коре, в зонах проявления регионального метаморфизма и ультраметаморфизма, потоки флюида проходят через зоны частичного и полного плавления. Предполагаются два способа перемещения газов через расплавы: объемная диффузия и всплывание пузырьков, причем последнее является более эффективным. Вследствие селективного растворения воды в расплаве происходит увеличение содержания H_2 и CO_2 во флюиде на фронте и над фронтом магматического замещения, причем водородный максимум смещен на более высокий уровень по сравнению с максимумом CO_2 , что связано с большей подвижностью первого. Таким образом, постоянно наблюдающаяся положительная аномалия CO_2 в зоне мигматизации, или частичного плавления, и водорода - в предмигматитовой зоне являются доказательством существования стационарного флюидного потока.

Общий элементарный состав флюида, главным образом отношение углерода к водороду, связанное с глубинными причинами, однозначно опре-

деляет соотношение в нем основных соединений, а значит и термодинамические режимы ультраметаморфизма и генерации магм. Низкая относительная фугитивность воды определяла высокую температуру магмы, высокий уровень термостатирования низов коры; это характерно для архейских гранулит-гнейсовых ареалов в отличие, например, от разновозрастных с ними гранулит-зеленокаменных областей. Таким образом, различные термодинамические режимы ультраметаморфизма в разнотипных и разновозрастных структурах свидетельствуют об изменении общего состава флюида от места к месту и со временем. Эти различия подтверждаются прямыми определениями состава флюида.

В температурном и гравитационном полях коры степень окисления и кислотность/щелочность флюида закономерно меняются. В условиях средней глубинности, соответствующей давлению 5 - 7 кбар, достигаются максимум фугитивности воды, минимум температуры гранитоидных магм и максимум кислотности; последняя уменьшается на больших и на меньших глубинах, что существенно влияет на металлогеническую специализацию метаморфических и ультраметаморфических комплексов пород.

РЕЖИМ ФЛЮИДОВ ПРИ ГЛУБИННОЙ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

Н.С.Никольский

Дальневосточный геологический институт ДВНЦ АН СССР (ДВГИ), г.Владивосток

Главные элементы эндогенных флюидов представлены водородом, углеродом и кислородом, иногда серой и азотом. Сильно восстановленный режим этих флюидов подтверждается присутствием в горных породах различного генезиса самородных элементов (железо, алюминий и др.), интерметаллических соединений (железо-никель, силициды железа и др.) и карбидов (муассанит, когенит и др.). Кроме того, широко распространенные в продуктах кристаллизации магм глубинного происхождения (гипербазитах, базитах, перидотитовых ксенолитах) оливины и пироксены, как правило, кристаллизуются в восстановительных условиях поля устойчивости железа (Никольский, 1978). При соответствующем этому полю окислительном потенциале и высоком давлении, как было установлено термодинамическими расчетами, преобладающие компоненты равновесных газовых смесей представлены водородом в системе $H-O$, метаном в $H-O-C$, сероводородом в $H-O-C-S$. На повышенном окислительном уровне кварц-магнетит-фаялитового буфера все они становятся существенно водными, нередко с примесью угольной кислоты или сероводорода.

Присутствие водорода во внутренних геосферах, которое предполагал еще В.И.Вернадский, подтверждается существованием потоков водородных газов, приуроченных к зонам глубинных дислокаций (рифтам), вулканам, массивам ультраосновных пород, кимберлитовым трубкам и рудным месторождениям. Иногда среди газов, окклюдированных в минералах, отмечаются сильно обогащенные водородом разности. Наиболее

вероятным источником водорода является расплавленное внешнее ядро Земли, где он находится в растворенном состоянии в металлическом железе. Не исключено также присутствие водорода в гидридной форме (Ларин, 1980). Потоки водородных флюидов могут возникать лишь при очень незначительных концентрациях углерода и серы во флюидовещающих породах. Это подтверждается отсутствием среди первичных минералов изверженных пород и мантийных ксенолитов когенита и троилита (пирротина), в то время как самородное железо встречается нередко. После экстрагирования водородным флюидом углерода из обогащенных им участков верхней мантии образуется существенно метановый тип флюидов. Глубина зарождения метановых флюидов не должна превышать глубины залегания астеносферы (50–60 км под океанами и 100–250 км под континентами), так как быстрый прорыв глубинных водородных флюидов, обогащенных легким изотопом гелия, возможен только от того уровня, до которого доходят зоны глубинных разломов. Неравномерное распределение и приуроченность заметных концентраций углерода к внешним геосферам, а серы – к земной коре возникли, по-видимому, как при первичной дифференциации вещества Земли, так и в результате выноса их из глубинных частей водородными флюидами. Макроэлементы глубинных флюидов (H, C, S, O) принимают непосредственное участие в формировании месторождений газа, нефти, графита, алмаза, серы, сульфидов и других рудных минералов и минеральных вод.

Односительно низкотемпературные разности водородных флюидов гидригенизируют углерод и его соединения неорганического или органического происхождения. Это приводит к образованию газа, последующая полимеризация компонентов которого в присутствии активных катализаторов способствует формированию нефти и бутумов (Бескровный, 1981). Метановые флюиды в соответствующих условиях могут непосредственно локализоваться в виде газовых залежей. Дальнейшее усложнение газобразных углеводородов до появления жидких и твердых продуктов происходит подобным вышеописанному путем. Для образования месторождений газа и нефти в обоих случаях необходима высокая восстановленность среды, которая создается углеродсодержащими компонентами неорганического или биогенного генезиса. Усложнение углеводородов в процессе эволюции флюидов, вероятно, привело к формированию биологических систем, т.е. к возникновению жизни. Образование графита и алмаза в стабильных и метастабильных условиях обязано диссоциации метана и окиси углерода флюидов при взаимодействии с вмещающими породами (Никольский, 1984).

Высокотемпературные эндогенные флюиды способствуют генерации магмы в пределах верхней мантии и земной коры. Флюидно-магматическое взаимодействие приводит к интенсивному окислению первично восстановленных флюидов, которые обычно к субсолидусной стадии кристаллизации расплава имеют существенно водный состав, с подчиненным количеством углекислого газа, реже сероводорода. Окисленные флюиды,

несущие полезную рудную нагрузку, формируют магматогенные, скарновые, метасоматические и гидротермальные месторождения.

Низкотемпературные флюиды окисляются, по-видимому, менее интенсивно, но они также дают начало водным растворам, которые участвуют в метаморфическом, метасоматическом и гидротермальном минералообразовании, в том числе рудном. Сильно окисленные флюиды обоих типов послужили основой для формирования гидросферы и залежей минеральных вод.

ВОДНО-ВОДОРОДНЫЕ ЗОНЫ ГРАНИТО-ГНЕЙСОВЫХ КУПолов

Н.В. Вилор

Институт земной коры СО АН СССР, г. Иркутск

Металлогения метаморфических комплексов, сопряженных с гранито-гнейсовыми куполами (ГТК) и валами, определяется флюидным режимом этих структур. Флюидная зональность ГТК изучена в Юго-Западном Прибайкалье. Установлено, что в цокольных, купольных гранитах, кристаллизующихся при 820–610°C, и внутриинтрузивных пегматитах (575–520°C) летучесть водорода определяется буферной реакцией в фазе биотита: $3\text{феррианнит} + 3\text{истонит} + 1,5\text{кварц} = 2,5\text{флогопит} + 3,5\text{калишпат} + 4\text{магнетит} + \text{вода}_T + 2,5\text{H}_2\text{r}(1)$, уменьшающей магнезиальность слюды от 30 до 17,5. В окислительной зоне интрузивного тела ГТК $\lg f_{\text{H}_2\text{r}}$ не превышает $-3,11 \pm 5,891$ (800–500°C, 1 кбар), уменьшаясь с ростом летучести воды.

В метаморфическом комплексе до изограны исчезновения хлорита (304–328°C) простирается восстановительная водно-водородная зона ГТК, где летучесть H_2r регулируется буферной реакцией в фазе биотита: $\text{баннит} + 0,5\text{магнетит} + \text{вода}_T = 3\text{феррианнит} + 3\text{сидерофиллит} + 1,5\text{кварц} + \text{H}_2\text{r}(2)$. $\lg f_{\text{H}_2\text{r}}$ достигает 2,822 при 600°C (1 кбар), увеличивается с ростом летучести воды и составляет $-1,399 \pm 1,571$ при 300°C (1–3 кбар). В этой зоне на изотерме 400°C летучесть H_2S и CO_2 достигает величин $1 \cdot 10^{1,566}$ и $1 \cdot 10^{2,03}$ соответственно. Гранаты, биотиты и турмалины в жилах пегматитов и мусковитовых гранитов, находящихся в восстановительной зоне на уровне изограны кордиерита (570–511°C) имеют дефицит трехвалентного железа.

В периферической зоне ГТК распространены кварц-калишпатовые метасоматиты и слабозолотоносные березиты регрессивной стадии. Летучесть водорода в первых при устойчивости ассоциации "биотит+эпидот" (400°C) определяется буфером (2), а $f_{\text{H}_2\text{S}}$ регулируется реакцией: $\text{магнетит} + 6\text{H}_2 = 3\text{пирит} + \text{вода}_T + 2\text{H}_2\text{r}(3)$ и составляет $1 \cdot 10^{0,927-1,566}$. Летучесть KOH достигает $1 \cdot 10^{-7,44}$. Оба показателя возрастают с увеличением давления. В березитах летучесть водорода, активность H_2S и CO_2 , растворенных в воде, буферизуется реакциями с участием биотита, мусковита, анортита, пирита, сидерита и кальцита. При 200–300°C и $P=1$ кбар $\lg f_{\text{H}_2\text{r}} = -5,367 \pm 3,471$, $\lg a_{\text{CO}_2} = -0,427 \pm 0,806$, $\lg a_{\text{H}_2\text{S}} = -4,073 \pm 1,591$. Они отражают флюидный режим внешней сероводородно-

углекислой зоны ГГК, в которой происходит перераспределение концен-траций и формирование месторождений золота и полиметаллов. Миграция халькофилов в восстановительных зонах, облегающих ГГК, ограничена. Значительная буферная емкость водно-водородных ореолов исключает формирование сульфидного оруденения во внутриинтрузивных блоках. Водно-водородные зоны вокруг ГГК установлены газовым хроматографическим анализом пород зональных метаморфических комплексов Южного Прибайкалья, Байкало-Патомского нагорья и Срединного Тянь-Шаня.

ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИТОИДОВ В РАЗНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВКАХ ФАНЕРОZOЙСКИХ ПОДВИЖНЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ

Ю.П.Трошин, В.И.Гребенщикова, С.М.Бойко

Институт геохимии СО АН СССР, г.Иркутск

Л.В.Таусоном (1977) выделено 9 геохимических типов гранитоидов, которые охватывают все главные геохимические и генетические разновидности пород, формирующиеся в различных геодинамических обстановках. Гранитоиды толеитового, андезитового, латитового рядов и агпаитовые редкометалльные гранитоиды являются дифференциатами базальтоидных магм и образуются на островных дугах, активных окраинах континентов и в других обстановках.

Палингенные гранитоиды известково-щелочного ряда, плюмазитовые редкометалльные лейкограниты, палингенные гранитоиды щелочного ряда и редкометалльные гранитоиды щелочного ряда возникают в результате плавления корового вещества. Ультраметаморфические гранитоиды представляют собой селективную выплавку из глубокометаморфизованных зон континентальной коры.

Для оценки флюидного режима гранитов использовались собственные анализы пород и минералов и литературные данные. Гранитоиды толеитового ряда рассматривались на примере Енисейского массива (Западный Саян). Гранитоиды андезитового ряда представлены батолитом Сьерра-Невада (США) и массивами Кузнецкого Алатау. Гранитоиды латитового ряда изучались на примере Аленгуйевского и других массивов Восточного Забайкалья. Редкометалльные гранитоиды агпаитового ряда изучены в Монголии. Палингенные гранитоиды известково-щелочного ряда представлены саянским комплексом (Восточный Саян) и тигертышским комплексом (Кузнецкий Алатау). К редкометалльным плюмазитовым гранитам относятся многочисленные массивы кукульбейского комплекса (Восточное Забайкалье). Палингенные гранитоиды щелочного ряда рассматривались на примере бичурского комплекса, а редкометалльные граниты щелочного ряда - гуджирского комплекса (Забайкалье). Ультраметаморфические гранитоиды изучались на Алданском щите и в Прибайкалье.

Оценка флюидного режима формирования гранитоидов выполнена по способу Д.К.Якобса и В.Т.Перри (1979), основанному на эксперимен-

тальных и термодинамических работах Д.Р.Уонза и Х.Р.Эйгстера (1965), Д.Л.Манза и С.Л.Лудингтона (1974) и др. В основе метода лежит исследование равновесия между сосуществующими биотитом, щелочным полевым шпатом, магнетитом и флюидной фазой. Знание точного состава названных минералов позволяет определить фугитивность O_2 , H_2O , HCl и HF .

Гранитоиды первых трех типов (толеитового, андезитового и латитового) характеризуются минимальными и близкими значениями фугитивностей O_2 , H_2O , HF и HCl по сравнению с другими типами гранитоидов. Статистический анализ закономерностей распределения весовых количеств H_2O , F и Cl в валовых пробах пород из разных типов гранитоидов позволил установить относительно максимальные содержания хлора в гранитоидах латитового ряда и минимальные содержания фтора в гранитоидах толеитового ряда.

Палингенные гранитоиды известково-щелочного ряда по ряду параметров (fO_2 , fH_2O , HF , HCl) приближаются к первым трем типам. Ультраметаморфические гранитоиды, особенно чарнокиты, характеризуются высокими фугитивностями O_2 и HF при минимальной фугитивности H_2O .

При максимальной фугитивности всех рассматриваемых летучих компонентов формировались агпаитовые граниты, палингенные граниты щелочного ряда и редкометалльные граниты щелочного ряда. Плюмазитовые редкометалльные лейкограниты могут образовываться либо при высоких значениях фугитивностей HF , H_2O , O_2 и HCl , либо при сравнительно пониженных значениях фугитивностей всех летучих компонентов, но при необычно высоком отношении fHF/fH_2O и $fHF/fHCl$.

Таким образом, предварительная оценка флюидного режима различных геохимических типов гранитоидов позволяет выделить две группы гранитоидов, газовый режим формирования которых резко различен: 1) гранитоиды толеитового, андезитового, латитового рядов и ультраметаморфические граниты характеризуются низкими значениями фугитивностей O_2 , H_2O , HF и HCl . 2) щелочные и редкометалльные гранитоиды формируются при экстремальных значениях фугитивностей летучих элементов и характерны для внутриконтинентального магматизма.

УГЛЕКИСЛОТА, МЕТАН И АЗОТ В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Н.В.Бердников, Л.П.Карсаков, Ю.А.Косыгин

Институт тектоники и геофизики ДВНЦ АН СССР, г.Хабаровск

В различно эродированных структурах Дальнего Востока обнажаются разновозрастные метаморфические комплексы, характеризующиеся сложной историей геологического развития. Методами термобарогеохимии определен состав флюида во включениях и проведены оценки параметров их образования для метаморфических и некоторых магматических пород

Становой складчатой области, Омолонского, Буреинского и Ханкайского срединных массивов и Анжуйского выступа Сихоте-Алиньской складчатой системы.

Метаморфизованные в гранулитовой и амфиболитовой фациях породы архея Становой складчатой области, Омолонского и Ханкайского массивов имеют преимущественно углекислотную специализацию флюида во включениях, которая оставалась неизменной на всех этапах метаморфизма и полиметаморфизма. Углекислотная специализация высокометаморфизованных толщ связана с особенностями термодинамического режима гранулитовой метаморфической системы, а также с полиметаморфической природой древних толщ.

Верхнеархейско-нижнепротерозойские зонально метаморфизованные породы гилейского комплекса Становой области в зонах шовных дислокаций имеют водно-углекислотно-солевую специализацию флюида с эволюцией его состава от водно-солевого до водно-углекислотно-солевого на прогрессивном этапе метаморфизма. На регрессивном этапе первично однородный флюид разделяется на водно-солевой и существенно углекислотный.

Для метаморфических пород древних блоков земной коры, претерпевших ремобилизацию и редукцию в процессе их геологического развития в фанерозойских складчатых поясах (Буреинский массив, Анжуйский выступ) характерно большое количество метана во включениях. Метан характерен также и для магматических пород кислого (Анжуйский выступ) и среднего (хр. Джугджур) состава, сформировавшихся в мезоабиссальных условиях. В качестве постоянной примеси метан сопутствует углекислоте во включениях из минералов гранулитов.

Глубинные и древние чарнокиты чогарского комплекса (хр. Джугджур) имеют существенно азотную специализацию флюида. Реликтовые включения сжиженного азота обнаружены также в кварце гнейсов станового комплекса, несущего черты "серых гнейсов". Делается предположение о возможности их образования за счет изверженных пород, имевших также первично-азотную специализацию флюида.

На основе полученных данных с привлечением результатов подобных исследований в других районах Советского Союза и Земли в целом делается вывод о преимущественно ареальном (площадном) характере дегазации Земли в докембрии. В фанерозое глубинная дегазация локализовалась в зонах, связанных с глубокопроникающими, большей частью линейными структурами типа глубинных разломов, срединно-океанических хребтов, рифтов. В пределах консолидированных блоков литосферы вступила в действие циклическая система дегазации (цикл: седиментация - погружение - дегазация). Рассматриваются геологические следствия, вытекающие из различного характера дегазации Земли в докембрии и фанерозое.

УГЛЕРОД-ТИТАНИСТЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ - НОВЫЙ ТИП ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

И.Н.Томсон, В.П.Полохов, О.П.Полякова

ИГЕМ АН СССР, г.Москва

Обнаружен новый тип углерод-титанистых метасоматитов в оловорудных районах Востока СССР. Обращает на себя внимание ярко выраженная приуроченность этих образований к зонам смятия и будинажа и значительная распространенность их на глубину. Нами рассмотрены минералогическо-геохимические особенности углерод-титанистых метасоматитов; особое внимание обращено на наличие в них в качестве акцессорных минералов различных самородных металлов (железо, олово, свинец и др.). Высказаны соображения о восстановительном характере формирования метасоматитов флюидов, которые, судя по присутствию самородного алюминия, не содержали воды. Благодаря восстановительному их характеру достигалась высокая подвижность титана.

Выдвигается гипотеза об образовании углерод-титанистых метасоматитов в условиях поступления глубинных восстановительных газовых флюидов. Об этом свидетельствует их тяготение к крупным зонам смятия, присутствие в качестве элементов-примесей V, Co, Ni, наличие в них графита в ассоциации с самородными металлами, т.е. минеральных ассоциаций, которые встречаются также в мантийных глубинных ксенолитах (Р.Б.Баратов и др., 1981). Высказано предположение о возможности переноса металлов в таких флюидах в виде металлоорганических соединений.

Проведено сопоставление углерод-титанистых метасоматитов оловорудных районов с углеродистыми метасоматитами золоторудных районов, выявленными в последние годы и детально изученными П.Ф.Иванкиным и Н.И.Назаровой (1984). Учитывая широкое распространение углерод-титанистых метасоматитов, образующихся в среде сухих мантийных газов и приносящих значительные количества титана и других металлов, имеются основания рассматривать этот процесс как новую форму дегазации Земли.

ВОССТАНОВЛЕННЫЕ ГАЗЫ В СЕРПЕНТИНАХ РАННЕЙ ГЕНЕРАЦИИ И ИХ ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

В.А.Дриц, М.В.Слонимская, Р.М.Юркова

ГИН АН СССР, г.Москва

Проведен хроматографический анализ газов, содержащихся в серпентинах и исходных минералах из серпентинизированных ультрабазитов Сахалина и Корякского хребта. Кристаллохимические особенности анализируемых генетических типов серпентинов изучены комплексом современных физических и химических методов. Установлено, что наиболее высокие содержания восстановленных газов (H_2 , CH_4 , CO) характерны для оливина ($H_2=0,8$ ммоль/г породы) и микрокристаллического анти-

горита ($a=35,5 \text{ \AA}$) с мельчайшими включениями (2-5 мкм) Ni_2Fe из псевдоморфно серпентинизированных гарцбургитов, залегающих в ненарушенных блоках дунит-гарцбургитового массива. Особенности состава антигорита и его микротекстуры взаимоотношения с крупнопластинчатыми (поперечно и продольно) lizardитами двух генераций и клинохризотилом свидетельствуют о наиболее раннем образовании антигорита непосредственно по оливину. Содержание водорода в поперечно пластинчатом lizardите, замещающем антигорит, уменьшается вдвое, а в продольно-пластинчатом lizardите в смеси с клинохризотилом, слагающим петли, падает до очень низких значений. В пироксенах и бастите восстановленных газов нет.

Показано, что присутствие водорода не связано с окислением железа в процессе анализа или поздним проникновением в породу. Для серпентинитов вторичной (непсевдоморфной) серпентинизации магнетит-клинохризотил-lizardитового или антигоритового состава восстановленные газы нехарактерны. Присутствие водорода в них устанавливается лишь в случае, если серпентиниты вмещают дайки лампрофиров. На основе полученных данных и литературной информации обоснована возможность начальной серпентинизации за счет воды, образованной на месте при взаимодействии восстановленных газов, например водорода и угарного газа, в присутствии никель-железистого катализатора по реакции $CO + 3H_2 \xrightarrow{Ni-Fe} CH_4 + H_2O$ при контроле степени изохимичности по балансу вещества. Эту возможность подтверждают низкие значения δD (-160%) в ранних серпентинах и наследование ими изотопных характеристик кислорода исходных минералов.

ГАЗОВЫЙ СОСТАВ СИММЕТАМОРФИЧЕСКИХ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ ПЕЧЕНГСКОЙ СТРУКТУРЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ДЕГАЗАЦИИ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

А.И.Излиев, ГИН АН СССР, г.Москва;

С.В.Икорский, Ю.П.Смирнов, Геологический институт Кол. фил. АН СССР, г.Апатиты

Изучение газовой составляющей метаморфических пород и кварца симметаморфических жил проведено путем измельчения их фракций размером 0,25-0,64 мм на микромельнице с величиной навески 1 г с анализом газов на хроматографических газоанализаторах. Исследование выполнено на детально изученном в геологическом и геофизическом отношении объекте Печенгской структуре карелид и ее архейском обрамлении в север-восточной части Балтийского щита.

Полученные результаты показали, что в вулканогенно-осадочных породах протерозойского комплекса, неоднородно деформированного и метаморфизованного в условиях от пренит-пумпеллитовой до амфиболитовой фации, так же как и в породах амфиболитовой фации архейского комплекса, обрамляющего Печенгскую структуру, основная часть газообразного углерода сосредоточена в кварце в форме метана и углекис-

лого газа. В ряду литологических типов силикатных метаосадочных и метавулканогенных пород повышение степени метаморфизма от пренит-пумпеллитовой и зеленосланцевой фации до эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фации выражается в снижении суммы углеродсодержащих газов в породе и в кварце. При этом региональный метаморфизм вулканогенно-осадочного комплекса на прогрессивной стадии обычно сопровождается уменьшением содержания метана и относительным ростом доли углекислого газа.

На фоне общей тенденции частичной дегазации вулканогенных и осадочных пород в процессе складчатости и прогрессивного метаморфизма отмечается миграция газов из вмещающих пород в новообразованные симметаморфические кварцевые и кварц-полевошпатовые жилы. При невысоком уровне метаморфизма и отсутствии признаков гранитизации в вулканогенно-осадочных породах печенгского комплекса общее содержание и соотношение отдельных углеродсодержащих газов в кварце симметаморфических жил предопределяется прежде всего газовым ресурсом пород, вмещающих жилы, на стадии их становления. К симметаморфическим жилам относятся вторичные геологические тела, сохранившие структурные и минеральные признаки термодинамического равновесия с соответствующими минеральными ассоциациями, непосредственно контактирующих первичных геологических тел. Использование метаморфических минералов-индикаторов окислительно-восстановительных процессов в парагенезисах симметаморфических жил и вмещающих пород, содержащих гематит, магнетит, эвлит, фаялит, а также сульфиды железа, карбонатные минералы, графит и другие менее метаморфизованные разновидности углеродистого вещества, дает возможность охарактеризовать степень окисления железа, углерода, определить парциальное давление CO_2 и H_2O в природных метаморфических системах и коррелировать полученные характеристики с результатами газового анализа.

В наиболее подвижных структурных зонах Южно-Печенгской и Кучин-тундровской отмечается повышенная проницаемость протерозойских вулканогенно-осадочных пород в условиях интенсивной складчатости и повышенных градиентов палеотемператур метаморфизма. На газовый состав симметаморфических кварцевых жил этих зон существенное влияние оказывает как состав вмещающих пород, так и возрастающее участие подвижных компонентов, проникающих из нижележащих гранитизированных комплексов. В архейском гранитизированном гнейсо-амфиболитовом комплексе, расположенном в основании и обрамлении Печенгской структуры карелид, на площади региона сохраняется зависимость общего количества и компонентного состава углеродсодержащих газов в кварце симметаморфических жил от типа вмещающих пород и интенсивности процессов гранитизации. В кварцевых жилах биотитовых и гранат-биотитовых гнейсов сумма углеродсодержащих газов достигает уровня $30 - 40 \text{ см}^3/\text{кг}$, сближаясь с характеристиками кварца гранитных пегматитов и обычно в 1,5-2 раза превышает сумму газов кварцевых жил,

заклученных в амфиболитах базальтоидного состава. Общей особенностью жильного кварца силикатных пород гнейсо-амфиболитового комплекса является более низкое содержание метана по сравнению с жильным кварцем в аналогичных петрохимических типах пород печенгского комплекса при более высоком уровне CO_2 .

Локальные аномалии с повышенным содержанием метана $5-6\text{г/см}^3/\text{кг}$ выявлены в наиболее подвижных структурных зонах среди углеродистых пород печенгского комплекса и в бластомилонитах линейных тектонических зон, отчетливо выделяющихся среди архейских пород гнейсо-амфиболитового комплекса. Породы архейского комплекса, вмещающие кварцевые жилы с аномально высоким содержанием метана, характеризуются вторичной синметаморфической графитовой минерализацией.

ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗОН

Ф.А.Летников, В.Б.Савельева

Институт земной коры СО АН СССР, г.Иркутск

Изучение зон милонитизации и катаклаза в докембрийских породах Прибайкалья дало основание рассматривать их как протяженные геологические тела, формировавшиеся в определенном интервале давлений и температур при соответствующем флюидном режиме.

Изученные тектониты по парагенетическим ассоциациям минералов отнесены нами к той или иной фации метаморфизма. В архейских гранулитовых комплексах преобладают регрессивные тектониты эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. В протерозойских Хл-Мус-Би сланцах развиты прогрессивные тектониты Би-Гр-Дис состава. Тектонические зоны представляют собой открытые системы с присущим им флюидным режимом. Общей тенденцией для зон регрессивных тектонитов является смена снизу вверх относительно восстановленного водно-водородного флюида на водно-углекислый.

В тектонитах эпидот-амфиболитовой фации в породах гранулитового комплекса (кристаллосланцы, энтербиты, биотитовые гранито-гнейсы, габбро) флюиды имеют довольно однообразный состав и степень восстановленности ($\text{H}_2/\text{H}_2\text{O} = 0,2-0,4$). Иногда эти тектониты в отношении петрогенных компонентов изохимичны исходным породам, при отчетливой тенденции к выносу Cr , V , Co , Ni , Sc и Sr и инертном поведении Rb , Li , Sn , Pb . Для Хл-Акт бластокатаклизитов гранулитового комплекса характерен окисленный флюид ($\text{H}_2/\text{H}_2\text{O} = 0,06-0,08$), что в условиях хрупких деформаций стимулировало вынос ряда петрогенных и рудных элементов из пород основного состава и проявление $\text{Fe}-\text{Mg}-\text{Ca}$ метасоматоза в тектонитах по гранитоидам. Для Амф-Пл бластомилонитов (по габбро Бирхинского массива), отвечающих проявлению этапа гранитизации, характерен восстановленный флюид ($\text{H}_2/\text{H}_2\text{O} = 0,7-1,0$), содержание CO_2 понижено, часто фиксируется CH_4 .

Отчетливо устанавливается привнос в тектониты Si , Al , Na , F и вынос Mg , Ca , Fe .

Таким образом, выделяются два принципиально отличные по массопереносу типа тектонитов зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фации: 1) близкие к изохимическим, с флюидами слабо окисленными или окисленными и 2) неизохимические, с широко проявленными явлениями гранитизации, формирующиеся под воздействием существенно восстановленных флюидов. Для прогрессивных тектонитов в породах зеленосланцевой фации характерна инверсия флюидного режима, когда на ранних стадиях флюид более восстановлен, а к концу процесса становится существенно окисленным. Основным метасоматическим процессом в таких тектонитах является кислотное выщелачивание. Таким образом устанавливается четкая зависимость состава флюидных систем от $P-T$ условий формирования тектонитов, что позволяет перейти к выделению флюидно-тектонических фаций.

ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ АКТИВИЗАЦИЯ, ЭНДОГЕННОЕ РУДООБРАЗОВАНИЕ И ПРИРОДНЫЕ ГАЗЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

О.А.Дюжиков, ИГЕМ АН СССР, г.Москва;

А.И.Фридман, МГРИ им. С.Орджоникидзе, г.Москва

Многостадийное формирование складчатого фундамента и вулканогенноосадочного чехла Сибирской платформы регулируется процессами тектономагматической активизации. Структура складчатого основания представлена архейскими глыбами, сцементированными авлакогенными зонами раннепротерозойского заложения, которые рассматриваются как крупнейшие линейные швы. Эти зоны, неоднократно активизированные в течение протоплатформенного и собственно платформенного этапов, определили мегаблоковый структурный рисунок, индивидуализированное развитие и особенности эндогенного рудообразования различных структурно-формационных комплексов слоистого чехла Сибирской платформы.

Наиболее крупной шовой структурой является Байкало-Таймырский (Трансазиатский) линейный элемент, разделяющий Сибирскую платформу на две примерно равнозначные по площади, но различающиеся по глубинному строению, области - Тунгусскую и Алдано-Анабарскую. К авлакогенным шовным структурам субмеридионального простирания относятся также Приенисейская (Имангдинско-Летнинская) и Восточно-Таймырская (Анабаро-Ботубинская) зоны. Структурный каркас Сибирской платформы окончательно сформирован в результате развития субширотных зон разломов, наиболее крупные из которых представлены Южно-Таймырской, Енисей-Хатангской, Курейской, Транссибирской. Они являются более молодыми по отношению к субмеридиональным, но вместе с последними составляют главные тектонические элементы активизации, обозначенной байкальской, каледонской, герцинской, киммерийской эпохами базитового и, в меньшей степени, щелочно-базитового, гипербазит-базитового

го, щелочного гипербазит-базитового, щелочно-гипербазитового и кимберлитового магматизма.

Тектоно-магматическая активизация является выражением ритмичного чередования восходящих и нисходящих глубинных процессов под жесткой литосферой платформы и синхронных горизонтальных движений в сопредельных складчатых областях. Эти взаимосвязанные процессы, обусловившие образование мантийных диапиров и их перемещение по зонам повышенной проницаемости, фиксируются, прежде всего, усложнением глубинного строения тех или иных блоков (резкое изменение мощностей "гранитного" и "базальтового" слоев, изгибы поверхности М, наличие микроволноводов и гравитационных максимумов и т.д.) и проявляются в повышении уровня тепловых потоков, длительной эволюции расплавов и формировании различных по составу продуктов магматизма, мантийной дегазации, выведении в верхние слои земной коры глубинных природных газов. Среди последних преобладающими, кроме паров воды, являются H_2 , N_2 , углеводороды (УВ); в небольших количествах отмечаются CO_2 и H_2S , нередко фиксируются повышенные количества He.

Максимального развития тектоно-магматическая активизация Сибирской платформы достигла в позднюю фазу герцинского тектогенеза, совпадающую с началом планетарного океанического рифтообразования и формированием взаимосвязанных внутриконтинентальных Западно-Сибирской и Енисей-Хатангской рифтовых систем триасового возраста. Активизация носила явно унаследованный характер, проявленный в регенерации древних линейamentных шовных структур, трансформных по отношению к опоясывающим платформу надпорядковым рифтам. Особый интерес представляет север Сибирской платформы, где выделяется субширотный Енисейско-Оленекский рудный пояс, характеризующийся широким набором магматических и родственных им рудных формаций. В составе этой протяженной металлогенической зоны резко очерчиваются несколько мегаблоков, каждый из которых можно рассматривать как самостоятельную рудно-магматическую систему.

Норильский никеленосный район отвечает Приенисейскому мегаблоку, расположенному в крайнем западной части пояса, в области торцевого сочленения Енисей-Хатангского рифтогенного прогиба и Западно-Сибирской рифтовой системы. Это положение определяет его уникальную позицию, чрезвычайно высокую проницаемость земной коры, максимумы накопления щелочно-базитовых и базитовых вулканитов и развитие вулканно-интрузивной никеленосной ассоциации гипербазит-базитов с крупнейшими сульфидными медно-никелевыми месторождениями. Формирование месторождений (Талнахское, Октябрьское, Норильск I и др.), большинство из которых контролируется Норильско-Хараелахским региональным разломом, объясняется с позиций дифференциации мантийного сульфидно-силикатного вещества в промежуточных очагах и внедрения самостоятельных порций расплава в современные камеры. Залежи массивных руд образовались в результате инъекций сульфидных и интрузивных

субфаз. Внедрение никеленосных интрузивов и процессы рудообразования сопровождаются поступлением магматических газов, большая часть которых мигрировала в атмосферу. Интенсивный термометаморфизм вмещающих сульфатно-карбонатных и терригенных угленосных отложений норильских месторождений обуславливает фиксируемые в рудниках и буровых скважинах выделения УВ-газов со значительным количеством тяжелых гомологов CH_4 , от C_2H_6 до C_4H_{10} и выше. В перекрывающих месторождения вулканитах отмечаются газовые скопления с содержанием N_2 до 50-70%, приуроченные к зонам повышенной трещиноватости. В составе газовых струй отмечено большое количество N_2 . Устанавливаемое в газах высокое содержание He, превышающее на три порядка фоновое, характерно для рудоконтролирующего Норильско-Хараелахского разлома и других аналогичных структур. Эти факты позволяют считать, что гелий и ассоциирующие с ним газы мигрируют из глубоких горизонтов земной коры и мантии.

Железорудные месторождения ангаро-илимского типа, генетически связанные с щелочно-базитовым и базитовым магматизмом раннемезозойской активизации, находятся в южной половине Сибирской платформы и входят, главным образом, в состав Ангаро-Вилуйского рудного пояса. Эта металлогеническая зона, ограниченная Катанго-Илимпейским и Ангаро-Вилуйским долгоживущими разломами фундамента, протягивается от Шарышалгайского кристаллического выступа Присаянья вдоль южного и юго-восточного борта Тунгусской синеклизы почти до центральной части Сибирской платформы (среднее течение р.Вилуй). Основные железорудные районы контролируются в региональном плане кольцевыми вулканно-тектоническими структурами, размеры и форма которых определяются морфологией промежуточных магматических очагов. По периферии эти структуры обрамляются многочисленными диатремами, в которых локализируются месторождения (Коршуновское, Рудногорское, Нерюндинское и др.). Корни последних не принадлежат конкретным массивам, а связаны с эволюционирующим промежуточным очагом, имевшим, по всей вероятности, значительную вертикальную протяженность и взаимодействовавшим с мантийным источником. Рудообразование является результатом взаимодействия магматического расплава промежуточного очага и мантийного флюида с последующим выносом железа, образованием жильных тел и скарнированных пород с вкрапленным оруденением. В составе природных газов, встреченных в ряде диатрем железорудных месторождений, отмечены H_2 (до 48, 83%), N_2 (49,04%) и CO_2 (2,13%). Имеются данные о наличии значительных количеств H_2 (до 34,6%) в замкнутых порах магнетитовых руд. Приуроченность битумо-газопроявлений к карбонатным и магнетитовым жилам указывает на их связь с гидротермальной фазой рудообразования.

Кимберлитобразование, как типичное проявление завершающих фаз тектоно-магматической активизации, наиболее ярко выражено в пределах Анабарского и Оленекского мегаблоков Енисейско-Оленекского руд-

ного пояса. Кимберлитовые районы этих мегаблоков тяготеют к древним шовным структурам, активизированным в мезозое в связи с развитием Енисей-Хатангского рифта. Однако, наибольший интерес представляют среднепалеозойские кимберлиты Малоботубинского и Далдино-Алакитского полей. Следует подчеркнуть, что у этих кимберлитов хотя и обнаруживается контроль со стороны вышеописанной ортогональной системы разломов (например, приуроченность Малоботубинского поля к области пересечения Восточно-Таймырского и Транссибирского линейных разломов), возрастное и структурное положение определяется приуроченностью к северо-западному борту регенерированного среднепалеозойского Патомско-Вилуйского авлакогена, с погружением которого связан также предшествующий щелочно-базитовый, базитовый и щелочно-гипербазитовый магматизм. Кимберлиты образованы из высокофлюидонасыщенного, наиболее глубинного щелочно-гипербазитового расплава. Формирование месторождений происходило в вулканических условиях, в результате многоактного заполнения диатрем и трещинных полостей генерогенным мантийным веществом, содержащим ксеногенные глубинные породы и высокобарические минералы. Кимберлитовые тела содержат большие количества газов N_2 -УВ- H_2 и УВ- H_2 - N_2 состава, которые находятся в свободном состоянии и растворены в высокоминерализованных водах, содержащих также H_2S . Эти воды приурочены к трещинам и пустотам разрывных нарушений и эндоконтактам кимберлитов. Они эпигенетичны по отношению к кимберлитам и часто образуют значительные скопления, которые обуславливают интенсивные (до 10^6 м³ в сутки) длительные газовыделения. Для газовых струй характерно преобладание H_2 (до 57%), а для газов, растворенных в рассолах - УВ (до 90%); отмечено повышенное содержание Не. В Далдино-Алакитских кимберлитовых диатремах в газовой смеси фиксируется повышенная концентрация Аг. Наличие в составе УВ непредельных гомологов C_nH_{2n-2} (1,30%) позволяет предполагать образование части их и в настоящее время. О возможном подтоке некоторой части УВ можно судить также и по изотопному составу углеорода C_nH_{2n-2} , обнаруживающему наличие двух генераций УВ: регионально-сингенетичного газо-нефтяным породам венда-силура с $\delta^{13}C$ -40,2‰ и мигрировавшего из глубоких горизонтов литосферы - $\delta^{13}C$ -26,2‰.

В заключение отметим, что неоднократное проявление тектоно-магматической активизации Сибирской платформы, обусловленное чередованием возбужденного и спокойного эндогенных режимов, связано с деструктивным характером развития региона. Этот тип развития, чередующийся с типичным платформенным режимом, выражается в интенсивном рифтогенезе, контролирующем мантийный магматизм и эндогенное рудообразование. Наиболее мощный деструктивный процесс проявился в позднем палеозое-раннем мезозое на севере и северо-западе Сибирской платформы, где обрамляющий рифтогенез обусловил накопление максимальных объемов вулкаников, своеобразный профиль магматизма и широкий набор рудных формаций. Рассмотренные месторождения приурочены к

наиболее мобильным областям, испытывавшим длительную активность, вплоть до настоящего времени. Подтверждением этого служат факты, указывающие на то, что часть природных газов эндогенных месторождений, мигрирующих по зонам повышенной флюидно-магматической проницаемости, являются геологически молодыми. Их источником, помимо органического вещества платформенного чехла, являются глубокие горизонты земной коры и уровни магмообразования верхней мантии.

СОПРЯЖЕННОСТЬ ПЕРИОДИЧНОСТИ МАГМАТИЗМА И ДЕГАЗАЦИИ МАНТИИ ЗЕМЛИ

Э.А.Лазаренко

Днепропетровский горный институт, г.Днепропетровск

В соответствии с номенклатурой Петрографического комитета (Устиев, 1970) цикл тектоно-магматического развития подвижных областей делится на геосинклинальную и орогенную стадии, которые в свою очередь подразделяются на этапы тектоно-магматической эволюции (э.т. -м. э.), характеризующие промежутки времени между двумя фазами тектогенеза. Каждый этап начинается растяжением коры и образованием бассейнов седиментации с основным магматизмом, что является отражением разуплотненности в мантии и выплавкой дополнительных порций магмы в астеносфере в связи с падением давления. Завершается э.т.-м.э. складчатостью, которая отражает увеличение давления в мантии и частичную кристаллизацию магмы в астеносфере с выделением флюидов, подъем которых приводит к образованию складчатых метасоматических гранитоидов. Так например, в Карпатах в геосинклинальную стадию выделяются четыре э.т.-м.э. Два из них завершаются образованием складчатых гранитоидов в субгерцинскую (гемеридные) и ларамийскую (банатитовые) фазы тектогенеза.

Закономерная смена основного магматизма мантийного происхождения складчатыми метасоматическими гранитоидами наблюдается не только в неогене, но и в раннем докембрии, где эти периоды смены магматизма дегазацией значительно растянуты во времени. Так, на Украинском щите ранний докембрий представлен двумя формациями: архейской протолитовой, имеющей магматическое происхождение и раннепротерозойской гранитоидной региональной пневматолитогидротермальной инфильтрационного метасоматоза. Максимальный радиологический возраст пород протолитовой формации около 3,6 млрд. лет, а гранитоидной 2,6 млрд. лет. Специальные исследования по всему щиту показали, что минералы протолитовой формации содержат включения раскристаллизованных расплавов, которые испытывают гомогенизацию при 1100°-1150°C, а минералы гранитоидов содержат жидко-газовые и газово-жидкие включения, гомогенизирующиеся при 300-600°C. Эти данные подтверждают теоретические расчеты (Любимова, 1978; Рингвуд, 1981) о существовании расплавленной оболочки протопланетного вещества мощностью 400-700 км. Предполагается, что кристаллизация верхней части

расплавленной оболочки привела к образованию протолитовой коры и астеносферы. Дальнейшая кристаллизация магмы в астеносфере под протоконтинентами приводила к выделению флюидов. Их подъем сопровождался метасоматозом верхней части протолитовой коры с образованием метасоматических гранитоидов, сформировавших гранитный слой материковой коры в раннем протерозое. Когда под континентами произошла полная или частичная кристаллизация магмы, приведшая к образованию гранитного слоя коры, одновременно образовались гидросфера и атмосфера.

Цикличность тектоно-магматического развития подвижных областей, по-видимому, сопряжена с закономерной сменой интенсивности гравитационного поля: уменьшением давления, приведшего к разуплотнению мантии, выплавке магмы и растяжению земной коры; увеличением давления, сопровождавшимся уплотнением мантии, кристаллизацией магмы в астеносфере, потоком восходящих флюидов, складчатостью и образованием складчатых метасоматических гранитоидов.

ВНУТРИПЛИТОВЫЙ ВУЛКАНИЗМ И ДЕГАЗАЦИЯ МАНТИИ

А.И.Киселев

Институт земной коры СО АН СССР, г.Иркутск

Внутриплитовый вулканизм в пределах континентальной литосферы не обнаруживает явных связей с процессами на границах плит. Значительная часть продуктов внутриплитового вулканизма возникла за счет плавления вещества верхней мантии вследствие его адиабатической декомпрессии при диапирическом всплывании. Однако подкоровые базальтовые расплавы не могут подниматься из астеносферы к земной поверхности, если в литосфере не поддерживаются условия растягивающих напряжений. Из анализа тектоники и вулканизма континентальных рифтовых зон со всей очевидностью вытекает, что напряжения растяжений внутри континентальной литосферы могут существовать в течение нескольких десятков млн. лет. Поэтому ассоциация внутриплитового вулканизма с трещинами растяжения в литосфере представляется более правдоподобной, чем со случайно расположенными мантийными плюмажами или "горячими точками".

"Горячие точки" в подавляющем большинстве реализуются на земной поверхности в режиме стрессовых растяжений, генерация которых, судя по мировым гравитационным данным, может быть обусловлена более горячими воздымающимися конвективными ячеями. Дополнительная деформация жесткой литосферы в режиме сжатия - растяжения может также обеспечиваться перераспределением напряжений внутри плит при их взаимодействии (например, при столкновении Индийской и Евразийской плит).

Восходящие конвективные потоки в верхней мантии в совокупности с растягивающими напряжениями в литосфере являются наиболее благо-

приятными для дегазации мантии, выноса мантийных флюидов из ее глубин, обуславливающих метасоматическое преобразование блоков континентальной литосферы, возникновения крупномасштабных латеральных и вертикальных вещественных неоднородностей в мантии и, в конечном счете, определяют специфику базальтового вулканизма. Флюидная фаза приобретает особо важную роль в процессах выплавки и эволюции инициальных мантийных расплавов. Частичное плавление мантийного вещества обеспечивает концентрацию флюидов и их более быстрое продвижение к земной поверхности. Поэтому базальтовый вулканизм представляется одним из наиболее эффективных механизмов дегазации верхней мантии.

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЛИТОСФЕРЫ И ФЛЮИДНО-ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ ЗЕМЛИ

А.А.Кузнецов

ВСЕГЕИ, г.Ленинград

Механизм дегазации определяется происхождением планетного тела. Ключом к раскрытию происхождения Земли служит история ранних этапов геологического развития литосферы. Изучение структурно-вещественных признаков архейских кристаллических пород Анабарского щита позволило расшифровать геологическую природу раннедокембрийских образований. На примере древнейших производных мы имеем дело с остывшей магматогенной протодифференцированной "корой" планетного вещества. Появление ритмично-стратифицированной толщи ортопироксенгранулитового, эндробит-чарлокитового, "серогнейсового", клинопироксенгранулитового и биотит-гранатплагинейсового составов от низов к верхней части разреза щита однозначно связано процессу ритмично-направленного (снизу вверх) затвердевания мощной (не менее 20-25 км) толщи расплава с температурнодиффузионно-градиентноконцентрационным механизмом регулирования кристаллизации в особых условиях малого интервала температур ($\Delta T_{\text{крст.}} = T_{\text{ликв.}} - T_{\text{солид.}} \approx 1100 - 500 = 600^\circ\text{C}$, при $T_{\text{солид.}} \approx T_{\text{внешняя}}$) и повышенного давления (за счет столба расплава и высокого давления восстановительных газов) и рассчитанной продолжительностью до 1,5 - 2 млрд. лет. В качестве природной модели становления архейской коры ("протокоры") рассматриваются расслоенные интрузивы типа Бушвелда, Скергаарда и др. Проверка такой гипотезы формирования архейских образований и следствий из нее, выполненная на Алданском щите, полностью ее подтвердила.

Это приближает нас к пониманию механизма возникновения глубинных оболочек тектоносферы, по всей видимости, имевшей полиастеносферно-слоистое строение. Магматогенная природа тектоносферы и, вероятно, остальных геосфер, вытекающая из аналогичной природы протокоры, полностью согласуется с выводами (Маракушев, Безмен, 1983) о магматическом генезисе метеоритов.

Намечается решение проблемы пространства и источников энергии магмообразования (очаги - линзы остаточных относительно легкоплавких порций расплава, залегающие между затвердевшими тугоплавкими слоями тектоносферы; модельный аналог - пластины конденсатора с прокладками). Ставится вопрос о роли "контракционных трещин" в возникновении сетки древнейших разломов литосферы (главные газо- и флюидопроводники протокры и протомантии). Становится более понятным механизм процессов дегазации мантии в основном, связанной с магматической дистилляцией, декомпрессионным "вскипанием" расплавов, положительной трансвапоризацией в системе "магма-вмещающие породы" и вулканическими процессами. Пересмотр генезиса раннедокембрийских образований щитов показывает отсутствие базальтового "догранулитового" вулканизма в катархее. По-видимому, Земля на самых ранних стадиях не проходила лунно-вулканического этапа развития, как считалось до сих пор.

Предлагается систематика региональных подразделений континентальных областей. Устанавливается ряд тектонических подразделений, включающий в направлении возрастания структурно-вещественной сложности следующие единицы: щиты - зеленокаменные пояса и ортогессинклинали - древние и молодые плиты - линейные и дугообразно-мозаичные (в плане) орогенные области и области тектоно-магматической активизации. Данный ряд, являясь также сводным временным рядом, отражает эволюцию тектоносферы от докембрия к кайнозой: нуклеарный - геосинклинальный - плитный - орогенный и активизационный этапы развития. Состав наиболее летучесодержащей части минеральных парагенезисов типоморфных магматогенных и магматических продуктов эволюционного ряда служит показателем изменения состава ювенильного компонента флюидно-газового режима. Он отражает динамику термодинамического режима астеносферных слоев по мере их постепенного остывания: обыкновенная роговая обманка, кальцит, графит (протокры на щитах) - актинолит, эпидот, хлорит (зеленокаменные пояса), минералы группы серпентина (ортогессинклинали) - основное вулканическое стекло и (или) палагонит-хлорофит (плиты) - кислое вулканическое стекло, слюды, турмалин, флюорит, цеолиты (орогены и террагенали).

ВЗРЫВНОЙ ВУЛКАНИЗМ КОНСОЛИДИРОВАННЫХ ОБЛАСТЕЙ - ОСОБАЯ ФОРМА ГЛУБИННОЙ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

В.И. Ваганов, П.Ф. Иванкин

ЦНИГРИ, г. Москва

На поверхности Земли известно более ста кольцевых структур размером от первых до 100 км, которые нередко рассматриваются как ударные (метеоритные) кратеры. Такие структуры должны были бы дисгармонично накладываться на историко-геологический фон соответствую-

щих регионов. Однако многие, в особенности крупные, кольцевые структуры обнаруживают закономерные связи с региональными тектоническими элементами и имеют длительную историю геологического развития, свидетельствующую о чередовании взрывных и инъективных процессов. Поэтому они нами отнесены к специфическим взрывным вулканическим образованиям, возникающим в консолидированной земной коре при сосредоточенных прорывах с больших глубин потоков восстановленных флюидов, подвергавшихся быстрому приповерхностному окислению.

По составу вулканы взрывных кольцевых структур (ВКС) относятся к специфическим "углеродистым" андезитам, реже андезито-базальтам и андезито-дацитам. Обычная последовательность их формирования такова: 1) аггломераты, 2) пирокластические потоки и лавы, 3) трещинные и межпластовые интрузии с ореолами контактово-метаморфизованных пород, 4) локальные извержения аггломератов и диспергитов. Имеются основания рассматривать комплекс этих пород в качестве продуктов взаимодействия щелочно-базальтовых расплавов с силикатической корой.

В истории формирования ВКС выделяются этапы: 1) начального прогибания коры и прорыва газов, преимущественно по кольцевым ослабленным зонам, 2) сводообразования вследствие возникновения очага плавления коры и накопления в нем летучих, 3) мощных взрывов при локальных прорывах потоков газовых смесей и их химических взрывах, обусловивших весьма резкие перепады температур и давлений, 4) обрушения купола, боковых движений и внедрения жильных и межпластовых интрузий, 5) общего проседания и формирования морфологически выраженной круглой депрессии.

Главными отличиями взрывного вулканизма консолидированных областей от вулканизма подвижных поясов являются. 1) Прорывы с больших глубин потоков восстановленных газов в условиях высокой сосредоточенной транзитной (неэкранированной) проницаемости земной коры. 2) Быстрое (взрывное) окисление газов в приповерхностной части земной коры, с чем связан преимущественно взрывной характер вулканического процесса, широкое проявление ударного метаморфизма пород в комбинации с "сухим" их плавлением. 3) Незавершенность процессов окисления глубинных флюидов, проявляющаяся в углеродистой (восстановительной) специализации аксессуаров, преимущественно водород-углеводородном составе флюидных вытяжек, угнетенная роль воды и углекислоты в магматическом и постмагматическом процессах.

Дальнейшее углубленное изучение взрывного вулканизма консолидированных областей, сопоставление его особенностей с кимберлитовыми диатремами и вулканизмом подвижных зон земной коры, будет способствовать разработке общей проблемы связи глубинной дегазации Земли с магматизмом различных типов, в том числе - с щелочно-базальтовым и андезитовым вулканизмом.

В.М. Шакин

ЦНИГРИ, г. Москва

Изучение особенностей игнимбритового вулканизма на примере Балыгчано-Сугойского района Северо-Востока СССР и центральной части Северного Кавказа позволило выявить ряд закономерностей, определяющих геологические условия его проявления в связи с процессами дегазации Земли.

Балыгчано-Сугойский район располагается во внешней зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Игнимбриты представлены кристаллокластическими разностями, слагающими поля "больших объемов". Их формированию предшествовал андезитовый вулканизм. Для андезитов характерно сквозное развитие среди порфировых выделений кварца, невыполнение правила комплементарности составов пород, присутствие в составе андезитовой толщи лапирито-дацитов с фьяммевидными выделениями андезитового состава, хорошее соответствие химического состава пород уравнению смешения андезито-базальтовой и лапиритовой магм.

Кристаллокластические игнимбриты лапиритов характеризуются широким развитием в составе порфировых выделений кварца и щелочного полевого шпата, присутствием гиперстена, а среди аксессуаров — магнетита, иоцита, вустита, α -железа. Соотношение в породах нормативных кварца, ортоклаза, альбита, анортита указывает на субэвтектическую природу магматических расплавов, а олово-серебряная геохимическая специализация и облегченный изотопный состав углерода углекислого газа высокотемпературных флюидных включений (до -26%; Кучер и др., 1983) позволяет предполагать, что их формирование связано с плавлением терригенных толщ основания верхоянского комплекса на глубине около 10 км, при P_{H_2O} около 2 кб и большой роли летучей составляющей углистых терригенных пород. Вместе с тем минеральный состав интерателлурических вкрапленников и особенности состава акцессорных минералов указывают на сухие условия раскристаллизации расплавов (P_{H_2O} менее 0,5 кб) при резкой изменчивости окислительно-восстановительных условий, а высокие температуры гомогенизации расплавных включений (до 1200°; Наумов, 1983) противоречат их субэвтектической природе.

На Северном Кавказе игнимбритовый вулканизм проявился лишь в пределах Эльбрусской вулканической области. Особенностью вещественного состава игнимбритов является наличие смешанных минеральных парагенезисов в составе порфировых выделений, вплоть до совместного присутствия кварца и оливина, и другие признаки, указывающие на проявление процессов смешения магм при формировании пород (Попов, 1980). Спецификой состава свободных газовыделений этого района является широкое развитие водородно-углекислых газовых струй, в отличие от других

районов Северного Кавказа, где среди ювенильных газовых компонентов резко преобладает углекислый газ (Фридман и др., 1980). Рассмотренные особенности вещественного состава игнимбритов определяются спецификой тектонического положения районов игнимбритового вулканизма. Последняя заключается в их приуроченности к структурам, которые характеризуются пространственно-временным совмещением кислого и базальтоидного магматизма.

В пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса игнимбритовые поля "больших объемов" распространены исключительно в его внешней зоне (Белый, 1972). Здесь на заключительном этапе развития Яно-Колымских мезозойд проявились интенсивные процессы батолитообразования, на которые в альбо-сеноманское время наложилось проявление базальтоидного магматизма, связанные с развитием ОЧВП.

Эльбрусская вулканическая область Северного Кавказа приурочена к участку пересечения мегантиклинория Большого Кавказа, контролирующего проявления кислого неоген-четвертичного магматизма с субмеридиональным Эльбруско-Ставропольским поперечным поднятием.

Имеющиеся данные позволяют полагать, что особенности флюидного режима игнимбритового вулканизма обусловлены проявлением процессов взаимодействия палингенных водных кислых магм с высокожелезистыми базальтоидными расплавами. Эти процессы приводят к осушению и разогреву кислых магм и генерации значительного количества водорода. В восходящих водородных струях происходило, по-видимому, расслоение кислых магматических расплавов с выделением более вязкой фьяммеобразующей составляющей. Высокие содержания водорода в кислых магмах придавали кислому вулканизму игнимбритовый характер. Таким образом, специфика процессов дегазации Земли в районах игнимбритового вулканизма заключается во взаимодействии водных кислых магм с железистыми базальтоидными расплавами, приводящем к образованию за счет хорошо растворимого в магме компонента — воды, плохо растворимого — водорода.

МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЕ ПОЯСА И ИХ СВЯЗЬ С ГЕТЕРОГЕННОСТЬЮ МАНТИИ

Ф.Я. Корытов

ИМГРЭ, г. Москва

По-видимому, существует закономерная связь крупнейших минерагенических поясов с гетерогенностью мантии. Так, глобальная система минерагенических поясов, приуроченных к краевым частям всех континентов вокруг океанов, отличается максимальными неоднородностями как в земной коре, так и в мантии и прежде всего наличием в ней зон уплотнения и разуплотнения вещества. С зонами такой аномальной мантии связаны многие интра- и трансконтинентальные минерагенические пояса. Примером является Урало-Ирано-Оманский меридиональный минерагенический пояс. Степень, глубина и мощность зоны разуплотнения мантии

в этом трансконтинентальном поясе рифтогенеза повышается с севера на юг. В том же направлении изменяется возраст, типы и масштабы магматизма и оруденения, а также нефтегазоносности. Подобная аномальная мантия отмечается и под субмеридиональным Африканско-Аравийско-Кавказским минерагеническим поясом, также локализованным в трансконтинентальной зоне рифтогенеза. В этом поясе зональное размещение рудных и нефтяных месторождений обусловлено зональностью строения неоднородностей мантии. На большей части этого пояса известны самые разновозрастные месторождения, включая кайнозойские флюоритсодержащие карбонатиты (Тежсарское и др.).

Система крупнейших интраконтинентальных минерагенических поясов приурочена к Центрально-Азиатской области аномальной (низкоскоростной) мантии. Интенсивность мезозойского рифтогенеза, магматизма, оруденения и угленосности повышается от центра этой области аномальной мантии к ее периферии (Восточное Забайкалье, Прибайкалье, Южная Якутия, Восточная Монголия). Закономерная связь минерагенических поясов с линейными, дуговыми и кольцевыми зонами аномальной мантии замечается на Тянь-Шане, Памире и в других регионах мира.

Общей чертой минерагенических поясов, контролируемых зонами аномальной мантии, является то, что и земная кора в них также обладает "аномальностью", прежде всего резкими изменениями ее мощности и значительной степенью ее тектонической расслоенности. Во всех этих поясах широко развиты сложные рифтовые структуры, сопровождающиеся сильно дифференцированным мантийным магматизмом (базальтами и др.), характеризующимися повышенными содержаниями щелочей, воды, фтора, хлора и других элементов. Важной особенностью рассматриваемых поясов, обладающих обычно высокой сейсмичностью, является и то, что они сформированы за счет длительной и мощной дегазации мантийных и, вероятно, трансмантийных флюидов.

О мощной дегазации Земли в таких поясах свидетельствуют не только наличие под ними зон аномальной мантии, но и сосредоточение в них большого количества месторождений фтора, хлоридов и углеводородов. Здесь отмечаются месторождения, принадлежащие к рудно-солянокупольной и рудно-битумной эндогенным формациям. В ассоциации с ними нередко находятся гидротермально-метасоматические и эксгалационно-осадочные "стратиформные" ангидрит-гипсовые, галит-сильвинитовые, бокситовые, фосфоритовые и рудно-каменноугольные месторождения. В углях таких месторождений наблюдаются высокие концентрации фтора, вольфрама, германия, и других элементов, поступавших с флюидами глубинного происхождения. В минерагенических поясах, трассирующих зоны аномальной мантии, ряда регионов выявлены месторождения флюорита, руды которых могут содержать платиноиды, золото, серебро и алмазы.

Комплекс фактических данных позволяет предполагать, что в минерагенических поясах, связанных с аномальной мантией, многие разнотипные месторождения образовались из единого глубинного (мантийного или

трансмантийного) потока руднонефтегазоносных флюидов. Последние при миграции в верхние горизонты земной коры дифференцировали с образованием собственно рудных, солевых и нефтегазоносных рассолов.

ДЕГАЗАЦИЯ МАНТИИ СРЕДНЕЙ АЗИИ И ЕЕ РОЛЬ В ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И РУДОГЕНЕЗЕ

А.М.Месхи, И.А.Герасимова

ВНИИГеолнеруд, г.Казань

Дегазация представляет собой глобальный механизм дифференциации вещества Земли, в процессе которого из ее глубин выносятся ряд элементов (K, Li, Rb, Cs, B, F, Sn и др.). Их состав определяет геохимический фон развивающихся в земной коре петрогенетических и рудогенных процессов.

Мощной дегазацией мантии отмечена история развития подвижных структур Средней Азии. Информация по геохимии мантийных включений из трубок взрыва и базитовых пород этого региона (Земная кора и верхняя мантия Таджикистана, 1980) позволяет предполагать высокое содержание в мантии редких элементов, характерных для петрогенетических и рудогенных процессов различных структур Средней Азии. Так в крупнейшей бороносной провинции Южного Памира мантия специализирована на B и Li (соответственно 37 и 20 г/т), в Гиссарской флюоритоносной провинции – на F (800 г/т), а в бороносной Зеравшано-Алайской – на B (35 г/т). Отмеченные минерагенические особенности структур Средней Азии и некоторые петрогеохимические особенности развитых в их пределах магматических пород обусловлены выносом из мантии флюидов, обогащенных перечисленными элементами. Наличие сквозной геохимической специализации коромантийных разрезов отмеченных структур и некоторые признаки переработки вещества верхней мантии заставляют предполагать глубинный характер источников мантийных флюидов.

Масштабы поступления флюидов в земную кору регулировались развитием в ней различных геодинамических режимов (сжатие-растяжение). Последние определяли и импульсивный характер флюидного процесса. Потоки мантийных флюидов вызвали плавление силикатического вещества коры, способствуя появлению специализированных на B, Li, Sn, F и др. элементы гранитоидных расплавов, накладывались на формирующиеся плутоны, определяя тем их высокую редкометальность, а также проявлялись в отрыве от гранитоидного магматизма, образуя крупные концентрации редких элементов в земной коре.

Некоторые данные по геохимической эволюции магматических пород и руд Южного Памира позволяют говорить об инверсии во времени состава выносимого из мантии флюида. Так, в докембрийский этап имел место вынос F и W. В фанерозое доминировал вынос B, Sn, Li, в неогене восстанавливается доминирующая роль F и W. Приведенная смена во

времени геохимического фона петрогенетических и рудных процессов Памира, вероятно, отражает геохимическую цикличность процессов дегазации мантии.

ТЕКТОНИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНО-БИТУМНОГО ФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В.А.Шумлянский, О.М.Ивантишина

Институт геохимии и физики минералов АН УССР, г.Киев

На территории Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Тимано-Печерской эпибайкальской плиты установлены рудно-битумные проявления, приуроченные преимущественно к авлакогенам. Минеральный состав проявлений однообразный. В Припятско-Днепровско-Донецком, Волгоградско-Жирновском, Вятском, Печорско-Кожвинском и других авлакогенах распространена битум-карбонат-сульфидная формация. Проявления ее сложены кварцем, карбонатами, флюоритом, сульфидами полиметаллов, молибдена, ртути, баритом, целестином, самородной серой и природными битумами - антраксолитом, керитом, асфальтитом, мальтой, жидкими нефтеподобными веществами. Минералообразование происходило в несколько стадий на фоне падения температуры от 265-250°C до 60-50°C. Возраст минерализации в Волгоградско-Жирновском, Припятско-Днепровско-Донецком авлакогенах и на рудопрооявлениях Тимано-Печорского бассейна, по данным уран-свинцового метода, составляет 200-180 млн. лет. Рудно-битумная минерализация локализована в широком стратиграфическом интервале - от архейских и протерозойских пород кристаллического фундамента до отложений среднего и верхнего триаса. По-видимому, процесс рудообразования наиболее интенсивно проявился в конце триаса, когда было сформировано подавляющее количество битумсодержащих проявлений молибдена, полиметаллов, флюорита и ртути.

В пределах авлакогенов ВЕП отмечается переход битум-карбонат-сульфидной формации в ртутную, флюоритовую и полиметаллическую рудные формации, имеющие близкий возраст образования (около 200 млн. лет). Составляя единый генетический ряд с битум-карбонат-сульфидной рудной формацией, они образуют рудно-битумный формационный комплекс. Локализация проявлений рудно-битумного комплекса вблизи крупных разломов, независимость минерального состава руд от состава геологических формаций, заполняющих авлакогены, и распространенность оруденения в пределах огромной территории свидетельствуют о глубинном, возможно мантийном, источнике газов, растворов и некоторых металлов. На это же указывает почти постоянное присутствие в рудах сульфидов никеля и кобальта. Минеральный состав рудопрооявлений, а также исследование газово-жидких включений в минералах указывают на широкое участие H_2 , CO_2 , N_2 , F, Hg, As, CH_4 и его тяжелых гомологов в составе рудообразующих флюидов. Анализ последовательности и температур образования природных битумов и парагенных им минералов позволяет пред-

полагать совместный перенос и отложение углеводородов и рудных элементов.

Начало эпохи рудообразования (200 млн. лет) совпадает со временем консолидации герцинских геосинклинально-складчатых поясов. Эпигеосинклинальный орогенез практически повсеместно завершился в раннем триасе. В конце позднего триаса в обрамлении ВЕП на консолидированном герцинском и более древнем основании начали формироваться протяженные континентальные рифты. На границе триаса и юры в западной части платформы заложилась авлакоген и продолжающая его система прогибов Карпат; на юге - геосинклинальные трюги Северной Добруджи, Равнинного и Горного Крыма, Предкавказья. На юго-востоке ВЕП обрамлялась грабенами (тафрогенами) Устюрта, на востоке - крупнейшей системой континентальных рифтов Западной Сибири. Раздвигание континентальных блоков по системе рифтов, обрамляющих Европейско-Уральский блок земной коры, сопровождалось сжатием в пределах авлакогенов, где формировались инверсионные блоки, валы, складчатые сооружения, интенсивно проявились сдвиги, надвиги, происходил усиленный рост соляных куполов.

Таким образом, возникла кажущаяся парадоксальной ситуация, когда месторождения и рудопрооявления, образованные при участии подкоровых газовых эманаций и глубинных растворов, сформировались в условиях сжатия крупных рудовмещающих структур (авлакогенов). Однако анализ структурной приуроченности месторождений и рудопрооявлений указывает на их связь с поперечными и кососекущими разломами, преимущественно сдвигами. Эти разрывные нарушения являлись структурами, передающими тектонические напряжения из геосинклиналей и континентальных рифтов в авлакогены ВЕП. Перемещения по ним достигают десятков километров. Участки искривления нарушений, сопряжения их с другими структурами могли служить каналами для движения газов и глубинных вод, сформировавших проявления рудно-битумного комплекса.

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИННОЙ ДЕГАЗАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

А.А.Озол

ВНИИГеолнеруд, г.Казань

Влияние глубинной дегазации на осадочное породо- и рудообразование проявляется в разнообразных, часто в таких завуалированных и труднораспознаваемых формах, как изменение состава атмосферы и вод Мирового океана, увеличение плотности флюидного потока и т.п. Так, изменение вулканической активности, вызвавшее в середине и конце перми, в конце эоцена и миоцена резкое падение концентрации CO_2 в атмосфере, привело к снижению содержания кальция в водах Мирового океана, питавших пермские бассейны. Это обстоятельство в сочетании

с их высокой изолированностью способствовало накоплению сульфатных калийно-магнелиевых солей и боратов. В конце эоцена и миоцена резкое падение концентрации CO_2 в атмосфере повлияло на изменение условий выветривания и осадкообразования в сторону повышения щелочности среды, благоприятствовавшей осаждению троны, а в миоплиоцене – также боратов.

Интенсивность и состав флюидных потоков на разных стадиях трансформации океанической коры в континентальную существенно меняются. Поэтому различным типам тектонических структур, отвечающим этим стадиям, присуща четко выраженная геохимическая и минерогенетическая специализация.

Внутриконтинентальные рифты характеризуются проявлением мантийного магматизма, представленного толеит-базальтовой серией, с которой связаны феолитовая и нефелинитовая. В ультращелочных разностях пород этих серий значительная часть натрия присутствует в составе содовых минералов. Среди вулканических газов преобладают CO и CO_2 , в гидротермальных растворах – карбонаты и гидрокарбонаты натрия. Серная дегазация проявляется в значительных масштабах в основном при магматическом замещении и глубоком термометаморфизме галогенных отложений. В связи с этим во внутриконтинентальных рифтах создаются весьма благоприятные условия для образования соды, но менее благоприятные – для генерации серы. Наряду с выщелачиванием агпаитовых нефелиновых сиенитов, ийолит-уртитов и извержением натрово-карбонатных лав и пеплов, большое значение при формировании залежей соды имеют восходящая миграция ювенильных флюидов (H_2 , CH_4 , CO , Na_2CO_3 и др.) и разгрузка высокощелочных гидротермальных растворов, приводящие к возникновению резко восстановительной и сильно щелочной среды осадконакопления, в условиях которой при взаимодействии углерода и/или углеводородов с сульфатно-натриевыми растворами протекают процессы десульфуризации с выделением сероводорода, карбонатов и гидрокарбонатов натрия. В этих же структурах при обогащении мантийной магмы кремнеземом происходит отделение фтора в газовую фазу в форме комплексов SiF_4 с образованием в дальнейшем фтороносных гидротерм, из которых осаждаются ратовкит или виллиомит. Отделяющийся от мантийной магмы бор расходуется в процессе серпентинизации ультрамафитов, вследствие чего его содержание в вулканических газах и в "остаточных" гидротермах резко падает.

Для окраинно-континентальных орогенов характерно проявление как мантийного, так и корового магматизма, представленного щелочно-калиевыми и андезитовыми сериями. Возрастание в них щелочности происходит в основном за счет калия с увеличением глубины залегания зоны Заварицкого-Беньюфа. Среди вулканических газов присутствует значительное количество галогидных и серных (H_2S , SO_2) соединений, сопоставимых с количеством CO и CO_2 . Гидротермальные растворы, разгружающиеся по глубинным разломам, имеют хлоридно-гидрокарбонатно-на-

триевый состав, причем содержание в них гидрокарбонатов натрия возрастает по мере увеличения расстояния до сейсмофокальной поверхности. В связи с этим на окраинно-континентальных орогенах и в прилегающих к ним краевых прогибах создаются благоприятные условия для образования залежей серы, а в их тыловых частях при увеличении плотности теплового потока – также соды. Наряду с восходящей миграцией сероводорода и углеводородов, взаимодействующих с гипсом с образованием новых порций сероводорода, большое значение при формировании залежей серы имеет при наличии газонепроницаемых глинистых покровов поступление с глубины сернистого газа, выступающего в качестве окислителя сероводорода.

В средних и тыловых частях орогенов в восходящих потоках ювенильных флюидов содержатся также летучие соединения бора и фтора, представленные борводородными и фторокремниевыми комплексами; при их окислении и гидролизе образуются $\text{B}(\text{OH})_3$ и HF . Дегидратация серпентинитов (на глубине 100–200 км) и переплавление флогопита (на глубине более 300 км) приводят к усилению газовой гидротермальной деятельности и к еще большему возрастанию содержания бора и фтора в гидротермальных растворах. При их поступлении в бассейны седиментации осаждаются бораты и флюорит с образованием месторождений, уникальных по масштабам оруденения и качеству сырья.

К ПРИРОДЕ СОДОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ ФОРМАЦИЙ

В.Г.Чайкин, В.Л.Штейнгольц, Ю.В.Баталин

ВНИИГеолнеруд, г.Казань

Высокоуглеродистыми формациями (ВУФ) принято называть комплексы осадочных, существенно глинистых, карбонатных и кремнистых пород, обогащенных OB (более 10–15%), значительная часть которого относится к субаквальному типу. В последние годы получены данные по вещественному составу и парагенетическим взаимоотношениям минеральных ассоциаций ВУФ, указывающие на существенную роль в их формировании и минерогенетической специализации, наряду с экзогенным фактором, материала глубинного происхождения, поступающего в бассейн седиментации в различные этапы его развития по мере накопления значительных количеств OB .

Наиболее характерен данный процесс для областей тектоно-магматической активизации – рифтогенных и дилатентных структур (ДДВ, Грин-Ривер и др.). В эволюции названных структур выделяется ряд этапов, носящих импульсный характер и отражающих смену тектонических напряжений растяжения сжатием, сопровождающихся специфичным магматизмом. В целом для всего процесса тектоно-магматической активизации характерен преимущественно базальтовый магматизм повышенной щелочности, сопровождающийся синхронным массовым выносом в верхние горизонты земной коры в зонах повышенной тектонической проницаемости (сбросо-

вого и сдвигового типов) газовых флюидов - восстановленных газов (H_2S , CO и др.). В периоды ослабления напряжений растяжения происходит излияние лав преимущественно андезитового состава, а в периоды смены напряжений растяжения сжатием наблюдается максимум пепловой активности с формированием мощных туфовых и осадочно-туфовых толщ. Именно с этим периодом связан, по-видимому, массовый вынос CO_2 , образование которого обусловлено окислительной обстановкой в магматических расплавах.

Наиболее контрастно влияние выноса CO_2 фиксируется в пределах изолированных или полудиализированных бассейнов седиментации, контролируемых глубинными разломами взбросово-сдвигового типа. Узкая пространственная локализация седиментационных бассейнов создает благоприятные условия массовой биопродуктивности. Одновременно с выносом CO_2 происходит поступление в бассейн вод гидрокарбонатно-натриевого (содового) типа как ювенильного, так и поверхностного происхождения. В результате сводово-глыбового воздымания территории на заключительных этапах развития эпиконтинентальных бассейнов в них может происходить образование рапы содового типа. В связи с этим формируются отложения, обогащенные OB с рассеянной содовой минерализацией (Грин-Ривер, Беупазари Анкара). Завершение данного процесса фиксируется образованием содовых, галит-содовых и галитовых пластов. На стадии диагенеза возможно раскисление среды в результате преобразования органики, что приводит, с одной стороны, к разложению карбонатов (наличие пустот выщелачивания), а с другой - к выносу из алюмосиликатов ионов калия, натрия и алюминия. Калий частично поглощается более устойчивыми образованиями с формированием аутигенного калиевого полевого шпата. Юровые растворы обогащаются ионами натрия и алюминия; этим обусловлено появление давсонита в пластах, обогащенных органическим веществом и анальцита в смежных пористых пластах вулканических туфов (Грин-Ривер, Пайсенс-Крик и др.).

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ МАГМАТИЧЕСКОГО, ПОСТМАГМАТИЧЕСКОГО И ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ПРОЦЕССОВ

З.И. Ковалишин

ИГиГТИ АН УССР, г. Львов

В последнее время накоплен огромный фактический материал о составе газов магматического, постмагматического и гидротермального процессов. Его удастся получить путем исследования генетических газов, то есть газов, характеризующих условия формирования тех или иных пород и минералов. Такая возможность представляется при исследовании газовой фазы расплавных включений в минералах магматогенного происхождения и газовой фазы включений в минералах пневматолитового и гидротермального происхождения. С этой целью используется целый ряд методик волюмометрического, хроматометрического и масс-спектрометри-

ческого анализа как групп включений (валовый состав), так и отдельных включений.

В магматическом процессе важная роль отводится наиболее подвижной флюидной составляющей расплава. В зависимости от глубинности, состава и вязкости расплава флюид может накапливаться на определенной глубине или мигрировать в виде так называемых "сквозьмагматических" растворов. Как показали исследования расплавных включений, флюид содержит следующие важнейшие компоненты: воду, двуокись углерода, азот, предельные углеводороды, водород и др. Первые два из них играют ведущую роль, поскольку присутствуют во включениях в виде отдельной жидкой фазы (жидкая уголекислота, водный солевой раствор).

В пегматитовом процессе присутствие летучих существенно влияет на вязкость и температуру кристаллизации расплава. Если в пегматитах жильного типа летучие содержатся в меньших количествах, то в пегматитах камерного типа они присутствуют в больших количествах и играют важную роль в повышении качества образующегося (в первую очередь пьезокварцевого) кристаллосырья. Особое значение в генезисе пегматитов отводится уголекислоте. Насыщение ею гранитного расплава благоприятствует пегматитообразованию. Содержание уголекислоты возрастает от внешних к центральным зонам дифференцированных пегматитов, причем наивысшее содержание отмечается в период роста кристаллов "занорыша". Содержание уголекислоты в пегматитообразующем флюиде четко реагирует на изменение термобарических параметров минералообразования и может являться индикатором условий минералогенеза в пегматитах. Наличие газовых (в первую очередь уголекислотных) ореолов вокруг пегматитовых тел имеет поисковое значение.

Если присутствие высоких концентраций воды является основным фактором, то преобладание того или иного углеродсодержащего компонента определяет их специфику: уголекислотно-водные или метаново-водные флюиды. Исследования включений в гидротермальных минералах убеждают в широкой распространенности таких флюидов, в особенности среди рудообразующих формаций. Соотношение между окисленными и восстановленными формами углерода обуславливает окислительно-восстановительный потенциал среды минералообразования, его щелочно-кислотную обстановку.

Очень важна роль формы углерода в комплексообразовании, концентрировании и выпадении рудных компонентов. Исследование включений в рудных и сингенетичных с ними нерудных минералах месторождений свинца, цинка, молибдена, вольфрама и золота свидетельствуют о высоких концентрациях уголекислоты в них. Близповерхностные месторождения характеризуются гетерогенным состоянием флюидов (кипением), обусловленным отходом из них уголекислоты. Этот процесс способствует разрушению рудных комплексов и отложению полезного компонента.

ФЛИДНАЯ МОБИЛИЗАЦИЯ МЕДИ, СЕРЕБРА И ЗОЛОТА ИЗ КИСЛЫХ МАГМ

И.Д.Рябчиков, Г.П.Орлова

ИГЕМ АН СССР, г.Москва

Проведено экспериментальное изучение равновесного распределения меди, серебра, золота между гранитным расплавом и водно-солевым флюидом при 750°C, 1,5 кбар, f_{O_2} в интервале от буфера никель-бунзенит до значения, определяемого буфером гематит-магнетит. Отделение от магмы рудного компонента, характеризующее константой K (отношением концентрации металла соответственно во флюиде и расплаве) интенсифицируется с ростом содержания хлоридов в надкритическом водно-солевом растворе и повышением окислительного потенциала в реальном для кислых магматических систем диапазоне f_{O_2} . При равновесии 10 н. раствора (Na, K) Cl и расплава "безжелезистого гранита" в присутствии Cu_2S величина K_{Cu} равна 6 в условиях $f_{O_2}^{N-Ni}$ и повышается до 120 для $f_{O_2}^{N-M}$.

Полученные результаты позволяют допустить, что гидротермальная мобилизация Cu, Ag, Au водно-щелочнохлоридными флюидами обусловлена относительной устойчивостью в паре комплексных соединений металлов, возможно частично гидролизованных, в условиях, близких к параметрам магматического процесса. Расчеты на основании данных о растворимости показывают, что количества меди, серебра, золота в магматическом дистилляте сравнимы с запасами промышленных месторождений. Огромные запасы меди, характерные для медно-порфировых месторождений, могут быть связаны с мобилизацией металла водно-щелочнохлоридными флюидами, содержащими около 10 молей хлоридов щелочей на кг воды при летучести кислорода, близкой к буферу гематит-магнетит. Изучение флюидных включений в минералах свидетельствует о возможности формирования медно-порфировых руд на ранних стадиях именно в таких условиях.

ПРОНИЦАЕМОСТЬ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ ФЛЮИДОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ

В.Я. Медведев, Л.А.Иванова

Институт земной коры СО АН СССР, г.Иркутск

Одним из основных факторов, определяющих массоперенос, являются пористость и проницаемость горных пород и минералов. С уменьшением пористости, в условиях повышенного литостатического давления, большую роль может играть диффузионный массоперенос, который определяется концентрацией и бародиффузией. Экспериментальное моделирование бародиффузионных процессов затруднено сложностью определения концентрационных кривых после эксперимента. Непосредственное измерение количества газа, прошедшего через минералы малой пористости, не всегда дает конкретные результаты ввиду низкой чувствительности анализа.

Вместе с тем при исследовании минералов, содержащих элементы переменной валентности, возможно определение количества газа прошедшего через минерал, если газ участвует в реакции, ведущей к изменению валентности. В частности, при исследовании подвижности водорода и кислорода в амфиболах происходит изменение показателя степени окисления K_O (отношения FeO/Fe_2O_3) в амфиболе, что позволяет на основе полученных кривых зависимости K_O от температуры, общего и парциальных давлений и времени получить значения коэффициентов диффузии для некоторых газов, в частности для водорода и кислорода. Эксперименты проводились в области температур 300-550°C и давлений 500-1000 атм с амфиболом (нефритом), полевым шпатом и кварцем; изучались флюиды системы C-O-H при различных соотношениях компонентов флюида. Определенные коэффициенты эффективной диффузии при этом имеют порядок 1×10^{-4} см²/с для водорода и 1×10^{-5} см²/с для кислорода, что указывает на значительную роль бародиффузии при процессе преобразования минералов.

Анализ изменений показателя степени окисления со временем и коэффициента восстановленности газов $K_B = (H_2 + CH_4 + CO) / (CO_2 + H_2O)$, извлеченных из минералов после эксперимента, показывает, что при движении флюида сложного состава через минерал происходит его фракционирование и изменение первоначального состава. Значения K_O и K_B при этом проходят через максимум, изменяющий свою величину при изменении состава флюида. Проведенные эксперименты указывают на то, что в геологических процессах при преобладании механизма бародиффузии проницаемость горных пород для флюида достаточно высока.

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОВОГО РЕЖИМА ЮЖНОГО СКЛОНА БОЛЬШОГО КАВКАЗА В СВЯЗИ С ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИМИ ПОИСКАМИ СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.М.Дадашев

Институт геологии АН АзССР, г.Баку

Изучение газового режима рудных месторождений представляет интерес как с точки зрения разработки газовых геохимических методов поисков залежей полезных ископаемых, так и обеспечения безопасных условий работы в рудниках и выработках. Исходя из вышеизложенного был изучен состав газов Южного склона Большого Кавказа. Газовый состав был изучен в подпочвенном слое, в рудничном воздухе, в минеральных источниках, в спонтанных газах, выделяющихся из переливающихся скважин, в газах растворенных в водах штолен, грунтовых источников, глинистых растворов бурящихся скважин, рек и закрытых пор пород.

Газы коры выветривания представлены в основном атмосферными компонентами - азотом, кислородом и углекислым газом. Содержание азота изменяется от 24,0 до 77,8%, кислорода - от 5,13 до 21,6%, углекислого газа - 4,6 - 68,5%, метана - от следов до 0,0034%, гелия - до 0,005%, сероводорода - до 0,066%.

Газы, выделяющиеся из скважин (спонтанные и воднорастворенные) характеризуются повышенным содержанием метана – до 26,3%. В пробах подпочвенного воздуха углекислый газ составляет от 0,2% до 2%. Газы, заключенные в закрытых порах пород и руд изучались методом вакуум – дробления породы в специально изготовленных стальных стаканах. В составе газовой смеси присутствует азот, от 84,15% до 98,7%, кислород 0,1–3,28%, углекислый газ 0,6–14,8%, водород до 2,57%, метан от 0,015 до 2,96%. Содержание углекислого газа в минеральных источниках не превышает 20%. Рассматривая в общем газовый состав сульфидных месторождений на перспективных площадях Южного склона Большого Кавказа, можно отметить, что он характеризуется азотно-углекислым составом.

Из анализа газового режима удалось установить, что в природных газах сульфидных месторождений существует специфический газовый компонент – углекислый газ, характерный для данных месторождений. Это позволило выбрать его как индикатор для поисков сульфидных месторождений.

ПРОЦЕССЫ ДЕГАЗАЦИИ ГЛУБИННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ИЗОТОПНОЙ ГЕОХИМИИ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ

И.Н.Толстихин

Геологический институт Кол. фил. АН СССР, г.Апатиты

Изотопные исследования благородных газов внесли главный вклад в познание процессов дегазации Земли. Открытие закономерной связи между изотопным составом гелия и глубинным строением недр позволило решить проблему ювенильных дегазации. Многочисленные исследования в этом направлении, выполненные в последние годы, выявили тесную связь между с.временной дегазацией, тектоникой и магматической активностью. Изотопные соотношения гелия и аргона в мантии Земли, коре и атмосфере совместно с данными о геохимии радиоактивных элементов позволяют рассматривать дегазацию и дифференциацию как две стороны единого глобального процесса эволюции земного вещества в прошлые геологические эпохи. Новые данные ксенологии приводят к оценкам вклада начальной, быстрой и последующей, постепенной дегазации в формировании главного газового резервуара – атмосферы. При таком ретроспективном подходе к проблеме дегазации Земли мы приходим к следующим выводам.

Одним из наиболее важных результатов изотопной геохимии гелия является установление факта высокого постоянства отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ в веществе, генетически связанном с верхней обедненной мантией Земли. Оказалось, что это отношение в океанических базальтах и гидротермальных системах океанической коры самых разных районов мира одинаково и равно $(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$. Более того, наибольшие отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ в гидротермах циркум-Тихоокеанского вулканического кольца, внутриконтинентальных рифтовых зонах и в зонах современной складча-

тости и магматизма весьма близки к приведенному выше значению. На основании таких данных может быть сделан вывод о близости изотопного состава гелия в мантии под континентами и океанами, с одной стороны, и охарактеризован круг тектонических элементов, через которые осуществляется глубинная дегазация, с другой. Наиболее высокие отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$, вплоть до $5 \cdot 10^{-5}$, наблюдаются в породах и флюидах специфических тектонических структур – "горячих пятен". По изотопно-геохимическим характеристикам вещество, поднимающееся к поверхности в пределах таких структур, вероятно, может быть идентифицировано с нижней необедненной мантией.

Необходимо подчеркнуть, что высокие отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ появляются в породах и газах только тех регионов, где современная тектоническая активность сопровождается проявлениями магматизма; тройственная связь между изотопным составом гелия, стронция и тепловым потоком поддерживает такое заключение. Таким образом, связь глубинной дегазации Земли, проявляющейся в изотопном составе гелия, и её дифференциации, проявляющейся в подъеме к земной поверхности глубинных расплавов, можно считать надежно установленной для современного этапа эволюции Земли.

Такая связь позволяет реконструировать характер процесса дегазации в прошлые геологические эпохи, поскольку процесс дифференциации силикатного вещества может быть привязан к геохронологической шкале. В частности, можно предполагать, что скорость потерь газов Землей варьировала, возрастая в эпохи тектоно-магматической активизации планеты. Этот процесс начался не позднее 3,8 млрд. лет назад и имел весьма мощный импульс около 2,7 млрд. лет назад. Изотопный состав благородных газов в оболочках Земли в совокупности с данными о распространении радиоактивных элементов в Земле и радиогенных и первичных изотопов в атмосфере позволяет оценить суммарные потери газов на этапе постепенной медленной дегазации; они составляют не менее 30–40% от общего количества газов в современной атмосфере.

Процесс аккумуляции Земли, заключающийся в выпадении на поверхность растущей планеты планетезималей и более мелких метеоритных тел, сопровождался начальной дегазацией вещества планеты. Часть выделившихся газов, вероятно, была утеряна планетой, другая сохранилась в качестве начальной атмосферы. Соотношение между количеством газов, выделившимся на этом этапе дегазации и сохранившимся в атмосфере, и их количеством, покинувшим силикатные оболочки и пополнившим атмосферу на последующем этапе постепенной дегазации, может быть получено на основании изотопно-ксеноновых данных. Выполненные оценки указывают на потерю 50–60% летучих компонентов на этапе начальной дегазации.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ В МАНТИИ ЗЕМЛИ И ЕЕ ДЕГАЗАЦИЯ

А.Б.Верховский, Е.К.Юргина, Ю.А.Шукольников

ГЕОХИ им. В.И.Вернадского АН СССР, г.Москва

Элементарная распространенность благородных газов в глубинных породах не соответствует таковой в их источнике. Это связано с фракционированием газов, происходящим в процессе зарождения магмы, при транспортировке ее к поверхности и в течение последующей геологической истории пород. Диапазон фракционирования составляет несколько порядков величины. Для его учета можно использовать радиогенные изотопы благородных газов (^4He , ^{21}Ne , ^{40}Ar , Xe), для которых могут быть сделаны теоретические оценки распространенности в источнике. По отклонению измеренных отношений радиогенных изотопов в породах от теоретически рассчитанной величины для источника можно судить о направлении и степени произошедшего фракционирования и на основании этого, по соотношению нерадиогенных изотопов, определить их первоначальную распространенность в источнике.

Применение такого анализа к глубинным породам различного происхождения толетовым базальтам срединно-океанических хребтов, щелочным базальтам океанических островов и ксенолитам ультраосновного состава позволило сделать следующие выводы.

а) Отношение $^3\text{He}/^{20}\text{Ne}$ в мантии не менее 0,3, что несколько выше отношения первичных газов в метеоритах.

б) Распространенность Ne , ^{36}Ar , Kr и Xe в мантии близка к атмосферной. Это значит, что в целом при дегазации мантии сильного изменения между отношениями благородных газов не происходит, несмотря на то, что в отдельных случаях может возникать сильное фракционирование.

На основании изотопной систематики Ne и Ar в глубинных породах выделяют два различных по истории дегазации источника вещества мантии (MORB и Plumb). Если для MORB характерны высокие значения отношения $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ (до 25000) и $^3\text{He}/^4\text{He} = 1,2 \cdot 10^{-5}$, то для пород происходящих из Plumb отношение $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ как правило низкое (300-500) при $^3\text{He}/^4\text{He} = 5 \cdot 10^{-5}$. Это позволило отождествить источник Plumb с недегазированной мантией.

Совместный анализ отношений $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ и $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ для пород этого типа показывает, что низкие значения изотопного отношения Ar обусловлены загрязнением атмосферным Ar . Поэтому истинное отношение $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ в этой части мантии выше (3000-4000) и по степени дегазации она не сильно отличается от мантийного источника, дающего MORB.

ВЫМЕРШИЕ ИЗОТОПЫ ^{129}I И ^{244}Pu И ДЕГАЗАЦИЯ ЗЕМЛИ В ДОКЕМБРИИ

Л.К.Левский

ИГГД АН СССР, г.Ленинград

Радиогенные изотопы благородных газов, в частности ^{40}Ar (продукт распада ^{40}K с $t_{1/2} = 1,4 \times 10^9$ лет), традиционно используются для оценки степени и скорости дегазации твердой Земли. Результаты исследований калий-аргонового хронометра описываются предпочтительно в рамках катастрофической модели дегазации.

Исследование абсолютной и относительной распространенности изотопов ксенона: ^{129}Xe (продукт распада ^{129}I с $t_{1/2} = 17 \times 10^6$ лет) и ^{136}Xe (продукт деления ^{244}Pu с $t_{1/2} = 8,2 \times 10^6$ л) предполагает уникальную возможность изучения дегазации Земли и других планет на самых ранних этапах эволюции, так как основная масса продуктов распада короткоживущих изотопов образуется за первые 100-200 млн. лет после аккреции планеты.

Исследование изотопной систематики ксенона в рамках гетерогенной по изотопному составу элементов первичной солнечной системы позволяет использовать обе хронометрические пары: $^{129}\text{I} - ^{129}\text{Xe}$ и $^{244}\text{Pu} - ^{136}\text{Xe}$ для оценки степени дегазации Земли (в качестве дополнительной информации определяется так называемый интервал образования планеты). С другой стороны существенное различие в изотопном составе ксенона глубинных (предположительно мантийных) образцов пород и газов и ксенона атмосферы свидетельствует в пользу быстрой (менее 100 млн. лет) дегазации Земли. В последующее время должен был отсутствовать обмен между мантией и системой кора-атмосфера как за счет прямого преобразования мантийного вещества в коровое, так и за счет субдукции океанической коры. В противном случае, неизбежным результатом такого обмена было бы выравнивание изотопного состава ксенона в различных резервуарах.

Сказанное выше справедливо для тех глобальных секторов, по которым имеются экспериментальные данные. Число последних необходимо значительно увеличить. Количественное описание степени и скорости дегазации ранней Земли будет во многом определяться как дальнейшим изучением сравнительной геохимии ксенона (и других благородных газов), иода, плутония (урана), так и расширением данных о космохимии этих элементов и их изотопов.

Мантийные инертные газы, изотопный и элементный состав которых отличается от таковых в газах коры и в атмосфере, представляют определенную возможность в изучении зон повышенной проницаемости коры, с которыми часто связаны и сейсмически активные регионы. Регулярное наблюдение за изотопными и элементными составами в источниках этих регионов вероятно позволит проследить за изменениями в сейсмической активности на ранних стадиях развития, так как возникновение напряжений и деформаций в породах на пути миграции глубинных инертных газов может отразиться в изменениях изотопного и элементного составов. Для получения оперативной информации не безразличен выбор конкретных количественных критериев, так как несомненное преимущество имеют те, которые позволяют получить требуемую информацию простыми средствами без привлечения сложного лабораторного аналитического оборудования. Решение этих и других вопросов, связанных с закономерностями дегазации Земли, зависит от степени знания количественных характеристик мантийных инертных газов, определяемых их природой. Согласованное мнение по большинству инертных газов в настоящее время отсутствует, что находит отражение в существующих многочисленных, иногда взаимоисключающих, моделях дегазации Земли.

В настоящее время можно считать установленным, что мантия разгружается радиогенными изотопами ^4He и ^{40}Ar и изотопом ^3He предположительно первичной природы. Если такая точка зрения на происхождение изотопа ^3He в мантийных эманациях справедлива, то следует признать, что недра Земли сохранили реликты и других первичных инертных газов, причем разгрузка первичными He , Ne , Ar неизбежно следует из установленного факта разгрузки изотопами He и Ar . Результаты последних исследований мантийных инертных газов в источниках зон современного вулканизма и в океанических базальтах позволяют считать, что мантия гетерогенна по отношению к радиогенным изотопам инертных газов (^4He , ^{40}Ar) и поэтому такие отношения мантийных компонентов как $^3\text{He}/^4\text{He}$, $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$, $^4\text{He}/^{36}\text{Ar}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ в газовых эманациях варьируют в различных регионах, что ранее считалось только признаком разбавления этих газов коровыми или атмосферными компонентами. Другая причина вариаций мантийных элементных отношений (He/Ne , He/Ar), наблюдаемых в пределах одного региона, состоит в том, что миграционные пути для He и более тяжелых инертных газов могут быть различными, например, в осадочном чехле. Возникающее в результате этого элементное фракционирование, вероятно, может более четко контрастировать структуры с повышенной проницаемостью, выходящие на поверхность, чем изотопные отношения одного газа. Накопленный экспериментальный материал, а также результаты исследований метеоритов и лунного грунта

позволяют считать мантию более гомогенной по тем изотопам реликтовых первичных газов (^3He , ^{20}Ne , ^{22}Ne , ^{36}Ar , ^{38}Ar), которые не подвержены влиянию радиогенных добавок, образовавшихся в ней *in situ*.

Корреляционные связи, существующие между изотопными и элементными отношениями инертных газов в источниках зон современного вулканизма и океанических базальтах, позволили установить, что в недрах Земли сохранились реликты газов солнечной природы, а также древние космогенные изотопы, несущие информацию о ранней стадии формирования планеты. Доля мантийных компонентов в исследованных образцах достаточно велика (гелий, неон). Вышеизложенное позволяет считать, что недра Земли не подвергались полной дегазации и являются не менее представительным резервуаром инертных газов, чем атмосфера. В свою очередь это заключение является поддержкой тех моделей дегазации Земли, которые учитывают эволюционную стадию этого процесса.

ЕЩЕ РАЗ О ПРОБЛЕМАХ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Г.И.Войтов, Т.Г.Орлова

ИФЗ АН СССР, г.Москва

За последние несколько десятков лет интерес к проблемам метана в тропосфере Земли неоднократно качественно менялся. Вначале это были проблемы физики атмосферы (ее оптических свойств), затем интересы к проблемам метана в атмосфере Земли приобрели экологический смысл, поскольку выяснилось, что природа одного из основных загрязнителей воздушной оболочки Земли — CO — неразрывно связана с CH_4 атмосферы, а его количество над тем или иным регионом или промышленным центром (наряду с техногенными выбросами) регулируется количеством стекающего в тропосферу Земли CH_4 с подстилающей поверхности региона. В последнее время интересы к метану атмосферы Земли начинают приобретать геохимическую окраску, поскольку, как это будет показано далее, углерода, одновременно фиксированного в этом соединении в тропосфере Земли, с учетом среднего времени жизни молекул CH_4 , в пределах ошибок, допускаемых при глобальных оценках, практически достаточно для компенсации постоянно возникающего в тропосфере дефицита углерода вследствие его захоронения в диagenезе в органическом веществе и химической фиксации на дне окраинных и внутренних морей и шельфе Мирового океана в слаборастворимых химических соединениях. Вся глубина этой проблемы пока что до конца не осознана, но нам кажется, что отсюда вытекает ряд фундаментальных выводов, таких, например, как вывод о преимущественной форме выноса из мантии Земли на ее поверхность углерода (окисленная, восстановленная), о характере ранней атмосферы Земли, о балансе кислорода в верхних оболочках Земли и др.

По многочисленным оценкам до недавнего времени общее количество CH_4 в тропосфере Земли составляло величину порядка $(4-5) \times 10^{15}$ г. В связи с поступательным ростом энергетических мощностей мира, основу

которых составляет сжигание углеводородов (в том числе — CH_4), эта величина имеет тенденцию некоторого роста за счет потерь метана при добыче, транспортировке к месту химической переработки и сжигания. Около десяти лет назад вклад техногенных потерь в баланс метана в тропосфере Земли оценивался в 15–17%. К настоящему времени эта величина, по-видимому, составляет от 20 до 22% количества CH_4 , одновременно находящегося в тропосфере, но соответственно в такой же мере возросли и общее количество и содержание газа в воздушной оболочке Земли.

Средняя концентрация CH_4 во всей тропосфере по большому числу измерений, выполненных в основном над водами Мирового океана, океаническими островами, национальными парками, Антарктидой и Гренландией и т.д., где источников антропогенного загрязнения нет, около 10 лет назад составляла порядка $1,41 \text{ ч/млн.}$ ($1,41 \times 10^{-4}\%$ по объему). К настоящему времени в связи с возросшими техногенными потерями газа эта величина, по-видимому, близка к $1,50 \text{ ч/млн.}$

Концентрации CH_4 в тропосфере имеют годовой и суточный ход, широтные вариации, вариации, обусловленные неравномерностями разгрузки газа в атмосферу в пределах нефтегазовых регионов и сейсмически активных областей, а также вариации, обусловленные техногенными причинами. Есть многочисленные данные, позволяющие утверждать существование глобальной асимметрии в распределении CH_4 в тропосфере, более высокого содержания газа в северном полушарии по сравнению с южным. Наиболее низкие концентрации компонента замерены над ледяным щитом Антарктиды (порядка $1,35\text{--}1,38 \text{ ч/млн.}$).

Большинство склонно считать, что основная масса метана тропосферы Земли (около 80%) имеет современное (биогенное) происхождение и является побочным продуктом распада отмершего органического вещества, а также ферментативного брожения в желудках животных или даже продуктом жизнедеятельности сообществ термитов в экваториальных частях мира, однако в этом случае углерод CH_4 тропосферы Земли должен быть изотопно легким (во всяком случае не тяжелее -65% значений $\delta^{13}\text{C}$). Немногочисленные прямые измерения указанного параметра CH_4 из атмосферы Земли показывают величину $\delta^{13}\text{C}$, изменяющуюся от -39 до -43% , что более чем на 20% больше абсолютных значений величины $\delta^{13}\text{C}$ углерода CH_4 биохимического происхождения. Это один из решающих аргументов в пользу абиогенного происхождения подавляющей части CH_4 в тропосфере.

В литературе рассмотрены две области стока молекул метана из тропосферы Земли: стратосфера, где обнаружены молекулы газа, и фотохимические реакции на гидроксильном $\text{OH}^\cdot$. Последнему отдается предпочтение. Промежуточным продуктом таких реакций, впервые описанных Г.Леви, является CO , с которой в теплое время года CH_4 может быть в равновесии. Конечные продукты — CO_2 и H_2O .

По многочисленным оценкам CO тропосферы в летнее время на 85 или

более процентов является продуктом фотохимических превращений CH_4 ; в зимнее время вклад антропогенных источников в баланс CO атмосферы в районах крупных промышленных центров и районов массового заселения увеличивается. Несмотря на последнее, все же можно утверждать, что если CH_4 тропосферы является продуктом биохимического разложения отмершего вещества биосферы, то CO должно унаследовать изотопно легкий углерод. Однако очень большое число определений значений $\delta^{13}\text{C}$ углерода CO показало, что значение указанного параметра укладывается в интервал $-23\text{--}-31\%$ в областях высокой загрязненности атмосферы индустриальными выбросами и $-22,5\text{--}-32\%$ в районах, где влияние антропогенных выбросов мало (в основном над Мировым океаном, в лесопарках, внутри Австралийского континента и т.д.). Это сильный аргумент в пользу небиогенной природы основного количества CH_4 в тропосфере Земли.

Оценки масштабов стока метана с поверхности Земли в тропосферу прямо зависят от знания средней продолжительности жизни молекулы CH_4 в атмосфере. Существующие оценки этого параметра относительно стабильны: большинство считает, что эта величина не выходит за пределы 1–5 лет. Свообразным контролем верхней границы значений параметра являются оценки масштабов ежегодного захоронения углерода в диагенезе с фоссилизированных отмершим органическим веществом и углерода, химически фиксированного в карбонатах в Мировом океане (в сумме порядка $8,3 \times 10^{14} \text{ г}$ ежегодно). При этом нужно учитывать, что некоторая его часть из высокотемпературных областей выносится в форме CO_2 .

С учетом сказанного наиболее вероятной продолжительностью жизни в тропосфере молекулы CH_4 будет 4–5 лет, т.е. ежегодно в тропосферу Земли из ее высокотемпературных областей поступает порядка 10^{15} г CH_4 , изотопный состав углерода которого отвечает изотопному составу углерода средней пробы CH_4 газов газовых месторождений из зон катагенеза ($\delta^{13}\text{C} = -40\%$). Если допустить, что изотопный состав углерода CH_4 , поступающего из мантии Земли в ее верхние оболочки, тождественен изотопному составу углерода CH_4 ($\delta^{13}\text{C} = -18,6\%$), поступающего в воды Тихого океана в его рифтовых зонах, то в балансе CH_4 тропосферы доля последнего может составить порядка 50% (при учете, что средняя величина $\delta^{13}\text{C}$ CH_4 биохимического происхождения равна -60%).

Таким образом, выводимые из тропосферы Земли и вод Мирового океана ежегодно $2,5 \times 10^{14} \text{ г}$ углерода, фиксированного в карбонатах, и $5,8 \times 10^{14} \text{ г}$ углерода, захороняемого в диагенезе вместе с фоссилизированной частью органического вещества отмерших растений и животных (всего $8,3 \times 10^{14} \text{ г}$ углерода), вполне компенсируются углеродом, ежегодно поступающим в тропосферу Земли в форме CH_4 .

Этот вывод имеет еще более глубокое следствие.

Приняв во внимание, что углерод из мантии Земли в ее верхние оболочки поступает только в форме газов (преимущественно, как мы видим, восстановленных), а также то, что при разложении захороненного орга-

нического вещества в углеродистых газах фиксируется не более $1,0 + 1,5\%$ углерода (все остальное – элементарный углерод, фиксируемый в метаморфических породах, РОВ, угле, нефти) можно утверждать, что углеводородные газы газовых месторождений – эманации преимущественно больших (мантийных) глубин. С другой стороны, исходя из принципа актуализма, можно утверждать также, что ранние (добриологические) атмосферы Земли были преимущественно водородно-метановыми.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С КИМБЕРЛИТОВЫМИ ТРУБКАМИ

В.А. Бобров

МГРИ им. С.Орджоникидзе, г.Москва

Проблема образования различных углеродсодержащих соединений в трубках взрыва до настоящего времени вызывает повышенный интерес. Это и понятно. Кристаллизация алмазов и гидротермальные выделения кальцитов, высаживание графитов и образование муассанита, синтез битумов и углеводородных газов происходят при совершенно различных физико-химических и термодинамических условиях, которые сопровождают формирование кимберлитов в процессе их эволюции от зарождения в верхней мантии до становления рудного тела в осадочной толще. Изучение изотопного состава углерода во всех этих соединениях, проведенное автором, показало, что при стабильных эндогенных условиях кристаллизуются монокристаллы алмаза октаэдрического габитуса с $\delta^{13}\text{C} = -7\%$, при резких колебаниях условий роста в глубинных условиях образуются поликристаллические формы алмаза с $\delta^{13}\text{C}$ от -4 до -10% и в коровых условиях кристаллизуются кубические разновидности алмазов с $\delta^{13}\text{C}_{\text{ср.}} = -18\%$. Небольшие изменения изотопного состава углерода алмазов связаны с колебаниями Т и Р в процессе кристаллизации, а также находятся в прямой связи с условиями осаждения углерода на грань алмаза. Неоднородность первичного изотопного состава исходного углерода мантии и возможное естественное облучение алмазов могут также привести к небольшим колебаниям их изотопного состава. Более широкий диапазон изменения величины $\delta^{13}\text{C}$ алмазов связан с влиянием промежуточных камер, которые образуются при движении кимберлитовых расплавов в кристаллических породах фундамента платформы и, возможно, в осадочной толще. Из них магма может ассимилировать углерод иной изотопной формы. В то же время кристаллизация алмазов при расщеплении CH_4 приводит к существенному фракционированию изотопов углерода, т.е. роль газовой фазы в формировании широкого спектра значений $\delta^{13}\text{C}$ алмазов является, по нашему мнению, ведущей. Изотопный состав углерода изученных графитов из кимберлитов полностью отражает картину распределения изотопов в алмазах за исключением группы дисперсно-рассеянного графита, который по изотопному составу углерода ($-21,0\%$) был почти идентичен муассаниту ($-22,6\%$), а последний оказался близок по

изотопному составу углерода к тонкодисперсному углероду метеоритов ($-24,0\%$).

Рассеянные битумы и сырая нефть были на редкость идентичными по изотопному составу углерода независимо от того, где они были отобраны – из эндогенных минералов, из ксенолитов глубинных пород, из кимберлитов или же из контактовых кальцитов и вмещающих пород. Очевидно, условия их образования достаточно близки и связаны не только с осадочным комплексом пород. Можно предположить, что на какой-то стадии становления трубок взрыва происходил абиогенный синтез углеводородов в кимберлитовом процессе.

Изотопный состав углерода кальцитов предположительно магматического происхождения, отобранных из ксенолитов перидотитов и эклогитов, а также из цемента кимберлита, был в среднем равен -7% , т.е. был близок к глубинным алмазам, графиту и эндогенной CO_2 . Мелкие жилки кальцитов из кимберлитов имели $\delta^{13}\text{C}$ от -7 до -12% , а крупные жильные образования кальцитов обогащались легким изотопом углерода до еще больших значений. Это объясняется их неоднократным перестроением при формировании кимберлитового тела, что доказано экспериментально; возможно, в формировании изотопного состава углерода кальцитов принял участие углерод битумов и метана.

Изотопный состав углерода CH_4 и CO_2 , извлеченных из эндогенных минералов и из закрытых пор кимберлитов, явно говорит об эндогенных условиях их образования. Спонтанные газы из источников на дне карьеров разрабатываемых месторождений по изотопной и химической характеристике скорее всего принадлежат к газо-нефтяным залежам, которые прорываются кимберлитовыми телами или находятся в околотрубочном пространстве с некоторыми компонентами глубинных газов, на что указывает повышенные значения H_2 и He и изотопный состав метана и его гомологов.

ИЗОТОПНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЛУБИННОЙ (МАНТИЙНОЙ) УГЛЕКИСЛОТЫ

Г.И.Буачидзе

Сектор гидрогеологии АН ГССР, г.Тбилиси

На сегодняшний день повсеместно принята концепция глубинного происхождения углекислоты, связанной с вулканическими процессами, которая поднимается в верхние части земной коры по ослабленным зонам. Изотопный состав углерода углекислоты является интегральной величиной, которая формируется путем смешивания "коровой" составляющей (результат термометаморфизма карбонатсодержащих пород) и мантийной составляющей. На основании совместного рассмотрения геологических условий и изотопных данных по всему миру (более 300 анализов) была проведена попытка дифференцировать среднюю величину изотопного состава глубинной (вулканической) углекислоты $\delta^{13}\text{C}$ около -7% и установить величину отношений ее составных частей.

Об изотопном составе углерода мантии можно судить лишь по косвенным данным. К ним относятся, во-первых, данные по углистым хондритам, среднее значение которых составляет -11% . В различных ювенильных образованиях, в которых заведомо участвует мантийная углекислота, эта последняя имеет значение $-11-12\%$. Крайнее значение для газов вулканических областей, где нет карбонатных отложений, по многочисленным данным, составляет -12% . Та же величина встречается в зонах глубинных разломов в областях распространения гранитов. Наконец, Г.Крейг, при решении обратной задачи Викмана, вычисляет "первичную", "изверженную" составляющую углекислоты со средним $\delta^{13}\text{C} = -12\%$. Эта величина и принята нами как характерная для мантии.

Используя формулу средневзвешенных величин, можно рассчитать соотношения метаморфогенной и мантийной составляющих. Предварительные подсчеты показывают, что в Кавказском регионе превалирует метаморфическая углекислота (примерно вдвое), но в планетарном масштабе на современном этапе развития земной коры превалирует углекислота, которая дегазируется из мантии.

ГЕОХИМИЯ ЭНДОГЕННОЙ УГЛЕКИСЛОТЫ В СВЕТЕ ИЗОТОПНЫХ ДАННЫХ

О.И.Кропотова, М.А.Бобров, М.И.Кучер, В.В.Власов

МГРИ им. С.Орджоникидзе, г.Москва

Как известно, широко обсуждается вопрос об изотопных характеристиках эндогенных форм углерода и, в особенности, его окисленных форм. Проведенные за последние 15 лет анализы изотопного состава газов эндогенного и экзогенного генезиса в изотопной лаборатории МГРИ позволяют сделать некоторые обобщения по этому поводу. Применение метода изотопного анализа углерода позволило идентифицировать первичный земной углерод, исходя из метеоритной гипотезы образования Земли. В процессе образования оболочек Земли углерод претерпевает неоднократные превращения и изменения изотопного состава. Химизм процессов выноса углерода из мантии в кору можно представить себе как окисление углерода пород водой. В этом процессе заключена возможность изотопного фракционирования в ряду от исходного элементарного углерода к его газовым соединениям.

Теоретическое рассмотрение системы C-H-O и расчет состава равновесной со свободным углеродом газовой фазы показывает, что при низких температурах последняя почти целиком состоит из CO_2 , и что роль её в существенно глубинных условиях достаточно высока. Экспериментальное изучение изотопного разделения углерода при реакциях взаимодействия графита с водой подтвердило теоретическую возможность изотопного разделения в гетерогенной системе углерод-вода.

Изучен изотопный состав широкого круга природных образований, так или иначе связанных с углекислотой: эндогенные формы углерода (алмазы, муассонит, углерод изверженных пород) и изотопный состав углеро-

да газовой фазы газовой-жидких включений в изверженных породах, $\delta^{13}\text{C}$ газов вулканов, газов спонтанного выделения в зонах разломов и сейсмоактивных зон и т.д. Обобщение полученных результатов по изотопному составу углекислого газа природных газов и экспериментальные работы по окислению углерода водой позволяют утверждать, что нет существенных доказательств ошибочности изотопной характеристики углерода эндогенной CO_2 , как -7% .

ИСТОЧНИКИ УГЛЕКИСЛОТЫ ЭНДОГЕННЫХ КАРБОНАТОВ ПО ДАННЫМ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА (В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ДЕГАЗАЦИИ МАНТИИ)

В.Н.Кулешов

ГИН АН СССР, г.Москва

Большую помощь в решении проблемы дегазации мантии Земли может оказать изучение происхождения и источника вещества глубинных карбонатов. Если допустить, что из мантии происходит выделение свободной CO_2 , то на своем пути к земной поверхности углекислота может фиксироваться в различных соединениях, и прежде всего в карбонатах. В крайнем случае мантийная углекислота достигает земной поверхности в виде CO_2 вулканических газов и других газовых проявлений, связанных с глубинными разломами. Надежные критерии в этом отношении может дать изучение изотопного состава углерода и кислорода карбонатов глубинного происхождения.

Детальное изучение изотопного состава углерода и кислорода различных глубинных карбонатов: метаморфические карбонаты, карбонаты кимберлитов и карбонатиты, показывает, что они характеризуются довольно большим разбросом значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, перекрывающим области как изотопно тяжелых значений: $\delta^{13}\text{C} \approx 0$; $\delta^{18}\text{O} = +25 - +30\%$, характерных для осадочных карбонатов, так и область легких величин: $\delta^{13}\text{C} = -6 - -8\%$ и ниже (вплоть до -12%); $\delta^{18}\text{O} = +6 - +10\%$. Последние обычно приписываются углекислоте мантийного происхождения.

Имеющиеся изотопные данные и характер их распределения позволяет утверждать, что практически все высокотемпературные карбонаты представляют собой линию смешения карбонатного вещества из двух различных источников с разным исходным изотопным составом. Одним из них обязательно служит изотопно тяжелое вещество циклического происхождения, которое в той или иной степени заимствуется из исходно осадочных карбонатов вмещающего разреза. Другим источником является изотопно легкая углекислота глубинного происхождения. Согласно нашим данным, изотопный состав углерода CO_2 этого источника должен быть не выше $-12 - -10\%$, что гораздо ниже ныне принимаемых для углерода мантии (-7). Из этого следует, что 1) либо значение $\delta^{13}\text{C} = -7\%$ не отражает изотопный состав углерода мантии, либо 2) так называемая изотопически легкая, глубинная CO_2 имеет не мантийное, а коровое проис-

хождение и представляет с бой автономный "резервуар" изотопно легкой углекислоты. Детальный анализ этой проблемы позволяет отдать предпочтение второму предположению.

Роль мантийной углекислоты в процессе глубинного карбонатообразования на сей день достоверно оценить невозможно. Ее участие в образовании глубинных карбонатов не исключается, но по-видимому играет подчиненную роль, так как подавлено более мощным процессом смешения корового вещества из двух источников. Приведенные рассуждения и выводы применимы и для выяснения происхождения свободной углекислоты как в газовой-жидких включениях глубинных пород, так и CO_2 вулканических газов.

ОСОБЕННОСТИ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ ПРИ ПРОЦЕССАХ ГРАНИТООБРАЗОВАНИЯ (ПО ДАННЫМ ИЗОТОПИИ УГЛЕРОДА)

М.И. Кучер, МГРИ им. С.Орджоникидзе, г. Москва;

В.М. Шашкин, ЦНИГРИ, г. Москва

Дополнительную информацию относительно процессов дегазации Земли в районах палингенового гранитообразования дает изучение изотопного состава углерода. Рассматриваются специфические черты этих процессов на примере гранитоидов метаморфогенных комплексов и гранитов вулканоплутонических ассоциаций некоторых районов Советского Союза (см. таблицу I).

В составе метаморфогенных комплексов, вмещающих протерозойские гранитоидные массивы, широким распространением пользуются карбонатные и углеродсодержащие метаморфические образования. Гранитные массивы этих комплексов в той или иной степени расланцованы и представлены гранитогнейсами. Большинство исследователей связывает их формирование с процессами гранитизации. Изученные граниты вулканоплутонических ассоциаций представлены лейкократовыми биотитовыми гранитами, прорывающими терригенные толщи верхоянского комплекса.

Определение изотопного состава углерода производилось отдельно для углекислоты, выделенной в интервале температур до 500° , $500-700^\circ$ и $750-780^\circ$. В последнем случае углекислота выделялась из микровключений после истирания проб. Методика подготовки проб к анализу и выделения CO_2 описана нами ранее. Как следует из приведенной таблицы, углерод углекислоты гранитоидных образований метаморфогенных комплексов характеризуется повсеместно облегченным изотопным составом углерода, близким к величине $\delta^{13}\text{C}$ углистого вещества. Принимая во внимание коровую природу изученных образований можно сделать вывод, что в формировании флюидного режима процессов метаморфогенного гранитообразования большую роль играет углекислота, образующаяся за счет окисления углистого вещества метаморфических пород. Углерод карбонатных образований является, по-видимому, инертной формой углерода при этих процессах. Величина $\delta^{13}\text{C}$ углекислоты лейкократовых биотитовых гранитов

вулканоплутонических ассоциаций также характеризуется облегченным изотопным составом углерода: это связано с формированием палингеновых магм за счет переплавления углеродсодержащих толщ верхоянского комплекса (Кучер и др., 1983). Некоторое утяжеление изотопного состава углерода CO_2 (в отдельных случаях до -12‰) вероятно обусловлено большей долей участия мантийных флюидов в процессах гранитообразования.

Таким образом, особенности изотопного состава углерода свидетельствуют в пользу того, что при процессах дегазации Земли, связанных с гранитообразованием, углерод углистого вещества характеризуется более высокой подвижностью по сравнению с углеродом карбонатов.

Изотопный состав углерода углекислого газа гранитных комплексов некоторых районов Советского Союза

Порода	Место отбора	Условия извлечения CO ₂ , T°С		
		до 500	500-700	*750-780
I. Гранитоиды метаморфогенных комплексов				
Куандинский комплекс РР _I	Алданский щит	-17,7	-22,9	-
То же	" "	-20,5	-24,4	-
"	" "	-15,8	-22,8	-
"	" "	-	-23,7	-
"	" "	-19,3**	-	-
"	" "	-	-20,9	-22,2
				-22,9
Гранитогнейсы	Енисейский	-	-27,2	-17,7
"	кряж РР ₂	-	-	-
"	Северный Тянь-	-	-	-21,9
"	Шань РР ₁	-	-	-
"	То же	-21,5	-18,8	-
2. Граниты вулканоплутонических ассоциаций				
Омукчанский комплекс	ОЧВП	-22,4	-19,7	-
" "	ОЧВП	-26,2	-17,74	-
Охотский комплекс	ОЧВП	-20,8	-16,72	-

* Углекислота извлекалась из предварительно истертых проб
** Значение $\delta^{13}\text{C}$ получено для объединенной пробы

ОБ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ
МИНЕРАЛОВ ПРОДУКТИВНЫХ СТАДИЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ

В.А.Коваленкер, М.И.Новгородова, Л.П.Носик

ИГЕМ АН СССР, г.Москва

Изучены соотношения между содержанием элементов-примесей (Au, Ag, Sb, As и др.) и содержанием углекислоты, а также изотопным составом ее углерода в вакуолях кварца и пирита ранней продуктивной ассоциации на некоторых малоглубинных золоторудных месторождений и рудопроявлений Восточного Узбекистана (табл. I).

Полученные результаты и их интерпретация позволили сформулировать следующие положения.

1. Золотосодержащие продуктивные ассоциации формировались на фоне возрастающих концентраций углекислоты в растворах.

2. Установлена прямая корреляционная связь между содержанием золота и серебра в сульфидах и экстремальным значением изотопного состава углерода газа CO₂ из газово-жидких включений и сульфидной серы пиритов.

3. Максимум или минимум экстремальных значений изотопного состава углерода CO₂ вакуолей не всегда соответствует максимальным или минимальным значениям изотопного состава сульфидной серы пиритов.

4. Максимальное накопление золота в пирите происходит при его образовании в существенно восстановительных условиях.

Микропримеси, содержание углекислоты в вакуолях пиритов и изотопный состав углерода CO₂ и серы пиритов

Глубина взятия проб (м)	Химические элементы примеси	Концентрация элементов (г/т) на расстоянии от рудного тела в метрах (в пиритах)				
		рудное тело	0-2	2-5	5-10	10
100	Au	55	5,1	нб	6,6	нб
	Ag	260	260	33	31	10
	Sb	3600	80	350	250	140
	As	600	1700	300	370	840
	CO ₂	4800	1480	1300	3100	3000
	δ ¹³ C‰	-20,30	-30,13	-23,26	-28,54	-27,24
	δ ³⁴ S‰	+4,44	+2,84	+2,61	+5,19	+4,67

139,1	Au	нб	нб	нб	нб	нб
	Ag	28	32	20	32	-
	Sb	50	40	40	50	-
	As	100	230	210	200	-
	CO ₂	1000	800	2100	2400	-
	δ ¹³ C‰	-26,11	-33,00	-10,60	-9,40	-
	δ ³⁴ S‰	+4,14	+2,61	+4,44	+4,34	-
178,0	Au	18	нб	12	15	нб
	Ag	100	14	100	50	36
	Sb	90	нб	1600	270	64
	As	220	1600	1000	1470	200
	CO ₂	2200	2100	3600	3700	2060
	δ ¹³ C‰	-30,00	-30,58	-28	-24,23	-33,00
	δ ³⁴ S‰	+5,20	+2,84	+2,18	+2,61	+4,75
207,5	Au	нб	5,2	нб	нб	нб
	Ag	260	14	31	5	9
	Sb	480	40	48	20	40
	As	170	3000	1400	1700	1240
	CO ₂	1400	1000	1800	1700	1760
	δ ¹³ C‰	-18,96	-26,21	-23,87	-30,97	-29,35
	δ ³⁴ S‰	+5,44	+4,88	+5,43	+3,18	+5,75
281,5	Au	нб	-	2,4	нб	нб
	Ag	40	-	36	20	6
	Sb	85	-	120	78	50
	As	30	-	2000	1440	1800
	CO ₂	1000	-	1200	1000	1400
	δ ¹³ C‰	-28,60	-	-20,02	-27,00	-24,21
	δ ³⁴ S‰	+2,61	-	+7,11	+4,22	+3,21
331,5	Au	17	нб	10	нб	-
	Ag	40	32	36	16	-
	Sb	1100	56	260	53	-
	As	300	1100	260	2800	-
	CO ₂	2700	2000	2800	1700	-
	δ ¹³ C‰	-25,21	-31,37	-22,34	-29,14	-
	δ ³⁴ S‰	+5,55	+3,18	+7,56	+5,86	-

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИСТОЧНИКА МИНЕРАЛООБРАЗУЮЩЕГО РАСТВОРА

Л. П. Носик

ИГЕМ АН СССР, г. Москва

Изотопный состав химических элементов зависит от источника вещества, физико-химических условий образования минералов и уровня достижения равновесия в минералообразующем растворе. При определении изотопного состава источника вещества, участвующего в процессе минералообразования, необходимо в первую очередь установить степень достижения равновесия при образовании минералов, а затем учесть изменения величины δ^x , связанные с физико-химическими условиями минералообразования.

Степень достижения равновесия при образовании минералов в общем случае определяется как $\frac{\Delta \delta^x}{|\Delta \delta_K^x| + \Delta \delta_T^x} \cdot 100\%$,

где $\Delta \delta^x$, $\Delta \delta_K^x$, $\Delta \delta_T^x$ — результирующий, кинетический и термодинамический изотопные эффекты, а для химических элементов, содержащих более трех изотопов (O^{16} , O^{17} , O^{18} , S^{32} , S^{33} , S^{34} , S^{36} и др.), по отношению $\delta^x(\delta^{17}O/\delta^{18}O, \delta^{33}S/\delta^{34}S, \delta^{34}S/\delta^{36}S$ и др.), которое в зависимости от уровня достижения равновесия изменяется от равновесного значения до $\pm \infty$.

Равновесное фракционирование изотопного состава химических элементов источника вещества, связанное с физико-химическими условиями образования минералов, контролируется температурой и концентрацией химических элементов с разной степенью их окисленности в минералообразующем растворе, которые, как правило, не поддаются определению. В этих случаях изотопный состав химических элементов в минералах отличается от изотопного состава источника вещества на величину, равную $m_B \Delta \delta_{A-B}^x$, которая при уменьшении относительного содержания (м) менее окисленной компоненты (В) или увеличении температуры процесса минералообразования стремится к нулю.

Изотопный состав источника углерода соединений, входящих в вакуоли и дефекты кристаллической структуры минералов, устанавливается исходя из измеренного изотопного состава углерода соединений и их содержаний по уравнению изотопного баланса как

$$\delta^{13}C_{\text{источ}} = m_{CO_2}^{2-} \delta^{13}C_{CO_2^{2-}} + m_{CO_2} \delta^{13}C_{CO_2} + \dots + m_{CH_4} \delta^{13}C_{CH_4},$$

где $m_{CO_2^{2-}} + m_{CO_2} + \dots + m_{CH_4} = 1$.

Изотопный состав источника серы оценивается исходя из изотопного состава углерода соединений и их концентраций в вакуолях и изотопного состава серы, входящих в состав минералов, а также диаграмм полей устойчивости различных соединений серы и углерода в координатах pH и Eh(f_{O_2}).

Изотопный состав источника кислорода и других химических элементов, содержащих более двух изотопов при уровне достижения равновесия

50–60% совпадает с изотопным составом химических элементов в минералах и не зависит от содержания соединений в минералообразующем растворе. Такой уровень может быть пересчитан для кислорода по уравнению $\frac{\Delta \delta^x}{|\Delta \delta_K^x| + \Delta \delta_T^x} \cdot 100\%$, исходя из отношения изотопов $\delta^{17}O$ к $\delta^{18}O$ и температуры образования минералов.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ ПОРОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗОТОПОВ $\delta^{13}C$, $\delta^{17}O$, $\delta^{18}O$ (НА ПРИМЕРЕ КАДЖАРАНА, АрмССР)

Л. П. Носик, В. П. Капсамун

ИГЕМ АН СССР, г. Москва

В пределах Каджаранского рудного района выявлены породы гибридного генезиса, по текстуре и петрохимическим особенностям аналогичные габбро. Они образовались вокруг останцов кровли вулканитов основного и среднего состава. При исследовании разреза, охватывающего зоны приконтактных гранодиоритов (Б/3) и гибридных габброидных пород (Б/2), установлено, что в указанной последовательности содержания Fe_2O_3 , FeO , MgO , MnO , CaO , TiO_2 увеличиваются, а количества Na_2O , K_2O и SiO_2 уменьшаются. В этом же направлении уменьшается отношение $Fe_2O_3 : FeO$. Подобное изменение химического состава обусловлено ассимиляцией гранитоидной магмой базальтовых порфиритов кровли (Капсамун, 1982). При этом увеличение содержания FeO и Fe_2O_3 в гибридных породах может свидетельствовать о возрастании фугтивности кислорода в них по сравнению с внедряющимся расплавом, а уменьшение величины отношения $Fe_2O_3 : FeO$ — об ослаблении окислительных свойств магмы в данных конкретных условиях.

С целью выяснения причин, приводящих к увеличению содержаний FeO , Fe_2O_3 и одновременно к уменьшению их отношений ($Fe_2O_3 : FeO$) в указанных выше породах при процессах контаминации и ассимиляции нами были использованы изотопные методы, которые базировались на результатах измерений изотопного состава углерода C , CO_2 , CO_3^{2-} и их содержания в вакуолях и дефектах кристаллической структуры минералов, а также общего изотопного состава кислорода $\delta^{17}O$ и $\delta^{18}O$ в породах (таблица).

Изотопный состав углерода и кислорода (в ‰) и содержание углерода (в мг) в 100 мг породы

№ обр.	$\delta^{13}C_{CO_2}$	$\delta^{13}C_c$	m_{CO_2}	m_c	$\delta^{18}O$	$\delta^{17}O$	$\delta^{17}O/\delta^{18}O$
Б/1	-16,8	-30,2	0,65	0,37	+8,1	+5,6	0,69
Б/3	-15,2	-27,4	0,62	0,65	+5,1	+3,2	0,63
Б/3	-13,8	-24,5	0,55	0,69	+3,6	+2,2	0,61
Б/4	-12,7	-24,3	0,54	0,72	+3,1	+1,7	0,55
629	-11,8	-23,9	0,25	0,74	+3,5	+1,9	0,55

Б/1 - базальтовые порфириты (ксенолит); Б/2 - габбро гибридные; Б/3 - гранодиориты в зоне контакта с габбро гибридными; Б/4 - гранодиорит в 20 см от контакта с ксенолитом; 629 - гранодиорит в 1,5 км от ксенолита.

Проведенные исследования позволили установить следующее.

1. Вновь образованные породы формировались в неравновесных окислительных условиях для углерода. При этом в процессе ассимиляции базальтовых порфиритов кровли происходило закономерное увеличение окислительных свойств внедряющегося гранитоидного расплава.

2. Гибридные габбро формировались при неравновесных условиях, так как $\delta^{17}O/\delta^{18}O$ больше 0,5. Степень неравновесности кристаллизации расплава возрастала от гранодиоритов к гибридным габбро и базальтовым порфиритам, о чем свидетельствует увеличение отношения $\delta^{17}O/\delta^{18}O$.

3. Неравновесные условия кристаллизации магмы обуславливают закономерное изменение отношения $Fe_2O_3 : FeO$ в породах.

4. Гранитоидный расплав при контактации обогащается тяжелым изотопом кислорода (^{18}O) за счет смешивания с кислородом пород кровли. Вынос преимущественно легкого изотопа кислорода (^{16}O) из вмещающих пород в гранитоиды приводит к явному уменьшению $\delta^{18}O$ в приконтактовой зоне, где доминировали окислительные условия.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ФЛОИДОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ПРЕОБРАЗОВАНИИ ГЛУБИННЫХ ПОРОД, В СВЕТЕ ИЗОТОПНЫХ ДАННЫХ

Б.Г.Покровский

ГИН АН СССР, г.Москва

Отношения $^{18}O/^{16}O$ и D/H в породах земной коры и мантии существенно различны. Это позволяет эффективно использовать изотопный состав кислорода и водорода для выявления участия корового вещества

и в особенности вод гидросферы в магматических и постмагматических процессах.

Доминирующая роль вод поверхностного происхождения в гидротермальных системах областей современного вулканизма в настоящее время не вызывает сомнений. Характерные отклонения $\delta^{18}O$ и δD от мантийных значений, которые свидетельствуют о высокотемпературном (до 600°C) взаимодействии с поверхностными водами, обнаружены в породах, сформированных в зонах спрединга и гранитных интрузиях различного возраста. Глубинный метасоматоз под воздействием коровых растворов рассматривается как наиболее вероятное объяснение вариаций изотопного состава кислорода, водорода и стронция в островодужных и щелочных магмах.

Низкотемпературная гидратация мантийных пород в субаэральных условиях может не сопровождаться существенными петрохимическими изменениями. Примером такого процесса служит массовая "петельчатая" серпентинизация гипербазитов, которая, как показывают изотопные данные, протекает под воздействием вод атмосферного происхождения.

НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

П.Н. Кропоткин

ГИН АН СССР, г. Москва

После 1976 г. (когда проводился симпозиум по дегазации Земли и геотектонике) появилось много данных, подтверждающих широкое распространение процессов углеводородной с водородом, гелием и азотом дегазации Земли и указывающих на неорганическое происхождение нефти. В значительной части эти данные были обобщены в работах акад. В.Б. Порфирьева, который подчеркнул перспективы нефтегазоносности некоторых участков кристаллического фундамента, где массивные породы приобретают необходимые коллекторские свойства вследствие трещиноватости и раздробления или образуют древние коры выветривания.

Истечение метана и других углеводородных газов, ранее известное на Балтийском щите (Хибинский и Ловозерский массивы на Кольском полуострове, рудники Швеции), Канадском щите (в районе озер Верхнее и Гурон горючий газ с глубины 400 м от поверхности докембрийского фундамента) и в Австралии (метановые газы на руднике Кальгурли, водородные с 7% CH_4 с глубины 260 м на полуострове Йорк), зарегистрировано теперь на выступах докембрийского фундамента в Африке и на Сибирской платформе (водород и метан в Непском своде). Масштабы ежегодного поступления метана из рудников Южной Африки (Витватерсранд) оцениваются в 500 млн. м^3 . Метановые газы вместе с парогидротермами поднимаются из архейского фундамента в рифте озера Навоши (Кения).

Углеводородные газы и легкие маслянистые битумы встречены в двух скважинах (на глубинах до 2000–3000 м от поверхности фундамента): в докембрийских гранитах и метаморфических породах Татарского свода. В Кольской скважине, пробуренной на 12 км в породах фундамента, отмечено вместе с метаном и тяжелыми углеводородами повышенное содержание гелия и водорода; роль водорода возрастает с глубиной. Промышленные залежи нефти в породах фундамента на глубине в несколько сот метров от его поверхности в условиях, которые исключают возможность подтока нефти из осадочных пород, известны в Африке (Алжир, гигантское месторождение Ауджила в Ливии), в США и СССР (Тиман, граниты палеозойского фундамента на полуострове Мангышлак). Отмечены притоки газоконденсата и нефти из трещиноватых пород фундамента в скважинах на Непско-Ботубинской антеклизе (Сибирская платформа), нефти в некоторых рудниках Швеции.

Убедительным доказательством поступления углеводородов из мантии

являются процессы дегазации вблизи таких глубинных разломов, которые рассекают дно океана в местах, где поверхность мантии залегает не глубже 5–8 км от поверхности дна. Интенсивное истечение водорода и метана вместе с гелием мантийного происхождения и гидротермами (400°C) наблюдается в рифте Восточно-Тихоокеанского поднятия на 21° с.ш. На продолжении этой системы разломов, в Калифорнийском заливе, молодые базальтоиды содержат повышенное содержание углеводородных газов (до C_4 и выше) и водорода, а также нефть, связанную с гидротермами. Еще более интенсивное истечение метана (с 0,5% этана и пропана) происходит в Карибском море вблизи глубинного разлома, который отделяет подводный хребет Джамайка от желоба Кайман.

Водород и тяжелые углеводороды обнаружены в большом количестве в придонных водах над разломом впадины Лау в Тихом океане, битуминозное вещество – в ультраосновных породах Индоокеанского хребта и в других районах.

Исследование термодинамических равновесий между различными компонентами нефти уже давно привело к оценкам температуры их образования: от 150 до 350°C (С.Н. Обрядчиков, А.Б. Фрост). Такие температуры не достигаются в пределах осадочного чехла в большинстве нефтегазоносных бассейнов на тектонических платформах. Это указывает на формирование компонентов нефти в фундаменте или в мантии. О столь же глубинном происхождении свидетельствует аномально высокое пластовое давление газа и поровой жидкости, часто регистрируемое в нефтегазоносных слоях, залегающих глубже 2–5 км. Оно связано с вторжением глубинных сжатых газов CH_4 , N_2 (К.А. Аникиев, Б.М. Валяев).

Термодинамические расчеты и эксперименты, выполненные при давлениях до 65 кбар и температуре до 1700°C , показали, что высокое давление не только подавляет термическую деструкцию углеводородов, но и стимулирует их циклизацию, полимеризацию и конденсацию. В пределах осадочного чехла, напротив, углеводороды подвергаются постоянной деструкции, окислению и пр. (Э.Б. Чекалук). Таким образом, отпадают все сколько-нибудь существенные возражения против теории неорганического происхождения нефти и горючих газов, намеченной Д.И. Менделеевым столет тому назад и получившей развитие в трудах Н.А. Кудрявцева и его последователей.

ГЕОДИНАМИКА И МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ, ИХ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ

О.Л. Кузнецов, В.П. Царев, В.Д. Нартиков, Г.М. Гигашвили
ВНИИГГ, г. Москва

Горные породы – осадочные и изверженные, в том числе и тонкодисперсные, представляют собой твердый остов из контактирующих между собой зерен и пластин минералов. При деформациях пород под действием тектоно-сейсмических процессов происходят смещение и взаимодействие

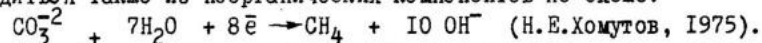
зерен, их деформирование, развитие и смыкание микротрещин на контактах.

Эти явления инициируют протекание целого ряда очень важных для геохимии физико-химических процессов, реализующихся при температурах начиная с первых десятков °С. К их числу относятся генерация органических радикалов (из органического вещества), неорганических ион-радикалов, эмиссия экзоелектронов (Царев, Кузнецов и др., 1981). Все эти образования обладают высоким восстановительным потенциалом до $E^0 = -2,77$ в и, участвуя в электрохимических реакциях, протекающих в горных породах, способствуют образованию в условиях низких пластовых температур продуктов, характерных для высокотемпературных процессов.

К числу некоторых важных реакций относятся следующие: 1) преобразование ископаемого органического вещества (ОВ), включающее его гидрирование, генерирование углеводородов, карбонизацию; 2) восстановление углерода из CO_3^{2-} , HCO_3^{-} , CO_2 и водорода из H_2O до углеводородов; 3) восстановление металлов из окислов и солей до самородных форм; 4) восстановление серы из сульфатов до сульфидных форм; и многие другие.

Лабораторное экспериментальное изучение процессов преобразования ископаемого ОВ при слабых упругих деформациях образцов, имитировавших воздействие тектоно-сейсмических факторов на горные породы, позволило доказать, что при температурах 20–70°C осуществляется процесс нефтегазообразования, а также происходит метаморфизм исходного ОВ (А.А.Трофимук, Н.В.Черский, В.П.Царев и др., 1981).

При деформациях горных пород генерация углеводородов может производиться также из неорганических компонентов по схеме:



В этой реакции символом CH_4 обозначена широкая гамма углеводородов. При использовании в качестве доноров углерода карбонатов и CO_2 , а водорода H_2O и участии широко распространенных природных соединений, прошедших механическую активацию, она осуществляется в лабораторных условиях при температурах 20–90°C.

Механическая активация, имитировавшая воздействие тектоно-сейсмических факторов на горные породы, осуществлялась путем пересыпания исходных образцов во вращающихся ампулах или при их слабом упругом деформировании в условиях постоянных нагрузок с частотами до 30 Гц.

Исследовались следующие системы: $\text{FeCO}_3 + \text{FeS}_2 + \text{SiO}_2$; $\text{FeO} + \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{SiO}_2$; $\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3$; SiO_2 . Их контактирование с морской водой (содержащей CO_3^{2-}), а также с CO_2 осуществлялось в процессе механического активирования или после его завершения. Интенсивность подвода механической энергии составляла $1,5 \cdot 10^{-4}$ кал/г.с, что примерно соответствует природным условиям.

Были получены следующие результаты. В системе $\text{FeCO}_3 + \text{FeS}_2 + \text{SiO}_2$ при температурах до 90°C синтезирована широкая гамма газообразных углеводородов вплоть до C_5 , в том числе и непредельных. Полу-

чены также жидкие углеводороды. Выход в течение десятков суток жидких углеводородов составлял доли грамма на 1 кг образца. В системе $\text{FeO} + \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{SiO}_2$ получены газообразные углеводороды вплоть до C_6 . При этом преобладали непредельные разности. Выход углеводородных газов за несколько суток составлял до 200 см³ на 1 кг образца. В системе $\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3$ образовывались углеводороды вплоть до C_3 . Механически активированный SiO_2 при контакте с морской водой продуцировал углеводороды вплоть до C_3 . Таким образом, при температурах 20–90°C и при слабой механической активации из карбонатов и воды, при наличии или отсутствии восстановителей и участии свободных электронов, а также ион-радикалов осуществлена генерация углеводородов.

Имеется большое количество лабораторных данных (К.П.Тиссен, 1981), указывающих на существенное снижение барьеров для реакций восстановления металлов в механически активируемых системах. При этом происходит осаждение металлов из электролитов без действия электрического поля за счет генерирования трибоплазмы (свободных электронов). Зафиксировано восстановление SiO_2 до Si при комнатных температурах. Реакции $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{C} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{Fe}$ и $2\text{MgO} + \text{C} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{Mg}$ при механическом активировании реализуются при температурах соответственно на 290 и 450°C ниже, чем без активирования.

Приведенные данные показывают, что электроны, эмитированные минералами при механической активации, способны существенно изменить направление химических реакций, в том числе инициировать процессы образования самородных металлов в верхних горизонтах литосферы. Возможно, что очень важная для неорганической геохимии реакция $\text{SO}_4^{2-} \text{ водн.} + 9\text{H}^+ \text{ водн.} + 8\text{e}^- \rightarrow \text{HS}^- \text{ водн.} + \text{H}_2\text{O}$ также реализуется при тектоно-сейсмической активации горных пород. Сульфид-ион является осадителем халькофильных металлов, а зоны, где он генерируется, геохимическими барьерами.

Таким образом, имеются достаточные основания считать, что при тектоно-сейсмической активации горных пород их восстановительный потенциал резко возрастает и это стимулирует реализацию широкой гаммы специфических физико-химических процессов. Особо следует отметить возможность генерации углеводородов в верхних горизонтах земной коры из неорганических веществ при деформациях горных пород, в том числе и кристаллических. Это положение имеет исключительно важное значение для геологии нефти и газа.

В последнее время в континентальных кристаллических породах выявлены крупные субгоризонтальные зоны нарушений мощностью в несколько км и протяженностью в десятки и сотни км. Граница Конрада в отдельных случаях приурочена не к зонам литологических изменений пород, а связана с резкими изменениями термодинамического состояния массивов пород. Учитывая, что в пределах аномальных участков напряженного состояния в течение длительного времени происходит релаксация напряжений, т.е. осуществляется механическая активация пород под действием

тектонно-сейсмических процессов их, по-видимому, можно считать потенциальными участками генерации углеводородов. В связи с нарушенностью пород такие области могут являться местами аккумуляции и формирования скоплений нефти и газа. Поэтому можно предполагать, что структурные ловушки в пределах крупных субгоризонтальных нарушений представляют собой принципиально новые объекты для поисков нефти и газа.

Имеется много данных, подтверждающих факты формирования аномально восстановительных геохимических обстановок в пределах зон нарушений. Так, восстановленные формы углерода — углеводороды жидкие и твердые — в наибольших количествах в кристаллических породах приурочены к зонам нарушений в пределах Енисейского кряжа и др. складчатых областей (Р.М.Слободской, 1981). На Балтийском щите при глубоком бурении обнаружены геофизическими и геолого-геохимическими методами мощные флюидопроводящие разуплотненные зоны, в которых формируется специфическая восстановительная геохимическая обстановка, фиксируемая по сульфидной минерализации и повышенным содержаниям углеводородных газов и водорода (в буровом растворе и в закрытых порах пород). Очевидно, эти зоны в рудотенном смысле "живут" и в настоящее время, являясь зонами тектонической активизации, что подтверждается проявлениями гелийсодержащих флюидов в местах подсечения таких зон скважинами.

АСТЕНОСФЕРНОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Г.Н.Доленко, Э.Б.Чекалюк, В.В.Кододий, Ю.В.Стефаник

ИГиГТИ АН УССР, г.Львов

В разрезе Земли в настоящее время выделяются литосфера, объединяющая земную кору и верхнюю мантию, астеносфера (сейсмический волновод) на границе верхней и нижней мантии, мезосфера (нижняя мантия), внешнее ядро и внутреннее ядро Земли. Установлено также, что растяжение и раздвижение литосферы и формирование основных геотектонических элементов земной коры осуществляются вследствие воздействия конвективных течений мантии, зарождающихся на границе внешнего ядра Земли и нижней мантии и замыкающихся в астеносфере верхней мантии. Конвективные потоки обусловлены в основном гравитационной дифференциацией вещества. С ними выносятся летучие компоненты и легкоплавкие элементы из нижней мантии и концентрируются в астеносфере. В результате этого последняя становится очагом генерации различного рода геохимических процессов и источником магматических, вулканических и сопровождающих их тектонических движений литосферы (тектоносферы). В науке утвердилось мнение, что астеносфера является основным поставщиком вещества земной коры, гидросферы и атмосферы. Экспериментальные исследования (Лебедев, Кадик, Хитаров, 1971) показали, что одной из важнейших особенностей геохимической дифференциации мантийного вещества является накопление летучих компонентов H_2O , CO_2 , H_2 , H_2S и др.

Согласно термодинамической модели флюидного режима Земли А.А.Ма-ракушева и Л.Л.Перчука (1974), с ростом температуры состав флюидов упрощается: сложные соединения типа CO_2 , H_2O , CH_4 , C_2H_6 преобразуются в H_2 и CO , но давление оказывает обратное действие, способствуя образованию углеводородов CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} и др. Режимом высокого флюидного давления объясняется сохранность углеводородных соединений во включениях в минералах углистых метеоритов (хондритов), в которых содержание углеводородов достигает 5%.

По нашим представлениям, среди геохимических процессов в астеносфере, обуславливающих магматизм, минералообразование и рудогенез, имеют место также процессы генерации нефтяных углеводородов и формирование многокомпонентного состава природной нефти. Многолетние исследования в Институте геологии и геохимии горючих ископаемых АН УССР показали, что укомплектованная углеводородная система природной нефти образуется в высоковосстановительной ультраосновной минеральной среде, содержащей донаторы углерода и водорода (C , H_2 , H_2O , CO_2 , CH_4 и др.) при температурах от 1500 до 1900 °C и давлениях от 50 до 90 кбар. Такие термобарические условия, согласно современным представлениям, существуют в астеносфере мантии Земли.

Процесс синтеза углеводородных систем в условиях астеносферы мог происходить: газа при взаимодействии двуокиси углерода с водородом ($CO_2 + 2H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$) и, возможно, свободного углерода с водородом ($C + 2H_2 \rightarrow CH_4$); нефти при соединении углекислоты с водой в присутствии закиси железа как восстановителя ($2CO_2 + 3H_2O + 14FeO \rightarrow C_2H_6 + 7Fe_2O_3$). Дальнейшие химические преобразования способствовали формированию многокомпонентного углеводородного состава природной нефти. Допускается также возможность синтеза нефти из исходных CO_2 и H_2O в ультраосновной среде при высоких температурах и резком перепаде давления (в случае возникновения глубинных разломов) вследствие образования углеводородных радикалов CH , CH_2 и CH_3 из высвободившихся, после разрыва молекулярных связей, т.е. свободного углерода и водорода, и соединения кислорода с веществом основных пород. Структурные элементы (радикалы), взаимодействуя в разных соотношениях между собой, формировали различные углеводороды парафинового, нафтенового и ароматического группового состава. Отметим, что в недавнее время (Райнд, Кафпрей и др., 1980) при изучении магматических пород с помощью лазерной масс-спектрометрии зафиксированы углеводородные радикалы $C^+(12)$, $CH^+(12)$, $CH_2^+(14)$ и $CH_3^+(15)$.

Вычисление группового состава астеносферной нефти показало его зависимость от глубины генерации углеводородов. На относительно небольших глубинах астеносферы в равновесной системе содержится в основном метан. Далее, по мере возрастания глубины генерации, в составе углеводородов появляются гомологи метана, затем неопределенные соединения, нафтены и ароматика. На больших глубинах возникают кислородные, сернистые и азотистые соединения. Содержание определенной груп-

пы, углеводородов нефти сначала увеличивается с глубиной до некоторого максимального значения, а затем падает. Максимум содержания метана в зависимости от термобарических условий расположен на глубинах от 60 до 120 км, максимум содержания алканов соответствует глубинам 80–100 км, ниже преобладают нефтени и арены, т.е. прослеживаются отдельные фазы единого генетического процесса.

Во времени формирование очагов мантийной генерации нефти и газа связано с орогенными этапами геотектонического развития геосинклинальных областей, когда, в соответствии с новым учением о развитии геосинклиналей и расширении континентов, основанном на тектонике литосферных плит, океаническая кора, поддвигавшаяся под континент, достигала астеносферы мантии и активизировала в ней разного характера процессы, в том числе геохимические и геодинамические. В это же время в глубинных зонах литосферы возникали разломы, достигавшие поверхности земной коры. По ним нефть и газ проникали в осадочную оболочку тектонических условиях образовывались нефтяные, нефтеконденсатные и газовые залежи.

Образование нефтегазоносных провинций связано с наиболее подвижными геотектоническими элементами земной коры: предгорными прогибами и внутригорными впадинами геосинклинальных областей, платформенными склонами, примыкающими к геосинклиналям, и внутриплатформенными впадинами рифтогенного типа. Выделяются нефтегазоносные провинции герцинского, киммерийского и альпийского геотектонических циклов развития геосинклиналей и внутриплатформенных рифтогенных прогибов. В нефтегазоносных провинциях обособляются нефтеносные и газоносные районы, а в их пределах зоны нефтяного и газового накопления. Между теми и другими во многих случаях фиксируются районы с нефтеконденсатными и газоконденсатными месторождениями. Теория минерального синтеза нефти и газа в условиях астеносферы мантии Земли подтверждается современными данными изотопных исследований, гидрогеохимии, термобарогеохимии, космохимии, геологоразведочной и нефтегазопромысловой практики.

ДЕГАЗАЦИЯ ЗЕМЛИ И СТАНОВЛЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ГЕОСФЕРЫ

Б.А. Соколов, Ф.П. Мельников

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Глобальность распространения углеводородных соединений на Земле, их устойчивость и автономность существования по отношению к внешней среде, огромный энергетический потенциал, особенности химического состава и динамических свойств позволяют рассматривать всю совокупность битумов и углеводородных газов в земной коре в качестве самостоятельной углеводородной оболочки – углеводородной геосферы, или увосферы, Земли. Для увосферы характерно непрерывно-прерывистое рас-

пространение в верхних частях литосферы. Ее следует рассматривать как автономную целостную материальную систему, имеющую свой вещественный состав, физико-химические параметры существования, морфологическую выдержанность, специфическую внутреннюю конструкцию и соподчиненность отдельных слагающих ее элементов, историю и условия образования. Увосфера Земли характеризуется разной мощностью и неодинаковой концентрацией углеводородных соединений и скоплений в разных ее частях как по разрезу, так и по площади.

Увосфера Земли возникла на самых ранних стадиях существования Земли как результат взаимодействия основных ее оболочек: биосферы, гидросферы, литосферы и верхней мантии. Если участие в нефтегазообразовании линии биосфера – гидросфера – литосфера – увосфера в целом достаточно разработано, то линия верхняя мантия – литосфера – увосфера еще требует своего более детального изучения. Однако уже сейчас очевидно, что концентрация углеводородных скоплений тесно связана с зонами формирования осадочных бассейнов, отличающихся мощностью разреза не менее 5–10 км, скоростью осадконакопления свыше 80 м/млн. лет, значениями геотермического градиента более 3,5°C/100 м.

Согласно современным геотектоническим концепциям, формирование крупных осадочных бассейнов с отмеченными динамическими показателями было связано с конвекционными перемещением вещества в верхних частях мантии Земли, приводящим к ее подъему. Образуются так называемые мантийные диапиры, воздействие которых на земную кору приводит к ее дроблению, расколу, раздвигу, утонению. В результате формируются глубокие линейно вытянутые рифтовые и геосинклинальные прогибы, в которых относительно быстро накапливаются отложения большой мощности, испытывающие интенсивный прогрев за счет сравнительно небольшого расстояния от поверхности мантийного диапира, нагретого до температуры свыше 1200°C. Прогреву осадочной толщи способствует то обстоятельство, что за счет раздробленности земной коры, находящейся в условиях растяжения, возникают пути для вертикального перемещения флюидов, и по этим путям снизу вверх начинают перемещаться горячие флюидные потоки. Эти потоки, состоящие из струй пара воды, углекислого газа, водорода, гелия, метана, являются как продуктами дегазации вещества верхней мантии, так и газообразными продуктами, образованными осадочными породами нижних слоев осадочной толщи, находящимися в главной зоне газообразования, и газами метаморфических пород.

Высоконагретые флюидные потоки выступают как фактор теплопереноса и как мощное средство извлечения "зрелых" нефтяных углеводородов из нефтематеринских пород и перемещения их в коллекторские горизонты и ловушки. Роль вертикально направленных флюидных потоков становится все более очевидной после установления в рифтовых зонах Мирового океана крупных выходов горячих, до 350°C струй воды, несущих также водород, углекислый газ, метан, сульфиды и гидроксиды металлов.

Таким образом, в осадочных бассейнах нефтегазоносность определяется таким этапом развития этих бассейнов, когда соблюдается тройное правило: погружение отложений в обстановке растяжения консолидированной коры, их значительная мощность и интенсивный прогрев восходящими газоводяными потоками.

О ПРИРОДЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ РАЙОНА ТАЛЫШ-ВАНДАМСКОГО ГРАВИТАЦИОННОГО МАКСИМУМА

Ш.Ф. Мехтиев, Р.С. Надиров

Институт геологии АН АзССР, г. Баку

Расположенное в Куринской межгорной депрессии Талыш-Вандамское погребенное поднятие представляет собой субмеридионально протягивающуюся полосу погребенных вулканогенных пород, перекрытую мощной толщей осадочных пород молассовой формации.

В течение длительного времени дискутируется вопрос о природе Талыш-Вандамского погребенного поднятия. Были высказаны весьма противоречивые мнения по этому вопросу. Среди других мнений следует выделить мнение А.В. Мошавили (1982), который назвал этот район островной дугой, хотя к такому решению он пришел на основе небольшого фактического материала. Один из авторов настоящей работы (Р.С. Надиров) собрал, систематизировал огромный геолого-геофизический материал по этому району, что дало возможность не только подтвердить наличие здесь островной дуги, но и сделать ряд новых, имеющих важное теоретическое и практическое значение выводов. В свете этих представлений мы рассмотрели тектонику этой азербайджанской островной дуги и попытались оценить вопросы дегазации и нефтегазоносности этого района.

В пределах западной части Талыш-Вандамского поднятия обнаружены месторождения Мурадханлы и Зардоб, где залежи нефти расположены в корях выветривания вулканитов и в перекрывающих их осадочных отложениях эоцена, майкопа и чокрака. В плиоценовых отложениях над далеким восточным погружением Талыш-Вандамского погребенного поднятия расположено нефтяное месторождение Падар. Выяснение геологической природы этого погребенного поднятия позволило дать более обоснованное тектоническое районирование Куринской межгорной впадины и определить перспективные нефтегазоносные комплексы отложений.

Для выяснения природы этого погребенного поднятия был выполнен формационный анализ вулканитов этого тектоно-магматического тела. При этом отправной точкой исследования служил основополагающий тезис формационной методологии, что существует тесная фундаментальная связь между типом вулканизма и тектонотипом, в пределах которого этот тип вулканизма происходит. Исходя из этого была предпринята попытка определить тектонотип геологического тела, сложенного этими вулканитами. Для этой цели результаты силикатного анализа вулканитов Талыш-

Вандамского погребенного поднятия были обработаны на ЭВМ методом множественной корреляции. В результате была получена матрица корреляционных связей окислов основных петрохимических элементов анализированных вулканитов. Полученная матрица сравнивалась с матрицей значимых корреляционных связей основных петрогенных элементов вулканических комплексов, представляющих различные тектонотипы различных регионов мира. Результаты сравнения показали, что по корреляционным связям основных петрогенных элементов вулканиты Талыш-Вандамского погребенного поднятия наиболее приближаются к вулканитам островных дуг.

Исходя из истории геологического развития Кавказского сектора Альпийского пояса и образования Куринской межгорной впадины в результате закрытия океана Тетис, нами дополнительно были выбраны для сравнения три типа планетарных структурных элементов земной коры, по своему морфологическому типу, линейности, размерам и т.д. схожими с Талыш-Вандамским погребенным поднятием. Этими типами были срединно-океанические хребты, внутриокеанические острова и островные дуги. На диаграммы зависимости, построенные по окислам для каждого из этих океанических типов были нанесены результаты анализов вулканитов Талыш-Вандамского погребенного поднятия, которые также показали их принадлежность к вулканитам островодужного типа.

Как известно, характерной чертой островных дуг является наличие так называемых андезитовых линий, приуроченных к фронтальным дугам. Андезитовая линия четко прослеживается в пределах Талыш-Вандамского погребенного поднятия по восточной антиклинальной линии Караджалы-Сор-сор-Джарлы-Саатлы-Среднемуганская-Муганская моноклираль, где скважинами вскрыты вулканиты юрско-нижнемелового возраста и андезит-базальт-дацит-риолитового состава, что характерно для андезитовых линий островных дуг. Расположенная западнее антиклинальная зона Ами-рарх-Зардоб-Мурадханлы сложена вулканитами мелового возраста нормального, субщелочного и щелочного ряда (базальты, трахибазальты, трахиандезиты-базальты, трахиты и шошониты), что характерно для тыловых вулканических дуг. С востока на запад в вулканитах наблюдается равномерное увеличение содержания K_2O и уменьшение отношения Na_2O/K_2O . Такая зональность наблюдается в островных дугах в направлении от глубоководных желобов к окраинным морям. Кроме того, с восточной стороны Талыш-Вандамское погребенное поднятие четко очерчивается Западно-Каспийским глубинным разломом, выделяемым по геофизическим полям. По нашему мнению, изменение геофизических полей, по которым выделяют этот глубинный разлом, есть отражение тектонической брешки между надвигаемой и пододвигаемой плитами. При этом гравитационный максимум в восточной части Талыш-Вандамского погребенного поднятия отражает приподнятый край надвигаемой плиты, а наблюдаемый к востоку резкий минимум — участок аккреционной призмы и глубоководного желоба. Анализ гравитационных, магнитных и тепловых полей Талыш-Вандамского погребенного поднятия

бенного поднятия показал подобие конфигураций этих полей с конфигурациями соответствующих полей островных дуг. Рельеф поверхности Талиш-Вандамского погребенного поднятия по данным бурения и сейсморазведки аналогичен рельефу поверхностей островных дуг.

На основе анализа всего вышеизложенного и обобщения обширного геолого-геофизического материала по этому району нами делается вывод, что Талиш-Вандамское погребенное поднятие представляет собой островодужную систему.

Впервые проводится тектоническое районирование выделенной азербайджанской островной дуги и прилегающей части Куринской межгорной впадины с позиций тектоники плит. Вся область Кобыстана и впадин Нижнекуринской и Южного Каспия рассматривается как "океаническое окно" – реликт абиссального океанического ложа Тетиса, о чем свидетельствует и отсутствие в этом секторе гранитного слоя. Параллельно Западно-Каспийскому разлому, несколько восточнее его троектории выделяется зона глубоководного желоба. Зона самого Западно-Каспийского разлома рассматривается как зона аккреционной призмы. Антиклинальная зона по линии Караджалы-Сор-сор-Джарлы-Саатлы-Среднемуганская-Муганская моноклиналь выделяется как фронтальная вулканическая дуга, характеризующаяся андезитовой линией. Западнее протягивается тыловая вулканическая дуга по линии Амирах-Зардоб-Мурадханлы. Между фронтальной и тыловой дугами выделяется междуговой прогиб, сложенный вулканогенно-терригенными осадками нижнемелового возраста, залегающими на тыловом склоне фронтальной дуги. В южной Предталышской части существование тыловой вулканической дуги не наблюдается, а на тыловом склоне фронтальной дуги залегают сенонские отложения в карбонатной и терригенной фациях. Это, по нашему мнению, объясняется тем, что азербайджанская островная дуга на участке Саатлы-Сарханбейли разделяется Пальмиро-Апшеронским разломом, который следует рассматривать как трансформный разлом в теле океанической коры Тетиса, а на этом участке как трансформный разлом типа дуга – дуга. Разделение азербайджанской островной дуги этим трансформным разломом на северную, двухдужную, Саатлы-Курдамирскую и южную, однодужную, Предталышскую части следует объяснить различными скоростями спрединга блоков поддвигающейся океанической коры по сторонам Пальмиро-Апшеронского трансформного разлома. Евлах-Агджабеди́нский и Предталышские прогибы следует рассматривать как окраинные моря, имеющие первоначально единую историю образования и развития, а в последствии разделенных в результате сдвига по Пальмиро-Апшеронскому трансформному разлому.

Все вышесказанное заставляет по-новому взглянуть на природу вулканогенных и осадочных отложений этой островодужной системы. Выделяются самостоятельные структурно-фациальные комплексы окраинного моря, тыловой и фронтальной дуг, междугового прогиба, аккреционной призмы и глубоководного желоба, каждый из которых характеризуется своими специфическими вертикальными рядами формаций. Выделенные ком-

плексы находят свое подтверждение в разрезах скважин, вскрывших верхние участки этих рядов, что позволяет прогнозировать фациальные и структурные особенности неразбуренных участков и глубин, выделить в них потенциальные коллекторы, способные аккумулировать мигрирующие УВ. Примечательным является и тот факт, что вся площадь, охватывающая выделенную островодужную систему по газогеохимической зональности, относится к зоне дегазации углеводородных газов.

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ОФИОЛИТОВЫЙ ПОЯС И ПРОБЛЕМА ГЛУБИННО-БИОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НЕФТИ

М.Н.Смирнова, В.М.Бражник, В.В.Малышева

Грозненский нефтяной институт, г.Грозный

В результате изучения глубинного строения Терско-Каспийского прогиба нами выделен Северо-Кавказский офиолитовый пояс, разграничивающий мио- и эвгеосинклинальные зоны доюрского основания. Составляющие его серпентинитовые гипербазитовые массивы (Малкинский и Беденский) обнажаются на поверхности и характеризуются магнитными максимумами с интенсивностью + 200 нТл. В восточном направлении этот пояс прослежен по магнитным максимумам в районах Баксан, Эльдарово, Гудермес, Темиргое. Судя по интенсивности (+ 200 нТл – 400 нТл) и форме аномалий, магнитные максимумы вызваны массивами основных и ультраосновных пород, залегающих на глубине 12–16 км. На переходном этапе (триас-ранняя юра) над офиолитовым поясом возникла рифтовая структура с широким проявлением андезитового магматизма, на орогенном этапе – осевая зона Терско-Каспийского краевого прогиба.

Северо-Кавказский офиолитовый пояс, судя по данным ГСЗ на профиле Волгоград-Нахичевань, имеет мантийное заложение и характеризуется линейным расположением очагов глубоких землетрясений (Усть-Лабинское, 1926, $M = 5,5$, $h = 50$ км; Эльдаровское, 1912, $M = 5,7$, $h = 70$ км; Каспийское, 1935, $M = 6,0$, $h = 150$ км; и др.). Под ним наблюдается весьма специфическое глубинное строение с утонением гранитно-метаморфического слоя и подъемом мантии. Такая "возбужденная" мантия в сочетании с мощным прогибом, выполненным осадочными образованиями, свидетельствует о газовом дыхании мантии и наиболее благоприятных условиях аккумуляции углеводородов. Попытка увязать образование углеводородов нефтяного ряда с процессами серпентинизации оливина была сделана Л.Н.Еланским. Согласно уравнению Менделеева – Хесса, оливин, вода, кремнезем и уголекислота в глубинных условиях переходят в серпентин, гематит и углеводороды нефтяного ряда. Реакция идет с выделением тепла. Уравнение Менделеева – Хесса не подтверждено экспериментально и рассматривается как один из вариантов возможного хода глубинного гидротермального процесса.

Более реально предположить образование нефти за счет гидрогенизации органического углерода глубинным водородом. Выделение водорода

за счет дегазации мантии и ее отторженцев-гипербазитов доказывается вторжением водородных газов ($H_2 = 78-81\%$, $CH_4 = 9-11\%$, $H + Ar = 8-9\%$) в горных выработках Нижнего Тагила Уральского офиолитового пояса. Дальнейшая судьба эндогенного водорода и органического углеорода в глубоком осадочном бассейне связана с гидрогенизацией ОВ в определенных термодинамических и геохимических условиях. Решающую роль в этом процессе играют глубинные разломы, которые приводят к формированию углеводородов и их вертикальной и горизонтальной миграции в соответствующие структурные формы.

Непосредственно над офиолитовым поясом в приосевой зоне Терско-Каспийского прогиба находится Правобережное многопластовое месторождение с классическим распределением углеводородов: "сухих" газов в плиоцене ($CH_4 = 79,9 - 100\%$) газоконденсатных залежей в миоцене и легкой нефти в мезозое, что свидетельствует о генетическом единстве залежей нефти, вертикальной миграции и поступлении углеводородов снизу. Сравнение группового углеводородного состава чокракских нефтей месторождений Терско-Сунженской зоны показывает резкое преобладание на Правобережном месторождении парафиновой нефти - производной углеводородов метанового ряда.

ПРОГРЕСС В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПО НЕОРГАНИЧЕСКОМУ ПРОИСХОЖДЕНИЮ НЕФТИ И ГАЗА

Н.С.Бескровный
ВНИГРИ, г. Ленинград

В последние годы усилился интерес к разработке программы исследований (Кудрявцев, 1973) по неорганическому происхождению нефти и газа (Гоулд, 1979, 1980, 1982; Гоулд, Сотер, 1980, 1981; Макдональд, 1983; Джардини, Мелтон, 1982, 1983). На международных совещаниях (Брюссель, 1982; Лондон, 1982) обсуждалось состояние неорганической гипотезы происхождения нефти. Осуществляется координация национальных программ исследования проблемы, например, между США и Великобританией.

Автор характеризует современный прогресс в развитии основных доводов в пользу неорганической гипотезы происхождения нефти и газа.

Изучение состава и свойств углеродистых соединений, и в том числе углеводородов, во взвешенном (космическом) веществе и в продуктах магматизма мантийного происхождения позволяет оценить содержание предшественников нефти (H_2 , CO, спирты, CH_4 и более сложные углеводороды) в мантии в $17 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-5}$ г/г. Термодинамические расчеты подтверждают существование в условиях мантии, по крайней мере, метана при температурах до $1300-1500^\circ C$ и низкой летучести кислорода, которая, в свою очередь, подтверждается наличием в мантийных породах алмазов, графита, карбидов, самородных металлов и непосредственными замерами в оливинах и шпинелях. Интенсивность углеводородной дегазации

вещества мантии, по данным изучения более 20 термальных полей в срединно-океанических рифтах, оценена более чем $1,6 \cdot 10^8 m^3/год$. Внушительные примеры водородно-метановой дегазации мантии выявляются в сквозных проницаемых зонах континентов в пределах сейсмоактивного глубинного сбросо-сдвига Сан-Андреас (США) и некоторых континентальных рифтов. Если в математической модели дегазации предшественников нефти взять те исходные положения, которые приняты в современных моделях образования атмосферы и гидросферы, то, по предварительным данным, за последние 700 млн. лет из мантии толщиной в несколько сотен км поступало $2,1 \cdot 10^{11}$ т предшественников нефти за 1 млн. лет. Отнесенный на общую площадь рифтов, трансформных разломов и зон Бенюфа осредненный поток предшественников нефти оценивается в $0,8 \cdot 10^8 t \cdot km^{-2} \cdot млн. лет^{-1}$.

Ресурсы нефти и газа находятся в осадочных бассейнах, тяготеющих к глубоководным краям (6-10 км и больше) литосферных блоков, ограниченных сейсмоактивными геодинамическими поясами на орогенном и рифтовом этапах развития. 70-95% начальных ресурсов нефти и газа пространственно тяготеют к рифтам, зонам Бенюфа и др. глубинным разломам.

Рудно-нефтяная, или нафтометаллогеническая, зональность, состоящая в смене магматизма и высокотемпературной рудной минерализации в складчатом (орогенном) обрамлении осадочных бассейнов на эндогенную средне- и низкотемпературную рудную минерализацию (полиметаллы, ртуть, уран и др.) с непромышленными проявлениями углеводородов на периферии бассейнов, а затем на месторождения нефти, обогащенные V, Ni, Fe, Cu, Mo, Mn, Co, Zn, Sr, Ag, Hg и др., внутри бассейнов, объясняется, в первую очередь, общим мантийным источником предшественников нефти с некоторыми металлами, которые служат катализаторами реакций синтеза или образуют важные для их миграции металлоорганические соединения.

Основные мировые ресурсы нефти и газа содержатся в небольшом количестве бассейнов, а в пределах последних в небольшом количестве крупных месторождений. Из 600 осадочных бассейнов Земли 400 уже изучены глубоким бурением, из них 240 оказались сухими. Из 160 промышленных нефтегазоносных бассейнов Арабско-Иранский содержит 47,5% ресурсов нефти и газа, 26 крупнейших бассейнов - 89%, 24 бассейна - 6,28% и остальные 110 бассейнов - только 4,74. 80% мировых ресурсов нефти сконцентрировано в ее 37 супергигантских и 300 гигантских месторождениях. Эта глобальная неравномерность распространения мировых ресурсов нефти и газа отражает очаговый или вертикально-миграционный механизм нефте- и газообразования.

Молодой кайнозойский, вероятно неоген-четвертичный, возраст залежей природного газа и постпалеозойский, преимущественно кайнозойский, возраст залежей нефти древних платформ не согласуются со временем проявления ГФН и ГГ в предполагаемых нефтематеринских породах.

В надвиговых зонах складчатых поясов, обычно на бортах краевых и

межгорных впадин, перспективны даже самые молодые ловушки, что обусловлено активной современной тектоникой и современной миграцией углеводородов. А сами надвиги служат неплохими экранами, особенно когда в их зонах развиты такие пластичные непроницаемые породы, как соли и глины. Значительные успехи в поисках газа и нефти достигнуты (Бескровный, Лебедева, 1978) в надвиговом поясе Скалистых гор (США), характеризующемся повышенной густотой глубоких тектонических трещин. Оживились поисковые работы в пределах Аппалачского, Уошитского и других надвигов мира. В этих зонах присутствуют разнообразные ловушки как в аллохтоне, так и в автохтоне, но легче всего выявляются фронтальные складки надвиговых пластин, которые нередко выражаются морфологически в приповерхностных слоях. В некоторых районах ведутся поиски углеводородов в осадочных породах под надвигами докембрийских кристаллических пород.

Прогнозированию нефтегазоносности пород кристаллического фундамента способствуют многочисленные данные о приуроченности залежей нефти и газа не только к его выступам (погребенным краям или холмам), но и к депрессионным структурам вулканического или импактного происхождения. Последние характеризуются емкостью до 5,5 млрд. м³ (Даноф-рио, 1981; Бескровный, 1982). На глубине около 3 км от поверхности фундамента из архейских гнейсов Татарского свода получены притоки уникальных рассолов до 100 м³/сут. Они имеют минерализацию 300 г/л и хлоридно-кальциевый состав. В них содержатся растворенные углеводородные газы (Кавеев, 1980). Подобного рода факты указывают на существование проницаемых и экранирующих зон не только в подвергшихся выветриванию эрозионно-тектонических выступах, но и в глубоких недрах фундамента.

Главными предпосылками развития емкости в кристаллических породах служат взрывные, тектонические и гидрохимические явления. Участки с максимальной емкостью пород могут располагаться в вулcano-тектонических и импактных кольцевых структурах, на пересечениях линейных и дуговых разломов, на их изгибах, в складках волочения вдоль сдвигов, в зонах интерференции различных кольцевых структур. Химическое взаимодействие в системе флюид – порода может внести важный вклад не только в создание емкости в породах на глубине до 5–10 км от поверхности фундамента, но и экранирующих зон, определяемых свойствами тех глинистых и других минералов, которые образуются при таком взаимодействии. Сохранению емкостных свойств пород в этих условиях будет способствовать высокое поровое давление флюидов.

Неотложного решения требуют такие вопросы, как определение или уточнение величин углеводородных потоков срединно-океанических и континентальных рифтов, оценка баланса масс углерода в земной коре и мантии, влияние косного (мантийного) вещества на образование богатых ОВ пород, уточнение условий образования коллекторов и экранирующих толщ в глубоких недрах осадочного чехла и фундамента и др.

ЯВЛЕНИЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО ВЫНОСА ДИСПЕРСНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВУЛКАНИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Е.К. Мархинин

Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, г. Петропавловск-Камчатский

Рассеянное содержание углеводородов, в том числе углеводородов нефтяного характера, определено в пробах датированных извержений ряда вулканов Тихоокеанского огненного кольца. Практически широкий спектр углеводородов содержится в каждой отдельно взятой пробе лавных вулканических продуктов. Нахождение углеводородов в закрытых порах лавных вулканических бомб однозначно свидетельствует об их магматогенности. Таким образом, можно говорить о том, что установлено явление широкого выноса магматогенных углеводородов в вулканическом процессе. Каков масштаб этого выноса? Для того чтобы о нем судить, мы в качестве примера возьмем хорошо изученное Толбачинское извержение 1975–1976 гг. и попытаемся определить общее количество углеводородов, вынесенных с продуктами извержения. Общая масса лавных силикатных продуктов Толбачинского извержения определена нами в $2,7 \cdot 10^9$ т, масса лавного вулканического газа (без воды) – в $6 \cdot 10^6$ т. Среднее содержание органического углерода в вулканических бомбах определено С.Н. Белецкой как 0,07% (следовательно, среднее содержание органических соединений должно быть больше этой величины). Весовой процент углеводородов в вулканическом газе определен нами в 7,83%. Таким образом, масса углеводородов, вынесенных с силикатными продуктами извержения, может быть оценена в $2,72 \cdot 10^9$ т $\times$ $7 \cdot 10^{-4} = 19,04 \cdot 10^5$ т $\approx 2 \cdot 10^6$ т, а масса углеводородов, вынесенных в составе вулканического газа – в $6 \cdot 10^6$ т $\times$ $7,83 \cdot 10^{-2} = 46,98 \cdot 10^4$ т $\approx 0,5 \cdot 10^6$ т.

Общая масса углеводородов, вынесенных в составе вулканических продуктов составила, следовательно, около $2,5 \cdot 10^6$ т.

Масса лавных продуктов, извергнутых Толбачиком в 1975–1976 гг., близка к среднему их количеству, извергаемому всеми наземными вулканами мира за 1 год. С учетом подводного вулканизма срединно-океанических хребтов средняя ежегодная "производительность" вулканов должна быть увеличена, вероятно, в 2–3 раза. Таким образом, если мы примем за средний ежегодный вынос углеводородов вулканами Земли цифру порядка 10^6 т, она никоим образом не будет завышенной. Истинное количество углеводородов, выносимых вулканами в среднем за год, вероятнее всего, выражается числом $n \cdot 10^6$ т. Экстраполируя эту величину на всю историю Земли, получим $n \cdot 10^6$ т $\times$ $4,5 \cdot 10^9$ лет $\approx n \cdot 10^{15}$ – $n \cdot 10^{16}$ т. Эти цифры сопоставимы с массой всего органического вещества, содержащегося в осадочных породах земной коры, равной $(2 - 3) \cdot 10^{16}$ т.

Явление крупномасштабного выноса дисперсных углеводородов в вулканическом процессе является установленным фактом. Несомненна их вулканогенность. Но детали образования магматогенных углеводородов не ясны, и о них можно строить только предположения. Первый вопрос, который сразу же возникает, где, в каком интервале вулканического химического реактора синтезируются магматогенные углеводороды. Таких, подлежащих рассмотрению, интервалов можно наметить (сверху вниз) три. 1. Верхняя часть вулканического реактора — от уровня, на котором происходят взрывы в жерле вулкана (сотни метров от поверхности Земли), до уровня, где происходит смешение пеплово-газового вулканического столба с воздухом. 2. Средняя часть вулканического реактора — от уровня, на котором в магме начинается рост газовых пузырьков ($n \cdot 10$ км — $n \cdot 100$ м), до уровня, на котором происходят взрывы. 3. Нижняя часть системы очаг-вулкан — от глубинного магматического очага (десятики или первые сотни километров) до уровня, на котором в магме начинается образование газовых пузырьков.

Установлено, что углеводороды в ювенильных пеплах, шлаках и в вулканических газах (в частности, Толбачинских) представляют собой производные мантийной базальтовой магмы. Таким образом, не вызывает сомнения синтез углеводородов в пеплово-газовых вулканических столбах. Представляется вероятным протекание синтеза углеводородов и на более глубоких уровнях системы очаг — вулкан.

МЕТАН И ЕГО ГОМОЛОГИ В ВУЛКАНИЧЕСКИХ И ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ГАЗАХ

Ю.А.Таран

Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, г.Петропавловск-Камчатский

Практически во всех газах изученных высокотемпературных (выше 2000°C) гидротермальных систем и в вулканических газах обнаруживаются в заметных количествах метан и его гомологи. Термодинамические расчеты для смеси C-H-O-S-N газов показывают, что при температурах порядка 1000°C в равновесии газов с породой (порода задается буфером pO_2) количества $\text{C}_n \text{H}_{2n+2}$ очень малы, даже для метана ниже аналитических возможностей аппаратуры. Концентрации гомологов метана примерно экспоненциально падают с ростом молекулярного веса. Если эту газовую смесь охлаждать в закрытой системе (без буфера pO_2), то даже при достаточно высоких давлениях отношение CO_2/CH_4 остается большим. Если же при давлении 1 кбар давление кислорода в системе изменяется с температурой в соответствии с буфером QMF, то уже ниже 300°C в равновесной газовой фазе метан может стать преобладающим компонентом (расчеты выполнены для нескольких "средних" составов высокотемпературных газов базальтовых вулканов).

В гидротермальных газах воднодоминирующих систем наблюдаемые концентрации углеводородов значительно выше, чем в вулканических. Если провести расчет равновесия в конденсированной фазе с учетом коэффи-

циентов растворимости всех газовых компонентов в воде при соответствующих докритических P-T-условиях, то в большинстве случаев оказывается, что природная система $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2\text{H}_2-\text{CH}_4$ химически равновесна. Расчеты по обобщенной схеме $n \text{CO}_2 + (3n + 1) \text{H}_2 = \text{C}_n \text{H}_{2n+2} + 2n \text{H}_2\text{O}$ показывают, что в конденсированной фазе при обычных значениях общего газосодержания и концентраций водорода равновесные концентрации гомологов метана могут быть достаточно высокими, т.е. такими или почти такими, как определяются на опыте. Результаты расчетов согласуются с наблюдениями и на пародоминирующих системах, если учесть, что в недрах таких систем имеется сравнительно много жидкой воды, заполняющей поровое пространство нагретых пород.

Тем не менее вопрос об источнике углеводородов не решается только методами равновесной термодинамики. Для его решения необходимо использовать некоторые изотопные и кинетические критерии.

РОЛЬ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕОХИМИИ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ (ПАУ) В ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССОВ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

В.Н.Флоровская, Ю.И.Пиковский, А.И.Оглоблина, М.Е.Раменская
МГУ им. М.В.Ломоносова, г.Москва

Дегазация Земли, сопровождающая глубинные геотектонические процессы, — это ключевой момент в механизме образования эндогенных месторождений полезных ископаемых. Будучи многостадийным и многообразным по формам проявления, процесс дегазации весьма сложен для изучения. О его деятельности очень долго судили только по основному результату — самим месторождениям. Между тем методы современной геохимии уже позволяют расшифровывать и изучать менее очевидные проявления этого процесса, которые видны как на пути движения флюидов в зонах диастрофизма Земли, так и в ореолах конкретных месторождений.

Как уже было неоднократно показано, эндогенные флюиды, поднимающиеся из высокотемпературных зон Земли в область земной коры, всегда содержат соединения углерода. К ним относятся углеводороды и их производные (углеродистые вещества УВ). Они широко проявляются в ходе эволюции глубинных флюидов, являясь закономерными членами парагенетических ассоциаций гидротермальных минералов. УВ несут информацию как об этих флюидах, так и о процессах взаимодействия между флюидами и теми геологическими телами, через которые они мигрируют. Весьма информативными молекулами в составе УВ являются ароматические углеводороды, в первую очередь полициклические (ПАУ). Они требуют для своего синтеза определенных физико-химических условий и в то же время довольно устойчивы. Будучи сорбированы различными минеральными поверхностями или углеродистыми агрегатами, ароматические углеводороды являются весьма своеобразными геохимическими "метками", по которым можно дифференцировать вмещающие их природные тела, условия образования которых различны.

Для изучения ПАУ применялись методы низкотемпературной люминесцентной спектрофлуориметрии, которые достаточно селективны и весьма эффективны для определения этого класса соединений как на уровне отдельных молекул, так и на уровне их групп. Экспериментальные исследования, проведенные в последние годы, позволили сделать ряд выводов, связанных с генезисом ПАУ в высокотемпературных зонах Земли. Так, установлено, что ПАУ входят в число продуктов гетерогенно-каталитических поликонденсационных превращений низкомолекулярных углеводородов при температурах выше 400°C , а также CO и H_2 при температурах $300\text{--}550^{\circ}\text{C}$. При высокотемпературной ($700\text{--}800^{\circ}\text{C}$) поликонденсации метана и его гомологов, циклогексана, этилена, ацетиленов преобладающими были в основном голоядерные структуры: фенантрен, пирен, 3,4-бензпирен, 1,12-бензперилан, перилан, а также замещенный углеводород 3-метилпирен. Кроме того, в продуктах синтеза присутствовали флуорен, пирен, антрацен, нафталин, антантрен, 3,4-9,10-дибензпирен, тетрафен, нафтобензпирен. Поликонденсация алкилбензолов при $400\text{--}700^{\circ}\text{C}$ давала ПАУ несколько иного состава: здесь преобладали флуорен, фенантрен, антрацен, в меньших количествах образовывались пирен, 3,4-бензпирен, производные нафталина, тетрафен и 3,4-9,10-дибензпирен. В ходе реакции поликонденсации из CO и H_2 на железных катализаторах при $300\text{--}550^{\circ}\text{C}$ возникали гомологи нафталина, фенантрена, пирена, голоядерный пирен и другие. При этом основная часть ПАУ, в которой преобладал пирен, отходила из сферы реакции с летучими продуктами. На катализаторе в продуктах реакции оставалось 10–40% синтезированных ПАУ, в которых преобладающими становились нафталиновые структуры. С увеличением температуры реакции количество ПАУ на катализаторе увеличивалось. Полученные экспериментальные данные были одним из критериев при геохимической интерпретации результатов изучения ПАУ в природных объектах эндогенного генезиса.

Изучение ПАУ как индикаторов дегазации недр производилось путем изучения эндогенных минеральных ассоциаций, а также площадных поисков аномальных содержаний ПАУ в верхних частях земной коры, отражающих глубинные геологические процессы. Наиболее распространенной ассоциацией ПАУ в эндогенных минералах (кимберлитах, базальтах, лердолитах, флюоритовых шлах) была ассоциация: гомологи нафталина, бензфлуорена, фенантрена, пирен и его гомологи с преобладанием гомологов нафталина. В отдельных случаях наблюдалось резкое преобладание гомологов пирена. В кимберлитах Якутии отмечались также ПАУ, характерные для нефти: гомологи нафталина, бензфлуорена, фенантрена, хризена, пирена, 3,4-бензпирена с преобладанием гомологов нафталина. Суммарное содержание ПАУ в эндогенных продуктах изменялось от 10^2 до 10^5 мкг/кг. Близкие по составу ПАУ наблюдались на путях миграции углеводородов в гидротермально измененных породах кристаллического фундамента Русской платформы (Татария), в продуктах современной гидротермальной деятельности в областях активного вулканизма (Камчатка).

При площадных люминесцентно-битуминологических исследованиях аномальные содержания ПАУ были обнаружены в четвертичных отложениях на участках неотектонической активности в пределах новейших поднятий (Камчатка), в донных океанических отложениях на участках глубинных разломов, в ореолах ряда рудных месторождений, связанных с глубинными разломами.

Полученные результаты показали, что проявления процессов дегазации, несмотря на разнообразие форм, могут быть обнаружены по некоторым общим чертам в создаваемой ими геохимической картине. Так, например, различные минеральные ассоциации, возникающие в постмагматических гидротермальных процессах в сходных термобарических условиях, часто мало различаются по набору ПАУ в первичных ореолах и рудах. В зонах первичных ореолов нефтяных и газовых месторождений, как правило, наблюдаются вторичные изменения пород с набором минералов и ПАУ, характерным для гидротермально-метасоматических образований. Эти данные позволяют говорить о некоторой общности путей образования скоплений руд и углеводородов, связанных с эволюцией процесса дегазации Земли.

Таким образом, развитие молекулярной геохимии углеродистых веществ, связанных с эндогенными процессами, помогает лучшему пониманию сущности процесса дегазации и позволит использовать закономерности этого явления для изучения условий образования и эволюции месторождений полезных ископаемых.

ИЗОТОПНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЛУБИННОГО ГЕНЕЗИСА УГЛЕВОДОРОДОВ

Б.М.Валеев

ГИН АН СССР, г.Москва

Как выяснилось (Йех и Эпштейн, 1981), в пределах отдельных регионов независимо от возраста отложений и глубины залегания отмечается удивительная выдержанность не только изотопного состава углерода (ISU), но и водорода (ISB) нефтей. Нет общих отчетливых корреляций изотопных характеристик с химическим составом нефти или "зрелостью" ОВ вмещающих пород, зато различные фракции одной и той же нефти разного группового состава (метанового, нафтенного, ароматического), которые должны были бы иметь своих предшественников в ОВ с разным изотопным составом, характеризуются почти идентичными изотопными метками как по углероду (Галимов, 1973), так и по водороду (Йех и Эпштейн, 1981). Региональные отличия ISU и ISB нефтей более значительны, но и здесь выявилось интереснейшее обстоятельство: на двойной диаграмме ISU для метанонафтенных и ароматических углеводородов результаты анализа нефтей всего мира легли буквально на две параллельные прямые (Софер, 1984) для парафинистых и непарафинистых нефтей. В основе этой закономерности может лежать только термодинамическая

упорядоченность, обусловленная высокотемпературным генезисом всех нефтей. Отметим еще, что и битумы изверженных пород (Галимов, 1973) заведомо высокотемпературного генезиса близки по ИСУ к нефтяным. Дж. Монстер (1972) отмечал, что, помимо гомогенности ИСУ, для нефтей свойственна и гомогенность ИС серы.

Однако никто из специалистов по изотопии не рассматривает нефть в качестве глубинного (высокотемпературного) образования. Те, что принимают в качестве изотопной метки ювенильного (мантийного) углевода значение $\delta^{13}\text{C} = -7\%$ обоснованно считают, что при высокотемпературном образовании ИСУ нефти характеризовался бы близкими значениями. Но высокотемпературный глубинный генезис нефти отвергают и специалисты, принимающие ИСУ мантии более легкими (-12 , -16 или -23%). Во всех случаях, когда изотопная метка углерода в метане ниже -23% , его генерацию, как и генезис нефти, связывают с преобразованием ОБ. Петрологи получили прямые и косвенные свидетельства присутствия углеводородов в породах верхней мантии, их миграции по зонам глубинных разломов и участия в процессах метасоматоза, метаморфизма, формирования рудных скоплений. Надежно зафиксировано вторжение глубинных углеводородов в осадочные породы, с которыми нередко связаны проявления АВПД. Однако "изотопный запрет" является одним из наиболее весомых аргументов, вследствие которого углеводороды в залежах нефти и газа рассматриваются не как глубинные, а как образовавшиеся за счет ОБ осадочных пород. Пестрота и большой диапазон (от -20 до -90%) изменения значений ИСУ метана в скоплениях углеводородов не позволяют признать их за глубинные образования. Для разрешения противоречий назрела необходимость ревизии прежних интерпретаций изотопных данных. Ниже изложена интерпретация, предлагаемая автором.

Упорядоченность изотопных полей как свидетельство глубинности генезиса углеводородов нефти и газа

С 1977 г. автором совместно с Г.А.Титковым, а также сотрудниками МИНХИП им. И.М.Губкина Ю.И.Гринченко и В.С.Прохоровым и сотрудником ВНИИГТ В.Е.Ерохиным выполняется исследование ИСУ и ИСВ в газах грязевых вулканов, нефтяных и газовых месторождений, термальных и минеральных источников и других спонтанных разгрузок природных газов (Валяев и др., 1980, 1982; Ерохин и Титков, 1983). Полученные данные, а также собранные по публикациям у нас и за рубежом данные по изотопии углерода и водорода (Есиков и др., 1974; Шёлль, 1980, 1983; Маттавели и др., 1983; Лайон, 1974; Паничи и др., 1979; Халстон, 1983 и др.) были сведены на двойные изотопные диаграммы $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} / \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ и $\delta\text{D} / \delta^{13}\text{C}$. На второй из них, помимо данных по метану, представлены также результаты изотопных исследований для нефти, угля, керогена, возможных ювенильных и метаморфогенных источников углерода и водорода (Алексеев и др., 1978; Галимов, 1973; Иех

и Эпштейн, 1981; Реддинг и Шёлль, 1982; Смит и др., 1982; и др.).

На первой диаграмме видно упорядоченное расположение изотопных полей (ИП) различных морфологических групп природных газов, находящееся в определенном согласии с равновесными изотопными изотермами и окислительно-восстановительными условиями на пути миграции и современного залегания этих газов. Отчетливо обособились две группы: углеводородных (углеводородно-азотных) и углекислых газов, причем для второй из них характерны не только изотопно легкие (от -16 до -24%), но и более изотопно тяжелые источники углерода (от -16 до 0%). К последним может относиться не только углерод углистых хондритов I и II типа, но и углерод осадочных пород с суммарным $\delta^{13}\text{C} \approx -6\%$ при их переплавлении или карбонатная компонента с $\delta^{13}\text{C} \approx 0\%$ при метаморфизме осадочных пород.

На второй диаграмме ($\delta\text{D} / \delta^{13}\text{C}$) для метана различных морфологических групп природных газов также характерно упорядоченное расположение ИП, согласующееся с образованием метана за счет глубинных (ювенильных и метаморфогенных) источников углерода и водорода или пиролиза нефти (также глубинного генезиса). Изотопные поля нефти, угля и керогена также согласуются с зональным расположением природных газов и их глубинных источников, что может вести к парадоксальному заключению об участии глубинных источников углерода и водорода в формировании угля и керогена. В таком случае имеющиеся различия в ИСУ и ИСВ последних по сравнению с нефтью могут быть объяснены различиями термодинамических и окислительно-восстановительных условий их формирования. На рассматриваемой диаграмме $\delta\text{D} / \delta^{13}\text{C}$ по ИСУ и ИСВ метана также обособились две ветви: углеводородных и углекислых (гидротермы, фумаролы) газов отличающихся, как это следовало и из диаграммы $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} / \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$, по ИСУ их источников. Вторая ветвь (углекислых газов) увязывается с проявлениями современного или четвертичного магматизма (вулканизма), а первая (углеводородных газов) — с продуктами "холодной" (амагматической) дегазации. Упорядоченное расположение ИП различных групп природных углеводородных газов (включая так называемые биохимические газы близповерхностных залежей) и других углеродистых соединений наиболее удовлетворительно объясняется глубиной генезиса всех этих образований, тогда как различия их ИСУ и ИСВ вполне увязываются и объяснимы воздействием последующих процессов трансформации химического и сопутствующего фракционирования изотопного состава первичных продуктов глубинной дегазации при их вторжении и миграции в пределах земной коры, в особенности осадочного разреза.

Первичная и вторичная неомогенность ИСУ мантии. Абиогенное и биогенное фракционирование ИСУ продуктов мантийной дегазации

Принимаемая большинством специалистов по изотопии углерода средняя изотопная метка ювенильного углерода $\delta^{13}\text{C} = -7\text{‰}$ не согласуется со средней величиной $\delta^{13}\text{C}$ общего углерода углистых хондритов (УХ) (-10‰); напомним, что общий разброс значений $\delta^{13}\text{C}$ в них составляет от $+1$ до $-20,5\text{‰}$. При уменьшении содержания углерода в УХ его изотопный состав облегчается от I к III типу УХ. Однако содержание углерода даже в III типе УХ при $\delta^{13}\text{C}$ от $-15,7$ до $-20,5\text{‰}$ составляет в среднем $0,74\%$ (Маракушев и Беамен, 1983), что намного превышает таковые в изверженных породах. Следовательно, мобилизация ювенильного углерода с изотопной меткой легче -7‰ вполне возможна, тем более, что уже для первичного вещества Земли была характерна неомогенность ИСУ. При образовании океанической и особенно континентальной земной коры формируется деплетированная мантия. Неомогенность мантийного углерода наследуется в продуктах дифференциации и и глубинной дегазации в усиленном виде. Так, например, за счет углерода УХ III типа и обыкновенных хондритов с изотопной меткой от -16 до -25‰ при 500°C в равновесии могут быть генерированы нефтяные углеводороды с $\delta^{13}\text{C}$ от -24 до -33‰ , тогда как образовавшаяся при тех же параметрах CO_2 имела бы $\delta^{13}\text{C}$ от -6 до -15‰ , а за счет углерода УХ I и II типа средняя изотопная метка CO_2 была бы 0‰ . Как показали эксперименты, различие между источником углерода и продуктами синтеза (окисления) может значительно усиливаться, если эти процессы протекают при избытке источника в термодинамически неравновесных условиях, когда интенсивно проявляются кинетические изотопные эффекты.

При пиролизе высокомолекулярных углеводородов нефти при 400 и 500°C в зависимости от полноты процесса образуется метан, облегченный по ИСУ от 5 до $27,5\text{‰}$ и ИСВ от 70 до 174‰ (Саккетт, 1978). Частичное окисление метана или ТУ также приводит к облегчению ИСУ метана в остатке. Значительное изотопное фракционирование (также за счет кинетических изотопных эффектов) происходит при частичном разложении углеводородов с выпадением элементарного углерода с утяжеленным ИСУ. В природных условиях при миграции глубинной нефти и углеводородных газов при их взаимодействии с породами и водами стратиферы неизбежно должны происходить значительное окисление и деструкция глубинных углеводородов, а также сопряженное фракционирование ИСУ вновь образованных и оставшихся углеродистых соединений. Масштабы фракционирования ИСУ в абиогенных неравновесных процессах генерации и деструкции углеводородов, как показывают эксперименты и изучение углеродистых соединений в метеоритах, намного превосходят таковые для процессов термодинамически равновесного обмена. Хотя продукты глубинной дегазации в приповерхностных условиях и могут

претерпеть завершающие трансформации с участием микроорганизмов, однако следует подчеркнуть, что образовавшиеся при этом биохимические углеродистые продукты (например, метан) в своей основе являются глубинными.

Соотношение ювенильных и рециклических компонентов в глобальном динамическом балансе углерода

По оценке А.Б.Ронова (1981) в осадочных породах неогена (накопившихся за $1,6$ млрд. лет) содержится $4 \cdot 10^{25}$ органического и карбонатного углерода. Если принять вынос ювенильного углерода равным $5 \cdot 10^{14}$ г/год (а только через срединно-океанические хребты за год в среднем по оценке Джавэя и др. (1982) выносятся $4 \cdot 10^{14}$ г/год), то весь углерод стратиферы мог накопиться за 200 млн. лет. Отсюда следует неизбежность круговорота (или ухода на глубину) углерода в тех или иных циклах. Вне зависимости от справедливости концепции новой глобальной тектоники после фоссилизации в любом случае углерод может быть возвращен в обменный бассейн (атмосферу-гидросферу-осадки) за счет эрозии, метаморфизма и полного переплавления осадочных пород. Нами выполнены расчеты ряда вариантов глобального динамического баланса углерода на изотопной основе. В различных вариантах в качестве средней изотопной метки первичного (ювенильного) углерода принимались значения $\delta^{13}\text{C}$, равные -10 , -13 и -16‰ , а массы ежегодного накопления различных форм углерода и суммарного накопления углерода в осадочных породах за разные отрезки геологической истории принимались как по А.Б.Ронову (1981), так и по Р.Гаррелсу и Ф.Маккензи (1975).

В оптимальном варианте расчета отношение углерода, поступающего на захоронение в осадочных породах за счет эрозии, переплавления, метаморфизма и первичного (ювенильного углерода) составляет как $2 : 2 : 2 : 1$, т.е. на долю ювенильного приходится $\sim 14\%$. При участии этих компонентов в генерации углеводородов с учетом их ИСУ отношение вышеперечисленных компонент могло выглядеть теоретически как $1 : 1 : 1 : 1$, а практически как $0 : 0 : 2 : 5$. Полученные оценки показывают преобладающую роль именно ювенильного углерода, а не углерода остальных трех компонент в генерации углеводородов. Действительно, в зонах Бенюфа при переплавлении осадочных пород, содержащих значительные количества воды и кремнезема, будет генерироваться кислая магма, в составе летучих которой будут преобладать вода и уголекислота при среднем $\delta^{13}\text{C} = -6\text{‰}$ (изотопная метка суммарного осадочного углерода).

Таким образом, в результате анализа комплекса данных по ИСУ и ИСВ различных природных углеродистых образований, и в первую очередь углеводородных газов и нефти, а также расчетов глобального баланса углерода, вытекает однозначный вывод о глубинной природе углеводородов в залежах осадочного чехла. С наибольшей отчетливостью это про-

является для нефти со свойственным ей узким диапазоном вариаций ИСУ и ИСВ. Что же касается метана и углекислоты в залежах углеводородов, то широкий интервал изотопных меток их углерода объясняется тем, что они возникают в качестве новообразованных продуктов или остатков при различных, главным образом абиогенных неравновесных химических, трансформациях высокомолекулярных глубинных углеводородов, хотя процессы бактериальной переработки метана и его гомологов также могут иметь место. Исходный мантийный углерод характеризовался негомогенностью, причем синтез углеводородов происходил за счет углерода с более легкой изотопной меткой, чем средняя метка УХ; дальнейшее фракционирование ИСУ метана происходило также в основном в результате кинетических изотопных эффектов. Упорядоченность ИП углеводородных газов различных морфологических групп, а также нефти и их вероятных ювенильных и метаморфогенных источников углерода и водорода, служит важным критерием глубинности их генезиса и определяется ею.

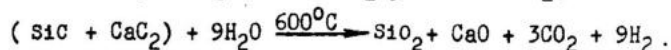
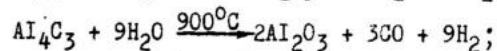
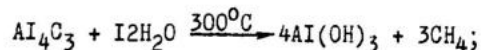
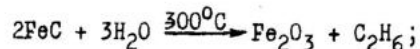
ПРОИСХОЖДЕНИЕ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ ВЕЩЕСТВ

В.А.Бобров, С.В.Дигонский, Н.Г.Кривомазова

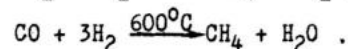
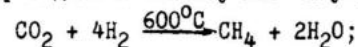
МГРИ им. С.Орджоникидзе, г.Москва

Вопрос о происхождении ископаемых углеродистых веществ в настоящее время все больше привлекает внимание не только геологов, но и представителей точных наук — теоретической и экспериментальной геохимии, химии и физики. Поэтому, не обсуждая всех перипетий более чем столетнего спора между органиками и неорганиками, остановимся лишь на результатах ряда экспериментальных работ, некоторые из них были проведены авторами в условиях приближенных к естественным.

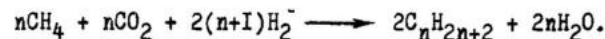
Основываясь на идее минерального образования углеводородов (Менделеев, 1906) и на ее теоретическом и экспериментальном обосновании (Бескровный, Чекалюк, 1971), мы провели серию экспериментов по абиогенному синтезу метана и его гомологов при различных Т и Р с различными катализаторами. Кроме того, были проведены опыты по окислению карбидов Fe, Al и Ca; элементов наиболее распространенных в земной коре:



Образовавшиеся окислы в дальнейшем, очевидно, входили в состав пород земной коры, а газообразные продукты при последующих реакциях между собой приводили к синтезу легких углеводородов:



Проводя эксперименты по пиролизу метана в атмосфере углекислого газа и водорода, авторы данной работы пришли к выводу, что жидкие углеводороды образуются при определенных термодинамических условиях по реакции



Образование исходных веществ для данной реакции, в дополнение к вышеуказанному, возможно и при окислении графита водой в эндогенных условиях (Виноградов, Кропотова, Машкин, Бобров, 1974). Проведенные эксперименты по пиролизу метана в водородной атмосфере показали, что в этом процессе возможно осаждение углеподобного и графитистого вещества, которое в застойных местах реакционной зоны высаживалось в виде ветвистых структур, удивительно напоминавших отпечатки растений.

Изотопные исследования, проводившиеся параллельно вышеуказанным экспериментам, показали, что во всех опытах идет существенное фракционирование изотопов углерода от исходных веществ к конечным продуктам реакции: 1) при окислении графита водой образующаяся CO_2 обогащалась изотопом ^{13}C до величины +28,8‰; 2) при синтезе CH_4 из CO_2 и H_2 на природных катализаторах метан обогащался изотопом ^{12}C до -20‰; 3) при пиролизе метана с $\delta^{13}\text{C} = -38,7\%$ образовавшееся углеподобное вещество имело изотопный состав углерода -26,5‰, близкий к ископаемым углям ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ср.}} = -25,5\%$).

Таким образом, можно предположить, что к образованию жидких углеводородов приводит естественный пиролиз метана в атмосфере H_2 и CO_2 , а к образованию твердых углеродистых веществ — газовая смесь CH_4 и H_2 .

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГАЗАХ И БИТУМОИДАХ В ГЛУБИННЫХ ТОЛЩАХ АРХЕЙСКОГО ФУНДАМЕНТА ТАТАРСКОГО СВОДА

И.Х.Кавеев

ТатНИПИнефть, г.Казань

Специальное глубокое бурение на Татарском своде позволило вскрыть архейский складчатый фундамент востока Европейской платформы до глубины 5100 м. В комплексе кристаллических пород, характеризующихся возрастом 2,9 млрд. лет, на больших глубинах обнаружены в разрезах пяти скважин участки разуплотнения с водорастворенными газами и повышенной битуминозностью гранитогнейсов.

В скважине № 20000, пробуренной около разлома в центральной части современного Южно-Татарского свода (древняя рифтовая зона), с глубины 4700-5100 м получен приток высокоминерализованной воды с газонасыщением 450 см³. Состав газа: He - 7,3; H₂ - 2,6; O₂ - 2,2; N₂ - 68,6; CO₂ - 2,9; CH₄ - 45,4; C₂H₆ - 0,51; C₃H₈ - 0,09% об. (до C₆H₁₄). В скважине № 20015, пробуренной около разлома во фронтальной части надвига на западном склоне современного Южно-Татарского свода, с глубины до 2325 м получен приток воды с газом, углеводородная часть которого имеет компоненты: CH₄ - 42,3; C₂H₆ - 14,2; C₃H₈ - 16,4; C₄H₁₀ - 9,19; C₅H₁₂ - 9,33 процента.

Газоносность и повышенная битуминозность обнаруживается в катаклазированных гранитогнейсах, трещиноватых гранодиоритах и кристаллосланцах, а также вблизи контактов с интрузиями габбро-диабазов. Важной особенностью газоводобитуминозности проницаемых зон архейского основания современного Татарского свода оказалось отсутствие их в верхних плотных толщах фундамента с залеченной трещиноватостью. Вместе с тем в нижних частях разреза фундамента частота встречаемости, мощность и продуктивность (дебиты притоков газонасыщенных вод) разуплотненных проницаемых зон заметно возрастают с глубиной.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОВ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ ПРИ ПРИРОДНОМ ПИРОЛИЗЕ НЕФТЕЙ, В ПОРОДАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Г.П.Вдовыкин, М.Х.Мусин, О.И. Зименкова

ВНИИОЭНГ, г.Москва

Величина плотности энергии при внедрении трапповых силлов в осадочный чехол, регионально распространенных на Сибирской платформе, достигала $8 \cdot 10^{24}$ эрг/км². Теплоотдача в процессе внедрения долеритовой магмы в осадочные породы обусловила нагревание флюидов, природный пиролиз вещества нефти, а также проявление квазигидротермального процесса.

Газы пород Сибирской платформы многокомпонентные по своему происхождению и представлены первичным (магматическим) газом, газами квазигидротермального процесса, газами природного пиролиза вещества нефти, сорбированными газами и т.д. (см. табл.). При лабораторном нагревании образцов пород, содержащих нефть или органическое вещество, в продуктах пиролиза увеличиваются концентрации CO₂, H₂, непредельных углеводородов. Высокие концентрации этих компонентов также характерны для образцов, претерпевших природное нагревание. Так, в кумбинском доломите, содержащем легкую пиролитическую нефть, в составе газов преобладает CO₂, отмечаются повышенные концентрации тяжелых и непредельных углеводородов. При теплоотдаче трапповой магмы нагревание и метаморфизм испытывали и сами осадочные породы. Газы контактового (с долеритовым силлом) белого доломита Байкитской

Газы в образцах пород Сибирской платформы, подвергшихся природному или лабораторному нагреванию

№ обр.	Площадь	№ скв.	Глубина, м	Порода	Газонасыщенность, см ³ /кг	Состав, %					Преобладающая компонента газа	
						CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	УВГ		
1	Кумбинская	9	402	Долерит	Микровыделение	85	(кислые газы 15%)					Первичный (магматический) газ
2	Кумбинская	9	402	Долерит.	123	63,15	1,52	34,95	0,33	0,38	Газ многокомпонентный	
3	Район р.Курейки	-	Обна-жение до 200°	Базальт, нагрет до 200°	57	52,75	4,06	41,14	0,05	2,03	Первичный (окислительный) газ	
4	Кимберлитовая трубка "Мир"	-	Обна-жение до 200°	Кимберлит, нагрет до 200°	249	81,20	2,60	15,89	0,04	0,29	Первичный газ	
5	Мирнинская	63	710	Галит розовый	9,6	15,07	24,31	60,56	0,03	0,04	Газ, образовавшийся при квазигидротермальном процессе	
6	Мирнинская	63	410	Галит белый (ε _{1cr}) из нормального напластования (для сравнения)	18	2,05	1,05	96,88	0,01	0,015	Газ многокомпонентный	
7	Кумбинская	1	1355	Доломит с пиро-литической нефтью (ε _{1by})	53	60,44	0,56	35,74	1,64	3,24	Газ, образовавшийся при природном пиролизе нефти	
8	Кумбинская	12	2360	Аргиллит (R), нагрет до 200°	87	56,37	Сл.	36,01	0,08	7,61	Газ лабораторного пиролиза органического вещества	
9	Байкитская	1	1475	Аргиллит нагрет до 600° Контактовый доломит белый (ε _{1an})	2934 50	88,59 98,98	2,65 0,89	2,15 -	5,08 0,11	5,89 0,11	Газ термодеструкции карбонатов	

площади содержат 99% CO_2 и являются газами термодеструкции карбонатов.

Свободные газы южной части Тунгусской синеклизы содержат значительные концентрации гомологов метана и углеводородных компонентов, что позволяет считать, что эта территория была первоначально преимущественно нефтеносной, но при внедрении трапповых силлов природное нагревание обусловило значительный вклад в состав газа продуктов природного пиролиза нефтей.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ВОДОРОДА

С.П. Левшунова

ВНИГНИ, г. Москва

При изучении распространения содержаний сорбированного водорода были установлены регионы с высокими (более $20 \text{ см}^3/\text{кг}$, Прикаспийская впадина), очень высокими (до $400 \text{ см}^3/\text{кг}$, Тимано-Печорская НГП) и низкими (до $1 \text{ см}^3/\text{кг}$, Московская синеклиза) его количествами. При этом в одном разрезе известняки характеризуются намного более высокими значениями содержаний сорбированного водорода по сравнению с терригенными породами. В то же время известно, что карбонатные породы обладают более низкими сорбционными свойствами по сравнению с аргиллитами, а для водорода установлена более низкая сорбируемость, чем сорбируемость CO_2 , метана, этилена, аргона и азота.

Для выяснения механизма сорбции в обстановке, приближенной к существующей в пределах зон нефте- и газообразования в земной коре, была проведена серия экспериментов в атмосфере водорода на установках гидрирования при температуре $100-250^\circ\text{C}$ и давлении 8 МПа. В результате проведенных исследований выявлена способность водорода создавать "твердые растворы" в известняках в большей степени, чем в алевропелитах. В ходе эксперимента в известняках наблюдалась интенсивная генерация УВГ не только благодаря преобразованию ОВ при действии высоких температур и давлений, но, по-видимому, также благодаря взаимодействию водорода с ОВ и имевшимися в породе битуминозными веществами. При этом известняки, удерживая в кристаллической решетке в сорбированном состоянии водород, выступали в роли катализатора процесса гидрирования. Последнее выражается в резком повышении количества образовавшихся УВГ в известняках по сравнению с аргиллитами и в практическом отсутствии в их составе непредельных УВГ даже при температуре 250°C . Проведенные исследования позволяют уточнить нефтегазоматеринские свойства карбонатных отложений с современным низким (менее 0,1%) содержанием ОВ.

ОПЫТ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ДЕГАЗАЦИИ НЕДР ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

И.С. Гулиев, А.А. Фейзуллаев, А.А. Дадашев

Институт геологии АН АзССР, г. Баку

В докладе сопоставлен комплекс геолого-геохимических параметров двух районов Азербайджана, отличающихся условиями дегазации недр.

Шемахинско-Кобыстанский район (ШКР) характеризуется высокой степенью дислоцированности отложений, высокой сейсмичностью, отсутствием покрова молодых четвертичных отложений, низкой промышленной нефтегазоносностью верхнего интервала разреза. В Нижнекуринской впадине (НКВ) регионально нефтегазонасыщенные среднеплиоценовые отложения перекрыты мощной толщей относительно спокойно залегающих постплиоценовых отложений. Геолого-тектонические отличия этих районов отражают такие параметры, как величина сейсмотектонической активности, равная 0,1 – 0,3 для ШКР и 0,05 – 0,1 для НКВ, плотность разрывных нарушений (соответственно $100 \text{ км}/1000 \text{ км}^2$ и $40-50/1000 \text{ км}^2$), удельная протяженность осей антиклинальных складок (15–25 км и 5 км). Различные геолого-тектонические условия обуславливают и разную интенсивность дегазации недр, что видно из сравнения таких показателей, как плотность распространения грязевых вулканов и минеральных источников (q), дебиты газов (Q), количество извержений грязевых вулканов за 100 лет (N).

Эти различия находят свое отражение в химическом ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$) составе газов стратисферы, величине аномальных концентраций УВГ в приповерхностных отложениях (A_{CH_4} , $A_{\text{C}_2\text{H}_6}$) и плотности аномальных проявлений УВГ в атмосфере на единицу длины профиля (n) (таблица).

Район	q (на 625 км^2)	Q , м^3	N	Химический состав	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$, ‰	A_{CH_4}	$A_{\text{C}_2\text{H}_6}$	n
						$n \cdot 10^{-5} \%$		
ШКР	6–12	$>10^5$	70	Азотно-метановый	-42,0	>40	>12	2,0
НКВ	1–2	$<10^3$	10	Метановый	-47,0	>50	>40	0,4

Более тяжелый $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ углерод грязевых вулканов ШКР объясняется потерей основной массы изотопически легких газов ранней генерации.

Таким образом, по комплексу геолого-геохимических параметров мож-

но районировать регионы по условиям и степени дегазации недр, а следовательно, дать оценку перспективам их газоносности.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГАЗОНОСНОСТИ ГЛУБОКОПОГРУЖЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ

В.В.Иванов, ВНИИГГ, г.Москва;

И.С.Гулиев, Институт геологии АзССР, г.Баку

Традиционные оценки ресурсов углеводородов получают с помощью различных модификаций объемно-генетических методов, основанных на принципах материального баланса продуктов преобразования органического вещества (ОВ). Эти оценки в значительной степени умозрительны вследствие отсутствия прямых измерений, характеризующих интенсивность углеводородообразования.

В основе предлагаемых оценок лежат следующие характеристики, измеряемые с достаточной точностью и воспроизводительностью: дебиты углеводородных газов на естественных газопроявлениях, периодичность извержений грязевых вулканов, объем вулканической брекчии, газонасыщенность пластовых вод. Теоретической основой количественных оценок газоносности является допущение о балансе образующихся в недрах и выделяющихся в атмосферу и гидросферу газов. Такое допущение справедливо для молодых сверхглубоких депрессий, где интенсивное современное газообразование проявляется в виде периодических извержений грязевых вулканов, наличия сухих выходов огромной мощности, повсеместным развитием аномально высоких пластовых давлений. Прямым следствием баланса образующихся и выделяющихся газов является соотношение

$$F \cdot V \cdot \Delta T = n \cdot Q,$$

где F — обильность источников метана; V — объем генерирующих пород; T — средний период между извержениями; Q — среднее количество газа, выделяющегося при извержении; n — число действующих вулканов.

Количество выделяющегося в атмосферу газа (Q) может быть вычислено на основе прямых замеров дебита газа на естественных газопроявлениях, а в районах развития грязевых вулканов — по масштабам выбросов и периодичности извержений. Оценки масштабов выделения газов в атмосферу, полученные по тысячам замеров газовых дебитов на макро- и микропроявлениях, дают величины от 10^8 до 10^{13} м^3 в год; вычисленный на основе этих данных параметр F составляет 10^{-16} — $10^{-10} \text{ см}^3 \text{ газа/см}^3$ породы в 1 с.

Другой независимый метод расчета основан на предположении, что непосредственной причиной возникновения грязевых вулканов является периодическое пересыщение поровых растворов метаном, выделение его в собственную фазу и возникновение импульсов давления, достаточных для перемещения значительных масс брекчии. Время перехода системы от критического насыщения к предельно достижимому надкритическому в некотором объеме среды и есть период между последовательными из-

вержениями. Если пренебречь при этом молекулярной диффузией, что оправдано для малых промежутков времени, то обильность источников метана приближенно определяется по формуле: $F = \frac{C - C_0}{T}$,

где C_0 — критическое насыщение; C — надкритическая пороговая насыщенность.

Критическое насыщение рассчитывается по кривым распределения температуры и минерализации. Надкритическая пороговая насыщенность (C) оценивается по формуле Фольмера-Деринга для тех же распределений интенсивных параметров в предположении, что функция краевого угла смачивания $\Psi(\theta) = 0,01$. Рассчитанная таким образом величина обильности источников метана составляет $n \cdot 10^{-10} \text{ см}^3 \text{ метана/см}^3$ породы в 1 с.

Полученное значение (10^{-10}) позволяет ориентировочно рассчитать газоносность глубокопогруженных отложений Южно-Каспийской впадины. Если предположить, что масштаб газообразования в регионе в предшествующий период развития был не меньше указанного в вышеприведенных оценках, то в столбе пород сечением 1 см^2 и мощностью 10 км должно образоваться количество метана порядка $n \cdot 10^{10} \text{ см}^3$. Это примерно в 10^5 раз больше емкости порового раствора в данном столбе среды для метана. Таким образом, практически во всех участках осадочного комплекса, способных удерживать газовые тела, должны находиться крупные залежи газа.

ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПОСТВУЛКАНИЧЕСКИХ ФЛЮИДОВ НА ДИНАМИКУ ФОРМИРОВАНИЯ И СОСТАВ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ ТОЛЩ

Б.И.Маевский

Институт нефти и газа, г.Ивано-Франковск

Высокоуглеродистые толщи в основном появляются в областях тектоно-магматической активности (геосинклиналях и рифтах) и палеогеографически тяготеют к зонам развития глубинных разломов. Локализация углеродистых фаций как во времени, так и в пространстве обычно связана с основным вулканизмом. Наблюдается эволюционная направленность процессов формирования высокоуглеродистых толщ: объем углеродистых формаций уменьшается от докембрия к фанерозою, что не согласуется с характером развития органического мира, а коррелируется с уменьшением развития процессов основного вулканизма. Альтернативное признание исключительной роли только коровых или лишь подкоровых источников углеродистого и рудного вещества не может объяснить главнейшие региональные особенности образования высокоуглеродистых толщ. Появление углеводородистых веществ в гидротермальных растворах возможно в результате захвата углеводородов из разрушающихся залежей, мобилизации в результате метаморфических и метасоматических процессов, а также абиогенного синтеза. Геологические и экспериментальные данные сви-

детельствуют о том, что именно в связи с основным вулканизмом осуществляются оптимальные условия неорганического синтеза углеводородов.

В условиях подводного вулканизма с участием терригенного и биогенного материала и гидротермальных флюидов, несущих в своем составе элементоорганические, полиорганометаллосилоксановые соединения и другие комплексные органоминеральные вещества, происходит формирование высокоуглеродистых толщ (Маевский, 1981).

Углеродистые вещества образуют генетическую ветвь, которая прослеживается от собственно магматических образований через гидротермальные продукты вплоть до хемогенных отложений, связанных с заключительной стадией постмагматической деятельности. Наблюдаются разнообразные переходы углеродистых отложений в рудные, хемогенные и вулканогенные породы с различным содержанием углеродистых веществ и их переслаивания. Характер сонахождения гидротермальных минералов (кварца и кальцита), рудных и углеродистых веществ в различных образованиях указывает, что они не являются производными от углеродистых пород, как это обычно считают, а, наоборот, являются главным образом реликтами поствулканических гидротермальных флюидов, которые в условиях подводного вулканизма принимали участие в формировании высокоуглеродистых толщ с различным соотношением минеральной и органической компонент. Исследования В.Н. Флоровской и М.Е. Раминской (1979) показали, что максимальное содержание углеродистых (жидких) веществ наблюдается в низкотемпературных гидротермальных растворах. Наиболее часто в качестве носителя углеродистых веществ являются кварц, реже флюорит и кальцит. При смешении в различных соотношениях с континентальным материалом образуются разнообразные по составу вулканогенно-кремнисто (карбонатно)-углеродистые формации.

В битумоидах из гидротермальных месторождений различных типов присутствуют металлы в составе металлоорганических комплексов; при этом не обнаружено существенных различий в содержании металлов в битумоидах в зависимости от типа месторождений и характера вмещающих пород (Л.А. Банникова и др., 1983). Этим, по-видимому, объясняется однообразие состава элементов в углеродистых толщах. Разорванные во времени импульсы подачи минеральных веществ (кремнезема, кальцита) с углеводородистыми и рудными веществами отражены в ритмично-слоистом строении высокоуглеродистых толщ. Приуроченность высокоуглеродистых толщ к ритмам относительной стабилизации тектонического режима объясняется тем, что их формирование в основном связано с поствулканическими процессами. Растворение, всплываемость и адсорбция в условиях водного бассейна оказали основное влияние на концентрацию углеродистых веществ в маломощных образованиях. Эти процессы исследованы в лабораторных условиях. Поступления гидротермальных флюидов с углеводородистыми веществами создавали условия для концентрации битуминозных

веществ на стадии седиментогенеза и диагенеза. В этом отношении представляют интерес кремнистые и карбонатные конкреции, содержащие нефть и различные глубинные компоненты. Этим же, по-видимому, объясняется парадоксальная "преобразованность" органического вещества в кремнистых толщах.

Разгрузкой в периоды тектоно-магматической активизации гидротермальных флюидов, несущих в своем составе углеводороды и рудные вещества в виде различных комплексных образований, по нашему мнению, объясняется формирование над солянокупольными структурами мелких месторождений горючих сланцев, приуроченных к зонам развития глубинных разломов. Процессы образования высококачественных горючих сланцев в палеовулканических депрессиях (например, Болтышское месторождение) могут быть сопоставлены с теми процессами, которые происходят в современных вулканических кальдерах (Узон), где наблюдается вынос минеральных, рудных и углеводородистых веществ и одновременное их осаждение с терригенным и биогенным веществом при образовании высокоуглеродистых рудных осадков.

МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ОБОГАЩЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВОМ МЕЛОВЫХ СЛАНЦЕВ

Н.С. Бескровный, Э.А. Анфилатова, ВНИГРИ, г. Ленинград

Нами обосновывается комплексная модель образования обогащенных органическим веществом (ОВ) меловых сланцев, в которой существенное значение придается веществу мантии (Кудрявцев, 1973).

В основу модели положены следующие факты. 1. Широкое развитие процессов рифтогенеза и магматизма в океанах и на континентах мезозойского времени. Как известно, рифтогенез ведет к обновлению земной коры и вовлечению в кругооборот новых порций мантийного вещества. 2. Развитие связанной с рифтогенезом современной гидротермальной деятельности в океанах и на континентах. 3. Наличие SiO_2 , P, N, рудных, в том числе сульфидных, а также сероводородных, углеводородных, водородных и др. компонентов, в том числе He^3 мантийного происхождения, в современных гидротермах, поступающих в рифты океанов и континентов. 4. Балансовые расчеты, согласно которым источником осадков на дне океанов, например марганца, являются недра океанов, а не суша (Лисицын, 1981). 5. Широкое развитие меловых глубоководных (300-3000 м и больше) черных сланцев, в том числе горючих сланцев, в океанах и на континентах. 6. Синхронность во времени (апт, альб, на границе сеномана и турона, коньяк) довольно кратковременных (~1 млн. лет) событий, в течение которых происходило отложение горючих и других черных сланцев не только в океанах, но и на континентах (Дженкинс, 1980).

Меловые черные сланцы выявлены НИС "Гломар Челленджер" среди пелагических (зашельфовых) осадков Мирового океана в глубоких впади-

нах и желобах, на плато, в срединно-океанических хребтах, а также в краевых бассейнах, связанных с рифтогенезом пассивных и активных окраин континентов. Изучены эти сланцы и в глубоководных фациях континентов в связи с офиолитовыми комплексами древних океанических кор (Бескровный, 1982). Месторождения меловых горючих сланцев известны в Забайкалье, Монголии, Сирии, Иордании, Ливии, Марокко, Бразилии, Аргентине, США, Италии, Канаде, Испании и др. Многие из них развились в условиях континентальных рифтов. Содержание ОВ в меловых черных сланцах океанов может варьировать от следов до 30%; в целом в меловых сланцах содержится ОВ больше, чем во всех фанерозойских углях вместе взятых. Меловые черные сланцы обогащены Fe, Mn, V, Cr, Pb, Ni, Zn, Cu и другими металлами. Согласно балансовым расчетам, источником этих металлов не мог быть материал выветривания континентальной суши.

В предлагаемой модели серьезное значение придается интенсивному проявлению основного магматизма, связанного с развитием рифтогенеза мелового периода и формированием океанической коры. Развитие рифтогенеза и дефлюидизация астеносферы и литосферы временами вызывали такие серьезные нарушения в системе атмосфера - гидросфера - литосфера - биосфера, что неминуемо возникали весьма благоприятные условия для высокой биопродуктивности в эвфотической зоне и (или) для захоронения остатков живого вещества. Глобальные бескислородные события аптского, альбского, сеноман-туронского и коньякского веков мелового периода, как, вероятно, и других периодов, совпадали с существенным увеличением содержания CO_2 в атмосфере, триггерным воздействием вулканического CO_2 (тепличный эффект в атмосфере) и глобальным потеплением климата (Будыко, 1980), относительным его выравниванием, таянием ледников, развитием трансгрессий и уменьшением альбедо Земли. Происходили общее уменьшение циркуляции атмосферы, замедление и исчезновение океанических течений, развитие застойных условий в эпиконтинентальных морях и океанах, возникновение температурной и плотностной зональности вод. В донных осадках и придонных водах создавались восстановительные условия, вызванные застойностью и стратифицированностью вод в бассейнах, привносом восстановленных газов H_2 , CH_4 , H_2S , NH_3 из глубоких недр Земли, разложением ОВ, синтезированного в верхней эвфотической зоне или поступившего из гумидных областей суши. По аналогии с настоящим временем горячие гидротермы срединно-океанических рифтов приносили в меловой океан SiO_2 , P, N, Cu, Pb, Zn, V, Ni, Mn, Fe, Ra, Hg.

Расширение кверху бескислородной зоны, зараженной токсическими и радиоактивными веществами, создавало стрессовые условия для гетеротрофов и этим также благоприятствовало захоронению ОВ. Катастрофическое смешивание глубинных бескислородных вод с поверхностными насыщенными кислородом водами способствовало вымиранию эвригалинных организмов, освобождению экологической ниши, давало дорогу "выпн-

кам" и "расцвету" одному - двум видам толерантных автотрофов и многократному росту их сезонной биопродуктивности. Этому способствовал и привнос лимитирующих развитие фитопланктона соединений N, P, CO_2 и микроэлементов. Образование богатых ОВ пород происходило при наличии весьма благоприятных условий (восстановительные или бескислородные условия в водной среде и донных илах, оптимальная скорость осадконакопления). Существование выходов нефти со дна рифтовых озер, нередко с маломощным чехлом донных осадков (Байкальская рифтовая система), наблюдения над сорбцией нефти донными илами и существование в пачках сланцев полимеризованной нефти могут свидетельствовать о том, что в формировании некоторых сланцев, кроме планктоногенного и другого органического вещества, непосредственно участвовала также нефть. Она могла оказывать и косвенное влияние, так как в ней содержатся токсические, например, ароматические, соединения, которые по-разному влияют на экосистему.

Предлагаемая модель подтверждается и данными изучения изотопного состава C и S в сланцах и вмещающих их породах. Существование бескислородных условий в океане в периоды интенсивного развития рифтов благоприятствовало формированию также осадочных сульфидных руд, баритов, фосфоритов, железо-кремнистых формаций и сульфатных толщ.

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСАХ ГАЗОНОСНОСТИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Г.И. Войтов

ИФЗ АН СССР, г. Москва

Природные газы угольных месторождений, их генезис, химический и изотопный состав и особенности локализации в угольных пластах и вмещающих породах до сих пор привлекают внимание. Более того, внимание все больше обостряется, поскольку, с одной стороны, наметились тенденции перераспределения минерального топлива в энергетическом балансе страны (и мира) в пользу угля, а с другой - в связи с последовательным углублением горных работ и связанными с этим проблемами повышения газообильности горных выработок, перераспределения по важности источников поступления природных газов в рудничную атмосферу и т.д.

Положение усугубляется тем, что многие классические представления об образовании природных газов угольных месторождений, масштабы этого явления и направленность метаморфизма исходного органического вещества не выдерживают проверки новейшими методами исследований. Выясняется, что связь природных газов, фиксированных на угольном веществе каменноугольных пластов в современную эпоху, с метаморфическими изменениями органического вещества угольного пласта не очевидна; что роль природных газов, поступающих в угленосные толщи по уплотненным зонам из подстилающих (в том числе древних осадочных

пород и пород консолидированного фундамента) отложений, по крайней мере, недооценивалась и т.д.

Существует мнение, что подавляющая часть углеводородных газов, локализованных в месторождениях природных газов, является продуктом метаморфических преобразований органического вещества гумусового ряда, рассеянного в осадочных породах угленосных толщ и сконцентрированного в угольных пластах рабочей и нерабочей мощности. В этом случае, в силу того, что сорбционная емкость угольного вещества в условиях, сходных с пластовыми, не сопоставима с его потенциальными возможностями генерировать природные газы (порядка $35-40 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$ на 1 т угольного вещества средних стадий метаморфизма по сравнению со 150 м^3 или даже более генерированного CH_4 на 1 т конечной массы угольного вещества той же стадии метаморфизма; примерно такие же соотношения сохраняются для CO_2), избыток последних должен обрасываться в процессе метаморфических преобразований органического вещества гумусового ряда во вмещающие породы. Соответственно на веществе угольного пласта сорбционными силами должен удерживаться газ, химический облик которого или в точности будет повторять химический облик природных газов, генерируемых веществом угольного пласта в соответствующее геологическое время, или быть обогащенным газами, имеющими большую теплоту адсорбции (CO_2 , тяжелыми углеводородами). Однако ниже зоны развития гипергенных процессов (т.е. в зоне метаморфизма) CO_2 , как и тяжелые гомологи метана, теплота адсорбции которых явно превалирует над теплотой адсорбции CH_4 , никогда не определяют химизма газов угольных пластов. Исключение составляют каменноугольные месторождения в полосе альпийской складчатости и развития молодых метаморфических процессов (типа Силезского каменноугольного бассейна), где химизм природных газов определяется CO_2 , генетически явно не связанным с процессами преобразования органического вещества каменноугольных пластов. Придумать геохимический процесс, который в природе был бы ответственным за вывод из генерирующей системы таких газов, не представляется возможным. Это тем более важно помнить, так как согласно известной схеме Е.А.Рогозиной и О.А.Радченко, преобразования органического вещества гумусового ряда на ранних стадиях его метаморфизма (или во всяком случае до стадии X включительно) основным компонентом летучих является CO_2 .

Это один из важных аргументов в пользу того, что природные газы угольных пластов ниже зоны развития гипергенных процессов и пространственно локализующиеся вблизи угольных бассейнов газовых месторождений генетически едины, но не связаны с метаморфическими изменениями гумусового органического вещества каменноугольных пластов и пород угленосных толщ.

Не наблюдается связи между степенью метаморфических изменений органического вещества гумусового ряда каменноугольных пластов и содержанием в составе газов гомологов метана. Последние в пределах, на-

пример, Донецкого бассейна распределены пятнами или линейными зонами и в общем тяготеют к зонам разломов, хотя в линейных зонах стрессовых деформаций горных пород и проявлений внезапных выбросов угля и газа углеводороды чаще бывают исключительно сухими, метановыми. Это второй важный аргумент, говорящий не в пользу генетического родства газов угольных пластов с гумусовым веществом последних.

Изотопно углерод CH_4 угольных месторождений и углерод CH_4 газов газовых месторождений, локализующихся в окрестностях каменноугольных бассейнов, близки. Однако существует ряд изотопных критериев, которые противоречат схеме образования углеводородов, фиксированных на органическом веществе угольных пластов и локализованных в газах газовых месторождений, из органического вещества гумусового ряда каменноугольных пластов и рассеянного в породах угленосных толщ. Во-первых, обращает на себя внимание большая изотопная гомогенность углерода угольного вещества на всем интервале метаморфических изменений последнего (от B до суперантрацитов $\text{A}_{12}-\text{A}_{13}$), что находится в явном противоречии с тем, что можно было ожидать, если бы в природе реализовывался тот процесс метаморфических изменений органического вещества каменноугольных пластов, на который указывают Е.А.Рогозина и другие (по нашим оценкам, углерод органического вещества гумусового ряда на стадии суперантрацитов должен был стать изотопно легче не менее чем на 5% значений $\delta^{13}\text{C}$ по сравнению с углеродом органического вещества исходных торфяников). Во-вторых, по крайней мере, в Донбассе не наблюдается изотопной тождественности между углеродом CH_4 и углеродом антрацитов самой высокой стадии углефикации органического вещества. Напротив, эмпирические данные показывают, что углерод CH_4 , десорбированного из антрацитов высших стадий углефикации, изотопно один из наиболее легких. В-третьих, можно утверждать, что, по крайней мере, в Донецком бассейне нет четкой зависимости (или она весьма сильно размазана) между изотопным составом углерода CH_4 и метаморфизмом органического вещества каменноугольных пластов, в то время как пространственная изотопная зональность CH_4 как будто прослеживается (к перифериям Донецкого бассейна, особенно к контактам его осадочного заполнения с породами Украинского кристаллического щита, изотопно углерод CH_4 облегчается). Наиболее изотопно тяжел углерод CH_4 в тех районах Донецкого бассейна, в которых осадочное заполнение наиболее мощно.

Суммирование следствий, вытекающих из изотопных данных, заставляет отдавать предпочтение отщеплению от органических структур гумусового вещества H_2O как ведущему процессу его метаморфизма (на что указывалось еще в тридцатых годах), а не летучих углеродистого состава, как то принято в настоящее время.

На современное распределение природных газов (в первую очередь, углеводородов) и их химизм, изотопный состав и другие параметры в

пределах угольных бассейнов и месторождений исключительную роль оказывают разрывная тектоника и потоки летучих, которые перемещаются из областей высоких температур в зону разгрузки – атмосферу Земли. Именно этими газами в геологической истории, по-видимому, определялись газонасыщенность угольных пластов и пород угленосных толщ ниже зоны развития гипергенных процессов, ее неравномерности и химический состав природных газов, которые чаще всего оставались стабильно углеводородными.

Оценки показывают, что последнее – фундаментальная особенность распределения газов (в первую очередь, углеводородов) в породах осадочного чехла, в том числе в породах угленосных толщ с наиболее высокой концентрацией органического вещества в разрезах литосферы. Такие оценки вытекают прежде всего из сопоставления генерирующих возможностей захороненного органического вещества (по принятой схеме метаморфизма) с интенсивностью стока в атмосферу Земли отдельных газовых компонентов (например, CH_4) на протяжении геологического времени.

ОСАДОЧНО-МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА ЗЕМЛИ КАК ИСТОЧНИК БИОГЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЭМАНАЦИЙ

Св.А.Сидоренко, Институт литосферы АН СССР, г.Москва;
В.А.Теняков, ВИМС, г.Москва

В настоящее время количественно установлено (Ронов, Ярошевский, 1976), что около половины (51,5%) так наз. гранитной оболочки Земли сложено осадочно-метаморфическими породами. Если же учесть, что формирование второй, магматической, половины этой оболочки происходит также "...преимущественно за счет коренной переработки более древних осадков..." (Ронов, Ярошевский, 1976, с. 1787), то станет очевидным, что рыхлые осадочные чехлы всех континентов, по существу, подстилаются образованиями, преобладающая часть вещества которых первично накапливалась на дневной поверхности в тех или иных по характеру древнейших седиментационных бассейнах.

Выполненные нами расчеты (табл. 1) показали, что высокоуглеродистые породы занимают среди докембрийских первично-осадочных пород в среднем примерно 10% (расчет велся исходя из мощностей этих пород в разрезах первично-осадочных комплексов) и характеризуются в среднем содержанием $C_{\text{св}} = 3,30\%$ (табл. 2). При расчете этой величины, исходя из данных А.В.Ронов, А.А.Ярошевского (1976) об объемах основных типов первично-осадочных пород докембрия, были приняты следующие числовые пропорции между ними: гнейсы : сланцы = 3 : 1; песчаники : карбонаты = 2,5 - 1; Σ гнейсы + сланцы : песчаники + карбонаты = 6,9 : 1. Для "обычных", невысокоуглеродистых, осадочно-метаморфических пород докембрия на основе оригинальных и компилятивных данных среднее содержание $C_{\text{св}}$ оценено величиной 0,13%.

Таблица 1. Распространенность высокоуглеродистых метаосадочных пород в докембрии

Структура, регион, континент	Первично-осадочные комплексы, % от общей площади (А.В.Сидоренко, 1963)	Высокоуглеродистые метаосадочные породы докембрия, % от мощности
Канадский щит	97,7	7,5
Балтийский щит	60,5	15,0
УКЩ	15,5	12,5
Алданский щит	67,4	7,5
Русская платформа	75,1	8,5
Анабарский массив	95,9	7,5
Докембрий Урала	98,5	8,0
Докембрий Енисейского края	90,6	9,5
Докембрий Таймыра	89,8	10,5
Докембрий Казахстана	97,8	11,0
Докембрий Южной Америки	95,5	8,5
Докембрий Африки	73,5	12,0

Вовлечение цифр табл.1 в расчеты с учетом исчисленных нами масс этих пород по исходным данным А.В.Ронов и А.А.Ярошевского (1976) – $0,4 \cdot 10^{24}$ и $3,6 \cdot 10^{24}$ г соответственно – позволило найти, что только в осадочно-метаморфической части гранитной оболочки Земли находится вдвое больше свободного биогенного углерода, чем в объеме всех седиментационных образований фанерозоя ($\sim 180 \cdot 10^{20}$ г против $91 \cdot 10^{20}$ г).

Обращение к установленным нами цифрам средней распространенности углеводородов в осадочно-метаморфических породах докембрия выявляет в этой же оболочке и существование грандиозного по масштабу резервуара рассеянных углеводородов ($11,3 \cdot 10^{20}$ г), на три порядка превышающего всю массу углеводородов, сконцентрированных и известных в потенциально вероятных месторождениях нефти и газа ($0,01 \cdot 10^{20}$ г – $0,03 \cdot 10^{20}$ г):

Породы	Углеводороды	
	твердые + жидкие	газообразные
Высокоуглеродистые породы	0,08	0,02
Обычные (высокоуглеродистые породы)	0,016	0,004

Безусловно, что эманирование углеводородов из докембрийских цоколей платформ, геосинклиналей и шельфовых блоков по зонам трещино-

Таблица 2. Распространенность свободного биогенного углерода в основных типах углеродсодержащих осадочно-метаморфических пород

Породы	C _{св.} %		
	от	до	средн.
Основные типы пород			
Сланцы (глинистые сланцы)	0,07	14,50	0,85 (xxx)
Карбонаты (известняки, доломиты, мраморы, кальциты и др.)	0,05	8,30	0,60 (xx)
Песчаники, кварциты (паракварциты)	0,03	2,50	0,35 (xx)
Гнейсы (парагнейсы)	0,06	18,30	4,70 (xx)
Другие породы			
Аркозы (метааркозы)	0,01	0,50	0,15(x)
Кианитовые сланцы	0,10	1,92	1,18(x)
Гранулиты (парагранулиты)	0,08	1,20	0,74(x)
Шунгитовые сланцы	5,08	53,50	25,45(x)
Число анализов: (x) - десятки; (xx) - сотни; (xxx) - тысячи.			

ватостей, разрывных нарушений и системам разломов вносит значительный пай в нефтегазоносность перекрывающих их отложений, а, возможно, играет определенную роль и в формировании их крупных и даже гигантских скоплений в виде соответствующих месторождений.

РОЛЬ МЕТАНООКИСЛЯЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОЦЕССАХ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ И КРУГОВОРОТЕ УГЛЕРОДА

Ю.Г.Чугунный, В.И.Лялько, Институт геологических наук АН УССР, г.Киев;

Ю.Р.Малашенко, Институт микробиологии и вирусологии АН УССР, г.Киев

В геосферу и атмосферу Земли поступают огромные количества abiогенного и биогенного метана, из которых первый (геохимического происхождения) мигрирует из глубинных зон земной коры, а второй формируется в анаэробных зонах, являющихся местами захоронения органического вещества.

Распределение содержания метана в атмосфере указывает на существование постоянно действующего механизма, обеспечивающего поддержание его стабильных концентраций. Проведенные исследования показали, что окисление метана осуществляется по двум направлениям: 1) в техногенной сфере, при добыче и использовании углей и т.д.; 2) в природной среде путем бактериального окисления. Этот канал снижения концентраций метана в геосфере является главным и представляет собой

природный процесс, действующий постоянно в условиях суши и морского дна. Показано, что в современных условиях такой процесс наиболее выражен над нефтегазовыми залежами; он рассматривается нами в качестве своеобразного биогеохимического реактора, в котором продукты углеродородной дегазации окисляются специфической микрофлорой до CO₂ и H₂O с выделением тепла.

Бактериальное окисление метана осуществляется в широком диапазоне температур от 0° до +65°C, в аэробных условиях. Протекание процесса в природных обстановках контролируется биологическими и геологическими параметрами. В первом случае, например, интенсивное окисление метана бактериями может сопровождаться снижением содержания кислорода в почвах и гибелью высших растений, во втором - возникновением полей аномально высоких температур в зонах повышенных emanаций метана на нефтегазоносных структурах, а в этой связи усилением процессов карбонатного конкрециообразования (карбонатообразования) в приповерхностных грунтах вследствие накопления в них CO₂ и геохимического превращения последнего в CaCO₃.

Отмеченная направленность карбонатообразования оказалась приложимой к раскрытию причинных связей в образовании рифогенных структур (включающих в себя органогенные постройки и рифы) и зон повышенной биологической продуктивности в океане. В первом случае нами была предложена принципиально новая модель образования этих структур, согласно которой спонтанное развитие каркасных организмов, обеспечивающих накопление CaCO₃ и соответственно рост рифогенных массивов, связано с использованием ими посредством метанооксиляющих организмов дополнительного источника углерода в виде CO₂ и биомассы самих бактерий, осуществляющих трансформацию органического вещества путем переработки продуктов углеродородной дегазации земной коры в условиях морского дна. Канал стока этого углерода имеет направленный, концентрированный и постоянно действующий характер и осуществляется непосредственно через массу пород рифогенных структур, пространственное положение которых сопряжено с линиями простираения разломных зон в океане. Таким образом, процессы дегазации земной коры несут в себе предпосылки обеспечения развития биологических сообществ разных трофических уровней, что, в свою очередь, находит отражение в сложных явлениях геологического порядка.

Во втором случае возникновение зон повышенной биологической продуктивности в океане рассматривается нами как следствие биосинтеза органического вещества хемоорганотрофами в условиях абиссальных глубин морского дна, где процессы фотосинтеза не имеют места. Указанный биосинтез может осуществляться метанооксиляющими бактериями на базе продуктов углеродородной дегазации, причем формирующаяся при этом биомасса бактерий в силу жестких трофических условий на этих глубинах неминуемо должна вовлекаться в процессы обмена биологическими сообществами (бентосными, планктонными) разных трофических уровней.

Основанием к такому суждению послужили, во-первых, приуроченность зон повышенной биологической продуктивности в глубоководной части океана к тектонически активным структурным выступам морского дна и рифтовым зонам; во-вторых, находки углеводородокисляющих бактерий в донных осадках абиссальных глубин, придонных водах и кишечниках бентосных и планктонных морских организмов. Метаноокисляющие бактерии, обладая способностью синтезировать органическое вещество с наиболее высоким содержанием белка и широким набором аминокислот, выступают, таким образом, в качестве первичных его продуцентов. Подобную роль могут выполнять бактерии и других трофических специализаций, использующие продукты дегазации земной коры иного состава, например сульфиды водорода, как это отмечалось в зоне Галапагосского рифа.

Как видно из изложенного, проблема дегазации земной коры имеет не только геологический, но и широкий биологический аспект, в основе которого находится указанный биосинтез органического вещества. Трансформация этого вещества морскими биологическими сообществами разных трофических уровней влечет за собой активизацию процессов литогенеза, и в особенности карбонатообразования, формы проявления которого могут иметь различный характер.

РОЛЬ ПОДВОДНЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВЫХОДОВ В ФОРМИРОВАНИИ ГАЗОГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА

Л.В.Черткова

Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, г.Петропавловск-Камчатский

Рифтовые зоны срединно-океанических хребтов являются каналами, по которым осуществляется дегазация мантии. Наряду с вулканизмом, в результате которого выносятся 40-50 млн.т/сут вулканического материала, здесь происходит интенсивная разгрузка термальных вод, сопровождающаяся выносом большого количества газов (H_2S , CO , N_2O , CH_4 , H_2 , CO_2 , He) рудных и других компонентов с формированием сульфидных руд на выходе и окисных металлоносных осадков на удалении. Большая часть компонентов, в том числе и газы, растворяется в водах океана, часть поступает в атмосферу. Высокие концентрации 3He в подводных термальных выходах ($^3He/He^4$ достигает $1,10 \cdot 10^{-3}$), которые прослеживаются на большие расстояния от подводного источника (до 2500 км), свидетельствуют о глубинном происхождении поступающего на дно океана флюида (Крейг, 1981). Вместе с тем отсутствие в подводных гидротермах ионов SO_4^{2-} и Mg^{2+} свидетельствуют о глубокой циркуляции морских вод и формировании гидротерм за счет взаимодействия морской воды с базальтами. Посчитано, что при рабочей температуре конвективных ячеек $350^\circ C$ за каждые 8 млн. лет через осевые части хребтов проходит масса морской воды, равная по объему Мировому океану (Эдмонд, Дамм, 1982).

К районам интенсивной дегазации мантии относятся также островные

дуги (ОД), где вулканизм происходит как в наземных, так и в подводных условиях. Если при наземных извержениях и поствулканической активности летучие компоненты рассеиваются в атмосфере, то при подводных они улавливаются океаном. Хорошим примером подводной разгрузки гидротерм является источник, обнаруженный на глубине 800 м в тыловой части Курильской ОД, к западу от о.Парамушир. Он приурочен к поперечной вулканической зоне, представленной экструзивными куполами и небольшими, по-видимому, одноактными конусами, но не обнаруживает связи с каким-либо отдельным вулканическим центром. В водной толще газогидротермальный выход проявлен в виде "факела" аномальной воды, хорошо фиксируемого эхолотами. Высота его около 500 м, диаметр 270-290 м. За "факелом" ведутся постоянные наблюдения. Выявлены аномалии по температуре, содержанию кремниевой кислоты, растворенным в воде газам H_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S и др. По некоторым параметрам восходящий аномальный поток проявляется и на поверхности моря. В пробах из осадков зафиксировано увеличение содержания железа, фосфора, алюминия, ряда микроэлементов и органического кремнезема, обусловленное выносом этих компонентов подводными газогидротермальными растворами.

Газогидрохимические исследования, проведенные в рейсах НИС "Вулканолог", показали, что растворенные в воде газы можно использовать как критерий поиска подводных гидротерм и, соответственно, связанных с ними рудных залежей. Эффективной при этом является непрерывная газогидрохимическая съемка с последующей детализацией выявленных аномальных зон с помощью дискретного опробования. В водной толще над подводными гидротермами наблюдаются повышенные концентрации H_2 , CO_2 , CH_4 , в некоторых случаях N_2 , H_2 .

ПРИРОДНЫЕ ГАЗЫ ШЕЛЬФА ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ

А.И.Обжиров

Тихоокеанский океанологический институт ДВНЦ АН СССР,
г.Владивосток

Интерес к изучению природных газов шельфа Южно-Китайского моря связан с особенностями геологического строения окраинных морей западной части Тихого океана и перспективами поиска нефти и газа в них. Изучались природные газы придонной воды шельфа, континентального склона и впадины юго-западной части Южно-Китайского моря. Придонная вода отбиралась батометрами, из которой затем под вакуумом извлекался газ. Анализ газа проводился на хроматографе, определялись кислород, азот, углекислый газ, водород, гелий, углеводородные газы C_1-C_5 . Кроме того, на этих же станциях отбиралась придонная вода для определения щелочности, pH и верхний слой осадков для геохимического и минералогического изучения.

Исследования проводились в трех экспедициях (1981-1983 гг.), отобрано более 300 проб. Наиболее важным результатом работ явилось об-

нарушение аномалии природных газов в придонной воде в районе перехода шельфа в склон. Аномалия представляет собой узкую полосу шириной около 10 миль, протягивающуюся вдоль 200-метровой изобаты с севера на юг на 240 миль и более. Концентрации метана, углекислого газа и водорода в зоне аномалии превышают фон в 5-10 раз. Здесь же наблюдались увеличение щелочности, уменьшение pH воды, увеличение количества пирита в осадках и другие геохимические изменения.

Геологически район аномалии является зоной сочленения континентальной коры материка с субокеанической корой котловины моря. Контакт этот тектонически активен и является структурным элементом, контролирующим морфоструктуру данного района. Наличие тектонической зоны и ее активность подтверждаются рядом факторов. В этой зоне наблюдается очаг современного вулканизма, отмеченный учеными Вьетнама; к ней же приурочена цепочка тел повышенной плотности, возможно ультраосновных пород, протягивающаяся вдоль 200-метровой изобаты с севера на юг на 300 миль (установлена Р.Г.Кулиничем по данным гравиметрии).^{*} Здесь же (по данным А.П.Горшкова) наблюдается резкая смена теплового потока с 1 ЕТП на шельфе до 3-4 ЕТП на склоне. Интересным является факт изменчивости аномалии во времени и по простиранию. В ее центральной части наблюдались аномальные концентрации метана, водорода и углекислого газа. К северу и югу из аномалии исчезают сначала водород, затем углекислый газ. Содержание газов в аномалии по годам также менялось в 3-5 раз.

Таким образом, граница шельфа и склона юго-западной части Южно-Китайского моря совпадает с тектонической границей различных геологических структур. Эта зона активна в наши дни, глубина проникновения ее различна. В центральной части разлом, возможно, захватывает мантию, в связи с чем наблюдается повышенное количество H_2 , далее к северу и югу глубина его проникновения уменьшается. Метан продуцируется толщей миоцен-плиоценовых осадков, достигающих мощности 5-6 км во впадинах, перспективных на нефть и газ. При благоприятных структурных условиях это повышает перспективы поисков нефти и газа в данном районе.

ГЕЛИЙ И УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ГАЗЫ В ИНДИЙСКОМ ОКЕАНЕ (СЕВЕРНАЯ ЧАСТЬ ЗАПАДНО-АВСТРАЛИЙСКОЙ КОТЛОВИНЫ)

Р.С.Агаев, А.А.Фейзуллаев

Институт геологии АН АзССР, г.Баку

В данной работе рассмотрены результаты изучения распределения углеводородных газов (УВГ) и гелия в толще воды Индийского океана в 1982 г. с НИС "Антарес". Площадь исследования расположена в области северного замыкания Западно-Австралийской котловины и характеризуется сложными геологическими и гидрогеологическими условиями и характером рельефа дна. Отметки глубин поверхности дна колеблются в пре-

делах 3200-6800 м. Отбор проб воды осуществлялся батометрами БМ-48. Анализы газа выполнялись на хроматографах "Цвет-131", "ЛХМ-8МД" и приборе "ИНГЕМ-1". Исследования были осуществлены на 10 станциях и выполнено около 120 анализов в интервале разреза 0-5000 м. В этом интервале общая газонасыщенность воды изменяется от 13,3 до 67,9 см³/л, содержание гелия находится в пределах $(1,2 - 5,9) \cdot 10^{-5}$ мл/л; УВГ - $(0,48 - 8,61) \cdot 10^{-5}$ см³/л. УВГ представлены нормальными (от метана до бутана) и изомерными формами, а также непредельными соединениями.

Выявлены следующие особенности в распределении гелия и УВГ по площади и разрезу: 1) относительно более расчлененная западная часть площади выделяется более высокими концентрациями гелия и низкими УВГ, чем восточная, равнинная; 2) как по гелию, так и по УВГ более высокие концентрации приурочены к верхнему интервалу разреза. Для гелия этот интервал 150-1000 м с максимумом на глубине 800-1000 м, а для УВГ - 0-500 м с максимумом на глубине 200 м (по сумме тяжелых УВГ этот максимум смещен вверх на глубины 50-100 м). Интервалу максимальных концентраций УВГ соответствует минимальная общая газонасыщенность воды; 3) ниже интервала с максимальными концентрациями отмечается тенденция к увеличению содержания CH_4 и общей газонасыщенности и уменьшению концентрации тяжелых УВГ с глубиной.

Ранее аналогичный характер в вертикальном распределении УВГ был установлен в водах Каспийского и Черного морей, что позволяет говорить о едином механизме их формирования.

АБИОГЕННАЯ ПРИРОДА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ РИФТОВЫХ ЗОН МАТЕРИКОВОЙ ОТМЕЛИ И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА

В.А.Краюшкин

Институт геологических наук АН УССР, г.Киев

Рифтовые зоны и пояса в виде разновозрастных дизъюнктивных швов, рубцов или швов во множестве рассеяны по всему лику Земли, группируясь то в относительно простые и прямолинейные, то в сложные, причудливо изогнутые, пересекающиеся и во многом еще загадочные узоры его тектонической "татуировки". Мировая континентально-океаническая рифтовая система обладает огромной протяженностью, ныне измеряемой суммарной длиной около 110 тыс. км, и площадью порядка 25-30% от всей поверхности Земли. Значительная часть этой системы приходится на долю материковой отмели и континентального склона, так что многие границы современных континентов представляют собой рифтовые или палеорифтовые рубцы-швы, с которыми генетически связаны крупные осадочные бассейны. Здесь, кроме того, имеются и такие рифтовые зоны, которые, начинаясь в океане и продолжаясь на континенте, пересекают последний перпендикулярно его береговой линии. Таковы рифтовые зоны Амазонки, Бенуэ-Нигера, Рейна-Роны, Фидрой-Кеннинг и другие, в месте

пересечения которых с эпиконтинентальными рифтами развивались мощные седиментационные конструкции делът и палеodelът.

В пределах материковой отмели промышленная нефтегазосность установлена в 53 рифтогенных осадочных бассейнах, среди которых укажем Адриатический, Акабский, Ангольский, Баренцевоморский, Бенгальский, Бофортморский, Бохайваньский, Габонский, Западно-Шетландский, Западно-Яванский, Ирландоморский, Кабиндский, Камбейский, Кампусский, Карнарвонский, Кельтоморский, Комодоро-Ривадавийский, Красноморский, Лабрадороморский, Маккензи, Маракайбский, Мартабанский, Матуринский, Мозамбикский, Нигерийский, Нижнеамазонский, Нижненильский, Норвежского моря, Ньюфаундлендский, Реконкавский, Свердрупский, Североморский, Северо-Палаванский, Северо-Сахалинский, Сенегальский, Сержип-Алагуашский, Сиртский, Суэцкий, Таранакский, Тонкинский, Хамаметский, Эгейский и Южно-Каспийский, а также отдельные части Бискайского, Валенсийского, Ж.Бонапарта, Кадисского, Калифорнийского, Кампече, Ля-Веля, Мексиканского, Персидского и Таиландского заливов.

Благодаря бурению выявлено 23 месторождения (в том числе 8 зарубежных гиганских) нефти, конденсата и газа в недрах и континентального склона в Атлантическом, Индийском, Северном Ледовитом и Тихом океанах. Эти месторождения находятся в таких 13 рифтовых бассейнах, как Адриатический, Балтиморский Каньон, Бофортморский, Браузский, Валенсийский, Гвинейский, Грейт-Саутский, Ж.Бонапарта, Лабрадороморский, Мексиканский, Поркьюпайнский, Рокколский и Эксмаутский.

На подводные недра морей и океанов приходится около 50% мировых извлекаемых запасов нефти и почти 30% мировых извлекаемых запасов газа. В свою очередь, эти морские запасы нефти размещаются так, что 75% их сосредоточено в эпиз-, интра- и экзоконтинентальных рифтовых зонах; 21% - в зонах трансформных разломов и 4% - в субдукционных зонах. Что касается морских запасов газа, то 31% их находится в рифтовых, а 69 - в субдукционных осадочных бассейнах. Это богатство подводных недр Мирового океана связано с тем, что на дизъюнктивных краях континентов и литосферных плит в третичное и четвертичное время происходила планетарная генерация нефти и газа в верхней мантии Земли, а за счет ее дегазации шла миграция и аккумуляция нефти и газа в разрезе осадочных бассейнов, расположенных в Мировом океане вдоль тех глубинных разломов, которые образуют края материков и плит.

Распад Пангеи приходится на позднепермское - триасовое время, а Лавразии и Гондваны - на позднепермское - юрское. Поэтому можно думать, что органическое вещество допермских, пермских, триасовых и юрских пород (часто континентальных или вулканогенных) не имеет никакого отношения к генезису вышеупомянутых запасов нефти и газа в подводных недрах мировой материковой отмели и мирового континентального склона, поскольку планетарные процессы рифтогенеза, сепарации плит и их блоков, спрединга океанического дна и дрейфа континентов уничтожили все ранее существовавшие условия, необходимые, например,

для сохранения крупных скоплений нефти и газа. Формирование же там промышленной нефтегазосности в более позднее время за счет латеральной миграции нефти и газа со стороны суши также исключается: отложения шельфа и континентального склона наклонены, как правило, всегда в сторону моря, а далекая латеральная миграция нефти и газа вниз по падению пласта в природных условиях физически не осуществима. Кроме того, неэкваторная часть многих шельфовых бассейнов либо имеет чрезвычайно узкий и маломощный клин осадочных пород, либо вовсе лишена их (Баффинов, Ботнический, Бохайваньский и Финский заливы, Девисов пролив, Атлантическое побережье Южной Америки, западное побережье Австралии, западное и восточное побережья Африки и Индостана, Лабрадорское море), а ведь в большинстве именно таких рифтогенных бассейнов выявлены за рубежом крупные морские запасы нефти и газа.

В подводных недрах Мирового океана установлены многочисленные случаи залегания в дорифтовом (досепарационном) и послерифтовом (постсепарационном) комплексах пород генетически родственных нефтей (бассейны Ангольский, Баритский, Бенгальский, Бохайваньский, Габонский, Галф-Костский, Западно-Яванский, Кабиндский, Карнарвонский, Магелланов, Маракайбский, Нигерийский, Печорский, Североморский, Сержип-Алагуашский, Синтский, Сунляоский, Суэцкий, Фальконский в заливе Ля-Веля и др.). Это указывает не только на формирование всех их залежей в течение только послерифтовой фазы, но и на общий их источник нефти, находящийся в дорифтовом комплексе, т.е. в земной коре и подкоровой области.

Абиогенная природа нефтегазосности рифтовых зон материковой отмели и континентального склона доказывается также находками метана в молодых базальтоидах Средне-Атлантического хребта и струй абиогенного метана из глубинных разломов на Восточно-Тихоокеанском хребте и в Карибском море. Таковы несомненные свидетельства в пользу дизъюнктивной дегазации верхней мантии Земли в рифтовых зонах Мирового океана и неорганической природы их огромных запасов нефти и газа.

ЗОНЫ СУБДУКЦИИ - ОСНОВНЫЕ УЧАСТКИ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

Ш.Ф.Мехтиев, Институт геологии АН АзССР, г.Баку;

Э.Н.Халилов, ЦМИ ЮЗВНИИ Геофизики, г.Баку

Вопросы дегазации Земли неоднократно рассматривались без учета возможности горизонтальных движений литосферы. Но в настоящее время получено большое количество данных геологии, геофизики, геохимии, космических исследований и др., свидетельствующих о значительных масштабах горизонтальных перемещений. Это позволяет с новых позиций подойти к проблеме дегазации Земли.

Как принято считать, основными индикаторами дегазации Земли являются грязевые вулканы. Об этом свидетельствует наличие в больших

концентрациях лития и бора в брекции и воде активных грязевых вулканов (С.Д.Гемп, И.А.Лагунова, 1976). Кроме того, в результате проведенных этими же авторами исследований было установлено повсеместное присутствие в газах грязевых вулканов двуокиси углерода, аргона и гелия. В газах многих грязевых вулканов присутствуют тяжелые углеводороды, а также пары ртути. Несомненна приуроченность грязевых вулканов к глубинным разломам, что было отмечено в работах С.А.Ковалевского, Ш.Ф.Мехтиева, В.А.Горина, З.А.Бунят-Заде, П.Н.Кропоткина и Б.М.Валыева. Деятельность грязевых вулканов тесно связана с тектоническими процессами. Так, В.А.Горин и З.А.Бунят-Заде (1971) была отмечена четкая связь активизации грязевых вулканов Южно-Каспийской впадины с вертикальными движениями дна Каспийского моря; П.Н.Кропоткин и Б.М.Валевым (1981) указано на несомненную связь активизации грязевых вулканов с землетрясениями.

Проведенные нами исследования позволили прийти к выводу, что практически все грязевые вулканы мира приурочены к зонам Заварицкого-Беньоффа (к зонам субдукции). Зоны АВПД, с которыми непосредственно связаны грязевые вулканы также приурочены к зонам Заварицкого-Беньоффа. Данный вывод наталкивает нас на мысль о тесной связи грязевых вулканов и, следовательно, процесса дегазации Земли с горизонтальными движениями литосферы. Так, нами была обнаружена четкая периодичность в активизации грязевых вулканов мира. Представило определенный интерес выявление возможной связи деятельности грязевых и магматических вулканов. Для этой цели магматические вулканы мира были разделены на два основных типа - вулканы зон субдукции (типа С) и вулканы рифтовых зон (типа Р). Сравнение графика периодичности активизации магматических вулканов типа С с таковым грязевых вулканов (за промежуток времени с 1850 по 1980 г. показало их полную идентичность. Все без исключения циклы активизации магматических вулканов типа С и грязевых вулканов совпали во времени.

Нами сделано предположение, что активизация магматических вулканов типа С и грязевых вулканов характеризует активизацию процессов субдукции на Земле, тогда как активизация магматических вулканов типа Р характеризует ускорение процессов спрединга. Сравнение графиков активности магматических вулканов типов С и Р показало их несовпадение во времени. Это приводит к выводу о чередовании эпох расширения (за счет спрединга) и сжатия (за счет субдукции) Земли (Ш.Ф.Мехтиев, Э.Н.Халилов, 1983). Такие квазипериодические изменения радиуса Земли проявляются в вариациях угловой скорости, ее вращения. Сравнение графика активизации вулканов типа Р с графиком изменения угловой скорости вращения Земли показало, что усиление вулканической активности соответствует замедлению вращения Земли и наоборот.

Сжатие Земли приводит, по-видимому, к активизации процесса дегазации недр, причем дегазация проявляется в наиболее благоприятных для этого условиях, соответствующих зонам субдукции. Таким образом,

периодичность дегазации Земли тесно связана с цикличностью глобальных геодинамических процессов и имеет планетарный характер. Активизация процессов субдукции приводит к тому, что в мантии возникают области повышенных давлений, приуроченные к зонам Заварицкого-Беньоффа. Дальнейшее сжатие Земли за счет субдукции вызывает увеличение давления глубинных газов, которые устремляются к поверхности земли, прорывая наиболее ослабленные участки земной коры - раздробленные зоны, тектонически активные и "залеченные" разломы, в том числе зоны Заварицкого-Беньоффа, служащие основными путями миграции на поверхность газов глубинного происхождения.

Классическим примером приуроченности огромных скоплений углеводородов к зонам субдукции является Персидский залив, где сейчас разведано около 65 млрд. т нефти и 15 трлн. м³ газа. Другим примером, по нашему мнению, является Кавказско-Копетдагский регион. Как известно, в восточной части Большого Кавказа выявлена сейсмфокальная плоскость (П.Н.Кропоткин, Л.В.Ларионов, 1976). На Каспии и в Западной Туркмении также установлена зона Заварицкого-Беньоффа и подтверждено ее наличие на Кавказе, а по данным комплексных геофизических исследований определено пространственное положение зоны субдукции в Кавказско-Копетдагском регионе (Э.Н.Халилов, 1982). Зона грязевых вулканов Кавказско-Копетдагского региона с большой точностью совпадает с простиранием зоны Заварицкого-Беньоффа (Ш.Ф.Мехтиев, Э.Н.Халилов, 1984).

ОБРАЗОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЗОНАХ КОНТАКТА ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ

В.П.Гаврилов

МИНХИП им. И.М.Губкина, г.Москва

Развитие идей глобальной тектоники плит оказало важное творческое влияние на формирование нового подхода к проблеме нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции в земной коре. Это нашло отражение в трудах О.Г.Сорохтина, А.С.Монина, М.К.Калинко, И.П.Жабрева, Б.А.Соколова, А.А.Ковалева, К.А.Клещева, А.А.Геодекяна, В.А.Левченко, Л.Э.Левина, Е.В.Кучерука, И.Е.Баланж и других исследователей. Авторы отмечают приуроченность большинства выявленных запасов нефти и газа к современным и палеозонам контакта литосферных плит.

В соответствии с концепцией тектоники плит выделяются два основных типа контакта литосферных плит: конструктивный (наращивания) и деструктивный (поглощения). Конструктивный тип контакта предусматривает образование новой океанической коры вдоль рифтовой долины океана (процесс спрединга). Появлению рифтовой долины с активным спредингом предшествовало заложение континентальной системы грабен-рифтов, которая впоследствии перерождалась в межконтинентальную систему морских рифтов с дальнейшим раскрытием океана. Деструктивный тип контакта литосферных плит характеризуется поглощением океанической коры

в зонах субдукции или столкновением континентальных или островодужных масс в зонах обдукции с образованием горно-складчатых областей.

С точки зрения образования углеводородов из ОВ предпочтительны зоны морских рифтов и зоны обдукции. Морские рифты обладают рядом благоприятных для нефтегазообразования условий: активная субаквальная седиментация, восстановительная геохимическая обстановка, обогащенность осадка ОВ, высокая прогретость недр. Все это предопределяет накопление мощных осадочных толщ (до 10 км), обогащенных ОВ, и раннее созревание его до стадии капельно-жидкой нефти. По мере раскрытия океана морские рифты оказываются разделенными на фрагменты, которые удаляются от оси разрастания вместе с дрейфующими континентами. Фрагменты бывших морских рифтов впоследствии оказываются в составе пассивных окраин континентов. Если процессы океанообразования не завершаются раскрытием океана, то рифты могут перерождаться в крупные внутриконтинентальные депрессии (синеклизы, плиты) с высокой прогремостью осадочного чехла. Примером современных морских рифтов, где реализуются процессы нефтегазообразования, является Красное море. Нынешние пассивные окраины континентов (атлантическое побережье Америки, Европы, Африки и др.) – фрагменты рифтовых систем мезозоя. Грабен-рифты Северного моря, Западной Европы, Западной Сибири – пример рифтов, переродившихся во внутриплатформенные депрессии.

Зоны обдукции, представленные областями столкновения двух островных дуг, континента и островной дуги или континента и континента, также характеризуются скупиванием (аккрецией) огромных осадочных масс, содержащих рассеянную органику при жестком термобарическом режиме недр, что служит определяющим условием активных процессов нефтегазообразования. Для настоящего времени процессы обдукции не характерны, в современных зонах столкновения литосферных плит преобладают субдуктивные явления. Зоны обдукции прошлого фиксируются передовыми прогибами, высокая нефтегазоносность которых доказана. В разведку вовлекаются некоторые поднадвиговые участки обдуктивных зон прошлого (Скалистые горы, Аппалачи, Загрос), где уже обнаружены крупные скопления углеводородов. Обдукционный механизм образования углеводородов позволяет объяснить формирование аномально крупных скоплений нефти (Персидский залив, Атабаска и др.), появление газообразных и жидких углеводородов в продуктах извержения вулканов.

Итак, большинство современных нефтегазоносных областей и провинций (бассейнов) в зависимости от геодинамического режима нефтегазообразования можно разделить на рифтогенные и субдукционно-обдукционные. В пределах первых выделяются окраинно-рифтогенные и внутренне-рифтогенные, в пределах вторых – субдукционные и обдукционные области (провинции) нефтегазонакопления.

ТЕКТОНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩЕ ЛИТОСФЕРЫ

Р.Г.Гарецкий, А.В.Кудельский, Н.П.Волкова

Институт геохимии и геофизики АН БССР, г.Минск

Нефтегазоносные бассейны (НГБ) связаны с крупными геологическими структурами литосферы (депрессиями), выполненными осадочными образованиями общей мощностью от 4 до 25–30 км в наиболее прогнутых частях мегаформ. Тепловой режим осадочных толщ определяется преимущественно температурами фундаментов (кристаллических, складчатых) (от 50 до 600–700°C) и интенсивностью тепломассопереноса в разрезе выше-залегающего осадочного выполнения НГБ.

В результате статистического анализа обширной выборки фактических данных по распределению газовых залежей ($n = 1176$) в 65 бассейнах древних (34) и молодых (20) платформ и областей мезозойской и кайнозойской складчатости установлено: 1) максимальные запасы газа связаны с бассейнами с мощностью (М) осадочного выполнения более 5 км, причем суммарные запасы газа (до 40% мировых) в бассейнах с $M = 10$ –15 км и температурой (Т) фундаментов 225–375°C в 2–2,5 раза превышают таковые для бассейнов с $M = 5$ –7 и 7–10 км и $T = 100$ –225°C; 2) для всех групп бассейнов наибольшая частота встречаемости (35–55%) газовых залежей фиксируется на глубинах 1–2 км и только для бассейнов с $M = 15$ –20 км и $T = 225$ –375°C (35%) – на глубинах 0,5–1 км. Это смещение максимума на 800 м, т.е. "отгон" основной массы запасов газообразных углеводородов относительно глубин преимущественного газонакопления, рассматривается как следствие высоких энергетических потенциалов миграции газов в бассейнах с весьма жесткими геотермическими условиями катагенетического преобразования осадочных пород. Статистически значимая пропорциональность между суммарной мощностью осадочных образований и их общим тепловым потенциалом, с одной стороны, и масштабами газообразования – с другой, свидетельствует о литогенетической природе большей (?) части углеводородов пластовых систем НГБ (малый цикл круговорота углерода и водорода).

ТЕКТОНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ДЕГАЗАЦИИ МАНТИИ ЗЕМЛИ

Г.Н.Доленко

ИГиГТИ АН УССР, г.Львов

Развитие земной коры происходило через геосинклинальный процесс. В протозое возникали геосинклинальные прогибы на древней земной коре в основном базальтового состава. После складчатости, прошедшей в конце среднего протерозоя, в области протозеосинклиналей сформировались древние платформы ("протоплатформы"). В неогене (фанерозое) земная кора формировалась в течение пяти геосинклинальных циклов. Развитие геосинклиналей происходило в три этапа: начальный, с которым

связано заложение геосинклинали, главный – геосинклинальный с образованием внутренней эвгеосинклинальной и внешней миеосинклинальной зон и заключительный – орогенный. На всех трех этапах развития геосинклиналей имели важное значение глубинные разломы, обуславливавшие взаимосвязь в развитии земной коры и верхней мантии Земли. В настоящее время все исследователи сходятся на том, что верхняя мантия является основным поставщиком материала земной коры, гидросферы и атмосферы и вместе с тем мощным генератором энергии тектонических движений. Одной из важных особенностей геохимической дифференциации вещества мантии является накопление летучих компонентов H_2O , H_2 , CO_2 , H_2S и др. и их последующее отделение в окружающую геологическую среду во время движения к поверхности литосферы. Среди летучих компонентов мантии, в частности ее астеносферы, значительное место занимают газ (метан) и нефть. Образование их связывается с орогенными этапами геотектонического развития геосинклинальных областей, когда геохимические и геодинамические процессы мантии в своем эволюционном развитии достигали интенсивного значения. Миграция их из астеносферных очагов генерации к поверхности Земли так же, как и рудоносных флюидов в начальные этапы развития геосинклиналей, происходила по глубинным разломам, ограничивавшим наиболее подвижные геотектонические элементы земной коры: предгорные прогибы и внутригорные впадины геосинклинальных областей, платформенные склоны, примыкающие к геосинклиналям и внутриплатформенные впадины рифтогенного типа. В них осуществлялось наибольшее прогибание земной коры и вместе с тем интенсивное развитие глубинных разломов как экзогенного, так и эндогенного заложения. В пределах этих же геотектонических элементов интенсивно проявлялись вулканические процессы заключительных фаз тектогенеза, накопление соленосных толщ и развитие соляного диапиризма, проявление грязевого вулканизма, концентрация термальных вод и др.

Анализ 160 нефтегазоносных провинций земного шара, находящихся в разработке, показывает, что все эти провинции приурочены к геотектоническим элементам земной коры такого типа. Такие нефтегазоносные провинции, как Персидская, Западно-Сибирская, Мексиканская, Урало-Волжская, Средне-Европейская, Маракайбская, Западно-Канадская, Северо-Африканская, заключающие свыше 80% мировых запасов нефти и газа, испытывали несколько циклов геотектонического развития геосинклинальных областей. Они относятся к полигенным нефтегазоносным провинциям. Гигантские и супергигантские нефтяные и газовые месторождения располагаются, как правило, на стыке крупных поднятий и депрессий фундамента осадочного чехла, разграниченных системой глубинных разломов.

П.Н.Кропоткин, Б.М.Валеев (1976) установили, что деятельность грязевого вулканизма юга СССР обусловлена вторжением глубинных флюидов. Флюидизация осадочного чехла происходит одновременно с формированием дизъюнктивных деформаций. Л.М.Зорькин, А.А.Дадашев (1982) показали,

что нефтегазоносная область Азербайджана является примером интенсивной дегазации Земли. Суммарное количество газа, выносимого здесь ежегодно, составляет около 400 млн. m^3 . Только за четвертичный период его количество достигло 250–300 трлн. m^3 .

На дне Тихого океана у оси Восточно-Тихоокеанского поднятия выявлены гидротермальные струи с температурой $400^{\circ}C$. Они содержат, кроме гелия и аргона, также водород и метан. Расчеты среднегодового потока H_2 и CH_4 в срединно-океанических хребтах земного шара приводят к оценкам $1,3 \cdot 10^9 m^3/год$ для водорода и $1,8 \cdot 10^8 m^3/год$ для метана. В пределах жолоба Кайман у подножья Ямайского хребта выделяется метана от $36,5 \cdot 10^6$ до $365 \cdot 10^6 m^3/год$. Концентрация CH_4 в газогидратах мирового океана составляет около $85 \cdot 10^3$ трлн. m^3 . Значительное количество газов растворено в подземных водах нефтегазоносных провинций. В общей сложности дегазация мантии во всех случаях контролируется тектоническими условиями развития и строения земной коры.

ДЕГАЗАЦИЯ ЗЕМЛИ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР

В.А.Краюшкин, Л.Н.Панасенко

Институт геологических наук АН СССР, г.Киев

Промышленные скопления нефти и газа, полностью или частично связанные с вулканом-тектоническими структурами, разрабатываются в Австралии, Австралазии, Азии, Африке, Европе, Северной и Южной Америке. Этих месторождений более 250, и за рубежом они содержат в своих недрах суммарные начальные извлекаемые запасы около 2,5 млрд. т нефти, 3 трлн. m^3 природного газа и 0,6 млрд. т конденсата. Нефтегазоносность вулканом-тектонических структур и формаций установлена в 50 таких осадочных бассейнах, как Аkitский, Амазонский, Ангольский, Анталийский, Баритский, Большой, Боуэн-Суратский, Ванский, Вентурский, Восточно-Гобийский, Восточно-Канадский, Восточно-Словацкий, Галф-Костский, залив Кука, Западно-Сибирский, Западный Новозеландский, Западно-Яванский, Иблеоский, Иллизийский, Колвилский, Куринский, Лено-Тунгусский, Магелланов, Мангышлакский, Маракайбский, Мендосский, Мидлендский, Морондавский, Некенский, Ниигатский, Паннонский, Предкарпатский, Прогресо, прогиб Колумбия-Ривер (Колумбийское плато), Регганский, Сакраментский, Сальтский, Сан-Хорхе, Сан-Суанский, Свердрупский, Сиртский, Снейк-Риверский, Сунляоский, Тампико-Тухпамский, Тимано-Печорский, Трансильванский, Триасовый, Центрально-Иранский, Центрально-Куинский и Южно-Суматринский. Три из них (залив Кука, Центрально-Куинский и Южно-Суматринский) являются субдукционными бассейнами, а остальные – рифтовые (эпирогенные и кратонические).

Большинство бассейнов с вулканом-тектоническими структурами харак-

теризуется наличием генетически родственных нефтей в дорифтовом, рифтовом и послерифтовом (досепарационном, сепарационном и постсепарационном) комплексах, причем первый из них представлен, как правило, кристаллическими породами фундамента. На базе этого нами сделан вывод, что нефтегазоносность всех трех данных комплексов сформировалась за счет недавней дизъюнктивной дегазации верхней мантии Земли практически в одно и то же время.

Обычно в вулканических эксгальциях содержится около 1% метана, однако его концентрация в газе Горячего пляжа на Кунашире достигает 5, вулкана Безымянного - 8, Эбеко - 9, Асаяма и Новоэрупта - 14, Гейзерной долины Калифорнии - 16, вулкана Мон-Пеле - 18, Апахончи-на - 43, Заварицкого - 63, а подводного вулкана близ Тейрсера (Азорские о-ва) - даже 87%. В целом же, согласно Е.К. Мархинину, все вулканы Земли в среднем выбрасывают ежегодно около $3 \cdot 10^9$ т пепла и 10^6 т абигенных органических соединений (в том числе примерно $3,3 \cdot 10^5$ т углеводов). На дизъюнктивную дегазацию верхней мантии Земли указывает, по нашему мнению, и само существование ныне разрабатывающихся месторождений нефти и газа Гальяно, Бронте, Сан-Никколо, Чизина и Катания, тесным кольцом опоясывающих вулканотектоническую структуру Этны у глубинного разлома Мессина-Этна-Комизо на о. Сицилия.

В нашей стране особенно ярко свидетельствуют о масштабах промышленной нефтеносности вулканотектонических структур результаты поисково-разведочного бурения на погребенных вулканах в Мурадханлы (возле г. Евлах), Самгори, Патардзеули, Телети, Ниноцминда (возле г. Тбилиси) и Гурджаани (Кахетия). Здесь многие скважины способны фонтанировать нефтью из вулканических пород с дебитами 1500-2000 т/сут, причем Мурадханлы дает около 60% всей добычи неморской нефти Азербайджана, а районы Самгори и Гурджаани - около 90% нефтедобычи Грузии.

КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ И НЕФТЯНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО КAVKAZA И ПРЕДКАVkazbЯ)

В.Д. Скарятин, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва;
С.В. Атанасян, ИГиРГИ, г. Москва

Важной чертой строения земной коры различных регионов являются выявленные при разных уровнях генерализации округлые, овальные, концентрические и пересекающиеся в плане кольцевые образования, изучению которых в последнее время придается большое значение.

На территории Северного Кавказа и Предкавказья по результатам дешифрирования фотографических и сканерных изображений земной поверхности разной обзорности, масштаба и разрешения на местности был установлен целый ряд кольцевых структур как одиночных, так и в скоплениях. Проводилось сопоставление пространственного расположения от-

дешифрированных кольцевых образований и нефтяных месторождений. Выявились месторождения, попадающие в пределы кольцевых структур и вне их. При сравнении оказалось, что эти две группы месторождений отличаются друг от друга по ряду признаков. Внутри серии пересекающихся кольцевых структур месторождения более крупные, они характеризуются наибольшим стратиграфическим диапазоном нефтеносности вскрытых скважинами продуктивных горизонтов, возраст которых от триаса до неогена. Они же содержат и значительно большее количество продуктивных горизонтов в одном месторождении. Нефти в залежах этих месторождений отличаются большим разнообразием состава и изменяются от сильнопарафинистых малосмолистых до слабопарафинистых высокосмолистых; их удельный вес колеблется в пределах 0,82-0,88 г/см³. Повышенными значениями характеризуются внутри кольцевых структур тепловой поток и газовый фактор нефтяных залежей. Содержание гелия в попутных газах этих залежей выше на 1-2 порядка. Все это может указывать на более интенсивный характер вертикальной миграции углеводородных систем в пределах земной коры внутри группы пересекающихся кольцевых структур по сравнению со смежными районами. Таких особенностей нефтяных месторождений в пределах одиночных кольцевых структур пока заметить не удалось. Ранее (1976 г.) авторами отмечалась приуроченность к кольцевым структурам газовых месторождений в пределах Ставропольского свода и рудных месторождений на Северном Кавказе.

При оценке нефтегазоносности изучаемых территорий представляется целесообразным выделять в качестве более перспективных области развития групп пересекающихся кольцевых структур. Один из таких районов установлен в пределах моноклинали северного борта Терско-Каспийского передового прогиба, где могут быть обнаружены крупные нефтяные месторождения с большим стратиграфическим диапазоном нефтеносности и значительным количеством продуктивных горизонтов. Здесь предлагается постановка комплекса геофизических, геодезических и геохимических исследований, которые позволят локализовать участки первоочередных поисково-разведочных работ.

О СВЯЗИ СИСТЕМ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ГАЗОВЫХ АНОМАЛИЙ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

О.Б. Бабазаде, Г.А. Байрамова

Институт геологии АН АзССР, г. Баку

Факты, указывающие на освобождение из глубин Земли газов в результате тектонической, сейсмической и вулканической деятельности, позволяют думать, что огромное количество природного газа лежит глубоко в ее недрах и может послужить источником углеводородного горючего. Освоение больших глубин с целью обеспечения прироста запасов нефти и газа на современном этапе требует научного решения ряда важных во-

просов. Наряду с такими проблемными вопросами, как установление точного начального состава газа во время его нахождения в недрах Земли и доказательство изменчивости состава глубинных газов, большое значение имеет выяснение условий выходов глубинных газов и роли различных структурных элементов в формировании газовых процессов. С этой точки зрения особый интерес представляют исследования соотношения распределений выходов углеводородов, нефтегазовых залежей и зон сейсмической активности с глубинными разломами и их активными линиями.

В настоящей работе рассматривается связь систем глубинных разломов с показателями газовых аномалий в Азербайджане. Исходными для сопоставления послужили, с одной стороны, карта систем глубинных разломов, построенная на основе методики комплексного использования аномалий геофизических полей во взаимной увязке с геологическими данными, которая отражает вероятностную блоковую модель земной коры и количественные параметры разломов, и с другой — составленные на основе данных газовых съемок карты регионального распределения углеводородного газового поля в нефтегазоносных областях.

Наиболее результативной и интересной в смысле взаимосвязи с глубинными разломами оказалась карта изменения содержания фоновых и аномальных значений по метану. Довольно высокая корреляция устанавливается между узлами пересечения глубинных разломов разного простирания и показателями аномальных зон по легким углеводородам, которые превышают верхний предел среднефоновых значений ($>70 \cdot 10^{-5}\%$). Эти зоны характеризуются разными значениями, максимальные из которых достигают больших величин ($>200 \cdot 10^{-5}\%$). Повышение показателей аномальных зон обнаруживает зависимость от типа и характеристик сходящихся в узле разломов. Намечается зависимость повышения показателей аномальных зон по легким углеводородам от размеров амплитуды смещения глубинных разломов по консолидированному фундаменту и их уровня расположения. Некоторые из таких аномальных зон и узлов пересечения глубинных разломов соответствуют положениям известных нефтегазовых залежей. Высокие значения по легким углеводородам наблюдаются в Кобыстанской области над зонами грязевых вулканов, которые также находятся на или около основных линий разломов и узлов их пересечений. Общее повышение аномального фона в этой области отмечается в сторону приближения к Шемахинскому узлу пересечения крупных глубинных разломов Кавказского, субмеридианального и других простираний.

Устанавливаемые связи между показателями газовых аномалий и узлами пересечения глубинных разломов, которые должны обеспечивать лучший доступ к глубоким внутренним слоям, могут свидетельствовать о глубинной природе генерации углеводородов.

ВЛИЯНИЕ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА УГЛЕВОДОРОДНЫХ СКОПЛЕНИЙ В СВЯЗИ С ДЕГАЗАЦИЕЙ ГЛУБИННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

И.С.Старобинец

ВНИИГТ, г.Москва

Обобщение большого материала показывает, что состав углеводородных скоплений (газовых, газоконденсатных и нефтегазовых залежей) крупных структурных элементов земной коры имеет свои особенности, обусловленные в значительной мере дегазацией различных слоев земной коры, связанной с интенсивностью тектонических процессов в течение геологического времени. Они состоят в следующем.

Залежи углеводородов (УВ) складчатых областей и прилегающих территорий, для которых характерно в основном развитие зон нефтегазоаккумуляции, вне зависимости от глубины залегания и степени их работанности отличаются: а) близостью давления насыщения нефтей газом ($P_{\text{нас}}$) к пластовому давлению ($P_{\text{пл}}$), $P_{\text{нас}}/P_{\text{пл}} \approx 1$; б) преобладанием метана ($>90\%$) в нефтерастворенном газе при сравнительно небольшом содержании его гомологов (в среднем 5–8%); в) соотношением УВ $C_1 > C_2 > C_3 > C_4$; г) близостью состава углеводородных газов (УВГ) нефтяных, газовых и газоконденсатных залежей (Южно-Каспийская впадина, Сахалинская область, Маракаибский бассейн, внешняя зона Предкарпатского прогиба и др.). Такое явление может быть объяснено постоянным подтоком легких УВГ, особенно метана, из глубинных слоев в тектонически активных регионах. Это, в частности, подтверждается общим увеличением газонасыщенности недр с глубиной. Дегазация залежей верхних горизонтов здесь компенсируется субвертикальной миграцией УВГ.

В зонах нефтенакопления на древних платформах (Восточно-Европейской, Северо-Американской) УВГ отличаются большим диапазоном концентрации гомологов метана (C_2 +высш.), составляющих 25–50%; $P_{\text{нас}} \gg P_{\text{пл}}/P_{\text{нас}}/P_{\text{пл}} = 0,2 - 0,6$; высоким содержанием неуглеводородных компонентов, особенно азота (в среднем для N_2 15–30%), и во многих случаях соотношением УВ C_2 +высш. $> C_1$. Газы нефтяных залежей по составу резко отличаются от УВГ газовых и газоконденсатных залежей. Подобные особенности нефтегазовых залежей древних платформ с учетом геологических условий хорошо объясняются длительностью дегазации залежей УВ после их формирования, приведшей к большим потерям метана. Эти потери лишь частично компенсировались поступлением газа (главным образом азота) из глубинных слоев.

Определенное промежуточное положение занимают УВГ зон нефтенакопления молодых платформ (Западно-Сибирской, Северо-Кавказской и др.). Здесь $P_{\text{пл}}/P_{\text{нас}}$ в среднем 0,7–0,8; содержание C_2 +высш. составляет 5–20%; N_2 4–8%; соотношение УВ $C_1 > C_2$ +высш.; $C_2 < C_3 > C_4$; $P_{\text{пл}}/P_{\text{нас}}$ увеличивается с глубиной дегазации залежей, что связано с усилением

их дегазации. Отмечаются случаи усиленного поступления CO_2 из фундамента и обогащения им газов углеводородных скоплений (до 20–60%). В целом по сравнению с древними платформами дегазация нефтегазоносных отложений происходила в значительно меньшей степени, что наложило отпечаток на состав газов.

Зоны преимущественного газонакопления на древних и молодых платформах распространены в депрессионных областях, где мощность осадочного покрова значительно повышается (Прикаспийская впадина, север Западной Сибири и др.). Для этих зон характерны: а) наличие многопластовых месторождений при преобладании газоконденсатных залежей, многие из которых имеют нефтяные оторочки с исключительно легкими нефтями ($\rho_{420} = 0,78$), образовавшимися в результате процессов ретроградной конденсации; б) закономерное изменение углеводородного состава и фазового состояния залежей по разрезу; в) вертикальная зональность (сверху вниз) типа газ – газоконденсат – нефть, т.е. увеличение к низу соотношения жидкость/газ. В данном случае (особенно на молодых платформах) большую роль играли неотектонические процессы, способствовавшие вертикальной миграции из глубинных слоев УВГ, обогащенных конденсатом, и формированию многопластовых месторождений.

Во всех случаях, когда дегазация относительно неглубокозалегающих нефтенасыщенных горизонтов сопровождалась другими гипергенными процессами (воздействием нифильтрационных агрессивных вод, биодеградацией и пр.), отмечаются существенные изменения в составе нефтей (значительный рост содержания нафтеновых УВ при снижении концентрации алканов, резкое уменьшение выхода бензиново-керосиновых фракций, смолообразование и др.).

Таким образом, дегазация отдельных слоев земной коры, приводящая к перераспределению газов разного состава по разрезу, образованию и разрушению углеводородных скоплений и уходу значительной части газов в атмосферу в зависимости от геологических условий и состава миграционных газов (преобладание CH_4 , N_2 , CO_2 , наличие конденсата в газе), способствовала формированию зон нефтенакпления с тяжелыми газами, обогащенными C_2 -выш. и N_2 на древних платформах, и зон газонакопления (при значительной доле газорастворенных жидких УВ и наличии легких метановых нефтей конденсатного генезиса) в депрессиях молодых и древних платформ.

ОБРАЗОВАНИЕ КРУПНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА С ПОЗИЦИЙ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

В.И. Созанский

Институт геологических наук АН УССР, г. Киев

Изучение геологического строения и условий нефтегазоносности нефтяных и газовых месторождений мира приводит нас к выводу о том, что простой антиклинальный перегиб пластов не является ловушкой для нефти и газа. Залежи нефти и газа не связаны непосредственно с антиклиналями, они встречаются лишь в зонах осложнений антиклиналей. Такие осложнения могут встречаться также на моноклиналях, на склонах прогибов и выступов и на других формах рельефа. Все ловушки нефти и газа – тупиковые зоны, в которых застревают нефть и газ. Эти тупиковые зоны возникают в антиклинальных и неантиклинальных условиях за счет литологических замещений и тектонических смещений пород-коллекторов. Формирование промышленных месторождений происходило за счет вертикальной миграции нефтяных углеводородов, поступающих из мантии Земли под аномально высоким избыточным давлением и при значительной температуре, оттеснявших воду и накапливавшихся в тупиковых зонах. Горячие углеводороды, попадая в зону пониженных давлений, характерных осадочному чехлу, "заморозились" за счет адиабатического расширения.

В условиях высоких давлений углеводороды свободно проникали через осадочный чехол, вызывая раскрытие разломов и трещин. Они достигали экранирующих пород и застревали в тупиковых зонах, разуплотняя при этом занимаемые породы. В результате в крупных залежах формировались суперколлекторы, а глинистые прослои становились резервуарами для нефти и газа. На структурах хорошо проницаемыми, выдержанными по площади коллекторами, в которых отсутствовали тупиковые зоны, нефть и газ не удерживались. Поэтому такие пласты оказались водоносными (аналоги "свиты перерыва" продуктивной толщи Азербайджана).

Только плохие коллекторы, залегающие под мощными породами-экранами и разуплотненные действием глубинных флюидов, содержат гигантские скопления нефти и газа. Поэтому крупнейшие скопления нефти и газа, как правило, встречаются под мощными покрывками и представляют собой массивные залежи с единым водонефтяным контактом, несмотря на наличие в продуктивной толще глинистых горизонтов, достигающих иногда значительной мощности.

Характерной особенностью пространственного размещения месторождений нефти и газа является неравномерное их распределение как по разрезу, так и по площади. Вертикальная неоднородность запасов нефти и газа определяется соотношением экранирующих пород и тупиковых зон. Неравномерное распределение залежей нефти и газа по площади мы объясняем условиями их формирования. Крупнейшие скопления нефти и газа, по нашим представлениям, формируются в зоне фронта нефтегазового потока.

Исходя из взглядов на ловушку как на тупиковую зону и представлений о формировании залежей нефти и газа за счет вертикальной миграции, сделаем вывод, что все нефтегазоносные провинции высоко перспективны в отношении поиска скоплений нефти и газа в неантиклинальных формах. К тому же необходимо добавить, что неантиклинальные ловушки значительно шире развиты, чем антиклинальные; как известно, антиклинальные поднятия формируются только во время складкообразовательных движений, тогда как неантиклинальные ловушки возникают постоянно: как во время осадконакопления (изменение фаций), так и во время катаганеза осадков (выщелачивание, цементация) и во время проявления тектонических движений (срезание пластов и возникновение несогласий, формирование эрозионных поверхностей, развитие разломов). Отсюда можно заключить, что те залежи, которые обнаружены в антиклиналях, представляют собой только незначительную часть ресурсов нефти и газа, хранящихся в недрах в неантиклинальных формах.

МЕХАНИЗМ МИГРАЦИИ ГЛУБИННЫХ ГАЗОВ И НЕФТЕГАЗОАКОПЛЕНИЕ

Г.Е.Бойко

ИГиГТИ АН УССР, г.Львов

Во всех геотектонических зонах Земли наблюдается постоянная дегазация глубинных недр. Газовый режим отдельных геотектонических зон характеризуется наличием диффузионных и струйных ("сквозных" по Б.М.Валеву) газовых потоков. Сквозные потоки газа фиксируются в виде грязевых вулканов, обособленных газоводяных или газовых источников. Они приурочены к высокопроводящим участкам разломов, неравномерная проводимость которых обусловлена их нелинейной или прерывистой структурой.

Большинство предположений о генетической связи скоплений нефти и газа с дегазацией Земли базируется на определенных признаках подобия в составе газовой фазы или общих теоретических предпосылках. Более убедительное подтверждение важной роли дегазации недр в нефтегазонакоплении дает определение взаимосвязи размещения зон нефтегазонакопления с источниками тектонической активизации, высокопроводящими зонами, которые отражаются в особенностях строения земной коры и верхней мантии, в характере региональных геофизических полей. В зонах нефтегазонакопления связь фиксируемых сквозных газовых потоков с нефтегазоносностью довольно очевидна. Однако обычно бывает трудно определить природу этих газопроявлений и их роль в нефтегазонакоплении. Такая возможность возникла в Предкарпаты, на Бориславском месторождении.

В пределах Бориславского нефтегазового и озокеритового месторождений в приповерхностных участках определен интенсивный газовый поток. В результате режимных наблюдений установлено, что его интенсивность изменяется от $n \cdot 10^{-1}$ до $n \cdot 10^{-7}$ м³/сут на 1 м² площади

(И.В.Кришталь, И.И.Кришталь, 1982). Наиболее интенсивный газовый поток фиксируется во фронтальной части опрокинутой складки, в радиусе 50-100 м. Площадь этого участка, расположенного частично вне нефтегазового месторождения, очень мала по сравнению с площадью всего месторождения, в пределах которого, как и по району в целом, фоновое значение газового потока составляет $n \cdot 10^{-7}$ и $n \cdot 10^{-5}$ м³/сут на 1 м² площади. Заметим, что эти величины типичны для фоновых газовых потоков альпийских складчатых систем. Незначительная площадь распространения и приуроченность к зоне интенсивного тектонического дробления позволяют квалифицировать данное газопроявление как сквозной поток газа.

Бориславское газопроявление не может быть обусловлено миграцией газа из известных нефтегазовых залежей, поскольку они в основном истощены. Пробуренная специальная скважина Борислав-2000 не выявила на загазованном участке какой-либо обособленной, не нарушенной разработкой залежи. Также исключается вероятность значительного поступления газа в результате превращения рассеянного в окружающих породах органического вещества. Таким образом, единственной альтернативой является поступление сквозного газового потока с глубины.

Рассматриваемый сквозной глубинный газовый поток находится на участке уступа фронта надвига складок флишевых пород, проявляющегося в виде нескольких ступеней, вплоть до резкого смещения Попельского блока. Можно отметить, что для большинства месторождений Внутренней зоны Предкарпатского прогиба характерна приуроченность продуктивных залежей к подобным, ступенчато сдвинутым блокам. В многоярусной застройке Бориславской структуры конфигурация передовой линии надвига довольно однотипна во всех трех ярусах, хотя с глубиной эта линия значительно отодвигается в юго-западном направлении. Такая закономерность в строении свидетельствует о том, что она обусловлена каким-то единым фактором, по всей вероятности разломом в фундаменте, который здесь фиксируется сейсмическими методами. Очевидно, во фронтальной части Бориславского месторождения проявляется смещение или изгиб разлома в фундаменте. Как известно, такие участки смены направления простирания разлома являются максимально проводящими. Таким образом, наиболее вероятно, что загазованность приповерхностных участков Бориславского месторождения обусловлена вертикальным сквозным потоком газа на участке изгиба или смещения разлома.

Выявлен пульсационный характер Бориславского газопроявления, активизация которого возникла или возобновилась в связи с некоторой сейсмической активностью в регионе.

ОБЪЕМНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОВОГО ПОТОКА УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗОНЕ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РАЙОНОВ ПРЕДКАРПАТЯ

Н.В.Кришталь, И.И.Кришталь

УкрНИГРИ, г.Львов

В ряде нефтегазоносных районов Предкарпатья отмечены газопроявления в виде выбросов газа вместе с жидкими углеводородами на дневную поверхность, высоких содержаний углеводородов в газовой смеси, почвах и водах. Усовершенствование методики геохимических исследований в поверхностной зоне нефтегазоносных районов Предкарпатья дало возможность впервые определить интенсивность газового потока в поверхностной зоне и объемы газовыделений в пределах некоторых нефтегазовых месторождений (Бориславского, Битковского) и смежных с ними районов, а также установить закономерности изменения концентрации углеводородов во времени, в зависимости от метеорологических условий, сейсмических явлений, разработки углеводородных залежей и др. факторов.

Методом математической обработки фактического материала (более 1000 замеров) установлены наиболее вероятные значения интенсивности газового потока ($n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут на } 1 \text{ м}^2 \text{ площади}$) в поверхностной зоне нефтегазоносных структур Бориславско-Покутской зоны. Более высокие значения этого признака приурочены к тектоническим нарушениям, способствующим эффузионному перемещению углеводородов из глубоководных продуктивных горизонтов; меньшие составляют газовый фон и отражают дегазацию глубоких недр земной коры. При таком потоке углеводородов в поверхностной зоне из нефтегазовых месторождений в атмосферу ежегодно выделяются большие объемы газа (на Бориславском 993, Битковском 1623 $\text{м}^3/\text{год}$). За время существования этих месторождений объемы газа, уходящего в атмосферу, должны превышать объемы их естественных резервуаров.

Данные режимных наблюдений показали, что газосодержание поверхностных отложений нефтегазоносной структуры изменяется во времени. Эти изменения имеют циклический характер. Выделяется сезонная, годовая и долговременная цикличность. Сезонная цикличность контролируется метеорологическими условиями. Максимумы концентраций углеводородов приходится на зимний сезон, когда промерзает почва и замедляется вынос поверхностными водами. Атмосферное давление в этом случае не сказывается. В годичной цикличности наблюдается более четкая зависимость изменения газосодержания поверхностных отложений от атмосферного давления, выражающаяся в повышении углеводородов с увеличением атмосферного давления. Температура воздуха и атмосферные осадки отражаются с более длительным периодом (трех-, четырехгодовым). Максимумы концентрации углеводородов падают на теплые засушливые годы, минимумы - на прохладные влажные периоды. Долговременная цикличность,

10-11 лет, заключается в существенном изменении концентраций углеводородов в поверхностной зоне, сопровождающемся выбросами газа и жидких углеводородов на поверхность в первую половину цикла и резким уменьшением ее во вторую половину цикла. Подобная цикличность наблюдается в колебании атмосферного давления, активизации сейсмических явлений и изменении солнечной активности. Природа этих явлений окончательно не выяснена и лежит, по-видимому, вне земной поверхности.

Полученные результаты дают возможность прогнозировать периоды усиления вертикальной миграции углеводородов из естественных и искусственных резервуаров в вышележащие горизонты и поверхностную зону, что обеспечит своевременное предотвращение взрывоопасных ситуаций; более рационально использовать геохимические методы поисков нефти и газа с поверхности; выяснить взаимосвязь некоторых природных явлений.

КАРПАТСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1977 г. И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Р.Г.Гарецкий, В.М.Бурак, А.В.Кудельский

Институт геохимии и геофизики АН БССР, г.Минск

Территория Белоруссии, расположенная в пределах древней Восточно-Европейской платформы, представляет собой слабосейсмический регион, испытывающий резонансные воздействия отдаленных землетрясений, причем интенсивность подобных "транзитных" землетрясений иногда превышает 5 баллов (по шкале Рихтера). Карпатское землетрясение 1977 г. (Вранча, 4 марта, 22.00 ч, глубина гипоцентра 120 км, магнитуда 7,2) проявилась на территории Припятского прогиба с интенсивностью 5 баллов. В период 7 июня - 30 декабря 1977 г. в разрезе 300-500-метровой толщи (J_3-Q) песчано-глинистых отложений прогиба отмечен рост концентрации гелия (от сотых долей до 185 $\text{см}^3/\text{л}$), метана (от 0,05 до 0,30 $\text{см}^3/\text{л}$), тяжелых углеводородов (от 0,02 до 0,10 $\text{см}^3/\text{л}$) и углекислого газа (от 0,2 до 5,0 $\text{см}^3/\text{л}$) в составе промысловых жидкостей на основе бентонитовых глин. В период, предшествующий землетрясению и после землетрясения до июля 1977 г., гелий в составе буровых глинистых растворов не фиксировался. В октябре - декабре 1977 г. имело место резкое увеличение общего количества газов, сорбированных песчано-глинистыми породами: от 50 до 320 $\text{см}^3/\text{гк}$ (по средним значениям). В составе газовых ассоциаций отмечен рост концентраций гелия (от следов до 11,3 $\text{см}^2/\text{гк}$), азота, метана и других ингредиентов. Ряд данных позволяет связать указанные флуктуации газового режима осадочных комплексов (J_3-Q) прогиба с воздействием землетрясения Вранча.

Таким образом, сейсмическая реакция региона на пароксизмы удаленных землетрясений практически мгновенна, геохимическая же проявляется с опозданием во времени тем большими, чем более устойчива внутрен-

ная структура литосферы как среды геохимических процессов, мобилизации и миграции их продуктов. Газогеохимические возмущения, связанные с Карпатским землетрясением 1977 г. проявились в платформенном чехле Припятского прогиба спустя 4-7,5 месяцев после основного толчка и выразились в резкой интенсификации потоков рассеяния гелия и азота, в меньшей мере - углеводородов и кислых газов.

О СКОРОСТИ ВОСХОДЯЩЕЙ МИГРАЦИИ ГАЗОВ В ЗОНЕ АКТИВНОГО ВОДОГАЗООБМЕНА

Г.В.Перевозчиков

Институт сейсмологии АН УзССР, г.Ташкент

В связи с внедрением в практическую геологию газовых съемок важное значение приобретает оценка соотношений между притоком глубинных газов и газообразованием в зоне активного водогазообмена, которая при работах на поверхности является основным объектом исследований. Одной из главных причин, определяющих это соотношение является скорость восходящей миграции газов. Имеющиеся модели восходящей миграции газов через толщи покровных отложений построены в основном на представлениях о концентрационной диффузии (Антонов, 1950, 1958, 1970).

Нами проведены эксперименты по определению скорости восходящей миграции газов (CO_2 , CH_4 , H_2) в осадочных отложениях с глубины, варьирующей от нескольких метров до нескольких сотен метров. Полученные результаты свидетельствуют о высоких скоростях движения свободного газа, расходящихся с расчетными по моделям концентрационной диффузии для изученного разреза мезозойско-кайнозойских отложений.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГАЗОВОГО РЕЖИМА ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ АЗЕРБАЙДЖАНА

Ад.А.Алиев, А.Я.Кабулова

Институт геологии АН АзССР, г.Баку

В течение 1978-1983 гг. проводились режимные исследования характерных грязевых вулканов, расположенных в различных нефтегазоносных районах восточного Азербайджана. В качестве объекта наблюдений были выбраны часто извергавшиеся вулканы (Локбатан, Шихзагирлы), вулканы, проявляющие активную грифонную деятельность (Дашгиль, Чеилдаг и др.), и ряд вулканов, деятельность которых за последние годы заметно ослабевает (М.Харами). Цель работы - выявление внутрисуточных, внутримесячных и сезонных вариаций дебитов и состава вод и газов. На некоторых вулканах после пароксизмов извержений (Боздаг-Кобийский и др.) проводилась газовая съемка.

В целом почти на всех вулканах изменение количества и состава

газа носит скачкообразный характер. Закономерности в изменении газовых компонентов не удается проследить. В основном количественное изменение претерпевают отдельные компоненты такие, как CO_2 , N_2 , He . При этом изменение указанных компонентов в сторону увеличения совпадает с периодом активизации грязевых вулканов, особенно пароксизмов их извержений. Некоторое изменение происходит и в изотопном составе гелия. Прослежено изменение состава газа также по отдельным грифонам и салзам в пределах кратерного поля вулкана. В целом интенсивное выделение газа в ночное время выше, чем в дневное.

В докладе приводятся сведения о количестве вынесенных вулканами газов, а также о результатах режимных наблюдений на грязевых вулканах восточного Азербайджана в период солнечного затмения, а также опытных замеров дебита газа на грязевом вулкане Хамамдаг (Нижнекуринский район).

МЕХАНИЗМ НАКОПЛЕНИЯ И РАЗРЯДКИ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ В АКТИВНО
ФЛЮИДИЗИРУЮЩИХСЯ ОЧАГАХ (В СВЯЗИ С ПРОЦЕССАМИ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ)

Б.М.Валеев

ГИН АН СССР, г.Москва

Важная роль поровых флюидов в изменении напряженного состояния горных пород была показана давно (в частности, так наз. эффект Терцаги). Решающее значение участия поровых флюидов в формировании крупных надвигов (Хабберт и Раби, 1959), в дилатационной модели сейсмического очага также широко известны. Однако во всех этих случаях флюид (точнее. вода) рассматривается в качестве изначально присутствующего в порах породы компонента, хотя и влияющего на величину напряжений в минеральном скелете породы ($P_{эфф}$), но все же пассивно подчиняющегося полю внешних напряжений.

В низах земной коры, начиная с глубин 15-20 км, существование открытых пор, каверн и трещин становится невозможным и породы уже лишены первичных поровых флюидов. Однако наличие в них минерализованных трещин, различных вторичных изменений свидетельствует о том, что породы подвергались вторичной флюидизации. Проникновение флюида в трещину возможно только в случае, когда $P_{фл} > \sigma_{min} > \sigma_3$. Одновременно σ_3 не может быть меньше $P_{фл}$. Это означает, что любой процесс вторичной флюидизации и разрастания флюидизирующегося очага (ФО) может протекать только при последовательном возрастании $P_{фл}$ от значения σ_3 до значения σ_2 и σ_1 , а затем и выше σ_1 . Это означает также, что во флюидизирующихся породах (очаге) происходит накопление упругой энергии как за счет нарастания $P_{фл}$, так и за счет роста $\sigma_{ср}$ (сжатия минерального скелета), поскольку в ФО отдельные ($\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0$) или все компоненты напряжений ($\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0$) превышают их первоначальные значения ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$).

Наиболее трудным является "запуск в действие" - начало процессов флюидизации. В первичном обособлении флюида в породах на глубинах более 15-20 км решающая роль, видимо, принадлежит процессам гидролитического (флюидного иногда и за счет зарождающегося расплава) расслабления породы вследствие проявления эффекта Ребиндера. В дальнейшем "отвоевании" емкости для флюидов важное место должно принадлежать процессам растворения (выщелачивания) различных минеральных компонентов породы. После обособления вторичного флюида в самостоятельную фазу при его дальнейшей генерации или поступлении начинается разрастание ФО. Вследствие перепада напряжений между ФО и вмещающими породами (нефлюидизированным фоном) концентрации напря-

жений по периферии очага теоретически разрастание ФО за счет разгрузки накопленной в нем упругой энергии может происходить как за счет флюидоразрыва, так и в результате хрупких сколов. Последние должны реализовываться путем "схлопывания" ФО, его расплющивания, при котором часть флюида перемещается в предварительно расслабленные процессами флюидизации породы по периферии ФО или удаляется (нагнетается) в частично флюидизированные породы следующего, взаимосвязанного с первым, очага флюидизации. При значительных вертикальных размерах ФО и особенно в периоды объединения в единую гидравлическую систему двух или более ФО должен работать также эффект избыточных давлений ($P_{изб}$), связанный с гидростатическим характером распределения $P_{фл}$ во флюидной фазе. Вдоль субвертикальных каналов восходящей миграции глубинных флюидов в результате многочисленных пульсационных прорывов последних при частичном "схлопывании" нижних ФО выше по разрезу формируются все новые ФО ("гирлянды" ФО), пока глубинные флюиды не достигнут приповерхностной зоны, в которой существуют готовые для их аккумуляции коллекторы-резервуары. Флюид длительно удерживает под своим контролем каналы миграции (Кропоткин, Валеев, 1965, 1976) и постепенно проталкивается в верх по разрезу.

С момента начала разгрузки глубинных флюидов в приповерхностной зоне, в гирлянде ФО устанавливается состояние тонкого неустойчивого динамического равновесия, отражающее высокую степень флюидизированности всего разреза, при которой состояние глубоких ФО зависит в некоторой степени и от пертурбаций в верхних ФО. Самым наглядным проявлением динамической неустойчивости могут служить микропульсации (короткопериодические вариации) химического и изотопного состава разгружающихся вод и газов в связи с такими минимальными изменениями внешних воздействий на систему ФО, какие, например, происходят от колебаний приливных сил в пределах суток, месяца или года. Зависимость частоты коровых землетрясений, горных ударов, извержений магматических и грязевых вулканов от колебаний солнечной активности может проявляться только при крайне высокой (близкой к предельной) степени флюидизации связанных с этими геодинамическими феноменами систем ФО. Той же самой причиной объясняется и возможность провоцирования сейсмических толчков в результате таких незначительных по величине внешних воздействий ("спусковых крючков" - триггеров), как нагрузка от водохранилищ, напряжений, возникающих при закачке воды в скважину, слегка повышенных приливных воздействий в моменты полнолуний и новолуний и т.д.

Таким образом, в механизме накопления и разрядки упругих напряжений решающая роль отводится активной, связанной с процессами дегазации Земли флюидизации, при которой в ФО происходит медленное, с микропульсациями, последовательное возрастание всех компонент напряженного состояния; эллипсоид напряжений становится более изотропным. После превышения эффективными касательными напряжениями в системе

ФО – фон предела прочности сцепления предварительно расслабленных в процессе флюидизации пород (нормальные напряжения в основном скомпенсированы за счет $P_{фл}$) происходит катастрофический скол (сдвиг) путем "схлопывания" ФО, частичный отток флюида из очага и частичная разгрузка упругой энергии, накопленной в ФО. Парадоксально, но именно "схлопывание", закрытие ФО, ведет к разрастанию либо его самого, либо соединяющихся с ним близлежащих флюидизированных очагов, а при многократных "схлопываниях" и к возникновению системы взаимосвязанных ФО. В целом процессы активной флюидизации связаны с дегазацией Земли.

О РОЛИ СЕЙСМИЧНОСТИ В ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСЕ В ЗЕМНОЙ КОРЕ,
ФОРМИРОВАНИИ ВЕРХНИХ ГЕОСФЕР И ЗАЛЕЖЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Д.Г.Осика

Институт геологии Даг. фил. АН СССР, г.Махачкала

Большинство исследователей связывает вынос летучих из высокотемпературных областей с вулканизмом и считает, что дегазация Земли в основном завершилась на ранних этапах эволюции планеты, а в фанерозое не оказывала существенного влияния на формирование массы и состава гидро- и атмосферы. При этом никто (за исключением В.Ф.Дерпгольца, Г.И.Войтова, Д.Г.Осики и Т.Голда) не учитывал сейсмичность, как фактор, регулирующий дегазацию Земли на всем протяжении ее эволюции. В результате изучения геохимическими и гидрогеологическими методами фоновой дегазации недр в промежутках между отдельными землетрясениями и в периоды сейсмического затишья, а также множества землетрясений в пределах различных регионов СССР за 1966–1984 гг. установлены основные закономерности флюидного режима в пределах сейсмически активных областей и их обрамлений. Это позволило оценить масштабы сейсмогеохимических процессов во времени и пространстве и выявить конкурирующие с вулканизмом механизмы дегазации Земли. По своим масштабам они не уступают последнему, а возможно, и превосходят его.

Среди постоянно действующих факторов, обуславливающих фоновую дегазацию недр, выделяются в порядке убывания их значимости: 1) лунно-солнечные приливы в земной коре, которые проявляются в устойчивых квазигармонических, внутрисуточных и других периодических колебаниях дебитов и уровней флюидов в скважинах и источниках, а также концентрации отдельных составляющих флюидные системы на макро- и микро- и даже на изотопном уровнях; 2) слабая сейсмичность, проявляющаяся во множестве землетрясений $K \leq 7$ (обуславливающих дрожание Земли – микросейсмы), которые инициируют субвертикальную миграцию флюидов; 3) 11-летняя цикличность солнечной активности, проявляющаяся в периодичности изменения фоновых значений дегазации Земли.

К спонтанно действующим факторам с неопределенной периодичностью, обуславливающим аномальные формы дегазации недр, относятся: 1) сильная

сейсмичность, проявляющаяся в землетрясениях ($K \geq 10$), в связи с которыми масштабы дегазации недр в пределах сейсмоактивных областей и их обрамлении преобретают региональный и импульсный характер, превышая фоновые значения на сотни процентов; 2) периоды усиления сейсмической активности, когда в течение 2–3 лет возрастают масштабы фоновой дегазации недр на десятки процентов относительно фоновых значений в периоды сейсмического затишья (в пределах орогенов, предгорных прогибов, молодых эпигерцинских и даже древних докембрийских платформ); 3) транзитная сейсмичность, проявляющаяся кратковременными резкими изменениями флюидного режима на громадных территориях, вследствие сжатия и растяжения коллекторов и всей системы дренажа в земной коре при прохождении сейсмических продольных и поперечных волн из очагов сильных землетрясений вплоть до их полного затухания; 4) полные солнечные затмения, периодически искажающие масштабы дегазации Земли на громадных территориях, в полосах прохождения лунных теней.

Судя по тому, что в настоящее время масштабы выноса летучих из высокотемпературных зон только посредством сильной сейсмичности оказались сопоставимыми с таковыми вследствие вулканизма, становится очевидным, что вулканизм не является, по-видимому, никогда и не являлся единственным механизмом дегазации Земли.

В связи с сейсмичностью происходит импульсный вынос из высокотемпературных зон Pb , Co , Cu , B , As , Ag и др. металлов, H_2 , He , Ar^{40} , N_2 , CO_2 , хлоридов щелочных и щелочно-земельных элементов, а также углеводородов. Сейсмичности следует отвести важное место в формировании и разрушении залежей нефти, газа, минеральных и термальных вод, руд и т.д.

ВЛИЯНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ВЫНОС МИНЕРАЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА ГИДРОТЕРМАМИ
(НА ПРИМЕРЕ ПИНАЧЕВСКИХ ИСТОЧНИКОВ НА КАМЧАТКЕ)

Г.Н.Гриц, Ю.М.Хаткевич, В.М.Сугробов

Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, г.Петропавловск-Камчатский

Пиначевские слаботермальные источники являются поверхностными проявлениями глубинной гидротермальной активности. Формирование источников происходит в результате смешения восходящего потока горячих хлоридно-натриевых вод и латерального потока холодных грунтовых вод. Особенностью Пиначевских источников являются стабильность их режима в многолетнем разрезе и относительная независимость его от гидродинамических факторов. В результате режимных наблюдений установлена значительная роль в формировании гидротерм геодинамических факторов (атмосферное давление и сейсмичность). Рассматривается динамика поступления минерального вещества, воды и тепла, выносимого Пиначевскими термами. Показано, что распределение среднегодовых величин дебитов, температур, компонентов химического состава коррелируется с ве-

личинами суммарной за год сейсмической энергии, выделившейся в результате наиболее сильных землетрясений.

Учитывая корреляционные зависимости между дебитами источников и атмосферным давлением, мы сделали ориентировочные расчеты величин сброшенных напряжений после наиболее сильных землетрясений. В результате снижения напряженного состояния верхней части земной коры активизируется движение минерализованных горячих вод в вертикальном направлении. Увеличение роли горячеводной составляющей в формировании Пиначевских источников приводит к повышению их энергетического потенциала и к интенсификации выноса минерального вещества за счет главным образом Cl , Na , K , H_3BO_3 , H_4SiO_4 . Подсчитано суммарное количество воды, тепла, растворенного минерального вещества, поступивших на поверхность в результате деятельности источника 1 за время режимных наблюдений (1971-1983 гг.). Показано, что разгрузка 16% воды, 14% тепла, до 33% минеральных компонентов обусловлена гидросейсмическими аномалиями, что позволяет предполагать определенную роль сейсмичности в гидротермальном процессе.

ОСОБЕННОСТИ ДЕГАЗАЦИИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНОВ

В.Г.Кислицин, С.С.Сидиков, А.Н.Султанходжаев, И.Г.Чернов,

Институт сейсмологии АН УзССР, г.Ташкент;

И.Н.Толстихин, Институт геологии Кол. фил.

АН СССР, г.Апатиты

В последние годы широкое распространение получили наблюдения за вариациями геохимических параметров подземных вод, имеющие своей целью выявление предвестников землетрясений. Подобные исследования проводятся на геодинамических полигонах и включают в себя режимный отбор проб воды из скважин (чаще всего самоизливающихся) с последующим анализом содержания концентраций газов (CO_2 , He , Ar , H_2 , Rn), микро- и макрокомпонентов (Hg , Fe , Cl , B), изотопного состава аргона ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$), углерода ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), водорода (δD) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) воды.

Практика показывает, что правильная интерпретация причин вариаций наблюдаемых геохимических параметров должна быть основана на понимании процессов, ответственных за гидрогеохимические аномалии, прежде всего эффектов, связанных с перераспределением напряжений, температур и давлений в системе вода - порода - газ, что предполагает детальное исследование как подземных вод и растворимых газов, так и вмещающих их пород.

Систематические наблюдения за $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ и $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$ рад в подземных водах Ташкентского геодинамического полигона показали, что первое из приведенных отношений меняется в интервале от 295 до 320, а второе отношение в интервале 10 - 40, причем по мере увеличения

содержания ^{40}Ar рад в воде отношение $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$ рад падает. В результате дробления водовмещающих пород из них выделились следующие количества радиогенных газов: ^4He - $0.1 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$, ^{40}Ar рад - $0.5 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$. Соотношение $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$ рад в выделившемся газе в среднем составляло 0,3. При плавлении раздробленных пород в вакууме были измерены несколько большие концентрации вышеприведенных изотопов. Полуколичественные оценки показали, что наблюдаемые вариации обоих отношений могут быть обеспечены выделением газов при разрушении водовмещающих пород и водоупорных пластов, например при активном трещинообразовании в процессе подготовки очага землетрясения.

Значения отношения $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$ рад в пластовых водах более высокие, чем генерируемые материнскими радиоактивными элементами, и определяются поступлением гелия из пород пласта. Таким образом, рост концентраций радиогенных газов в воде объясняется их эманацией из пород. Отчетливое периодическое снижение отношения $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ требует специального объяснения, которое может быть получено, если исходить из следующего простого предположения: во время сейсмического события благодаря генерации упругих волн высокой частоты и их воздействия на горные породы происходит эманирование радиогенных (и других летучих) компонентов, которые впоследствии рассеиваются в пласте, приводя к снижению их локальных концентраций.

ТЕКТОНОДИНАМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ МИГРАЦИИ ГАЗОВ

Н.Н.Соловьев, Г.И.Амурский

ВНИИГАЗ, г.Москва

Несмотря на то, что значение миграции природного газа (как и нефти) для формирования его месторождений трудно переоценить, механизм этого процесса на различных уровнях до сих пор остается слабо изученным. Теоретическое и экспериментальное моделирование миграции УВ в гомогенной фазе, а тем более собирательной аккумуляции, показывает, что в пористых средах газ (и особенно нефть) не обладает внутренней энергией, достаточной для преодоления контрсил (гравитации, поверхностного натяжения, адгезии, многочисленных по форме проявления гидравлических сопротивлений и др.), препятствующих удалению воды из пор. Еще менее определенными являются решения вопроса о первичной эвакуации углеводородов (УВ) из тонкодисперсных сред. Ни один из четырех наиболее признанных частных механизмов первичной миграции УВ (диффузия, в молекулярном растворе, в нефтяной и газовой фазах) ни отдельно, ни в сочетании также не обнаруживает пути преодоления дефицита энергии. Поэтому становится все более очевидным, что в природе миграционные процессы регулируются более общим механизмом, обеспечивающим принудительную миграцию газа и нефти.

Если не считать влияния очень медленного уплотнения гранулярных пород, флюидонасыщенные толщи, как правило, рассматриваются как пас-

сивный элемент подземной гидросферы, определяющий лишь энергетически наиболее выгодное направление миграции УВ. При этом практически не учитывается, по крайней мере, три важных обстоятельства, без которых оценка условий массопереноса в нефтегазоносных бассейнах (НГБ) оказывается далеко не полной. Во-первых, миграционные процессы не ставятся в зависимость от энергообмена в системе горная порода – флюид (вода, УВ). Во-вторых, как следствие игнорируется возможность передачи упругой энергии, запасенной горными породами при реализации тектоно-динамических процессов, насыщающих их флюидами, т.е. она не оценивается как активная составляющая энергетики массопереноса. В-третьих, не рассматриваются электромагнитные эффекты, периодически возникающие в сейсмоактивных ареалах прискладчатых НГБ, которые могут быть ответственными за изменение таких характеристик системы порода – флюид, как вязкость газа (нефти, воды), фазовая проницаемость и др.

Энергообмен в системе порода – флюид достигает наибольших масштабов в НГБ при- и межскладчатых типов. Однако в эпохи тектонодинамической активизации флуктуации напряженного состояния горных пород (за счет активного проявления горизонтальной составляющей) распространяются и на сопредельные территории плит. Некоторые аспекты такого подхода рассматривались в работах Г.С.Вартаняна и Г.В.Куликова (1982), Э.М.Галимова (1973), Н.А.Еременко (1978, 1984), Н.Н.Соловьева и Г.И.Амурского (1982, 1984), А.А.Трофимука и др. (1982, 1983) и Н.В. Черского и др. (1977).

В качестве основных производных флуктуаций напряженного состояния горных пород при тектонодинамических перестройках с точки зрения оценки условий миграции газа наибольшего внимания заслуживают дилатационные явления (деформационное разуплотнение) и сейсмоакустические колебания. Они вызывают наиболее значимые периодически повторяющиеся изменения петрофизических характеристик пород. Кроме того, за счет кратковременно импульсного "вакуумирования" вновь образующихся пустот (трещин) при дилатации может происходить парообразование в жидкой фазе (например, нефти). В процессе эвакуации первично рассеянного газа (нефти) из уплотняющихся тонкодисперсных, а также кремнисто-карбонатных толщ наиболее важную роль играют дилатационные явления. При миграции газа в гомогенной фазе (в коллекторе) преодоление контрсил, препятствующих всплыванию, обеспечивается в основном упругими деформациями пористо-проницаемых сред в условиях переменного-напряженного состояния земной коры. Собирательная миграция (первичная аккумуляция) энергетически обеспечивается воздействием сейсмоакустических полей (кавитация, механический срыв дисперсно-раसेянной фазы) и дилатационными процессами (в том числе за счет принудительной дегазации пластовых вод).

Следует подчеркнуть, что природная реализация тектонодинамического механизма миграции газа обеспечивает сколь угодно малую продол-

жительность формирования его месторождений. А это, в свою очередь, является чрезвычайно важным для "преодоления барьера" естественного рассеивания газа (диффузия, химическое разрушение, вынос пластовыми водами и др.), масштабы которого прогрессивно возрастают с увеличением промежутка времени между генерацией газа и формированием его месторождений.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ГЛУБИННОЙ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

А.А. Пэк

ИГЕМ АН СССР, г.Москва

Одним из наиболее ярких и вместе с тем надежно установленных свидетельств связи процессов дегазации Земли и геотектоники является контроль проявлений дегазации зонами глубинных разломов. Предполагается, что механизм такого контроля имеет существенно гидродинамическую природу: "разломы... контролируют пути движения газов из глубоких недр к поверхности Земли" (П.Н.Кропоткин, Б.М.Валаяев, 1976). Способность разломов контролировать движение эндогенных флюидов обусловлена тем, что зоны тектонических нарушений обладают, как правило, более высокой проницаемостью, чем тектонически ненарушенные или относительно менее нарушенные вмещающие породы. Соответственно флюиды стремятся использовать тектонические нарушения как предпочтительные пути разгрузки (физический смысл процесса заключается в минимизации затрат энергии на процесс движения). Глубоко проникающие разломы играют по отношению к потокам восходящих эндогенных флюидов роль региональных дренирующих структур.

С целью модельного исследования предполагаемой гидродинамической роли разломов был произведен расчет (методом конечных разностей на ЭВМ СМ-4) типовых структурно-гидродинамических схем, представляющих различные случаи воздействия на фронтально восходящий поток флюидов вертикального высокопроницаемого разлома. Были рассмотрены модели со "сквозным" (выходящим на земную поверхность) и "слепым" (не выходящим на земную поверхность) разломами; проницаемость вмещающих пород принималась условно постоянной, проницаемость зоны разлома – постоянной или линейно уменьшающейся с глубиной. Результаты моделирования показали, что "сквозные" разломы играют по отношению к восходящему потоку флюидов роль гидродинамически дренирующих структур на всем их вертикальном протяжении. Интенсивность дренирования тем больше, чем больше глубина проникновения и относительная проницаемость разлома. Количественно, в случае высокопроницаемых разломов, зоной разлома дренируется поток, по ширине сопоставимый с глубиной проникновения разлома. Как следствие таких масштабов гидродинамического сосредоточения потока при типовых соотношениях между глубиной проникновения разлома и его поперечной мощностью скорость восходящего движения

флюидов по зоне разлома может возрастать (в сравнении со скоростью движения флюидов в области гидродинамического питания разлома) в сотни, тысячи раз и более.

Если разлом не достигает земной поверхности, т.е. является в структурном отношении "слепым", то контролируемый разломом поток испытывает характерную гидродинамическую перестройку. В потоке выделяются нижняя зона стягивания флюидов из вмещающих пород в зону разлома и верхняя зона растекания флюидов из зоны разлома во вмещающие породы. Таким образом, в отличие от "сквозных" разломов, структурно ограниченные или выклинивающиеся по восстанию ("слепые") разломы проявляются в своей верхней части по отношению к вмещающим породам как гидродинамически питающие структуры.

Изложенные результаты моделирования показывают, что гидродинамическая роль разломов в процессах глубинной дегазации недр может быть различной. Основное значение имеют следующие характеристики: глубина проникновения разлома, уровень его структурного ограничения или выклинивания по восстанию, относительная (по сравнению с вмещающими породами) проницаемость зоны разлома. При прочих равных условиях степень гидродинамического сосредоточения потока в зоне разлома тем больше, чем больше глубина проникновения разлома. Этот результат согласуется с данными об устойчивой связи проявлений дегазации с зонами глубинных разломов.

В случае "сквозных" разломов поток сохраняет гидродинамически сосредоточенную форму вплоть до выхода на земную поверхность. Этот результат согласуется с данными о приуроченности наиболее напряженных аномалий изотопно-гелиевого отношения и других индикаторов глубинной дегазации к зонам разломов, непосредственно картируемых на поверхности. В случае "слепых" разломов поток в его верхней части гидродинамически растекается. Этот результат согласуется с представлением о формировании над скрытыми разломами (например, над разломами в фундаменте платформ, перекрытыми чехлом осадочных отложений) ореолов площадной, пространственно рассредоточенной дегазации. Наконец, поскольку наибольшей проницаемостью обладают тектонически активные разломы, установленная зависимость степени гидродинамического сосредоточения потока от величины относительной проницаемости зоны разлома согласуется с данными о закономерной приуроченности проявлений глубинной дегазации к областям современной тектонической активизации Земли.

ЛИНЕЙНЫЕ И КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА И ВОПРОСЫ МИГРАЦИИ ФЛЮИДОВ

М.Н.Смирнова, В.М.Бражник, В.В.Чуприн, С.Г.Дадашев

Грозненский нефтяной институт, г.Грозный

Глубинное строение Терско-Каспийского прогиба по данным гравиметрических исследований определяется сочетанием линейных и кольцевых структурных элементов, обусловленных глыбово-складчатым строением доюрского основания. По сравнению с линейными, в кольцевых структурах обеспечивается максимальная связь с глубинами Земли, что проявляется в поступлении эндогенной энергии: механической, тепловой, химической и т.д., и сопровождается дислоцированностью, диффузионно-фильтрационным движением, повышенными тепловыми потоками, сейсмичностью. На складчатом крыле Терско-Каспийского прогиба находится Терско-Сунженская нефтеносная область, которая приурочена к линейным надразломным структурам: Терской и Сунженской. По данным сейсморазведки и гравиметрии на северных и южных крыльях антиклинальных зон прослеживаются структурные осложнения, отвечающие погребенным мезозойским поднятиям или взброшенным блокам. На некоторых из них получены промышленные притоки нефти (Андреевская, Северо-Малгобекская и др.). На западе и востоке Терская и Сунженская зоны дислокации утрачивают линейность и открываются в Петропавловскую и Акбашскую кольцевые структуры. Наиболее изученной из них является Петропавловская, с которой связаны самые крупные и долгоживущие нефтяные месторождения Старогрозненское и Октябрьское.

Как линейные, так и кольцевые структуры определяются наличием глубинных разломов разных направлений, среди которых наиболее миграционноспособными являются правые сдвиги северо-западной ориентировки. С оперяющими разрывами Датыхско-Ахловского и Бенойско-Эльдаровского сдвигов в пределах промысловых площадей связаны поступления низших углеводородов с незначительным количеством углекислого газа, азота, водорода, инертных газов. В большинстве случаев с разрывами связана легкая парафинистая нефть с меньшей плотностью, большим выходом бензиновых фракций, с меньшей кинематической вязкостью и меньшим количеством асфальтенов.

На платформенном крыле Терско-Каспийского прогиба выделена Тарумовская кольцевая структура. С пересекающим ее Кумо-Сулакским правым сдвигом связано единственное на Северном Кавказе уникальное месторождение пароводяной смеси с высокими промышленными концентрациями редких щелочей и стронция.

Во многих случаях глубинная структура минерагенических провинций формируется с участием механизма очагового тектогенеза. Очаговое возбуждение тектоносферы обуславливается внутрипланетными энергомассопотоками, их тектодинамической разгрузкой (дренированием) по субвертикальным каналам, например в "узлах тройного сочленения". Как следствие возникают вспучивания мантии ("горячие точки") или консолидированной коры (орогены). Протекающее при этом сводообразование сопровождается контрастными вертикальными движениями, раздвигами литосферных плит, зарождением седиментационных бассейнов геосинклинального типа.

В общем случае аркогенез приводит к созданию в литосфере систем концентрических дислокаций различного ранга. В их структурной раме наблюдаются жесткая геометризация геологического пространства, концентрическая и секторальная геодинамическая зональность. Масштаб (ранг) систем связан с глубиной размещения геодинамического очага.

В свете указанного выше геодинамического механизма основным фактором интенсификации геологического процесса (как для рудных, так и для нефтегазоносных геосистем) являются эндогенная флюидизация и, как следствие ее, тепломассоперенос. Этим определяются термодинамика недр, структура и интенсивность как физических полей, так и полей концентраций привнесенных и мобилизованных во вмещающих толщах петро-рудных и УВ-компонентов.

Рудно- и одновременно нефтегазоконтролирующая роль очаговых систем дренирования литосферы изучалась в Кызыл-Кумском регионе. Одной из наиболее "продуктивных" поперечных зон в структуре восточной части Туранской плиты является Тамды-Чарджоуский мегавал. Он является трансрегиональной антиклинорной зоной, концентрически облекающей с запада Нурата-Каратюбинский мегасвод — одно из ядер гранитизации Южно-Тянь-Шаньской геосинклинали. Указанный мегавал является в пределах Центральных Кызыл-Кумов рудоконцентрирующей структурой, которая определяет положение пояса золоторудных месторождений в черносланцевых толщах ("углеродистых метасоматитах" по П.Ф.Иванкину) и таких крупных месторождений углеводородов, как Газлинское, Учкырское, Гургуртинское и др. в пределах эпигерцинской платформы.

Картирование и изучение минерагенического значения очаговых систем дренирования литосферы возможно на основе комплексирования аэрокосмических и геофизических методов дистанционного зондирования в рамках прогнозно-поискового комплекса "Космос-Воздух-Земля-Скважина".

Многолетними исследованиями установлено, что в осадочной оболочке нашей планеты в эпохи усиления тектонических движений и возникновения разломов имели место проявления гидровулканизма. Он представляет собой относительно кратковременное мощное движение пластовых жидкостей в верх по проницаемым зонам разломов в осадочном чехле на более глубоких его горизонтах к земной поверхности. Это движение формировало субвертикальные трубообразные каналы как на акваториях, так и на суше.

Если рассмотреть Карту разломов территории СССР и сопредельных стран (1978), то обращает на себя внимание обилие разрывных нарушений, осложняющих фундамент и залегающую на них осадочную толщу. Эти разрывные нарушения являются путями дегазации земной коры. Наши исследования дают основание утверждать, что дегазация Земли осуществляется локально по субвертикальным каналам, причем газ идет не сухими струями, а совместно с восходящими по каналу пластовыми водами. Тем самым дегазация, с позиций гидровулканизма, проявляется многократно, пульсационно и многоступенчато.

Механизм дегазации обусловлен усилением тектонических напряжений, релаксация которых завершается возникновением разломов. В этой релаксации принимают участие пластовые воды, которые гидравлически напором выталкиваются вверх, к земной поверхности. Основное движение жидкости к земной поверхности идет по наиболее проницаемым участкам зон разломов — по субвертикальным каналам. Причем, всплывание газа в восходящем потоке жидкости происходит вблизи земной поверхности, где снимаются пластовые давления глубоких горизонтов. Перемещающийся кверху газ, преодолевая гравитационное давление столба разгазированной жидкости в верхней части канала, способствует выбросу флюида. Только в условиях снятия давления в приповерхностных зонах газовая составляющая действует активно.

Приведем расчеты объемов выброшенных вод. А.Якубов и Л.Разживина (1964) вычислили объем обломочного материала, поступившего на поверхность из глубины складки, развитой в районе Ахтарма-Пашалы в Азербайджане. По их замерам, площадь, занимаемая этим материалом, равна 40 км². Мощность этих отложений в пределах котловины достигает 300–400 м и более, несколько уменьшаясь к периферии. Объем обломочной породы, вынесенной с глубины, около 15 млрд. м³. По описаниям обнажений видно, что здесь было проявление гидровулканизма. Жидкий осадок прорвался с глубины по полостям разломов и разлился по земной поверхности. Вода испарилась, и на месте остался лишь обломочный материал. Объем его и был подсчитан А.Якубовым и Л.Разживиной. Объем

жидкой массы весьма приблизительно может быть оценен в 23 млрд. м³, объемы прорвавшихся по каналам жидкостей оцениваются в десятки миллиардов кубометров.

Для выяснения количества времени, необходимого для истечения жидкости из устья канала, был сделан приблизительный расчет по Камышлинской палеовпадине, развитой на Зеагли-Дарвазинском поднятии. Объем образовавшейся впадины составляет примерно 68 млрд. м³. В грубом приближении можно считать, что такой же объем жидкого осадка был удален из-под верхнего мела и палеогеновой толщи. В результате произошло проседание блоков этой толщи и образование морфологически выраженного отрицательного элемента дна верхнеэоценового моря. Затем эта впадина была заполнена морскими осадками (серпозаводская толща куртышской свиты верхнего эоцена). По их объему определен объем впадины.

Имеются расчеты количества газа в пластовых водах; на один кубометр воды приходится один-полтора кубометра, местами до десятка кубометров газа. Если взять для оценочного расчета такие количества газа, то один канал может дать от 23 до 230 млрд. м³ газа, что соизмеримо с половиной запасов газовых месторождений Шебелинского или Газлинского.

При условии действия группы каналов, например в пределах Камышлинской впадины Зеагли-Дарвазинского поднятия, где объем выброшенной жидкости оценен в 68 млрд. м³, с учетом ранее указанных количеств газа в пластовых водах была осуществлена дегазация в объемах от 68 до 680 млрд. м³ газа, что соизмеримо с запасами крупного газового месторождения. Эти объемы газа поступали в эпохи усиления тектонических напряжений и возникновения разломов. Дегазация происходила локально по зонам разломов, осложняющих осадочный чехол.

Оценка дегазации в активные эпохи позволяет предполагать, что в тектонически относительно спокойное геологическое время, когда осадочный чехол являлся коллектором для поступающих газов по разломам фундамента, в нем накапливались колоссальные запасы газов. Таким образом, газы в пластовых водах, особенно углеводородные, могут стать дополнительным источником газовых ресурсов. С истощением основных газовых месторождений страны газодобывающей промышленности будет необходимо осваивать и эксплуатировать эти углеводородные газы пластовых вод.

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ МОРФОСТРУКТУРЫ ТЕКТОНОСФЕРЫ КАК ОКНА РАЗГРУЗКИ ГЛУБИННОЙ ГИДРОСФЕРЫ

С.А. Каспаров

Институт проблем геотермии Даг. фил. АН СССР, г. Махачкала

Понятие о глубинной гидросфере включает в себя прежде всего всю сумму представлений с внутрикоровым волновоеде как слое высокой электропроводности, связанной с интенсивной флюидонасыщенностью.

Кроме геоэлектрических критериев, достоверность этой рабочей гипотезы подтверждается гидрогеологическими и сейсмологическими данными. Так, факты катастрофической разгрузки подземных вод, получившие название гидровулканизма, могли иметь место при наличии такого внутрикорового резервуара.

По сейсмостатистическим данным в континентальной земной коре намечается регионально выдержанный сейсмогенерирующий слой на глубинах от 10 до 15 км, существование которого доказывается также с позиций подвижного фронта пластических деформаций. Миграция этого фронта с заметными скоростями (до нескольких метров в сутки) возможна только в том случае, если вещество в сейсмогенерирующем слое находится в тиксотропном состоянии, удерживая в большом количестве связанную воду. Суммируя вышеуказанные предпосылки достоверности гипотезы о глубинной гидросфере, мы сделали попытку разработать наиболее общую ее модель для условий континентальной коры. Она представлена в виде внутрикоровой диссипативной структуры первого порядка, роль которой состоит в улавливании потоков энергии и летучих компонентов, накоплении их до определенного уровня в составе тиксотропной массы и генерировании их в периоды геодинамической активизации в виде сейсмической энергии и флюидной разгрузки. Тиксотропия — механизм "дыхания Земли", который объясняет баланс вещества и энергии в этом процессе.

Выдвинутая нами модель подтверждается статистикой измеренных величин тепловых потоков: за исключением подкоровых рифтовых зон и транзитных вулканических аппаратов вся остальная масса континентальной земной коры характеризуется фоновыми значениями тепловых потоков. Таким образом, диссипативная структура первого порядка нивелирует все виды глубинных источников энергии и вещества и сама выступает в роли слоя, генерирующего энергию и вещество.

Для иллюстрации нашей модели нами рассмотрена сопряженная паракоровых морфоструктур на территории Дагестана: орогенная область Б.Кавказа и впадина Каспийского моря. Контуры зон высокой сейсмичности опоясывают ороген, совпадая в пространстве с системой предгорных прогибов, включая Дербентскую впадину Каспийского моря, Самурский и Сулакский прогибы, антикавказские зоны прогибов (Шахдаг, Казбек) и Алазанско-Кахетинскую зону прогибов на южном склоне. Сочетание интенсивной сейсмичности и флюидизированности доказывает справедливость нашей модели.

Отдельного рассмотрения заслуживает Дербентская впадина Каспийского моря, поскольку ее геодинамический режим поддается реконструкции и ретроспективному анализу на протяжении голоцена на основе реконструкции уровня режима Каспийского моря. Параллельная реконструкция уровня и сейсмического режима показала наличие детерминированной связи: понижение уровня Каспия сопровождается увеличением сейсмической активности. Анализ волновой картины уровня Каспийского моря показал наличие волн пяти порядков; следовательно, процесс дис-

сипации так же должен быть структурирован на пяти уровнях в разрезе коры. Это означает, что выше диссипативной структуры первого порядка залегают еще четыре уровня диссипации.

Таким образом, отрицательные морфоструктуры всех порядков выступают в роли флюидизированных диссипативных структур, обеспечивающих массо- и энергообмен внутрикорового и подкорового масштаба.

СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ МЕСТА ПРОЯВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕГАЗАЦИИ МАНТИИ

А.С.Барышев, В.И.Закузенный, Т.Ф.Понушкова, О.М.Митрофанова,
Л.Е.Юрлова

ВСНИИГТМС, г.Иркутск

Использована общепринятая модель верхней части Земли, содержащая литосферу (земная кора + консолидированная часть мантии) и астеносферу. Близкое к гидростатически уравновешенному состоянию земного шара и движение литосферных плит по его поверхности обусловлены вертикальными и горизонтальными перемещениями мантийного вещества, образующего в объеме мантии конвективные или адвективные ячейки различного ранга. Вещество мантии, совершая восходящие и нисходящие движения в этих ячейках, переходит из одних термобарических условий в другие. Имея некоторое начальное содержание летучих компонентов, оно оказывается перенасыщенным ими во время перехода как в более мягкие, так и в более жесткие РТ-условия. Летучие компоненты обособляются в самостоятельную фазу и при наличии проводящих каналов продвигаются вверх вплоть до прорыва в атмосферу. Таким образом, для выделения места проявления процессов дегазации мантии необходимо установить положение восходящих и нисходящих потоков ее вещества.

С восходящими потоками вещества мантии связаны рифтовые зоны, "горячие пятна", базитовые купола (абиссолиты). В качестве структур, обусловленных нисходящими движениями вещества мантии, обычно выступают зоны Заварицкого-Бенюфа. Предполагается, что названные зоны отмечают лишь первую ступень подтока вещества мантии под утолщенную литосферу континента. Горизонтальные мантийные потоки переходят в нисходящие под центральной частью континента, где формируют структуры типа "воронки". Приповерхностное выражение мантийных "воронкок" зависит от скорости потоков в ней: при малой скорости "воронка" отмечается синклинирием, при большой - антиклинирием. Неоднозначность выражения затрудняет диагностику таких структур.

Предложена методика построения карт рельефа "свободной поверхности" мантии (СПМ) и схем горизонтальных градиентов давления в объеме мантии и земной коры. Методика использована при изучении Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Установлены значительные изменения отметок СПМ от -3,6 км в районе Западного Забайкалья до -6,1 км в пределах Анабарской антеклизы. Изучена динамическая об-

становка в объеме мантии и земной коры: выделены очаги и зоны горизонтального сжатия и растяжения, установлены положение и конфигурация "воронкок". Показано, что известные на Сибирской платформе диа-тремы (вертикальные каналы, выработанные проникающими из недр газами, заполненные туфами, железными рудами и кимберлитами) в подавляющем большинстве приурочены к прогибам СПМ ("воронкам"), зонам сжатия в объеме мантии и одновременного растяжения земной коры.

ЛИНЕАМЕНТЫ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И ИХ ДЕГАЗАЦИЯ

Е.В.Краснов

Дальневосточный геологический институт ДВНЦ АН СССР (ДВГИ),
г.Владивосток

Среди главных систем разломов Дальнего Востока линейные до недавнего времени даже не упоминались. Отсутствует удовлетворительная систематика глубинных разломов, в том числе трассирующих линейные. Дискуссионны представления о том, в каких отношениях друг к другу находятся вулканические и метаморфические пояса, рифты, авлакогены, офиолитовые пояса, зоны меланжа, шовные зоны, глубинные разломы и линейные.

Вместе с тем существование в зоне перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту крупных линейно-вытянутых структур (линейных по П.Н.Кропоткину, 1961), устанавливаемых по ориентировке складчатых и разрывных нарушений, расположению интрузий и зон древнего и современного вулканизма, сохраняющих простирание на огромных пространствах, не вызывает сомнений. Таковы линейные Филиппин, Японии и Сахалина, Курил и Камчатки. С ними связаны зоны локализации рудных и нефтегазовых месторождений, минеральных и термальных источников.

Высокое содержание водорода в составе выбросов грязевых вулканов, обнаружение аргона, гелия и других глубинных газов, а также метана в метаморфических и магматических породах Дальнего Востока указывает на существование восходящего газового потока из глубоких горизонтов земной коры и верхней мантии через линейные зоны. Современная активизация процессов вулканизма, сейсмичности и дегазации не позволяет однозначно связывать перспективы поисков месторождений нефти и газа с этими структурами, но дает основание расширить возрастной и вещественный диапазон отложений, в которых могут быть выявлены новые залежи. Дегазация в линейных - фактор, требующий учета в любых гипотезах происхождения нефти.

ГЛУБИННЫЕ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ЮГЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

А.А.Дзюба, Институт земной коры АН СССР, г.Иркутск;

А.Н.Терещенко, В.И.Поспеев, И.И.Рукавишников, Н.П.Пастухов,

ВСНИИГТММС, г.Иркутск

Глубинное строение Сибирской платформы является предметом всестороннего исследования комплексом геофизических методов с целью изучения закономерностей образования и размещения полезных ископаемых, в том числе и углеводородов. Последние данные в области тектонофизики, геохимии и петрологии позволяют предполагать наличие частично расплавленных пород, насыщенных летучими компонентами (H_2 , He, CO_2 , CH_4 и др.) в мантии Земли. На этапах тектоно-магматической активизации происходит внедрение магматических расплавов по разломам. На стадиях менее напряженной тектонической активности разломы проницаемы, но не настолько, чтобы служить проводниками магмы. В это время по ним происходит массотеплоперенос легких глубинных флюидов, насыщенных летучими компонентами. Наличие очагов разгрузки (зон глубинных разломов) подтверждается методом точечных сейсмических зондирований, преломленными волнами, обнаруженными Смирновой, Елисеевой и др. (ИГО "Иркутскгеофизика") на Непском своде, его западном и северном склонах, Присяно-Енисейской синеклизе.

Прямым свидетельством проводимости глубинных флюидов по системе разломов и ослабленных зон земной коры в связи с неотектоникой на юге Сибирской платформы являются следующие показатели. 1. Проявления углекислотных вод, а также приуроченность очагов разгрузки рассолов к зонам глубинных разломов. Аномальные температуры рассолов и вмещающих пород вблизи очагов разгрузки. 2. К глубинным разломам пространственно тяготеют повышенные значения теплового поля, восходящий поток которого фиксируется в областях неотектонической активизации (Лысак, Дорофеева, 1983). 3. Отмечаются связь геохимических аномалий (поверхностных и глубинных) по H_2 , CO_2 , CH_4 с зонами глубинных разломов и закономерная зональность состава газовой смеси как в латеральном, так и вертикальном направлениях от нарушений. 4. Присутствие в газогелиевых эманациях областей современной тектонической активности (Байкальская рифтовая зона) подкорового гелия с величиной $^3He/^4He$ (260–890) $\cdot 10^{-8}$ при фоновом отношении в осадочных отложениях (0,9–4,8) $\cdot 10^{-8}$ (Якуцени, 1980). Примером глубинной разгрузки флюидов могут также служить обильные битумопроявления на территории северного склона Алданской антеклизы, распространение которых связано с узкими зонами разрывных нарушений в широком стратиграфическом диапазоне отложениях от подошвы рифея до среднего кембрия. По приблизительным подсчетам здесь сосредоточено десятки

миллиардов тонн битумов. Накопленный за последние годы на юге Сибирской платформы фактический материал свидетельствует о тесной связи большинства залежей нефти и газа с зонами глубинных разломов.

СОСТАВ И ХАРАКТЕР ГАЗОПРОЯВЛЕНИЙ ЗОН ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

А.И.Фридман, В.Я.Медведев, М.И.Кучер, А.С.Ходакевич,
Н.М.Улашенко

МГРИ им. С.Орджоникидзе, г.Москва

Состав и интенсивность миграции природных газов в пределах горно-складчатых областей в значительной степени обусловлены особенностями геологического строения и, в первую очередь, разрывными структурами.

В пределах Центрального Кавказа исследовались участки долин рек Терека, Баксана и Лабы, расположенные в ядре мегаантиклинория, и особенно детально район КМВ. В тектоническом отношении район КМВ представляет крупное поперечное поднятие, ограниченное с востока и запада зонами меридиональных разломов, выраженных в кайнозойских отложениях флексурными перегибами, с юга Пшекиш-Тырныауской шовой зоной и с севера Нагутской флексурой. В указанном регионе развиты разнообразные по своей природе разрывные нарушения, соответствующие зонам повышенной флюидопроницаемости пород, представляющие собой интерес с точки зрения поисков рудных полезных ископаемых и минеральных вод. Последние характеризуются метаново-углекислым и углекислым составом природных газов.

Различные по морфологии и природе разрывные нарушения характеризуются отличным составом свободных выделений (газовых струй) и газов, растворенных в минеральных водах, а также различной концентрацией газовых компонентов-индикаторов в подпочвенном воздухе. Установлены два типа газопроявлений, отличающиеся как по составу, так и интенсивности выделения. Первый представлен CO_2 , H_2 и CH_4 , второй – CO_2 и CH_4 . Газовыделения первого типа связаны с субширотными сбросами. Это разломы Пшекиш-Тырныауской шовой зоны, Балтийский разлом и субширотные нарушения КМВ (Нагутская флексура, Северо-Багунтинский, Северо-Черкесский разломы). В составе свободных газовыделений отмечены CO_2 до 83%, H_2 до $4 \cdot 10^{-2}\%$, CH_4 до 10%, He до 0,2%. Над указанными разломами в подпочвенном воздухе отмечается идентичный состав газов-индикаторов (данные газовой съемки): CO_2 до 6%, H_2 до $1 \cdot 10^{-2}\%$, CH_4 до $18 \cdot 10^{-4}\%$.

Второй тип газопроявлений связан с поперечными разломами, обычно меридионального простирания (Лысогорская, Бештаугорская, Верблюдская зоны разломов). По данным газовой съемки в подпочвенном воздухе здесь были отмечены CO_2 до 4% и метан до $14 \cdot 10^{-3}\%$. Воздух в подавляющем большинстве проб отсутствовал. Отмеченная закономерность

в общих чертах выдерживается за пределами изученного региона на участках погружения Кавказского мегаантиклинария. Содержание отдельных компонентов в газовых струях на участках поперечных разрывов (Дербенский разлом, источник Башлы) составляет: CO_2 - 50,5%, CH_4 - 42,9%, H_2 - $8 \cdot 10^{-1}\%$, He - $49,5 \cdot 10^{-2}\%$. Близкие по характеристике газовые аномалии в подпочвенном воздухе, не содержащие водорода, установлены на участках надвиговых нарушений (Северо-Абинский, Безепский, Тхамкинский надвиги): CO_2 в напорных минерализованных водах достигала 98,1% ($429 \text{ см}^3/\text{л}$), в газовых струях CH_4 - 98,8%, He - $4 \cdot 10^{-1}\%$. Идентичность состава газовых компонентов свободных выделений и подпочвенного воздуха меридианальных и диагональных нарушений позволяет рассматривать их как разновозрастные (CO_2 - 0,8-1,5%, CH_4 - $3-4 \cdot 10^{-4}\%$).

Углеродсодержащие газы региона имеют различное происхождение, обусловленное геологическим строением отдельных участков. Преобладающие количества метана образовались в результате преобразования исходного органического вещества и характеризуются изотопным отношением ($\delta^{13}\text{C}$), равным 40 - 50‰. В отдельных случаях $\delta^{13}\text{C}$ метана изменяется от -15 - -18 до -25 - -30‰, что свидетельствует о его образовании в более глубоких горизонтах земной коры, а также объясняется воздействием на органическое вещество магматических расплавов и гидротермальных растворов. Углекислый газ в основном является продуктом постмагматической деятельности и разложения карбонатов ($\delta^{13}\text{C}$ от -3 до -6‰). Не исключена его миграция по флюидопроводящим системам из нижних горизонтов разреза и, возможно, мантии. Общий усредненный состав углерода углеродсодержащих газов свободных выделений, газов, растворенных в подземных водах, и подпочвенного воздуха в определенной степени отражает геологическое строение региона и является прямым следствием их поступления из вмещающих пород и подтока по зонам разломов.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РТУТНОЙ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

Н.А.Озерова, ИГЕМ АН СССР, г.Москва;

Ю.И.Пиковский, МГУ им. М.В.Ломоносова, г.Москва

В связи с изучением проблемы ртутоносности углеводородных газов и "ртутного дыхания" поверхности нашей планеты получены новые данные, свидетельствующие о ртутной глубинной дегазации Земли по зонам крупных тектонических нарушений. В скоплениях углеводородных газов содержания ртути, превышающие фоновые значения на 1-2 порядка и более, отмечаются на участках пересечения крупнейших трансконтинентальных глубинных разломов, которые протягиваются вдоль Средиземноморской и

Тихоокеанской складчатых систем с разломами того же порядка, секущими эти системы в поперечном направлении.

Наиболее ярко это проявилось при изучении газов линеамента Карпинского - системы рифтогенных тектонических структур, протягивающейся с северо-запада на юго-восток от берегов Северного моря до отрогов Тянь-Шаня, а, возможно, и далее. В узлах пересечения линеамента Карпинского с разломами Рейнско-Ливийского рифтового пояса, в пределах каледонско-байкальской Средне-Европейской платформы находятся газовые месторождения с наиболее высокими содержаниями ртути в газах (порядка 10^{-5} - 10^{-3} г/м^3). Другая зона повышенного содержания ртути в углеводородных газах находится в пределах Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты при пересечении линеамента Карпинского разломами, находящимися на Северном продолжении Аравийско-Африканского рифтового пояса (Одесская, Криворожско-Кременчугская, Орехово-Павлоградская зоны разломов, Транскавказское поднятие). Далее на юго-восток, уже в пределах Туранской плиты, повышенные содержания ртути наблюдаются на пересечении с поперечными разломами зоны Мангышлакско-Устьюртских дислокаций и примыкающих к ней прогибов (Жетібай-Узенская зона нефтегазоаккумуляции) и на пересечении Бухарского разлома с разломами системы Урало-Оманского линеамента. В перечисленных участках содержание ртути в газе достигает значений порядка 10^{-6} - 10^{-5} г/м^3 .

Ртутная дегазация проявляется в узлах пересечения крупных разломов и в Тихоокеанском поясе. Высокие содержания ртути в нефти и газах отмечались на месторождении округа Цимрик в Калифорнии, расположенного на пересечении крупного разлома Сан-Андреас с поперечным к нему Техасским линеamentом. Оба нарушения - крупные рудоконтролирующие структуры. Ртуть присутствует также в газах современной поствулканической деятельности Курило-Камчатской области, достигая наиболее высоких значений в узлах пересечения глубинных разломов. Вне зон пересечения крупных глубинных разломов высоких содержаний ртути в газах, как правило, не отмечается.

Глубинные разломы с обнаруженными повышенными концентрациями ртути в газах характеризуются современной тектонической активностью, нередко сопровождаемой сейсмическими явлениями, повышенной величиной теплового потока и повышенной гелиеносностью. Эти же трансконтинентальные структуры в других регионах содержат признаки ртутной дегазации разных геологических эпох как в виде ртутных месторождений, так и в виде ртутной минерализации, сопровождающей месторождения других полезных ископаемых. Прямые профильные определения содержания ртути в приземной атмосфере, проведенные в различных регионах, показали, что над активными разломами глубинного заложения и над скоплениями углеводородов концентрация ртути в воздухе увеличивается в несколько раз; это увеличение носит устойчивый во времени характер.

Таким образом, региональные закономерности распределения ртутно-носных газов показывают, что ртуть в них появилась в результате дегазации наиболее глубоких мантийных зон Земли. Наличие ртути в газах молодых углеводородных скоплений и современных газогидротермальных систем, а также в атмосфере над активными разломами свидетельствует о том, что ртутное "дыхание" Земли происходит и в современную геологическую эпоху. Важной особенностью этой дегазации является ее прерывистый, пульсационный характер. Например, в углеводородных газах на одном и том же участке содержание ртути может изменяться на 1-2 порядка, уменьшаясь, а затем вновь увеличиваясь.

РТУТНАЯ ДЕГАЗАЦИЯ КАМСКО-СУРСКОЙ СИСТЕМЫ НАДВИГОВ

В.Г. Чайкин

ВНИИГеолнеруд., г. Казань

Камско-Сурская система надвигов Восточно-Европейской платформы, выявленная в 1975-1976 гг. (Валеев и др., 1977; Валеев, 1981), является своеобразным эталоном структур тектоно-магматической активизации, в пределах которых наиболее контрастно выделяются их связи с процессами, происходящими в верхней мантии. Образование Камско-Сурской системы надвигов связано с их заложением и развитием в условиях регионального растяжения на байкальском этапе тектоно-магматической активизации Пачелмского и Вятского авлакогенов. В результате компенсационного сжатия на различных участках системы в активизацию были вовлечены разновозрастные отложения - от верхнедевонских до кайнозойских включительно.

Альпийская тектоно-магматическая активизация Камско-Сурской системы привела к возрождению древних рифейских глубинных разломов сбросо-сдвигового типа. Процесс раскрытия зияющих трещин вплоть до настоящего времени сопровождался массивным выносом мантийных рудных флюидов в газовой фазе, основной составной частью которых является ртуть (Пучеж-Катунские, Бугровские, Карлинские и Хигулевские дислокации). Характерной чертой является импульсный характер глубинного "дыхания" разломных структур, отражающихся в периодическом исчезновении самородной ртути. Сбор ртути в русловом аливии (Макаровское проявление) достигает 0,5 кг. Содержание ртути по коренным породам не превышает фонового, причем повышение концентрации наблюдается в восточном направлении. В этом же направлении отмечается повышение содержания свинца, цинка, меди и др. В ряде случаев геохимические аномалии сопровождаются гидрохимическими (Хигулевские дислокации).

Таким образом, повышенные концентрации цветных и редких элементов, особенно проявлений рассеянных форм ртути, вероятно, представляют собой продукты глубинной дегазации верхней мантии. Наличие каналов - глубинных разломов, коллекторов - терригенных пород, тектонических инфильтрационных экранов - надвиговых швов предопределяет возможные

перспективы региона в отношении поисков широкого комплекса эндогенных полезных ископаемых.

РОЛЬ ГИДРОСФЕРЫ В ПРОЦЕССАХ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ И ФОРМИРОВАНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ

Л.М. Зорькин

ВНИИГТ, г. Москва

Значение гидросферы в процессах дегазации Земли предопределяется двумя ее особенностями: высокой газоемкостью, с одной стороны, и способностью подземных вод к коллективированию природных газов, с другой стороны.

Гидросфера - и подземная, и мировой океан - образует весьма подвижную и уникальную по своим особенностям геологическую сферу нашей планеты, неизбежно улавливающую все газовые компоненты дегазирующей Земли. Значимость этой своеобразной ловушки особенно велика в истории Земли в связи с ее исключительной газоемкостью. Без преувеличения можно сказать, что объем водорастворенных газов гидросферы Земли значительно превышает объем ее атмосферы. Только в подземных водах нефтегазоносных бассейнов нашей страны растворено более 4000 трлн. м³ углеводородных (УВ) газов (Зорькин Л.М. и др., 1980), а глобальные ресурсы природных газов в пластовых водах осадочной оболочки планеты оцениваются от $p \cdot 10^{16}$ (Зорькин Л.М., 1971) до $1,5 \cdot 10^{17}$ м³ (Корценштейн В.Н., 1977). Приведенные расчеты выполнены до глубин 4 км, в пределах которых газоемкость варьирует от 0,0 - 1,3 до 9-10 м³ газа на 1 м³ пластовой воды. Но с глубиной газоемкость пластовых вод растет; особенно высокая газоемкость пластовых вод наблюдается в зонах АВПД. Так, в США в скважине с глубины 6000 м близ Ботан-Ружа (Луизиана) газонасыщенность составила 92 м³/м³ (Ходжан Б., 1979). В зоне АВПД Керченского полуострова газосодержание составляет 19-45 м³/м³, а в скв. 2 Брыня (Предкарпатье) - до $p \cdot 100$ м³/м³ (Новосилецкий Р.М., 1982). Исключительно велика газоемкость подземных вод по сероводороду и углекислоте. Так, газонасыщенность подовенных вод газоконденсатной залежи на Ширяевской площади (Астраханский свод) составляет 17,5 м³/м³ (Зингер С.А. и др., 1980).

Очевидно, до формирования гидросферы интенсивность дегазации Земли была иной, так как поток газов непосредственно поступал в атмосферу. Сформировавшаяся гидросфера, перехватив газовый поток планеты, стала аккумулировать газы, тем самым существенно снизив интенсивность "газового дыхания". Грандиозность этого явления можно оценить по водонапорной системе ротлигендеса северо-западной Европы в зоне отсутствия влияния УВ потока, где установлена уникальная газонасыщенность подземных вод по азоту (до 1,2 м³/м³) при высоком содержании гелия. Иначе говоря, в водонапорной системе ротлигендеса законсервирован газовый поток Земли этого региона за мезо-кайнозойское

время. С появлением гидросферы (и биосферы) изменились не только интенсивность дегазации Земли, но и ее качественный состав. Сформировалось углеводородное дыхание Земли. Последнее четко проявляется по специализации вод подземной гидросферы и Мирового океана: основными компонентами подземных вод осадочных отложений Земли являются УВ газы, в водах океана в рифтовых зонах растворены CO , H_2S , CO_2 , H_2 и другие мантийные газы.

Роль гидросферы проявляется не только в консервации огромных объемов природных газов, но и в способности формировать их свободные скопления. Аккумулируя газовый поток, подземная гидросфера на определенных этапах своего развития достигает предельного газонасыщения, выделяет газ в свободную фазу и формирует залежи. Механизм этот особенно важен для УВ газов. В зависимости от химического облика газов подземной гидросферы формируются те или иные УВ системы: метановые, метановые с повышенным содержанием тяжелых углеводородов, азотно-метановые, углекисло-сероводородно-метановые, газоконденсатные, жидких УВ с газовыми шапками, газовые с нефтяными оторочками. Запасы газов в залежах контролируются особенностями подземной гидросферы. Так, установлено, что уникальные по запасам газовые месторождения приурочены главным образом к мощным водонапорным системам (Зорькин Л.М., 1973).

В промышленных месторождениях сосредоточены крупные объемы природных газов. Мировые прогнозные запасы горючих газов залежей на континентах и в зоне шельфов достигают 10^{15} м^3 . Усиливающаяся разработка их существенно скажется на дегазации Земли. Техногенная дегазация Земли уже сейчас сопоставима с глобальными геологическими процессами.

О СВЯЗИ ПРОЦЕССА РАЗРАСТАНИЯ МОРСКОГО ДНА С МЕХАНИЗМОМ ДЕГАЗАЦИИ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

В.Н. Корценштейн

ВИИГаз, г. Москва

Крупнейшими открытиями в области геотектоники и геофизики, связанными с возрождением идеи Вегенера о дрейфе континентов, явились новые представления, согласно которым срединно-океанические хребты являются областями разгрузки глубинного материала, поднимающегося из верхней мантии. Геологическая мысль обогатилась принципиально новыми положениями глобального характера, основанными на выявлении целой системы тектонически активных океанических хребтов, протяженность которых исчисляется десятками тысяч километров. Развитие представлений по указанной модели вскрыло механизм периодического обновления морского дна (через каждые 300–400 млн. лет), замещающегося новым мантийным материалом. Вследствие этого процесса происходит разрастание океанического дна от срединных хребтов по направлению к зонам субдукции, океаническим желобам. По Хессу, океаническая кора, погружаясь в нисходящие ветви конвекционного потока, нагревается и

высвобождает воду в океан. Это коренным образом изменяет наши представления о физико-химической природе и геологической истории подземной гидросферы.

Современные представления о природе ювенильных флюидов верхней мантии поляризуются вокруг двух основных концепций. Согласно первой из них (Хесс, 1962; Монин, 1974; Пиннекер, 1980), серпентинитовый слой океанической коры образуется в результате воздействия на нее ювенильных флюидов. По другим представлениям (Сорохтин, 1974; Павлов, 1977) за источник серпентинизации принимается океаническая вода. Нельзя не согласиться со сторонниками первой концепции, если учесть, что серпентинитовый слой непосредственно не соприкасается с океанической водой. Нет при этом оснований полностью исключить роль океанических вод в процессе серпентинизации коры, но главенствующая роль, скорее всего, принадлежит водам мантийного происхождения (Пиннекер, 1980). Периодическое обновление океанического дна, его замещение новым мантийным материалом сопровождается коренной переработкой его покрова и существенным усилением дегазации морских отложений в глобальном масштабе. Механизм дегазации литосферы и сопредельной с ней верхней мантии основан прежде всего на субдукции литосферных плит, поглощаемых верхней мантией и астеносферой. При этом происходит коренная переработка ранее накопившегося органического вещества преимущественно экзогенного происхождения, общий баланс которого оценивается нами 10^{19} м^3 за период, исчисляющийся в сотни миллионов лет.

Другим мощным проявлением процесса дегазации Земли, относящимся, скорее всего, к верхней мантии, сугубо эндогенным по своей природе является высвобождение газов, содержащихся в водах "взрыленного" верхнего слоя мантии. Этот процесс имеет прямое отношение к спредингу. Состав растворенных газов эндогенного происхождения, поступающих за счет взаимодействия флюидов верхней мантии и вод собственно серпентинитового слоя существенно отличается от растворенных газов экзогенного происхождения вследствие глубокой переработки литосферных плит.

Следует учитывать геологическую длительность процессов гидратации материалов мантийного происхождения. В связи с этим поиск специфических полигенных по своей природе компонентов (как экзогенных, так и эндогенных) существенно затруднен. Не исключено, что растворенные газы подземной гидросферы в значительной мере отражают результирующую тех сложных физико-химических процессов, которые формируют основные ресурсы древнейшего фона растворенных газов подземной гидросферы.

МАСШТАБЫ ГЕНЕРАЦИИ И ВЫНОСА ГАЗОВ ТЕРМАЛЬНЫМИ ВОДАМИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ КАМЧАТКИ

Е. А. Вакин

Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, г. Петропавловск-Камчатский

Разгрузка термальных вод, являясь, в отличие от вулканических извержений, фактором, стабилизированным во времени, вносит существенный вклад в энергетический баланс вулканических областей. Природные газы - обязательная составная часть гидротерм; их состав и количество отражают характер и масштабы геологических процессов, формирующих гидротермы.

В состав гидротермальных газов областей современного вулканизма входят (в порядке значимости) CO_2 , N_2 , H_2S , H_2 , CH_4 , NH_3 , а также гомологи метана и благородные газы. В газовом составе отражены наиболее общие закономерности генезиса гидротерм и прежде всего Р-Т условия их формирования, которые прямо зависят от конкретной геологической обстановки.

По составу сопутствующих газов в вулканических районах Камчатки могут быть выделены следующие генетические типы гидротерм: 1) азотно-углекислые и углекисло-азотные CO_2 - N_2 (N_2 - CO_2) парогидротермы высокотемпературных гидротермальных систем, заключенных в депрессиях вулканотектонического происхождения (кальдерах, грабенах), связанные с долгоживущими вулканоматматическими центрами. В газах наиболее высокотемпературных систем повышается содержание H_2 и H_2S и относительно понижается содержание N_2 ; 2) азотные (N_2) термы трещинных зон областей молодой блоковой тектоники, связанные с разломами глубокого заложения на периферии вулканоматматических центров; 3) углекислые (CO_2) термы и холодные воды типа "Нарзан", связанные с гранитоидными интрузиями (явными или скрытыми) постплиоценового возраста. Их характеристики даны в таблице.

Данные по газовому составу и дебитам гидротерм позволяют количественно оценить нижний предел величины выноса газов. Доминирующая роль в выносе газов принадлежит CO_2 - N_2 гидротермам. В наибольших количествах выносятся CO_2 , которая может иметь магматическое или термометаморфическое происхождение. Метан, водород и аммиак могут генерироваться в наблюдаемых количествах в гидротермальных условиях при реакциях в системе C-H-O-N и находятся в равновесном состоянии. N_2 и благородные газы (кроме He) практически во всех случаях находятся в отношениях, не отличающихся от атмосферных.

Полученные цифры дают возможность оценить современные масштабы таких геологических процессов, как дегазация интрузивных тел, термометаморфизм и поступление газов с больших глубин. Эти процессы с наибольшей интенсивностью идут в терминальных частях долгоживущих вулканоматматических центров, где расположены все высокотемпера-

турные гидротермальные системы.

Тип гидротерм	Т°С		Разгрузка, кг/с (D)	Газ Вода (X)	Вынос газа, л/с	Состав газа, %об.			
	На выходе	Базовая*				CO_2	N_2	H_2S	CH_4
CO_2 - N_2	Кипения	До 280	4500	0,2-2 0,5	2250	60-80	5-20	3-10	0,5-10
N_2	До 100	До 130	800	0,01-0,1 0,05	40	1-5	95-99	-	До 4
CO_2	До 70	До 120	150	0,2-1 0,3	45	90-98	1-10	0,5-3	1-5

D - суммарный дебит гидротерм (с учетом скрытой разгрузки); X - газосодержание, т.е. объемное отношение (минимальное, максимальное, расчетное) газ (свободный + растворенный) - вода; * базовая температура на глубине по геотермометрам.

ГАЗОВАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ТЕРМАЛЬНЫХ ФЛЮИДОВ МЕКСИКИ

В. И. Кононов, Б. Г. Поляк, ГИН АН СССР, г. Москва;

Э. М. Прасолов, ВНИГРИ, г. Ленинград

В Мексике, как и в других областях современного вулканизма, можно выделить ряд характерных генетических типов термальных флюидов: азотные, метановые, углекислые, азотно-углекислые, сероводородно-углекислые, углекисло-водородные. Они формируются при определенном сочетании геологических, гидрогеологических, геохимических и геотермических условий.

Зоны распространения сероводородно-углекислых, углекислых и азотно-углекислых термальных вод протягиваются вдоль простирания Трансмексиканского вулканического пояса. Они оконтуриваются азотными и метановыми термами. Последние особенно развиты в крупной депрессии с мощным чехлом осадочных пород, примыкающей к Мексиканскому заливу, а также во впадинах Калифорнийского залива и его обрамления. К рифтовой зоне Калифорнийского залива и его наземному продолжению приурочены специфические "водородные" парогидротермы. В наиболее высокотемпературных (>300°С) гидротермальных системах отмечаются максимальные доли мантийного гелия.

ГЕОХИМИЯ ИЗОТОПОВ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ В ТЕРМОПРОЯВЛЕНИЯХ КАМЧАТКИ

А.М.Рожков, Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, г.Петропавловск-Камчатский; А.Б.Верховский, Ю.А.Шуколюков, ГЕОХИ им.В.И.Вернадского АН СССР, г.Москва;
Э.М.Прасолов, ВНИГРИ, г.Ленинград

Исследования изотопного состава и элементной распространенности благородных газов в природных флюидах областей современной вулканотектонической активности с определением вклада в них генетически различных составляющих: мантийной, радиогенной и атмосферной, — позволяют выявить термодинамические и геолого-геохимические условия формирования гидротерм, рассматривать проблемы, связанные с их генезисом.

Проведенные исследования охватывают весь комплекс благородных газов, включая радон. Изучение их распространенности проводилось в двух аспектах: региональном — для составления общего представления об их поведении в термопроявлениях Камчатки — и локальном — на примере отдельно взятой современной высокотемпературной геотермальной системы. Были изучены Северо-Мутновская, Нижне-Кошелевская, Узон-Гейзерная, Паужетская геотермальные системы и свыше сорока термопроявлений региона.

Полученные данные позволяют сделать следующие заключения.

1. Зафиксированы высокие изотопные отношения гелия, близкие к мантийному, которые постепенно снижаются с востока на запад вследствие увеличения доли радиогенного (корового) гелия. Локальные вариации $^3\text{He}/^4\text{He}$ в пределах отдельной геотермальной системы не превышают 0,5 порядка и зависят, вероятно, от различной степени проницаемости коры для глубинного гелия.

2. Элементное распределение благородных газов в исследованных объектах отвечает равновесной модели дегазации метеорных вод. Вклад глубинной составляющей в газы гидротерм не превышает одного процента.

3. Во многих пробах, в особенности в высокотемпературных термах, отмечается "избыточный" неон, а также выявлено слабое обогащение изотопом ^{20}Ne , что, по-видимому, связано с элементарным и изотопным фракционированием атмосферного неона в зависимости от термодинамических условий дегазации термальных флюидов.

4. Геохимические исследования распределения благородных газов позволяют оценить время цикла водообмена и скорости фильтрации вод в геотермальных системах и выявить фазовое состояние геотермального резервуара.

ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ В МОЛОДЫХ ГОРНО-СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЯХ ПО ИЗОТОПНЫМ ДАННЫМ УГЛЕРОДА И ГЕЛИЯ

Г.И.Буачидзе

Сектор гидрогеологии АН ГССР, г.Тбилиси

Изотопный состав углерода и гелия позволяет судить об ювенильной доле флюидов и, как следствие, о степени проницаемости различных геологических структур. От проницаемости, как известно, в значительной степени зависит интенсивность процесса дегазации мантии. Комплекс работ, проведенных в молодых горно-складчатых областях (Кавказ, Камчатка, Забайкалье, Монголия, Средняя Азия, Апеннины и Никарагуа), дает возможность выявить некоторые закономерности глубинной дегазации отдельных тектонических зон.

Наиболее общим выводом является полная инертность (ювенильная компонента менее 5%) не только предгорных прогибов, но и межгорных впадин (например, на Кавказе и в Апеннинах). Естественная интенсивная дегазация в районах действующих вулканов охватывает области распространения, по крайней мере, неоген-четвертичного вулканизма. При этом она значительно больше последней, но сохраняет ее конфигурацию. Проницаемые зоны характеризуют центральные части складчатых систем, закономерно затухая к периферии. Так, на Большом Кавказе выявлена зональность изотопного состава углерода, выражающаяся в симметричном уменьшении ювенильной составляющей к северу и югу от кристаллического ядра. На Малом Кавказе удалось выявить связь изотопного состава углерода с возрастом складчатости (ранне-, средне- и позднеальпийский этапы), а в Апеннинах — связь изотопных составов и инертных газов с возрастом вулканизма. Наблюдаются и более тонкие связи, например зависимость изотопного состава от температуры флюидов на действующих вулканах Никарагуа. Интересным представляется факт равенства среднего изотопного состава гелия в углекислых системах Большого и Малого Кавказа, которые по гелий-аргоновому отношению, указывающему на возраст, разнятся более чем на порядок.

Отмечено, что, если по изотопным данным углерода трассируются общескладчатые направления, например общекавказское, то по изотопии гелия выделяются и поперечные структуры, которые к тому же подтверждаются аномалиями тепловых потоков (Транскавказское поднятие).

О ВЗАИМОСВЯЗИ НОВЕЙШИХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ ДЕГАЗАЦИИ ГОРНО-СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ ЗЕМЛИ

Е.А.Басков, С.Н.Суриков

ВСЕГЕИ, г.Ленинград

Подземные воды и газы как наиболее подвижные компоненты литосферы весьма четко реагируют на проявления различных новейших геодина-

мических процессов. На поверхности земли это находит обычно отражение в виде источников с газами разного состава и реже газовых струй. При этом источники с газами определенного состава приурочены к территориям с определенным характером современных геодинамических процессов.

В областях интенсивных новейших поднятий, сложенных преимущественно сильно консолидированными кристаллическими (интрузивными, метаморфическими и др.) породами (Прибайкалье, горы Митумбе, Высокий Велд в юго-восточной Африке и др.) к зонам крупных разломов приурочены обычно азотные слабоминерализованные (до 0,5–1,5 к/кг) щелочные (рН 7–9) термы сульфатно-гидрокарбонатного и сульфатного состава. В составе растворенных газов преобладает азот (95–99% объемные), величина He/Ar колеблется от 0,05 до 0,5. Температуры источников достигают 70–90°, дебиты – 10–30 л/с. Эти азотные термы имеют инфильтрационное происхождение, с их деятельностью сопряжено формирование кор выветривания (Басков, 1963). В некоторых регионах (Южный Памир и др.) наряду с азотными слабоминерализованными термами встречаются выходы углекислых терм гидрокарбонатного состава с минерализацией до 3–5 г/кг. Содержание растворенной CO_2 достигает в них 1–2 г/кг.

В прибрежно-морских районах складчатых областей (Чукотка, Кордильеры, Аляска и др.) известны выходы азотных (реже углекислых) терм хлоридного натриево-кальциевого состава с минерализацией от 1–3 до 15–30 г/кг, вытекающие по зонам разломов обычно из кристаллических пород. Температура их достигает 70–80°C. Вероятно, в питании этих терм наряду с азотными слабоминерализованными инфильтрационными водами участвуют седиментогенные воды субаквальных депрессионных структур. Углекислый газ этих терм, вероятно, метаморфогенный.

В областях интенсивных новейших поднятий, сложенных преимущественно слабоконсолидированными, но сильно дислоцированными осадочными и осадочно-вулканогенными породами (Кавказ, Балканы, Альпы, Анды и др.), в зонах крупных разломов встречаются выходы азотных, азотно-метановых, метановых, а также и углекислых терм. По химическому составу эти термы обычно хлоридно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные, реже гидрокарбонатные. Они представляют собой часто смесь инфильтрационных и седиментогенных и реже метаморфогенных вод. Выходы углекислых терм в этих областях в основном приурочены к районам четвертичного вулканизма.

В горно-складчатых областях с проявлениями современного вулканизма (Восточная Камчатка, Тихоокеанские островные дуги, Анды, Кордильеры, Апеннины и др.) наряду с азотными, метановыми и углекислыми термами в районах действующих вулканов широко развиты сероводно-углекислые термы. На фумарольных полях они сильно кислые (рН часто менее 1–2), сульфатные и хлоридные и представляют собой естес-

твенные конденсаты вулканических газов (H_2S , SO_2 , HCl , HF и др.), связанных с промежуточными магматическими очагами.

Широко распространенные во многих горно-складчатых областях (Забайкалье, Сихотэ-Алинь, Кавказ, Кордильеры и др.) источники холодных углекислых вод гидрокарбонатного состава приурочены к районам с преимущественным развитием сильно консолидированных и консолидированных пород, которые характеризуются процессами трещинообразования в условиях сжатия. По сжатым трещинным системам углекислый газ мигрирует здесь к земной поверхности и растворяется в подземных (трещинно-грунтовых и др.) водах атмосферного питания.

ТЕКТОНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ДЕГАЗАЦИИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

С.А.Вересов

ВСЕГЕИ, г. Ленинград

Для горно-складчатой области Большого Кавказа характерно широкое разнообразие состава (азотные, метановые, углекислые и др.) и генезиса (биогенные, метаморфогенные, вулканические и др.) природных газов. Закономерности их распространения как по площади, так и в разрезе определяются, с одной стороны, строением структурно-формационных зон, отражающих определенные этапы геотектонического развития территории, с другой – характером новейших тектонических движений и проявлениями молодого вулканизма.

Для всех типов структурно-формационных зон Большого Кавказа характерно широкое распространение источников с кислородно-азотными газами атмосферного происхождения и связанных с региональной трещиноватостью горных пород. На отдельных участках (район КМВ) к зонам глубоких неотектонических нарушений приурочены выходы азотных газов воздушного происхождения, тесно связанных с источниками термальных подземных вод. В структурах, сложенных в разной степени дислоцированными и метаморфизованными (вплоть до фации зеленых сланцев) осадочными и вулканогенно-осадочными морскими формациями (зона Передового хребта, Гойтхско-Ачишхинская зона и др.) широко распространены выходы азотных газов биогенного происхождения. В ряде районов (Красная Поляна) в сильно дислоцированных и метаморфизованных глинистых формациях встречаются выходы углекислых газов, связанных с процессами метаморфизма. К зонам новейших тектонических нарушений в структурно-формационных зонах, представленных неметаморфизованными, в разной степени дислоцированными терригенными и терригенно-карбонатными формациями морского генезиса (Абино-Гунайская зона, Новороссийский флишевый синклиниорий и др.), приурочены выходы азотно-метановых и метановых газов, иногда с высокими содержаниями углекислоты и гелия. В районах молодой вулканической деятельности и широкого развития новейших тектонических нарушений (Эльбрус-Ставропольское поперечное

поднятые) в различных типах структурно-формационных зон широко распространены выходы углекислых газов вулканического происхождения.

Таким образом, интенсивность дегазации земной коры в пределах Большого Кавказа находится в прямой зависимости от количества, проницаемости и глубины новейших тектонических нарушений. Состав выделяющихся газов определяется всей историей геологического развития региона.

АЗОТНОЕ ДЫХАНИЕ ЗЕМЛИ И ГЕОТЕКТОНИКА

В.В.Тихомиров, М.И.Астахов, Е.С.Баркан, И.А.Гаврилова

ВНИГРИ, г.Ленинград

Содержание молекулярного азота в пластовых газах меняется от сотых долей процента почти до 100%, но чаще в диапазоне 0,4 – 12,5%. Его парциальные давления имеют значения от 0,01 МПа (и менее) до 80 МПа. Наиболее широким распространением высоких концентраций и парциальных давлений азота обладают нефтегазоносные бассейны (НГБ) древних платформ. Для осадочных отложений их полого погружающихся краевых частей характерны пластовые флюиды с высоким содержанием азота. Это проявляется в присутствии здесь скоплений азотного состава, а также нефти и рассолов, в составе природных газов которых преобладает азот. Вне древних платформ распространение аналогичных насыщенных азотом пластовых флюидов весьма ограничено, проявляется преимущественно в виде локализованных аномалий и регионально связано со срединными массивами допалеозойского фундамента, расположенными в краевой части древних платформ. Эта связь высоких концентраций азота со срединными массивами особенно хорошо выражена в НГБ эпиплатформенных орогенных поясов Скалистых гор (США) и Западной Европы. На территории эпигерцинских плит она проявляется лишь приуроченностью максимальных концентраций и парциальных давлений азота к сводовым поднятиям фундамента типа Центрально-Каракумского (Туранская плита), Сабин и Монро (плита Галф-Кост).

Указанная зависимость поведения азота от геотектоники наиболее очевидна в присутствии соленосных отложений в разрезе. В подсолесных коллекторах максимальные концентрации и особенно парциальные давления азота достигают наибольших значений. Геологические условия существования пластовых флюидов, богатых молекулярным азотом, в частности залежей газа азотного состава, свидетельствуют о том, что они формировались одновременно с соленосными отложениями до появления в разрезе осадочного чехла пластовых газов углеводородного состава.

Характер общего распределения пластовых флюидов, богатых азотом, позволяет сделать следующие выводы: 1) проявление высоких концентраций и парциальных давлений азота является характерной чертой начальных стадий осадконакопления на территории древних платформ; 2) при последующем погружении пород фундамента, с появлением плас-

товых газов углеводородного состава, содержание и парциальные давления азота быстро падают, достигая минимальных значений. Соленосные толщи способствуют сохранению высоких парциальных давлений азота; 3) зот, обладающий высокими парциальными давлениями, не связан с генезисом пластовых газов углеводородного состава, но связан с образованием и распределением минеральной части пластовых рассолов. Это дает основание рассматривать молекулярный азот как продукт разложения иона аммония в их составе. Таким образом, вопросы генезиса молекулярного азота и пластовых рассолов необходимо рассматривать вместе. Если допустить метаморфическое или магматическое происхождение азота высоких парциальных давлений, то необходимо допустить аналогичное происхождение и для насыщенных азотом пластовых рассолов. Тогда надо предполагать, что насыщенные азотом рассолы образовались в процессе формирования пород допалеозойского фундамента и сохранялись в них до начала осадконакопления.

ГАЗОВОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ – ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ЭКРАН ТЕКТОГЕНЕЗА

В.П.Якуцени

Институт геологии Коми фил. АН СССР, г.Сыктывкар

Высокие миграционные свойства природных газов постоянно привлекают к ним внимание как к геохимическим индикаторам различных процессов в земной коре и подкоровых глубинах. Но их полигенность по химическому и изотопному составам затрудняет, а нередко и исключает однозначную интерпретацию результатов исследований. В зависимости от решаемых задач и изучаемого объекта выбор газогеохимических критериев широко варьирует. Высокая динамичность во времени и пространстве газового поля Земли выдвигает в качестве основного методологического принципа его изучения системный подход к раскрытию сущности процессов его формирования и функционирования. Используя газогеохимические критерии процессов тектогенеза, мы тем самым предопределяем ряд хотя и общих, но обязательных требований к структуре и содержанию исследований. В их числе: 1) четкое определение изучаемого объекта и границ его распространения. В частности, в зависимости от решаемых задач под газовым полем (экраном) можно понимать свободные или растворенные (в породах, флюидах) газы. Его фоновая количественная оценка может быть выражена в абсолютных или относительных концентрациях, общих или парциальных упругостях. Должны быть определены критерии аномальности. Поскольку выбор газогеохимических параметров резко меняется в зависимости от геоструктурных особенностей региона, должны быть определены границы поля (например, по площади – в пределах осадочного бассейна или его части, кристаллического щита, складчатых сооружений и т.п.). Выбор границ по вертикали определяется задачами исследования. Это может быть газовое поле вблизи дневной поверхности или поверхности дна бассейна, на определенной глубине или

какой-либо поверхности с геологическим признаком (структурным, стратиграфической, литолого-фациальной и т.п.); 2) установление и анализ системообразующих связей - источников образования (поступления) компонентов, формирующих газовое поле, механизма (химического, физического) их взаимоотношений между собой и вмещающей средней (породой, флюидами); 3) исследование механизма функционирования (существования) газового поля во вмещающей среде в разные геологические эпохи. Должны быть рассмотрены основные этапы и причины изменения интенсивности или геохимического облика газового поля, выполнена оценка экстрамальных параметров существования газового поля или стирания его основных газогеохимических меток, их уничтожения или индикаторов тех или иных геотектонических процессов и т.д.

В работе показаны возможности корректного решения ряда вопросов, связанных с процессами тектоногенеза с помощью газогеохимических индикаторов, при условии обоснованного выбора параметров и системного анализа функционирования газового поля в конкретной естественной обстановке недр. В частности, с помощью отдельных газогеохимических критериев или их комплекса, на основе изучения состава и интенсивности газового поля или отдельных его элементов реально достоверное решение таких вопросов геотектоники, как: 1) определение возраста складчатости фундамента, скрытого под мощным чехлом осадочных отложений, выделение его гетерогенных участков и зон внедрения молодых магматических интрузий; 2) выделение современных наиболее стабильных, длительно устойчивых или, напротив, активизированных участков древней коры под осадочным чехлом в нефтегазоносных бассейнах; 3) трассирование всех систем флюидопроводящих разломов как в фундаменте, скрытом под чехлом, так и в осадочном чехле; 4) определение степени современной проницаемости глубинных разломов для подкоровых флюидов, их подвижности и глубины раскрытия на различных участках для разломов древнего заложения; 5) оценка степени влияния тектонической активизации древней коры на рудогенез и интенсификацию процессов нефтегазообразования и накопления в осадочном чехле.

Приведены отдельные конкретные примеры решения этих задач в различных регионах. На основе характеристики планетарного газового поля Земли (газогеохимические провинции) показано, что оно является четким экраном тектонического строения земной коры и индикатором современных процессов геотектоногенеза в коре и верхней мантии, легко доступным для исследований в самой поверхностной оболочке Земли.

РАЗДЕЛ IV. ДОПОЛНЕНИЯ

ЭВОЛЮЦИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПЛАНЕТЫ В СВЯЗИ С ДЕГАЗАЦИЕЙ ИЗНАЧАЛЬНО ГИДРИДНОЙ ЗЕМЛИ

В.Н.Ларин

ГИН АН СССР, г.Москва

Сопоставление состава внешней геосферы Земли (мощностью примерно 200-250 км) с составами Солнца, метеоритов (пояса астероидов) и Луны выявило закономерную зависимость распространенности элементов в пределах солнечной системы от их потенциалов ионизации (Ларин, 1975, 1980). На основе этой закономерности оказалось возможным рассчитать исходный состав Земли (в первом приближении, разумеется), если допустить, что наблюдаемая зависимость обусловлена магнитной сепарацией ионизированных частиц на этапе формирования протопланетного диска.

Проведенная оценка показала, что концентрация кислорода в теле Земли не должна превышать первых процентов ее массы и что изначальный состав планеты должен быть преимущественно гидридным (металлы и кремний + водород).

Развитие изначальной гидридной планеты вследствие дегазации водорода и его диссипации приводит к следующей модели современной Земли: внутреннее ядро - гидриды металлов, внешнее ядро - металлы с растворенным в них водородом, нижняя мантия (включая слой С) - сплавы и соединения на основе кремния, магния и железа, верхняя мантия (слой В) и кора - силикаты и окислы.

К процессу трансформации изначальной гидридной (и гомогенной) Земли в планету с ее современной структурой хорошо привязывается эволюция геодинамического режима во времени: от специфической (пермобильной) тектоно-магматической активности архея и архей-нижнепротерозойских зеленокаменных поясов до геосинклинальных складчатых зон неогена, включая эволюцию последних от ранних тектоно-магматических циклов к поздним. В свете данной концепции существование гидросферы, кислородной атмосферы и океанов (как геологических структур в их современном выражении) на ранних этапах развития Земли исключается.

Основной глобальной эндогенной причиной эволюции геодинамического режима является дегазация водорода из внутренних зон планеты.

Изучение и картирование водородных подземных флюидов имеет огромное значение как для познания геохимической эволюции Земли и генерации природных углеводородов, так и для создания метода научного прогнозирования поисков месторождений водородных газов. Интерес к свободному водороду в народном хозяйстве не случаен, поскольку он является самым чистым энергетическим топливом, которое в настоящее время впервые удалось использовать для машин с электрическими моторами.

Благодаря открытию в нашей стране и за рубежом (Япония, Исландия, США и другие страны) крупных проявлений природных газов, паровых и газовых струй, содержащих водород, возникла проблема добычи из них водорода. К настоящему времени в отдельных точках земного шара выявлены мощные струи водородного состава, причем некоторые из них с очень высоким дебитом (например, из скв. 42 в пределах кимберлитовой трубки Удачная дебит водорода достигал $10^5 \text{ м}^3/\text{сут}$, а в Исландии на одном месторождении Наумафьядль вынос водорода определяется цифрой $10^3 \text{ м}^3/\text{сут}$). Водород стал ценным компонентом для промышленного извлечения. Теперь можно с определенностью говорить о том, что в будущем добыча и переработка газов, содержащих водород, явится самостоятельной отраслью промышленности.

Вопросы генерации и размещения водородных проявлений в земной коре уже на протяжении последнего пятидесятилетия привлекают внимание геологов и геохимиков. За это время получен новый богатый фактический материал по геохимии водородсодержащих флюидов, вскрытых глубокими и сверхглубокими скважинами (3–5 км и более) главным образом при изысканиях на нефть, газ и парогидротермы. Материал этот подвергался частичному рассмотрению. О генезисе свободного водорода высказаны разноречивые гипотезы, вызывающие большие дискуссии. Однако обобщений и научному синтезу данных по водородным проявлениям, добытым опытным путем при освоении месторождений полезных ископаемых, уделяется пока мало внимания. Разработка научных основ для картирования водородных проявлений находится еще в стадии становления. Только в самое последнее время в нашем институте сделана первая попытка составить карту водородных проявлений в подземных флюидах СССР в масштабе 1:8 000 000.

Анализ выборочных распределений величин водорода ($n = 2215$) во флюидах различных геотектонических структур, обработанных методом математической статистики, позволил выявить их фоновые и аномальные содержания. Фоновые содержания водорода (менее 50 мл/л) характерны для флюидов стабильных участков платформ, плит и прогибов.

Аномальные концентрации водорода в подземных флюидах (от 50 до 1500 мл/л и выше) наиболее ярко проявляются в зонах глубинных региональных разломов Скифской, Туранской и Западно-Сибирской плит, альпийских прогибов и впадин, а также в районах современной вулканической деятельности (Курило-Камчатская зона). Рассматривая особенности размещения водородных аномалий в глобальном плане, следует особо отметить их приуроченность к системе океанических и континентальных рифтовых зон.

Исключительная полигенность свободного водорода в земной коре создает определенные трудности в использовании "водородной метки" для литологической, геоструктурной и геохимической интерпретаций. Генерация водорода в земной коре может быть обусловлена различными реакциями, в которых вода выступает в роли его донора. Фоновые содержания водорода обусловлены преимущественно процессами радиоллиза подземных вод и разложения нефтеорганических веществ под воздействием водородвыделяющих бактерий и повышающихся с глубиной температур. Образование аномальных концентраций водорода в земной коре происходит главным образом за счет разложения воды, с одной стороны, мельчайшими частицами железа в пределах рудных полей, с другой – при воздействии мощного термобарокатализа ($2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$).

Наконец, аномальные концентрации водорода в подземных флюидах могут быть следствием дегазации внутренних частей Земли. Данные о преимущественно водородном составе флюида в верхней мантии имеются (Маркушев, Перчук, 1972, 1973; Лутц, 1975; Летников, 1976, 1977; и др.).

Изучение пространственного размещения водородных проявлений в подземных флюидах на территории СССР показало, что аномальные концентрации свободного молекулярного водорода в флюидорастворенных и свободных газах, достигающих при вскрытии скважинами значительных дебитов, приурочены преимущественно к зонам глубинных региональных разломов. Они привлекают внимание ученых и практиков. При заложении новых глубоких скважин, которые должны вскрыть водородсодержащие флюиды и свободные газовые залежи, особое внимание нужно уделять поискам оптимальных геологических структур. К таким структурам можно отнести активизированные региональные разломы, сопряженные с ними горсты и приподнятые блоки с наличием надежных литологических покрышек, являющиеся очагами максимального подтока тепловой энергии и легколетучих веществ из глубоких недр Земли.

ГЛОБАЛЬНЫЙ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЙ ФАКТОР И ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОВОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОДНО-ГАЗОВЫХ СИСТЕМ

В.Г.Тыминский, Г.И.Войтов

ИФЗ АН СССР, г.Москва

Давно известно, что состав природных газов газовых месторождений и газов подземных водно-газовых систем, с одной стороны, и состав газов в породах осадочного чехла - с другой, химически не тождественны. Если первые в большинстве своем являются углеводородными, а вторые - углеводородными, по крайней мере, в приконтурных водах, то газы в породах осадочного чехла за очень редким исключением (например, газы угольных пластов ниже зоны развития гипергенных процессов) - азотные с небольшим содержанием CO_2 и углеводородов.

Существуют обширные сведения (количество которых имеет тенденцию увеличиваться) о составе природных газов подземных водно-газовых систем зон тектонических нарушений в породах кристаллического основания древних платформ и на щитах (Русская платформа, Балтийский, Украинский, Канадский, Южно-Африканский, Австралийский щиты), т.е. в тех экстремальных условиях, где видимой связи с породами осадочного чехла и процессами метаморфических изменений в последних не отмечено. В подавляющем большинстве своем или химизм газов рассматриваемых водно-газовых систем определяется углеводородами, или последние являются ведущими компонентами (таблица).

Процесс изучения Мирового океана в последнее десятилетие внес решающий вклад в оценку масштабов разгрузки природных газов с поверхности океанического дна, в первую очередь в рифтовых зонах. Обнаружены десятки так называемых горячих пятен с концентрированной разгрузкой в воды океана природных газов углеводородно-водородного состава, выносящих гелий с мантийной изотопной меткой. Оценки показывают, что только в пределах Восточно-Тихоокеанского рифта в таких зонах в океанические воды поступает 100 млн. m^3 водорода и метана ежегодно. Выносятся также значительное количество CO и других газов. Изотопно углерод CH_4 тяжелый ($\delta^{13}C$ порядка -18,6‰).

Изучение проблем загрязнения атмосферы Земли, в частности проблемы загрязнения последней CO , дали неожиданные результаты, позволяющие с новых позиций взглянуть на проблемы дегазации планеты. Во-первых, устанавливается решающая роль CH_4 на глобальный баланс CO атмосферы. Во-вторых, устанавливается большая неоднородность потока CH_4 с поверхности Земли, определяемая, с одной стороны, тектонической мобильностью последней, а с другой - распределением нефтегазности. Наконец, явно выраженная широтность в распределении концентраций CH_4 в атмосфере Земли (более высокое содержание CH_4 в атмосфере северного полушария по сравнению с содержанием в атмосфере южного полушария), по нашему мнению, в первую очередь характери-

Химический состав природных газов водно-газовых систем из разломов в породах кристаллического основания, древних платформ и щитов

Место отбора	Химический состав газов, % об.									
	He	H ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄
1. Балтийский щит:										
а) Железорудное месторождение Даннемор	6,0	0,4	19,7	1,2	70,0	Сумма тяжелых углеводородов	1,2			
б) Месторождение мыльня и сульфидных руд Болиден	2-5	0,1-1,0	31,0	Не обнаруж.	60-69	Не определялись				
в) Печенгская структура, скв. 1886, глубина 900 м	1,58	3,74	19,5	"	74,80	0,05	0,0002	Сл.	Сл.	Сл.
г) Там же, скв. "Спутник", глубина 530 м	2,18	0,14	41,42	"	56,22	0,046	0,0001	"	"	Не обнаруж.
д) Хибины, месторождение Кукисвумчорр, наклонный ствол на гор. 252, шпур 17	0,15	1,68	52,31	"	42,09	Сумма тяжелых углеводородов	3,78%			
е) Там же, месторождение Расвумчорр, штольня, шпур 7	0,54	1,40	1,58	"	91,59	"	"	"	"	4,88%
2. Украинский щит:										
а) Кривой Рог, рудник им. Ленина, гор. 825 м	1,12	13,07	12,40	"	71,40	1,64	0,168	0,018	Не обнаруж.	Не обнаруж.
б) Мариупольское железорудное месторожд., скв. 301	0,12	1,50	16,50	"	63-82	Сумма тяжелых углеводородов	не определялась			
в) Скв. Миннибаевская № 20000, глубина 4680 м	5,66	8,87	68,41	0,06	11,90	2,31	2,04	0,65	0,024	0,002
3. Африканский щит:										
а) Рудник Св. Елена	8,00	0,10	12,10	0,80	78,40	Более тяжелые углеводороды	не определялись			
б) Рудник в районе Одендаальсверст	До 13,8	0,10 до 27,0	0,20	До 91,10	До 0,50	Более тяжелые углеводороды	не определялись			

зует не распределение техногенных потерь CH_4 и даже не распределение запасов углеводородов, а скорее размещение подвижных поясов — более плотное в северном полушарии Земли по сравнению с южным. Известно, что пояса соответственно характеризуются более плотным распределением потока природных газов в область стока — атмосферу Земли.

В рамках существующих представлений формирование химического состава газов подземных водно-газовых систем (особенно на глубоких горизонтах, в том числе в зонах тектонических разломов в породах кристаллического основания) и поддержание баланса углеводородов (в первую очередь, CH_4) в атмосфере Земли можно объяснить как с позиций дегазации глубинного вещества планеты, так и с позиций механохимии, причем в последнем случае совершенно не обязательно принимать в качестве исходных для образования углеводородов органические полимеры. Механохимический процесс образования углеводородов в равной степени может идти как на радикалах — продуктах разрыва органических структур, — так и на радикалах, исходными продуктами для образования которых могут быть углеродсодержащие породы, минералы и H_2O как источник водорода. При этом удается обойти энергетический запрет, препятствующий образованию углеводородных структур из органических полимеров по механизму так называемого мягкого термоллиза в области температур порядка 290–350 К.

Однако в реальных условиях, особенно в условиях сейсмически активных геологических структур (регионов), по-видимому, одновременно действуют оба механизма формирования состава газов водно-газовых систем на глубоких горизонтах пород осадочного чехла и в межблоковых структурах пород кристаллического основания.

ДЕГАЗАЦИЯ ЗЕМЛИ, СКЛАДЧАТОСТЬ И ОБРАЗОВАНИЕ НЕФТИ

С.А.Захаров

Институт геологии АН ТаджССР, г.Душанбе

Формирование изгибов слоистых толщ можно непротиворечиво объяснить разными факторами. Оставляя в стороне дислокации, в которых кривизна слоев является первичной (проморфы), изгибы слоистых толщ можно разделить на три типа: а) подчиненные усилиям, направленным под большими углами к напластованию (трансверсивные дислокации, "складки поперечного изгиба"); б) сформированные субгоризонтальными внешними усилиями (аллогенные складки, "складки продольного изгиба"); в) складки, образованные усилиями, возникающими внутри деформируемых толщ (интрафорсные складки). Единичные изгибы, небольшие группы складок могут относиться к первым двум типам. Но, вопреки общепринятым взглядам, внешние силы не в состоянии сформировать системы складок. Особенно очевидным это становится при изучении обширных

систем покровных складок, таких, как Таджикская депрессия, Юрские горы и др. Подобные системы могут быть образованы только дифференцированным послойным течением, возбуждаемым внутренними силами.

Наиболее вероятным кандидатом в движители при таком процессе выступают метапелитовые породы. Во-первых, метаморфизуясь, они сохраняют способность к течению вследствие как естественной пластичности даже при высоких степенях метатенеза, так и в результате метаболизма. Во-вторых, при метаморфизме этим породам свойственно увеличение объема, а следовательно, и площади, что и приводит к течению глинистых пород. Другие породы, за редкими исключениями, менее пластичны и (или) менее подвержены увеличению объема при метаморфизме. Сам процесс заключается в привносе в глинистые породы вещества (и энергии) флюидами, поступающими из глубин по краевым каналам (глубинным разломам) и распространяющимися постепенно вдоль напластования по макропористым и трещиноватым породам. Последние служат преимущественно лишь проводниками флюидов от каналов к глинистым породам. Глины, постепенно метаморфизуясь, испытывают последовательное увеличение объема. Этим и объясняется течение глинистых пород от краевых каналов. Следует иметь в виду, что в разных горизонтах и на разных удалениях от канала скорость и другие параметры течения могут быть различными.

Органическое вещество (ОВ) и нефть по элементному составу близки. Однако при захоронении и последующем разложении ОВ состав его изменяется в сторону уменьшения $\text{H}:\text{C}$, т.е. увеличения относительного количества углерода. Это происходит даже при изоляции ОВ от кислорода атмосферы, например при анаэробном метановом брожении. При доступе же кислорода дегидрирование идет еще быстрее, в конечном счете приводя или к полному разложению, или к углефикации ОВ. Это обстоятельство вынуждает критически относиться к гипотезе органического происхождения нефти в ее ортодоксальной форме.

С другой стороны, ряд особенностей состава нефтей, таких, например, как присутствие некоторых органических соединений, образование которых без участия живых организмов маловероятно, не позволяет безоговорочно отбросить гипотезу происхождения нефти из остатков организмов. Это наряду с прямыми свидетельствами выходов ювенильного водорода приводит к заключению о гидрогенизации остатков ОВ свободным водородом или богатыми им соединениями, поступающими из недр. Гидрогенизации ОВ способствуют наличие катализаторов, содержащихся в пелитах, и даже сама тонкозернистость породы. Видимо, этот процесс возможен лишь в отношении ОВ, углефикация которого не зашла слишком далеко. Ввиду преокупации термина смешанное образование нефти выдвигаемое заключение названо микстогенетической гипотезой происхождения нефти.

Таким образом, и складкообразование, и генезис нефти свидетельст-

вуют о дегазации Земли, т.е. о выносе флюидами из ее недр вещества и энергии. По нашим представлениям, они черпаются главным образом в средней мантии, точнее в ее частях, первично обогащенных силикатными элементами и водородом. Внесение в слоистые осадочные толщи первых ведет к метаморфизму глинистых пород, увеличению их объема и складкообразованию. Омывание водородсодержащими флюидами остатков ОВ вызывает их гидрогенизацию и образование нефти.

ВЛИЯНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РЕГИОНОВ НА ОНТОГЕНЕЗ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА

В.И.Багиров, С.Л.Зубайраев, В.П.Царев

ВНИИГТ, г.Москва

Динамика развития нефтяных и газовых месторождений характеризуется двумя основными процессами: концентрированием и рассеиванием углеводородов. Их реализация определяется и контролируется многими геологическими факторами и в особенности геодинамическими условиями нефтегазоносных бассейнов, зон и локальных объектов.

Под влиянием тектонических и сейсмических движений, происходящих в земной коре с разной интенсивностью в пространстве и во времени, нефтяные и газовые скопления формируются путем прерывистого струйного поступления углеводородов в коллекторский пласт. В то же время преобладающее большинство скоплений нефти и газа характеризуется макро- и микропроявлениями углеводородов, прослеживающимися в самых верхних интервалах перекрывающих отложений. Возможность миграции углеводородов обусловлена главным образом динамикой напряженного состояния осадочной толщи. Образование трещин, а также системы разломов и в связи с этим улучшение проницаемости перекрывающих пород происходят повсеместно, но более интенсивно в районах, где гидрогеодеформационные поля наиболее активизированы. В этих районах в породах постоянно генерируются акустические колебания различной мощности, которые стимулируют миграцию жидкостей и газов.

Деформации горных пород, медленные при действии колебательных тектонических движений и быстрые при сейсмических процессах, ускоряют региональное перемещение и локальное перераспределение пластовых вод и углеводородов. К числу региональных механизмов ускорения массообмена можно отнести формирование зон сжатия и растяжения при тектонических деформациях горных пород, что вызывает повышение градиентов пластовых давлений в проницаемых горизонтах до тысячи раз. Возрастание проницаемости пород для жидкостей в десятки раз при действии сейсмических факторов реализуется в больших объемах пород, но за относительно короткий отрезок времени. Действие сейсмических процессов вызывает отжатие жидкостей из тонкодисперсных пород. При прекращении такого действия жидкости обратно впитываются в породу. В результате перетоков воды из тонкодисперсных пород в проницаемые го-

ризонты наблюдается пульсация пластовых давлений. Экспериментально установлены как и перечисленные эффекты, также явления снижения в сотни раз коэффициентов поверхностного натяжения на разделах вода — газ, вода — нефть при акустических (сейсмических) воздействиях на нефтегазонасыщенные породы.

Реализация перечисленных процессов в период активации тектоно-сейсмической деятельности в пределах нефтегазоносных или сопредельных структур вызывает: 1) вынос углеводородов из активных зон в пассивные; 2) интенсификацию первичной миграции углеводородов; 3) стимулирование аккумуляции рассеянных углеводородов в струи; 4) расформирование и переформирование залежей нефти и газа.

О ХАРАКТЕРЕ РАССЕЯНИЯ УВГ ИЗ ЗАЛЕЖЕЙ В ЭФФУЗИВНЫХ ПОРОДАХ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МУРАДХАНЛЫ)

Г.А.Байрамова

Институт геологии АН АзССР, г.Баку

В связи с открытием месторождения Мурадханлы, где залежи нефти и газа приурочены к эффузивным породам, и перспективой выявления новых месторождений этого типа в Среднекуринской впадине в 1981 г. на месторождении были проведены опытно-методические газометрические работы. Газогеохимическая съемка, проведенная по профилям, которые были ориентированы в крест простирания купола, включала газовую съемку по поверхностным отложениям и микробиологические исследования. Выявлено, что содержание суммы УВГ изменяется в пределах $5 \cdot 10^{-4}\%$ — $95,8 \cdot 10^{-4}\%$. Содержание метаноокисляющих микроорганизмов составляет 10–80 баллов, пропаноокисляющих микроорганизмов — 5–80 баллов, пентаноокисляющих микроорганизмов — 5–10 баллов, гексаноокисляющих микроорганизмов — 5–150 баллов.

Опытно-методическими газометрическими работами на месторождении Мурадханлы было установлено, что центральная часть купола, где расположены наиболее высокодебитные скважины, дающие нефть из эффузивных пород мелового возраста, отмечается относительно низкими концентрациями УВГ и слабой интенсивностью развития УВ-окисляющей микрофлоры. Центральная часть купола ограничена по краям всплеском высоких концентраций УВГ, что позволяет предположить наличие в приповерхностных отложениях кольцевой аномалии, известной в практике газогеохимических методов поисков. Этот вывод требует своей проверки, т.к. может быть одним из основных критериев при поисках залежей нефти и газа типа Мурадханлы. Отмечена также более высокая насыщенность УВ газами и интенсивность развития УВ-окисляющей микрофлоры южной части профилей по сравнению с северной. Эта особенность также заслуживает внимания, поскольку хорошо согласуется с особенностями нефтегазоносности этой площади; повышенные концентрации УВ газов в

приповерхностных отложениях и порядках (по данным газового каротажа) и УВ-окисляющих бактерий приурочены к контуру нефтегазоносности по эоценовым отложениям.

РОЛЬ ВОДЫ В ФОРМИРОВАНИИ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ВОДОРОДА CH_4 ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ

Б.М.Валяев, Г.А.Титков

ГИН АН СССР, г.Москва

При миграции и формировании залежей углеводороды и воду можно рассматривать в качестве единой флюидной системы. Не столь определенны их соотношения при генерации углеводородов. Данные по изотопному составу водорода (ИСВ) могут дать дополнительную важную информацию о степени достижения равновесия по δD в системе $\text{CH}_4 - \text{H}_2\text{O}$ о роли воды в генерации углеводородов и их трансформации в процессе формирования и разрушения залежей. Нами собраны опубликованные данные по ИСВ CH_4 , H_2O и H_2 в газах и водах залежей и мелких скоплений нефти и газа на разных глубинах, а также гидротерм и фумарол и на их основании были построены двойные изотопные диаграммы

$$\delta D_{\text{CH}_4} / \delta D_{\text{H}_2\text{O}} \text{ и } \delta D_{\text{CH}_4} / \delta D_{\text{H}_2}.$$

Результаты анализа диаграммы $\delta D_{\text{CH}_4} / \delta D_{\text{H}_2\text{O}}$ показывают,

что для гидротерм и фумарол при температурах до 800°C состояние системы $\text{CH}_4 - \text{H}_2\text{O}$ по ИСВ оказывается далеким от равновесного, в особенности когда в составе газов $\text{H}_2 > \text{CH}_4$. В этом случае ближе к термодинамически равновесному состоянию (большее сходство температур реальных или ожидаемых с изотопными) оказывается система

$\delta D_{\text{CH}_4} / \delta D_{\text{H}_2}$, хотя и в ней обычно $T_{\text{изот.}} > T_{\text{реальн.}}$. Для CH_4 и H_2O , связанных с залежами нефти и газа по их δD , фиксируется большее приближение к термодинамически равновесному состоянию, а для приповерхностного ("биохимического") CH_4 характерно наибольшее приближение к равновесию: при значениях $\delta D_{\text{H}_2\text{O}}$ от +5 до -100‰ все значения δD_{CH_4} попадают в узкую полосу, ограниченную изотопными изотермами в 50 и 20°C .

Таким образом, и в системе $\delta D_{\text{CH}_4} / \delta D_{\text{H}_2\text{O}}$ проявился изотопный парадокс, заключающийся в том, что при высоких T несмотря на высокие скорости изотопного обмена и небольшую величину ΔD изотопное равновесие не достигается, хотя, странным образом, при низких температурах с очень низкой скоростью изотопного обмена преодолевается большая разница ΔD и система $\text{CH}_4 - \text{H}_2\text{O}$ достигает состояния, близкого к термодинамически равновесному. Этот парадокс получил соответствующее парадоксальное объяснение: поскольку для "биохимического" CH_4 была найдена линейная зависимость $\delta D_{\text{CH}_4} =$

$= \delta D_{\text{H}_2\text{O}} - (160 \pm 10)\%$ (Накаи, 1974), то М.Шелль (1980), а затем и Л.К.Гуцало (1982) пришли к заключению о бактериальной генерации CH_4 и о полном заимствовании H_2 для его синтеза из H_2O , а углерода из CO_2 в окислительной приповерхностной обстановке.

Напомним, что в стандартной воде (SMOW; $\delta D = 0\%$) на 1 млн. атомов против приходится 156 атомов дейтерия. В "катагенетическом" CH_4 с $\delta D = -160\%$ на 25 атомов дейтерия меньше. В "биохимическом" CH_4 с $\delta D = -240\%$ убавилось еще 13 атомов дейтерия (т.е. осталось 118 на 1 млн.). Уже из этого очевидно, что гораздо проще "биохимический" метан может получиться не путем генерации 250 тысяч новых молекул CH_4 (из H_2O и CO_2 !), а при замене всего 13 атомов дейтерия на против в любых 13 из 250 тыс. молекул CH_4 , пришедшего из нижних горизонтов.

Основной механизм последовательного облегчения ИСВ CH_4 в природных газах по мере приближения к дневной поверхности состоит, на наш взгляд, в образовании метана за счет неполной (неравновесной) термической и окислительной деструкции нефтяных углеводородов в разрезе стратисферы (в открытой системе). В приповерхностной обстановке интенсивность окислительных деструктивных процессов усиливается, поскольку абиогенные процессы трансформации дополняются бактериальными. Здесь, в условиях повышенной обводненности и активного проявления бактериальной деятельности, состояние системы $\delta D_{\text{CH}_4} / \delta D_{\text{H}_2\text{O}}$

должно неизбежно приблизиться к термодинамически равновесному вследствие проявления кинетических изотопных эффектов при избирательной генерации дополнительных порций CH_4 и частичном избирательном его окислении до H_2O . Отсюда следует вывод о глубинной первичной природе "биохимического" метана и этот вывод подкрепляется анализом соотношения изотопных полей различных морфологических групп природных газов на двойной изотопной диаграмме $\delta D_{\text{CH}_4} / \delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$: упорядоченное расположение изотопных полей свидетельствует о генетическом единстве CH_4 в разрезе стратисферы. В высокотемпературных условиях — в гидротермах и фумаролах — избирательность процессов термической и окислительной деструкции углеводородов низка, вследствие чего состояние системы $\delta D_{\text{CH}_4} / \delta D_{\text{H}_2\text{O}}$ остается неравновесным.

Таким образом, в разрезе стратисферы вода участвует не в генерации углеводородов, а в их трансформации (окислительной деструкции, в том числе т. наз. биодеградации), которая сопровождается фракционированием ИСВ CH_4 за счет кинетических изотопных эффектов.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ 3,4-БЕНЗПИРЕНА В ПРОДУКТАХ
ЛАВОВОГО И ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА

В.А.Алексеев, Н.Г.Алексеева, Ю.И.Пиковский, С.В.Росоловская

МГУ им. М.В.Ломоносова, г.Москва

Дегазация Земли через вулканические аппараты сопровождается синтезом и выносом на поверхность различных органических соединений, среди которых имеются и объекты мониторинга окружающей среды. К таким объектам относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), в том числе 3,4-бензпирен (БП). Было установлено присутствие БП в вулканическом пепле (Ильницкий и др., 1975), других продуктах вулканизма (Флоровская, Теплицкая, Мархинин, Подклетнов, 1978). Для оценки масштабов выделения БП и других ПАУ в процессе вулканического извержения необходимо изучить, в каких частях продуктов вулканизма происходит их образование.

Пробы отбирались во время извержения вулкана Толбачик в августе 1975 г. (северный прорыв) и в сентябре 1976 г. (жнный прорыв). Исследовались плагиоклазовые лапилли, рассортированные по размерам, вулканические бомбы (внутренние плотные и внешние пористые части), корки краевой части остывающего лавового потока. Особое внимание уделялось изучению налетов, образовавшихся в процессе дегазации расплава в замкнутых камерах лавовых потоков и бомб (табл. 1).

Таблица 1. Содержание БП и I,12-бензперилена (БПМ) в продуктах лавового вулканизма

Характеристика проб	Содержание ПАУ, нг/г	
	БП	БПД
Плагиоклазовые лапилли (южный прорыв), диаметр, мм		
18	1,20	1,13
14 - 15	0,70	0,88
11 - 13	0,70	0,90
10 - 12	0,51	0,32
5 - 7,5	7,36	6,1
Вулканическая бомба (сев.прорыв) без налета		
внутренняя часть (плотная)	1,60	2,16
внешняя часть (пористая)	0,93	1,05
Вулканическая бомба (сев.прорыв) с налетом	1,63	1,07
Корка лавового потока (северный прорыв)		
без налета	0,52	1,60
с налетом	1,37	2,10

Из табл. I видно, что БП и БПЛ концентрируются на поверхности лапиллей наименьшего размера. В вулканических бомбах и лавовых потоках содержание ПАУ увеличивается в образцах с налетом диспергированных частиц.

Возможность образования ПАУ в процессе вулканического извержения была показана в эксперименте. На специальной установке в камере проведено моделирование высокотемпературных газовых потоков (температура 2000–2500°C, давление около 100 атм), содержащих H_2 , H_2O , CO , CO_2 , N_2 в примерно равных соотношениях. В ток газа впрыскивался порошок базальта с размером частиц 5 микрон. Базальт плавился, а затем быстро остывал на стенке камеры. Содержание БП и БПД в порошке после опыта было соответственно 17,8 и 24,3 нг/г, в контрольном порошке – 0,83 и 0,62 нг/г.

Таким образом, образование и дегазация БП в лавовом вулканизме связаны как с пепловыми выбросами в момент взрыва, так и с обширными полями лавовых потоков.

Иной тип вулканической дегазации представляет собой грязевый вулканизм. Содержание БП в грязевулканических брекчиях гораздо выше, чем в продуктах лавового вулканизма, хотя и изменяется в очень широких пределах (табл. 2).

Таблица 2. Содержание ПАУ в грязевулканических брекчиях

Район	Грязевой вулкан	Содержание ПАУ, мг/г	
		БП	БПД
Туркмения	Розовый Порсугель	1072,5	1875,1
	Кеймир	375,4	506,5
	Алигуль	39,8	63,17
	Ак-Патлаук	26,5	43,2
Сахалин	Пугачевский	17,8	37,1
Керченский п-ов	Булганаковский	3,06	6,56
	Восход, изв. 1938 г.	4,45	6,80
	Восход, изв. 1982 г.	0,22	3,65
	Дашгиль	1,07	2,43
Азербайджан			

Таким образом, грязевые вулканы - один из существенных источников природного БП. В грязевулканической брекчии БП может быть различного происхождения: вынесен из прорванных вулканом пород или синтезирован в ходе горячего извержения или очаге грязевого вулкана.

ДЕГАЗАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ КАК ФАКТОР ВТОРИЧНОГО
МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ПОРОД НАДПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

А.В.Петухов, О.В.Зверева, А.И.Петраш, Т.И.Дорогокупец
ВНИИГТ, г.Москва

Залежь нефти и (или) газа - это геологическое образование с явно выраженными аномальными свойствами по сравнению со свойствами вмещающих отложений: она обладает повышенными температурой, давлением, концентрацией углеводородных и неуглеводородных соединений, что обуславливает наличие градиента температур, давлений, концентраций углеводородных и неуглеводородных компонентов в области залежи, и, как следствие, вызывает активный тепломассообмен в этой части геологического разреза. Развиваясь по типу замкнутой системы, залежь стремится к термодинамическому равновесию с окружающей минеральной средой. Переходя в состояние максимальной устойчивости с минимальным запасом свободной энергии, она активно воздействует на вмещающие ее породы в течение длительного геологического времени и, таким образом, является локальным источником "возмущений" в нормальном геохимическом поле.

Диффузия углеводородных (CH_4 , его гомологов) и неуглеводородных (H_2 , CO , CO_2 , H_2S и др.) компонентов, а также передача тепловой энергии (теплопроводность и конвекция) из залежи в многофазную минеральную среду изменяют физико-химические параметры (T , pH , Eh) вмещающих отложений, инициируют в них окислительно-восстановительные реакции и низкотемпературный метасоматоз. Обусловленные этими процессами перераспределения химических элементов и их соединений, образование вторичных минеральных форм приводят к трансформации параметров нормального геохимического поля с образованием неуглеводородных аномалий, парагенетически связанных с месторождениями нефти и газа. Такие аномалии являются объектом литогеохимических исследований.

ЗНАЧЕНИЕ ЭНДОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ДЛЯ ГЕНЕЗИСА ГРЯЗЕВУЛКАНИЧЕСКОЙ
БРЕКЧИИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА
МИКРОЭЛЕМЕНТОВ)

Б.М.Валяев, В.А.Павлов

ГИН АН СССР, г.Москва

Обычно брекчия, выносимая в процессе грязевулканических извержений, рассматривается как продукт передробления осадочных пород; ряд исследователей (Шныков и др., 1971) отмечали подверженность брекчии вторичным изменениям таким, как каолинизация и карбонатизация. С использованием нейтронно-активационного метода, который уже доста-

точно апробирован на ряде объектов (Ваганов, 1981; Меньяйлов и др., 1976), нами было предпринято изучение широкой гаммы (26) микроэлементов сопочного шлама таких представительных грязевых вулканов, как Шуго и Гладковский (Сев.-Зап. Кавказ), Ахтала (Грузия) и Зап.Порсугель (Туркмения). Полученный материал имеет важное значение для понимания генезиса грязевулканической брекчии.

Выяснилось, что ряд щелочных (Rb, Cs), редкоземельных ($\text{La}, \text{Ce}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Yb}, \text{Lu}$), радиоактивных (Th) и сидерофильных (Cr, Co , примыкающего к ним Sc) элементов присутствуют почти во всех изученных пробах в количествах, близких к их кларкам в осадочных породах, но вполне закономерным образом отличающихся от них: повышенные их содержания обычны для Шуго и Гладковского и пониженные - для Ахтала и Зап.Порсугеля. При сопоставлении проб для перечисленных микроэлементов отмечается подобие на таких двойных диаграммах, как Rb/Cs , Cr/Co , Cr/Sc , Cr/Rb , La/Ce , Th/Cr , Th/Rb ; полученные данные укладываются вблизи прямых линий. То, что линейные зависимости оказываются свойственными не только элементам из одинаковых подгрупп (щелочным, редкоземельным, сидерофильным), но и из разных, свидетельствует об общности процессов их концентрации и рассеяния. Единственным механизмом, который мог бы обеспечить подобный эффект, является механизм кислотного выщелачивания (Лутц, 1975), в котором ведущая роль принадлежит высоковосстановленным флюидам (H_2 , CH_4). Содержания остальных изученных микроэлементов в шламе изменяются не закономерно (не прослеживается, например, корреляции в парах Th/Hf , Th/Bg) и они обнаруживаются не во всех или даже в меньшей части проб. В их число попадает прежде всего ряд халькофильных ($\text{Se}, \text{Sb}, \text{Te}, \text{Hg}, \text{Au}$), щелочноземельных (Ba, Sr) и литофильных ($\text{Zn}, \text{Zr}, \text{U}, \text{Hf}, \text{Ta}$) микроэлементов. Обращает на себя внимание обычно резкопониженные содержания Ta и повышенные Bg .

Среди редкоземельных элементов содержания легких ($\text{La}, \text{Ce}, \text{Nd}$) на I-2 порядка превышают содержания тяжелых ($\text{Sm}, \text{Yb}, \text{Lu}$). Отчетливо прослеживается и отрицательная аномалия по Eu . Эти особенности могут объясняться как более высокой способностью к мобилизации при глубинном кислотном выщелачивании легких лантаноидов, так и большей устойчивостью и подвижностью при миграции в комплексной форме при повышенной щелочности более тяжелых лантаноидов, более легком выносе последних из грязевулканической брекчии при отсутствии осадительных барьеров. Этими же причинами объясняются, видимо, и аномальности отношений Rb/Cs и Hf/Ta , связанные с низкими содержаниями Rb и Ta по отношению к кларкам глинистых осадочных пород, пониженные содержания U (в отличие от Th) в изученных пробах, а также отмеченные различия в содержаниях микроэлементов между Шуго-Гладковским, с одной стороны, и Ахтала-Зап.Порсугелем - с другой. Роль органических комплексов в миграционном перераспределении микроэлементов грязевул-

канической брекчии, по всей видимости, велика. В обстановке, переходной от восстановительной к окислительной, устойчивость органических комплексов различных микроэлементов оказывается неодинаковой и выпадение последних из миграционного потока происходит одновременно. Вторичные изменения грязевулканической брекчии происходили, по всей вероятности, под воздействием глубинных щелочных вод (карбонатный комплекс этих вод мог формироваться и с участием процессов окисления углеводов). Именно эти процессы (включая гидрослюдазацию монтмориллонита) вели к изменению первоначального состава глинистой брекчии, к насыщению ее кальцитом и выносу глинозема и кремнекислоты (Шнюков и др., 1971).

Таким образом, особенности распределения микроэлементов в сопочном шламе показывают, что процессы формирования грязевулканической брекчии в тектоническом и геохимическом отношениях затрагивали не только осадочный разрез, но и уходили своими "корнями" в мантийные глубины. Происходил ли только привнос микроэлементов по зонам глубинных разломов с восстановленными флюидами или происходила и существенная добавка в брекчию перетертых кристаллических пород низов земной коры и верхов мантии — пока не выяснено. В любом варианте, даже в случае только вторичных изменений (карбонатизация, каолинизация) пород осадочного разреза, роль эндогенных факторов (глубинных восстановленных флюидов при всех ситуациях) в генезисе грязевулканической брекчии была определяющей.

ПРОБЛЕМА ПОСТУПЛЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В ЗОНАХ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ

В.А.Алексеев, Н.Г.Алексеева, А.Ф.Федорова

Московский технологический институт, г.Москва

В модели метастабильной Земли, развиваемой Алексеевым (1983), дегазация ее есть естественный глубинный процесс, непосредственно связанный с деформацией мантии и коры, как следствие взаимосвязанных мелкомасштабных порядка сотен км и крупномасштабных порядка тысяч км конвективных ячеек (Алексеев, Гетлинг, 1977); там же было указано, что особенно быстрый процесс дегазации идет при переходе вещества в сверхпластичное состояние и при тепловых взрывах, являющихся одним из главных механизмов глубоких землетрясений. Дегазация Земли сопровождается выносом как растворимой формой металлов, так и нерастворимой мелкодисперсной фракцией, обогащенной различными группами металлов (Алексеев, Алексеева, 1982), наиболее интенсивными источниками их являются магматические грязевые вулканы, землетрясения и термальные источники. Роль мелкодисперсной фракции частиц, меньших 1 мк, велика в природе. 1. Эта фракция может способствовать накоплению определенных металлов и образовывать их месторождения.

2. В океане фракция может быть одной из главных причин образования железомарганцевых конкреций. 3. Так как потоки мелкодисперсной фракции наиболее интенсивны в областях разломов, то они могут создавать центры конденсации паров и образовывать облачность (хорошо известный факт, особенно ярко выражен на космических снимках). 4. В момент активизации землетрясений должно увеличиваться количество мелкофазной фракции; этот факт может быть использован для прогноза землетрясений. 5. Инъекцией частиц фракции может быть часто наблюдаемое свечение землетрясением, т.к. такие частицы могут создавать большие электрические поля. Многие другие явления могут быть объяснены наличием этих частиц в зонах тектонической активности.

Анализ поступления нерастворимой мелкодисперсной фракции при дегазации Земли производился по выделению фракций при последовательном фильтровании через мембранные фильтры "Синпор", определенного количества талого снега, выпавшего в исследуемом районе.

Методом рентген-флуоресцентного анализа с источником Co-109 измерялось содержание следующих металлов: K, Ca, Ti, Fe, Cu, Zn, Ge, As, Br, Pb, Rb, Y, Zr, Nb, Mo. — в мелкодисперсных фракциях магматических и грязевых вулканов, — в термальных источниках и скважинах сейсмоактивных районов.

На магматических вулканах оценивалось поступление металлов при фумарольной активности и в составе пепла. На примере вулкана Авача установлено, что вклад мелкодисперсной фракции аэрозолей вблизи фумарол составляет около 10%. Установлено, что Fe, Ca, Ti преимущественно находятся в крупных частицах. С мелкой фракцией связан перенос Pb, Zn, Cu, Ag, Br, Mo. Изучалось распределение элементов на разных фракциях взвешенных частиц в поверхностных, подземных и термальных водах в районе вулкана Авача. Найдено, что мелкая фракция обогащена следующими элементами: Zn, Ge, As, Se, Br, Pb, Rb. В целом обогащение субмикронных частиц термальных вод выше, чем поверхностных, а по таким элементам, как Ge, As, Se, Br, Rb, Pb, Nb, приближается к аэрозолям.

В зоне грязевых вулканов субмикронные аэрозоли составляют около 35%, увеличиваясь в зоне трещин до 75% (вулкан Восход, Керченский п/в). С аэрозолями грязевых вулканов в воздух поступают металлы. Распределение металлов по разным фракциям грязевулканических выбросов показывает, что с уменьшением размеров частиц концентрации элементов растут, меняются соотношения между ними, увеличивается содержание As, Pb, Rb, Y, Mo, Sr, уменьшается Ca, Zr. Потоки металлов при фумарольной деятельности магматических и грифонной деятельности грязевых вулканов могут быть сравнимы между собой. В накоплении определенных металлов велика роль бактерий. Комплексный анализ показал, например, для грязевого вулкана Чилдаг, что бактерии могут

концентрировать некоторые металлы еще больше, чем мелкодисперсные фракции частиц концентрации (мкг/л):

	Ca	Ti	Fe	Cu	Ge	Br	Pb	Rb	Sr	Y
Фракции:										
4 мкв	58	25	52	5,3	6,8	6,4	5,0	-	2,3	-
0,17 Мк	-	-	19	-	-	8,1	25,1	2,8	2,0	1,1
Бактерии	58	38	577	26,6	2,7	13,9	23,8	3,5	1,6	1,4

В образцах этих проб были обнаружены как эробные, так и анаэробные бактерии, разнообразная гамма углеродокисляющей и углеводобразующей микрофлоры.

При землетрясении происходит увеличение содержания взвешенных частиц и микроэлементов в подземных водах (например, при землетрясении в Кум-Даге 1983 г. концентрации Zn, Ni возросли в 3-4 раза).

ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ ЗОН НА СОЛЕНАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОНОСНЫХ РАССОЛОВ В НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РАЙОНАХ

М.Г.Гаврилюк, В.И.Троицкий, Н.С.Бескровный

ВНИГРИ, г.Ленинград

При комплексном изучении солей, рассолов и углеводородов Амударьинского бассейна в верхнеюрских карбонатных отложениях были обнаружены соленосные аномалии вокруг газонефтяных залежей. В аномалиях увеличены мощности солей, минерализация и температура рассолов, содержания многих микрокомпонентов и т.д. Аномальные соли совпадают с гидрогеохимическими аномалиями, а также с магнитными, тепловыми, гравитационными и другими геофизическими аномалиями. Наибольшие мощности солей приурочены к тектонически ослабленным сейсмически активным участкам разуплотнения, хорошо фиксируемым геофизическими методами, где проявлены современные процессы растяжения в виде многочисленных крутонаправленных трещин, зон дробления, брекчирования, развития стилолитовых швов и других активных следов проявления неотектоники.

Основные скопления солей и рассолов в пределах отдельных нефтегазоносных структур и поднятий контролируются вихревыми, спиральными и кольцевыми структурами, широко развитыми в пределах бассейна и пространственно совпадающими с дугowymi разломами N-Q заложения. Наложенный характер этих структур при отсутствии солевого диапиризма и перетоков солей особенно ярко проявляется на месторождениях Чарджоуской 'ступени' (Памук, Зеварды, Уртабулак, Денгизкуль, Алан и др.).

Все промышленные газонефтяные залежи с солевыми аномалиями бассейна приурочены к молодым растущим поднятиям. Распределение солей, углеводородов и рассолов на отдельных структурах и поднятиях подчинено вертикальной зональности и связано с вертикальной миграцией рассолов и флюидов через тектонически ослабленные сейсмоактивные

проницаемые зоны. По всему бассейну наблюдаются сквозные гидрогеохимически аномальные зоны, заставляющие предположить, что Амударьинский нефтегазоносный бассейн - это широко открытая книзу система с тесной связью аномальных соленосных зон через вихревые и спиральные структуры с глубинными источниками, в том числе с подкоровыми явлениями и верхней мантией.

Форма и размеры большинства залежей контролируются наличием дугowych и кольцевых разломов с солевыми аномалиями. Они рассекают самые разнообразные литофациальные типы пород, в том числе биогермные массивы известняков, и отделяют одну углеводородную залежь от другой. От сейсмоактивных зон разуплотнения в сторону залежи происходит изменение содержания многих элементов и микрокомпонентов в солях: Mg, Sr, Ti, Fe, B, Br, Rb и других. Максимальные содержания рудных элементов и редких щелочных приходятся на крыльевые части структур, где проходят сейсмоактивные зоны разуплотнения. Молочно-белые галиты с наибольшим содержанием газово-жидких включений, в том числе углеводородов, полудугами окаймляют залежи со стороны зон растяжения. Вырисовывается минералогическая зональность солей вокруг залежей, контролируемая сейсмоактивными зонами.

Синхронно с солями изменяются гидрогеохимия рассолов и их микрокомпонентный состав, а также состав растворенных газов и битумов, температура рассолов, пластовые давления и т.д. Максимальные значения АВПД связаны с разуплотненными участками. Там же, в солях, наиболее часто встречаются и проявления рассолов. Все говорит о том, что мы имеем дело с подводящими каналами вокруг залежей, связанных с приразломной тектоникой и прежде всего с неотектоникой. Вблизи разуплотненных зон в известняках наиболее активно и глубоко проявляется химическая работа рассолов и флюидов с выщелачиванием известняков, отложением вторичных солей, метасоматозом с образованием вторичных ангидритов, доломитов, магнезитов, вторичных кальцитов с выделением рудных минералов, формирующих вокруг газонефтяных месторождений будующие стратиформные залежи.

Процессы формирования соленосных, рассольных, углеводородных и рудных залежей Амударьинского бассейна едины и далеко не закончены. Они тесным образом связаны с тектонической перестройкой региона в неоген-четвертичное время. Тепловой поток, высокая сейсмическая активность недр, газовый состав с повышенным содержанием гелия, геохимическая специфика солей и рассолов и многие другие факторы свидетельствуют о влиянии в районе дугowych и кольцевых разломов глубинных мантийных источников. Вихревые и спиральные структуры с солевыми, рассольными и углеводородными залежами - это отражение в поверхностных слоях коры современного состояния мантии, мобильности и высокой динамичности верхнемантийного слоя с выносом в виде вихревых струй и потоков большого количества мантийных компонентов, щелочей,

щелочно-земельных, рудных элементов и разнообразных флюидов, в том числе углеводородов.

ВЛИЯНИЕ ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНОГО РИФТОГЕНЕЗА НА СОЛЕНАКОПЛЕНИЕ

С.Д.Гемп

ВНИИГалургии, г. Ленинград

Анализ пространственного размещения крупнейших солеродных бассейнов прошлого (Гемп и др., 1982; Джиноридзе и др., 1980) позволил сделать вывод о том, что данные бассейны приурочены к различным геодинамическим поясам Земли. Одни из них тяготеют к зонам деструкции континентальной земной коры или рифтогенеза, другие — к зонам активного орогенеза.

Изучение особенностей геотектонического и геохимического развития солеродных бассейнов прошлого дало основание сделать вывод о том, что формирование соленосных отложений в первом типе бассейнов в основной своей массе происходило за счет вод Мирового океана, а во втором — главным образом за счет продуктов разрушения (перерождения) соленосных пород рифтовых структур прошлого (Гемп, 1979, 1981).

Принимая за основной источник соленосных отложений, приуроченных к внутриконтинентальным рифтовым структурам, воды Мирового океана, необходимо учитывать, что, с одной стороны, эти воды относятся к сульфатному типу природных вод, с другой — на долю природных бессульфатных (хлоридных) калийно-магниевых солей приходится более 80% от общих мировых запасов этих солей (Иванов, 1975).

На основании того, что формирование бессульфатных калийно-магниевых солей может осуществляться только из вод и рассолов хлоркальциевого типа, а хлоридно-кальциевых солей, кроме того, из рассолов с пониженной величиной отношения $MgCl_2/KCl$, основная задача геолого-геохимических исследований сводится к выявлению причин и условий, вызывающих обессульфачивание океанической воды и выведение из ее состава "избыточных" концентраций магния.

Широко распространенные представления, согласно которым изменение химического состава исходных вод (их метаморфизация) происходит под воздействием продуктов континентального стока, сульфатредукции, а также подземной метаморфизации вод и рассолов с последующей их разгрузкой в солеродные бассейны (Валяшко, 1975; Валяшко, Власова, 1975), не могут быть признаны удовлетворительными.

Формирование соленосных отложений в пределах внутриконтинентальных рифтовых структур происходило на фоне активного подкорового вулканизма и в условиях массообмена между морскими водами и продуктами вулканической деятельности. В процессе ионно-обменных реакций морская вода обогащалась кальцием, калием, железом, марганцем, а вулканы — магнием, натрием, водой (Фрих-Хар, 1982). Колебание температурного режима и поступление иона кальция в бассейн вызвало осаждение суль-

фат-иона в виде ангидрита (Кононов, 1979). В результате указанных выше процессов в водах снижалось содержание магния и сульфат-иона и происходило формирование вод хлоркальциевого типа, обогащенных по калию, из которых становилась возможной садка сильвина.

Взаимодействие базальтов с океанической водой могло вызвать частичное разложение хлоридных солей, что в сочетании с глубинными эманациями должно было существенно изменить геохимическую обстановку в пределах солеродного бассейна и, как следствие этого, значительно понизить растворимость солей.

Учет взаимодействия базальтов с океанической водой позволяет понять причину резкого изменения химического состава осадочных пород (существенного снижения содержаний в них магния), происшедшего на рубеже палеозоя — мезозоя. Именно этот интервал геотектонического развития Земли характеризовался наиболее интенсивным развитием и разрастанием новых океанических впадин, а следовательно, и наиболее бурным подводным излиянием базальтов (Монин, Сорохтин, 1983).

НЕОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ГЛУБИННАЯ СТРУКТУРА И СОСТАВ ВОД СОЛЯНЫХ ОЗЕР, ПОДЗЕМНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД И ГАЗОВ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ МНР)

В.И.Макаров, А.А.Рассказов

ГИН АН СССР, г.Москва

Новейшие ($P_2 - Q$) тектонические деформации древних континентальных массивов охватывают большие объемы земной коры и верхней мантии (складки основания и разломы) и существенным образом влияют на пространственное распределение, состав и режим глубинных флюидов. Это влияние включает два главных взаимосвязанных пути: первичное распределение разнотипных провинций формирования глубинных флюидов (соответствующее неотектоническому состоянию земных недр) и вторичное их перераспределение и преобразование состава в процессе восхождения и приповерхностным слоям из-за особенностей вещественного состава и проницаемости слоев литосферы, которая в значительной мере также определена неотектоникой.

В результате устанавливается определенная зависимость между распределением разных типов вод соляных озер, подземных минеральных вод и газов и неотектонической структурой. Эта зависимость позволяет решать две важные задачи геологического прогноза: объяснять позицию и состав соляных озер и подземных вод и хотя бы на качественном уровне предполагать глубинность заложения неотектонических элементов структуры земной коры. Последнее особенно важно для областей, слабо изученных геофизическими методами, а также при построении геодинамических моделей развития тектонического процесса.

Изученность новейшей тектоники, закономерностей распределения разных типов вод соляных озер, подземных минеральных вод и газов, а также структуры глубинных слоев литосферы (геофизическими методами)

для территории МНР еще недостаточная, поэтому установление между ними какой-нибудь зависимости представляется достаточно значимым.

Область распространения соляных озер карбонатного (преимущественно содового) и хлоридно-карбонатного состава малой и средней минерализации в восточной и северо-восточной частях МНР, сопоставимая с провинцией подземных холодных углекислых, сульфатно-гидрокарбонатных, слабоминерализованных вод, формирующихся на сравнительно малых глубинах, связана с областью малой активности неотектонических деформаций, пониженной сейсмичности и, по-видимому, пониженной глубинной проницаемости. Вместе с тем отмечается существование отдельных высокоминерализованных содовых озер, приуроченных к более проницаемым линейным зонам и особенно участкам их пересечения, а подземных углекислых вод – к молодым тектоническим нарушениям.

Другую область представляет территория, в центральной части которой находится обширный и достаточно сложно дифференцированный свод Хангайского нагорья, органиченный с запада и юга Котловиной Больших Озер и Долиной Озер. Это область довольно интенсивных позднеоген-четвертичных движений, которая характеризуется высокой сейсмичностью, наличием глубинных разломов и высокой проницаемостью земной коры (об этом свидетельствует широкое развитие здесь молодого базальтового вулканизма).

Этой области отвечает провинция подземных термальных азотных слабоминерализованных вод в основном гидрокарбонатного состава, формирующихся на сравнительно больших глубинах. У поверхностных вод этого региона солевой состав озер преимущественно хлоридного, реже карбонатного, сульфатного, смешанного характера. Минерализация вод соленых озер средняя, иногда высокая. В сочетании с климатическими особенностями возникают условия для формирования самосадочных солей.

Указанные связи подтверждают тезис о связи состава подземных вод и озер с глубинными элементами новейшей тектоники и позволяют в дальнейшем сделать это направление исследований в МНР и других областях более активным.

СВЯЗЬ ГРАФИТОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ С УРОВНЕМ МЕТАНУГЛЕКИСЛОГО ГАЗОВОГО СООТНОШЕНИЯ В КВАРЦЕ СИНМЕТАМОРФИЧЕСКИХ ЖИЛ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

А.И. Ивлиев

ГИН АН СССР, г.Москва

Развитие представлений о газовой составляющей кварца как типоморфном признаке и индикаторе процессов эндогенного минерало- и рудообразования применительно к графиту дает возможность охарактеризовать неоднородности газонасыщенности докембрийских метаморфических комплексов как по площади их распространения, так и в глубинных разрезах.

Исследование выполнено на детально изученном в геологическом и геофизическом отношении объекте – Печенгской структуре карелид и ее архейском обрамлении в северо-восточной части Балтийского щита.

Изучение газовой составляющей метаморфических пород и кварца синметаморфических жил проведено путем измельчения их фракций размером 0,25–0,64 мм на микромельнице с величиной навески 1 г и анализом газов на газовом хроматографе ЦВЕТ-102 с определением CO_2 , CH_4 и тяжелых углеводородных газов.

Результаты исследования газовой составляющей синметаморфических кварцевых жил, обособляющихся в температурном интервале от эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма до гранулитовой ($450\text{--}800^\circ\text{C}$), показали, что при достижении значения коэффициента $K > 0,04$ ($K = \frac{\text{CH}_4 \text{ см}^3/\text{кг}}{\text{CH}_4 + \text{CO}_2}$);

при уровне содержания CH_4 не менее 1 $\text{см}^3/\text{кг}$ с кварцем ассоциирует восстановленная форма свободного углерода – графит или менее упорядоченные структурные разновидности.

Выявленная региональная закономерность дает дополнительный критерий для генетической интерпретации проявлений графита, их классификации и выделения структурно-метаморфических признаков, контролирующих процессы графитообразования и оценки масштабов выявленных и ожидаемых рудопроявлений.

САМОУПРАВЛЯЕМЫЙ ЭНЕРГОПОТОК – ОСНОВА ТЕКТОГЕНЕЗА

М.А.Телепин

ВНИИГеофизика, г.Москва

Тектогенез питается текущей из недр наружу энергией – тепловой, а также пневмо- и деструктивно-механической. Наша модель тектогенеза – модель пульсирующего энергопотока, воздействующего на собственную динамику и пространственную локализацию через зависимость энергопроводности среды от ее энергонасыщенности: мало энергии – вещество "мертво", стабильно, малопроницаемо; много (что означает плавление, дробление, флюидизацию) – подвижность и проницаемость высоки. Переход из одного состояния в другое имеет гистерезис (инерциальность состояния, откуда наследуемость и саморазвитие структур) и совершается скачком через фазу метастабильности, в этот момент решающую роль могут сыграть даже слабые факторы (эффект курка) – приливный, ротационный, колебания, генерируемые в структурах литосферы. Пороги перехода (и режим тектогенеза) зависят от сдавленности среды и от ресурса флюидов – переносчиков энергии (чем объяснимы режимы: сравнительно стационарный – рифтов, деструктивный взрыво-коллаптический – дуг; стабилизация под грузом осадков и пр.). Циркуляция флюидов сопровождается односторонним переносом, сепарацией вещества, отсюда формирование оболочек литосферы, стратиформных месторождений, ста-

дии привноса материала в зоны вулканизма. Кроме водно-силикатно-фторно-борных комплексов, в условиях восстановительного химизма глубин существенны летучие карбонилы железа, летучий моноксид алюминия и т.п. Имеет место многоэтажность энерговыводящих структур. Прослеживаются "питающие" глубинные планетарные зоны – над ними усилены собственные процессы верхнего этажа. Глубинное заложение имеет Северо-Тихоокеанский пояс с его фестоном островных дуг. Таковы и рифтовые зоны океанов; так наз. трансформные разломы – это оживленная отдельность базальтового слоя (она просвечивает местами и сквозь сиаль континентов, ориентация ее целостно-упорядочена: так, широтная в Атлантике, она переходит в северо-восточную к востоку; выразителен "веер" разломов Аравийско-Андийского хр., несовместимый со спредингом). Это и Афро-Азиатский пояс, секущие его в Средней Азии хребты Кара-Тау, Улу-Тау и др. очень похожи на трансформные линии рифтов и продолжают как линеаменты по всей Русской платформе; стык Байкала и Хубсугула подобен стыку "трещин" – островных дуг; пояс замыкается по большому кругу через Тихий океан. Это и большой круг, проходящий по рифтам Индийского океана с СЗ на ЮВ, по Восточно-Тихоокеанскому поднятию, рифту Св.Лаврентия и линии Верхне-Рейнские грабены – Мертвое море. Это и 140-й меридиан в.д. Плиты экранируют энергопоток. Зоны Голицына-Беньюфа вокруг Тихого океана – результат самостоятельности колебаний объема Тихоокеанской глыбы Земли, имеющей особый состав и особый энергорежим; островные дуги связаны тоже с автоколебаниями в энергопотоке и с обколом краев плит.

СКЛАДКООБРАЗОВАНИЕ КАК СЛЕДСТВИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ОБВОДНЕНИЯ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫХ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ И КАК ПРИЧИНА ИХ ОСУШЕНИЯ

М.А.Гончаров

МГУ им. М.В.Ломоносова, г.Москва

В настоящее время не подлежит сомнению то, что геосинклинальные осадочные толщи в начале своей эволюции, на стадии диагенеза, были сильно обводнены, а после складкообразования и выхода на дневную поверхность предстают перед наблюдателем "сухими", а также достаточно проницаемыми для мантийных флюидов. Возникает вопрос – на каком этапе своей эволюции эти толщи подверглись осушению и всегда ли были способны "пропускать" флюиды разного генезиса.

В процессе своей эволюции толщи подвергались катагенезу погружения, тепловому импульсу из мантии и региональному метаморфизму (в широком смысле, по А.А.Маракушеву и О.В.Япаскурту, включая любые низкотемпературные преобразования, связанные с подъемом геоизотерм в земной коре), складкообразованием, гранитизацией и поднятию (умеренному во время складкообразования и значительному при последующем орогенезе).

Последовательность перечисленных процессов нельзя считать уста-

новленной однозначно. Бесспорно лишь то, что она начинается катагенезом и заканчивается орогеническим поднятием, сопровождаемым денудацией и выходом толщ на поверхность. По соотношению палеосомы и неосомы мигматитов, а также Р-Т-условий регионального метаморфизма и гранитизации обычно заключают, что региональный прогрессивный метаморфизм предшествует гранитизации. В то же время гранитизация, в отличие от прогрессивного метаморфизма, контролируется складчатой структурой и ее элементами. Это, а также целый ряд других аргументов, позволяет рассматривать складкообразование и гранитизацию как близкие по времени события, которым предшествует региональный прогрессивный метаморфизм и порождающий его тепловой импульс из мантии, проникающий в кору на инверсионной стадии геосинклинального режима.

По составу, мощности и скорости осадконакопления в качестве современных аналогов геосинклинальных осадочных толщ рассматриваются осадочные толщи, слагающие впадины внутренних морей (Белоцерковец, 1978; Артюшков, Беэр, Соболев, Яншин, 1982). Поэтому, опираясь на принцип актуализма, можно с большой вероятностью предположить, что перед метаморфизмом и складкообразованием геосинклинальные осадочные толщи обладали повышенной пористостью, пониженной проницаемостью и были избыточно обводнены (Дурмишьян, Мурадян, Хаин, 1975; Белоцерковец, 1978; Гончаров, 1983).

Последующие тепловой импульс и региональный прогрессивный метаморфизм обусловили увеличение объема имевшейся воды и добавление к ней новых порций свободной воды в результате господствовавших при этом реакций дегидратации. Изохимический характер метаморфизма осадочных толщ и слабая восходящая инфильтрация поровых флюидов свидетельствуют о сохранении низкой проницаемости толщ и на данной стадии (Добрецов, Хлестов, 1978; Ронов, Ярошевский, 1978; Петров, 1981). Исключение составляют зоны глубинных разломов (Летников, Шкандрий, 1976). Избыточное обводнение толщ на этой стадии не только сохраняется, но и усиливается. В то же время обстановка "подогрева снизу" вызывает появление в геосинклинальных толщах нового качества – инверсии плотности. Это состояние механически неустойчиво и возбуждает адвективные тектонические движения, сопровождающиеся складкообразованием (Белоусов, 1969–1978), что подтверждается результатами математического моделирования, моделирования на тонкослоистых эквивалентных материалах, подогреваемых снизу, и количественными расчетами (Гончаров, 1979).

Осушение геосинклинальных толщ можно связывать с резким увеличением их проницаемости в результате неоднородности складчатых деформаций, в особенности на "хрупком" этапе последних, когда формируются многочисленные трещины и разрывы. В этом свете можно объяснить факт приуроченности максимума гидротермального рудообразования к пост-складчатому этапу (Смирнов, 1976), а также резко выраженный аллохи-

мический характер гранитизации, почти одновременной со складкообразованием. На этом этапе как бы включается конвейер: вода, содержащаяся в толщах с момента осадконакопления, мигрирует кверху, а снизу поступают мантийные флюиды. В современных горно-складчатых областях мантийные флюиды интенсивно просачиваются сквозь складчатые толщи, но в значительной степени экранируются слабодислоцированными толщами передовых и межгорных прогибов (Елманова, Шолпо, 1981).

Таким образом, складкообразование выступает не только как следствие избыточного обводнения геосинклинальных осадочных толщ, но и как причина их осушения, способствуя ликвидации "движущей силы" складкообразования.

РУДНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И АВТОВОЛНОВОЙ ПРОЦЕСС

Г.Г.Бунин

Институт геологии Даг. фил. АН СССР, г.Махачкала

Определяющим фактором взаимодействия мантии с корой является массообмен внутри геосфер и между ними. Очевидно, в природе существует единый механизм, посредством которого реализуется взаимосвязь периодов процессов в различных геосферах. Показано, что в основе динамики флюидных систем и всей эволюции Земли лежит автоколебательный процесс. С периодическим переключением автоколебаний самих оболочек и ядра Земли связаны периодические изменения режимов ее геологического развития. Об этом свидетельствует синхронность однотипных магматогенных очагов и рудных формаций в различных регионах Земли, возникшей в соответствии с геохимической эволюцией глубинного вещества. Следовательно, циклы эволюции Земли связаны с циклами эволюции химических реакций и автоколебательных (физико-химических) процессов.

Этот универсальный механизм проявляется для всех рудных формаций и генетических рядов несмотря на различия в истории развития геологических структур и магматизма, значительные изменения состава вмещающих пород и общей геолого-геохимической обстановки, прерывистость и многостадийность минералообразования, наложенность процессов рудообразования друг на друга, как бы вуалирующих или смазывающих динамику автоволновых процессов.

Таким образом, все многообразие магматических пород и руд, их дифференциация и зональность есть результат направленной (прямой и обратной, центробежной и центростремительной) геохимической эволюции в оболочках Земли. Поэтому магматические интрузии и рудные месторождения можно рассматривать в качестве генетических моделей со сложным поведением колебательных систем (пульсации, мерцания), отражающих циклические и периодические геохимические процессы во времени и в пространстве, т.е. моделей саморазвития и самоорганизации вокруг источника автоколебаний.

Алфавитный указатель авторов

- | | |
|---------------------------------|-------------------------|
| Агаев Р.С., 108 | Гончаров М.А., 186 |
| Алексеев В.А., 174, 178 | Гребенщикова В.И., 16 |
| Алексеева Н.Г., 174, 178 | Гриц Г.Н., 133 |
| Алиев Ад.А., 128 | Гулиев И.С., 93, 94 |
| Амурский Г.И., 135 | Дадашев А.А., 93 |
| Ануфриев Г.С., 48 | Дадашев А.М., 43 |
| Анфилатова Э.А., 97 | Дадашев С.Г., 139 |
| Астахов М.И., 160 | Дзюба А.А., 146 |
| Атанасян С.В., 118 | Доленко Г.Н., 68, 115 |
| Бабазаде О.Б., 119 | Дорогокупцев Т.И., 176 |
| Багиров В.П., 170 | Дигонский С.В., 88 |
| Байрамова Г.А., 119, 171 | Дриц В.А., 19 |
| Баркан Е.С., 160 | Дюжинов О.А., 23 |
| Барышев А.С., 144 | Жуков В.В., 9 |
| Басков Е.А., 157 | Закузенный В.И., 144 |
| Баталин Ю.В., 39 | Захаров С.А., 168 |
| Бердников Н.В., 17 | Зверева О.В., 176 |
| Бескровный Н.С., 76, 97, 180 | Зименкова О.И., 90 |
| Бобров В.А., 52, 54, 88 | Зорькин Л.М., 151 |
| Бойко Г.Е., 124 | Зотов И.А., 9 |
| Бойко С.М., 16 | Зубайраев С.Д., 170 |
| Бражник В.М., 75, 139 | Иванкин П.Ф., 7, 30 |
| Буачидзе Г.И., 53, 157 | Иванов В.В., 94 |
| Бунин Г.Г., 188 | Иванова Л.А., 42 |
| Бурак В.М., 127 | Ивантишина О.М., 36 |
| Ваганов В.П., 30 | Иванчук П.П., 141 |
| Вакин Е.А., 154 | Ивлиев А.И., 20, 184 |
| Валаяев Б.М., 83, 130, 172, 176 | Икорский С.В., |
| Вдовыкин Г.П., 90 | Кабулова А.Я., 128 |
| Вересов С.А., 159 | Кавеев И.Х., 89 |
| Верховский А.Б., 46, 156 | Капсамун В.П., 61 |
| Вилор Н.В., 15 | Карсаков Л.П., 17 |
| Власов В.В., 54 | Каспаров С.А., 142 |
| Войтов Г.И., 49, 99, 166 | Киселев А.И., 28 |
| Волкова Н.П., 115 | Кислицин В.Г., 134 |
| Гаврилов В.П., 113 | Коваленкер В.А., 58 |
| Гаврилова И.А., 160 | Ковалишин З.И., 40 |
| Гаврилюк М.Г., 180 | Колодий В.В., 68 |
| Гарецкий Р.Г., 115, 127 | Кононов В.И., 155 |
| Гемп С.Д., 182 | Корценштейн В.Н., 152 |
| Герасимова И.А., 35 | Корытов Ф.Я., 33 |
| Гигашвили Г.М., 65 | Косыгин Ю.А., 17 |
| Глебовицкий В.А., 12 | Краснов Е.В., 145 |
| | Краюшкин В.А., 109, 117 |

Кривомазова Н.Г., 88
Кропоткин П.Н., 64
Кропотова О.И., 54
Кристалъ И.И., 126
Кристалъ Н.В., 126
Кудельский А.В., 115, 127
Кузнецов А.А., 29
Кузнецов О.Л., 65, 140
Кулешов В.Н., 55
Кучер М.И., 54, 56, 147
Лазаренко Э.А., 27
Ларин В.Н., 163
Левский Л.К., 47
Левшунова С.П., 92
Летников Ф.А., 5, 22
Лялько В.И., 104
Маевский Б.И., 95
Макаров В.И., 183
Малашенко Ю.Р., 104
Малышева В.В., 75
Мархинин Е.К., 79
Медведев В.Я., 42, 147
Мельников Ф.П., 70
Месхи А.М., 35
Мехтиев Ш.Ф., 72, III
Митрофанова О.М., 144
Муравьев В.В., 140
Мусин М.Х., 90
Надиров Р.С., 72
Нартикоев В.Д., 65
Никольский Н.С., 13
Новгородова М.И., 58
Носик Л.П., 58, 60, 61
Обжиров А.И., 107
Оглоблина А.И., 81
Озерова Н.А., 148
Озол А.А., 37
Орлова Г.П., 42
Орлова Т.Г., 49
Осика Д.Г., 132
Павлов В.А., 176
Панасенко Л.Н., 117
Пастухов Н.П., 144, 146
Перевозчиков Г.В., 128

Петраш А.И., 176
Петухов А.В., 176
Пиковский Ю.И., 81, 148, 174
Покровский Б.Г., 62
Полохов В.П., 19
Поляк Б.Г., 155
Полякова О.П., 19
Понушкова Т.Ф., 144
Поспеев В.И., 146
Прасолов Э.М., 155, 156
Пэк А.А., 137
Раменская М.Е., 81
Рассказов А.А., 183
Рожков А.М., 156
Росоловская С.В., 174
Рукавишников И.И., 146
Рябчиков И.Д., 10, 42
Савельева В.Б., 22
Седова И.С., 12
Сидиков С.С., 134
Сидоренко Св.А., 102
Скарятин В.Д., 118
Слонимская, М.В., 19
Смирнов Ю.П., 18
Смирнова М.Н., 75, 139
Созанский В.И., 123
Соколов Б.А., 70
Соловьев Е.А., 141
Соловьев Н.Н., 135
Старобинец И.С., 121
Стефаник Ю.В., 68
Сугробов В.М., 133
Султанходжаев А.Н., 134
Суриков С.Н., 157
Таран Ю.А., 80
Телепин М.Д., 185
Теняков В.А., 102
Терещенко А.Н., 146
Титков Г.А., 172
Тихомиров В.В., 160
Толстихин И.Н., 44, 134
Томсон И.Н.,
Троицкий В.И., 180
Трошин Ю.П., 16

Тыминский В.Г., 166
Улашенко Н.М., 147
Федорова А.Ф., 178
Фейзуллаев А.А., 93, 108
Флоровская В.Н., 81
Фридман А.И., 23, 147
Халилов Э.Н., 111
Хаткевич Ю.М., 133
Ходакевич А.С., 147
Царев В.П., 65, 170
Чайкин В.Г., 39, 150
Чекалюк Э.Б., 68
Чернов И.Г., 134

Черткова Л.В., 106
Чугунный Ю.Г., 104
Чуприн В.В., 139
Шашкин В.М., 32, 56
Штейнгольц В.Л., 39
Шуколюков Ю.А., 46, 156
Шумлянский А.В., 36
Щербаков А.В., 164
Юргина Е.К., 46
Юркова Р.М., 19
Юрлова Л.Е., 144
Якуцени В.П., 161

РАЗДЕЛ I. Петрологические (в связи с рудоносностью) и геохимические аспекты дегазации Земли

Предисловие	3
Летников Ф.А. Глубинная дегазация в геологической истории Земли	5
Иванкин П.Ф. Взаимодействие потоков восстановленных газов с литосферой подвижных поясов	7
Зотов И.А., Жуков В.В. Трансмагматические флюиды как форма дегазации мантии Земли	9
Рябчиков И.Д. Петрогенетическая роль мантийных флюидов	10
Глебовицкий В.А., Седова И.С. Ювенильные потоки флюидов в свете данных физико-химической петрологии	12
Никольский Н.С. Режим флюидов при глубинной дегазации Земли	13
Вилор Н.В. Водно-водородные зоны гранитоидных куполов	15
Трошин Ю.П., Гребенщикова В.И., Бойко С.М. Газовый режим формирования гранитоидов в разных геодинамических обстановках фанерозойских подвижных поясов Земли	16
Бердников Н.В., Карсаков Л.П., Косыгин Ю.А. Углекислота, метан и азот в метаморфических комплексах юга Дальнего Востока ..	17
Томсон И.Н., Полохов В.П., Полякова О.П. Углерод-титанистые метасоматиты - новый тип дегазации Земли	19
Дриц В.А., Слонимская М.В., Юркова Р.М. Восстановленные газы в серпентинах ранней генерации и их генетическое значение	19
Ивлиев А.И., Икорский С.В., Смирнов Ю.П. Газовый состав син-метаморфических кварцевых жил Печенгской структуры как показатель дегазации метаморфических пород	20
Летников Ф.А., Савельева В.Б. Флюидный режим тектонических зон	23
Джижиков О.А., Фридман А.И. Тектоно-магматическая активизация, эндогенное рудообразование и природные газы Сибирской платформы	27
Лазаренко Э.А. Сопряженность периодичности магматизма и дегазации мантии Земли	27
Киселев А.И. Внутриплитовый вулканизм и дегазация мантии ...	28
Кузнецов А.А. Эволюция тектонических подразделений литосферы и флюидно-газовый режим Земли	29

Баганов В.И., Иванкин П.Ф. Варьный вулканизм консолидированных областей - особая форма глубинной дегазации Земли	30
Шашкин В.М. Тектоно-магматические аспекты дегазации Земли районов интрузивного вулканизма	32
Корытов Ф.Я. Минерогенетические пояса и их связь с гетерогенностью мантии	33
Месхи А.М., Герасимова И.А. Дегазация мантии Средней Азии и её роль в петрогенетических процессах и рудогенезе	35
Шумлянский В.А., Ивантишина О.М. Тектонический режим формирования рудно-битумного формационного комплекса Восточно-Европейской платформы	36
Озол А.А. Влияние глубинной дегазации на формирование месторождений неметаллических полезных ископаемых	37
Чайкин В.Г., Штейнгольц В.Л., Баталин Ю.В. К природе содовой минерализации высокоуглеродистых формаций	39
Ковалишин З.И., Геохимическая роль углеродсодержащих газов магматического, постмагматического и гидротермального процессов	40
Рябчиков И.Д., Орлова Г.П. Флюидная мобилизация меди, серебра и золота из кислых магм	42
Медведев В.Я., Иванова Л.А. Проницаемость минералов для флюидов при высоких температурах и давлениях	42
Дадашев А.М. Особенности газового режима южного склона Большого Кавказа в связи с газогеохимическими поисками сульфидных месторождений	43
Толстихин И.Н. Процессы дегазации глубинных резервуаров Земли по изотопной геохимии благородных газов	44
Верховский А.Б., Юргина Е.К., Шуколюков Ю.А. Распространенность благородных газов в мантии Земли и ее дегазация ...	46
Левский Л.К. Вымершие изотопы ^{129}I и ^{244}Pu и дегазация Земли в докембрии	47
Ануфриев Г.С. Природа мантийных инертных газов	48
Войтов Г.И., Орлова Т.Г. Еще раз о проблеме метана в атмосфере Земли	49
Бобров В.А. Условия образования различных углеродсодержащих соединений, связанных с кимберлитовыми трубками	52
Буачидзе Г.И. Изотопное обоснование глубинной (мантийной) углекислоты	53
Кропотова О.И., Бобров М.А., Кучер М.И., Власов В.В. Геохимия эндогенной углекислоты в свете изотопных данных ..	54
Кулешов В.Н. Источники углекислоты эндогенных карбонатов по данным изотопного состава углерода и кислорода (в связи с проблемной дегазацией мантии)	55

Кучер И.И., Шашкин В.М. Особенности дегазации Земли при процессах гранитообразования (по данным изотопии углерода)...	56
Коваленкер В.А., Новгородова М.И., Носик Л.П. Об окислительно-восстановительных условиях образования минералов продуктивных стадий золоторудных месторождений по данным изучения газово-жидких включений	58
Носик Л.П. Изотопный состав химических элементов источника минералообразующего раствора	60
Носик Л.П., Капсамун В.П. Условия образования гибридных пород по результатам исследования изотопов $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{17}\text{O}$, $\delta^{18}\text{O}$ (на примере Каджарана, Арм.ССР)	61
Покровский Б.Г. Происхождение флюидов, участвующих в преобразовании глубинных пород, в свете изотопных данных	62
РАЗДЕЛ П. Углеводороды в аспекте дегазации Земли	
Кропоткин П.Н. Новые данные об углеводородной дегазации Земли	64
Кузнецов О.Л., Царев В.П., Нартиков В.Д., Гигахвили Г.М. Геодинамика и механохимические реакции в горных породах, их геохимическая роль	65
Доленко Г.Н., Чекалик Э.Б., Колодий В.В., Стефаник Ю.В. Астеносферное происхождение нефтяных углеводородов	68
Соколов Б.А., Мельников Ф.П. Дегазация Земли и становление углеводородной геосферы	70
Мехтиев Ш.Ф., Надиров Р.С. О природе и нефтегазоносности района Талыш-Вандамского гравитационного максимума	72
Смирнова М.Н., Бражник В.М., Малышева В.В. Северо-Кавказский офиолитовый пояс и проблема глубинно-биогенного происхождения нефти	75
Бескровный Н.С. Прогресс в исследованиях по неорганическому происхождению нефти и газа	76
Мархинин Е.К. Явление крупномасштабного выноса дисперсных углеводородов в вулканическом процессе	79
Таран Ю.А. Метан и его гомологи в вулканических и гидротермальных газах	80
Флоровская В.Н., Пиковский Ю.И., Оглоблина А.И., Раменская М.Е. Роль молекулярной геохимии полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в изучении процессов дегазации Земли	81
Валяев Б.М. Изотопное обоснование глубинного генезиса углеводородов	83
Бобров В.А., Дигонский С.В., Кривомазова Н.Г. Происхождение ископаемых углеводородных веществ	88

Кавеев И.Х. Новые данные о газах и битумоидах в глубинных толщах архейского фундамента Татарского свода	89
Вдовыкин Г.П., Мусин М.Х., Зименкова О.И. Распределение газов, образовавшихся при природном пиролизе нефтей, в породах Сибирской платформы	90
Левшунова С.П. Моделирование процессов образования твердых растворов водорода	92
Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А., Дадашев А.А. Опыт количественной оценки дегазации недр по комплексу геолого-геохимических параметров	93
Иванов В.В., Гулиев И.С. Количественная оценка газоносности глубоководных отложений Южно-Каспийской впадины	94
Маевский Б.И. Влияние тектонических процессов и поствулканических флюидов на динамику формирования и состав высокоуглеродистых толщ	95
Бескровный Н.С., Анфилатова Э.А. Модель образования обогащенных органическим веществом меловых сланцев	97
Войтов Г.И. О некоторых проблемных вопросах газоносности угольных месторождений	99
Сидоренко Св.А., Теняков В.А. Осадочно-метаморфическая оболочка Земли как источник биогенных углеводородных эманаций	102
Чугунный Ю.Г., Лялько В.И., Малашенко Ю.Р. Роль метано-окисляющих микроорганизмов в процессах дегазации Земли и круговороте углерода	104
Черткова Л.В. Роль подводных термальных выходов в формировании газогидрохимического состава вод Мирового океана	106
Обжиров А.И. Природные газы шельфа Южно-Китайского моря	107
Агаев Р.С., Фейзуллаев А.А. Гелий и углеводородные газы в Индийском океане (северная часть Западно-Австралийской котловины)	108
Краюшкин В.А. Абиогенная природа нефтегазоносности рифтовых зон материковой отмели и континентального склона	109
Мехтиев Ш.Ф., Халилов Э.Н. Зоны субдукции - основные участки дегазации Земли	111
Гаврилов В.П. Образование углеводородов в зонах контакта литосферных плит	113
Гарецкий Р.Г., Кудельский А.В., Волкова Н.П. Тектонический контроль размещения газообразных углеводородов в осадочной толще литосферы	115
Доленко Г.Н. Тектонический контроль дегазации мантии Земли	115

Якуцени В.П. Газовое поле Земли - геохимический экран тектогенеза	I61
РАЗДЕЛ IV. Дополнения	
Ларин В.Н. Эволюция геодинамического режима планеты в связи с дегазацией изначально гидридной Земли	I63
Щербаков А.В. Проблема водородных подземных флюидов	I64
Тыминский В.Г., Войтов Г.И. Глобальный неотектонический фактор и формирование газового состава подземных водно-газовых систем	I66
Захаров С.А. Дегазация Земли, складчатость и образование нефти	I68
Багиров В.И., Зубайраев С.Л., Царев В.П. Влияние геодинамической активности регионов на онтогенез залежей нефти и газа	I70
Байрамова Г.А. О характере рассеяния УВГ из залежей в эффузивных породах (на примере месторождения Мурадханлы).....	I71
Валяев Б.М., Титков Г.А. Роль воды в формировании изотопного состава водорода CH_4 природных газов	I72
Алексеев В.А., Алексеева Н.Г., Пиковский Ю.И., Росоловская С.В. Некоторые особенности распределения 3,4-бензопирена в продуктах лавового и грязевого вулканизма	I74
Петухов А.В., Зверева О.В., Петраш А.И., Дорогокупец Т.И. Дегазация углеводородных залежей как фактор вторичного минералообразования и изменения физико-химических свойств пород надпродуктивных отложений	I76
Валяев Б.М., Павлов В.А. Значение эндогенных факторов для генезиса грязевулканической брекчии (по результатам нейтронно-активационного анализа микроэлементов)	I76
Алексеев В.А., Алексеева Н.Г., Федорова А.Ф. Проблема поступления и накопления металлов в зонах тектонической активности при дегазации Земли	I78
Гаврилюк М.Г., Троицкий В.И., Бескровный Н.С. Влияние вертикальных проницаемых зон на соленакопление и распределение металлоносных рассолов в нефтегазовых районах	I80
Гемп С.Д. Влияние внутриконтинентального рифтогенеза на соленакопление	I82
Макаров В.И., Рассказов А.А. Неотектоническая глубинная структура и состав вод соляных озер, подземных минеральных вод и газов (на примере территории МНР)	I83
Ивлиев А.И. Связь графитовой минерализации с уровнем метануглекислого газового соотношения в кварце синметаморфических жил Кольского полуострова	I84
Телепин М.А. Самоуправляемый энергопоток - основа тектогенеза	I85

Гончаров М.А. Складкообразование как следствие избыточного обводнения геосинклинальных осадочных толщ и как причина их осушения	I86
Бунин Г.Г. Рудно-магматическая зональность и автоволновый процесс	I88
Алфавитный указатель авторов	I89

Издание осуществлено с оригинала
подготовленного к печати
Геологическим институтом АН СССР

ДЕГАЗАЦИЯ ЗЕМЛИ И ГЕОТЕКТЕНИКА

Тезисы докладов II Всесоюзного совещания

*Утверждено к печати
Геологическим институтом АН СССР*

Редактор издательства
Г.Г. Мергасов

Н/К

Подписано к печати 22.11.84. Т-22608
Формат 60 × 90 1/16
Бумага офсетная № 2. Печать офсетная
Усл.печ.л. 12,5. Усл.кр.-отт. 12,6
Уч.-изд.л. 14,2. Тираж 600 экз.
Тип. зак. 2223. Цена 95 коп. Заказное
Издательство "Наука", 117864 ГСП-7
Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90
Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12