

Природный ядерный реактор на Земле

В июне 1972 г. сотрудники КАЭ Франции сделали очень интересное открытие. Они обнаружили [1] удивительное отклонение от нормального содержания U^{235} в одной из партий природного урана, добытого в Габоне. До сих пор среднее содержание U^{235} во всех изотопных анализах урана, добытого в самых разных местах земного шара, составляло 0,720% с отклонением менее 0,1%. В уране из месторождения Окло в Габоне отклонения от среднего содержания оказались значительно большими: некоторые пробы содержали до 0,44%. Были и слегка обогащенные пробы с содержанием 0,730%. Абсолютный возраст пород месторождения, определенный рубидий-стронциевым методом, оказался равным 1740 ± 20 млн. лет. Пониженное содержание U^{235} оказалось у наиболее богатых ураном руд. Так, две пробы, подвергшиеся тщательному анализу, взяты из пород, содержащих 38,5 и 14,9% урана. Содержание U^{235} в них оказалось равным соответственно $0,4400 \pm \pm 0,0005$ и $0,592 \pm 0,001\%$ [2].

Эти пробы проанализированы на изотопное содержание редкоземельных элементов — неодама, европия и самария. Найдено, что содержание семи изотопов неодама резко отличается от обычного природного. Отличие оказалось таким, как будто часть неодама образовалась в результате деления урана. Если по содержанию Nd^{142} , не образующегося при делении, оценить нормальное содержание других изотопов, а избыток сравнить с делением, то согласие получается вполне наглядное.

Сильное отклонение от нормального обнаружено в отношениях содержания изотопов Eu^{151}/Eu^{153} и Sm^{149}/Sm^{147} . Значительно меньше нормального содержание изотопов, у которых велики сечения захвата нейтронов. Можно предположить, что изменение содер-

жания изотопов вызвано захватом нейтронов. Оценка нейтронного потока, способного вызвать наблюдаемые изменения изотопного содержания, дает $\sim 10^{21}$ нейтр/см².

Для объяснения этих явлений предполагается [2], что $1,7 \cdot 10^9$ лет назад, когда нормальное содержание U^{235} составляло $\sim 3\%$, в месторождении возникли условия, благоприятные для цепной реакции деления. Геологические характеристики месторождения благоприятны для образования растворов солей урана в воде. Получившийся таким путем природный реактор действовал медленно, но длительно, и это привело к выгоранию U^{235} и образованию осколочных изотопов редких земель. Небольшой избыток U^{235} в некоторых местах можно объяснить миграцией Pu^{239} , получившегося из U^{238} .

Оценено отношение числа делений, образовавших осколочные изотопы, к числу недостающих (разделившихся) ядер U^{235} . Оказалось, что осколков вдвое больше, следовательно, около половины их получилось не из U^{235} , а, скажем, из U^{238} , делившегося быстрыми нейтронами.

Исследования обнаруженных аномалий продолжают. Но для объяснения опубликованных * результатов наблюдений довольно настоятельно требуется предложение о локальном облучении вещества месторождения довольно интенсивным потоком нейтронов.

Н. А. В.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Bodu et al. Compt. rend. Acad. Sci., 275, D-1731 (1972).
2. M. Neuilly et al. Ibid., 275, D-1847 (1972).

Конференции и совещания

Третье Международное совещание по мирному использованию подземных ядерных взрывов

Совещание было организовано МАГАТЭ и проходило с 27 ноября по 1 декабря 1972 г. в Вене. В нем участвовали 80 представителей 30 стран и трех международных организаций: Комиссии европейского сообщества, ООН и ВОЗ. Всего было сделано 23 доклада **,

* Перевод статей на русский язык опубликован в сб. «Атомная техника за рубежом», № 6 (1973).

** Материалы совещания будут опубликованы МАГАТЭ в конце 1973 г.

в том числе 10 от США, шесть — от СССР; четыре — от Франции; два — от Англии, один — от Швеции и один объединенный доклад представителей Венесуэлы и США о строительстве канала, соединяющего реки Ориноко и Рио-Негро в Венесуэле.

Как и на двух предыдущих совещаниях в 1970 и 1971 гг., Советский Союз, США и Франция сделали сообщения о результатах исследования подземных ядерных взрывов, опытно-промышленных взрывах

и о перспективных проработках по мирному использованию подземных ядерных взрывов.

О большом интересе к этой проблеме свидетельствует широкое представительство на этих совещаниях стран, не имеющих ядерного оружия, а также их стремление использовать ядерные взрывы в соответствии со статьей 5 «Договора о нераспространении ядерного оружия» в своих национальных программах по развитию промышленности.

Исключительная компактность заряда, весьма низкая стоимость энергии открывают в принципе широкие возможности для применения ядерных взрывов в промышленных и научных целях. Как показали опыты в Советском Союзе и США, при взрыве заряда мощностью 100 кт образуется видимая воронка диаметром 400 м и глубиной до 100 м. Заряд с таким энерговыделением может образовать в массиве каменной соли полость — хранилище объемом ~ 300 тыс. м³. Весьма обширная область возможного практического применения камуфлетных ядерных взрывов связана с предварительным разрушением месторождений полезных ископаемых и массивов горных пород. Задача заключается в том, чтобы этот мощный источник энергии сделать надежно управляемым, исключить возможные вредные влияния на внешнюю среду и на человека.

На совещании представители Венесуэлы и АРЕ сделали сообщения о национальных программах своих стран по мирному использованию подземных ядерных взрывов. Венесуэла предусматривает использование подземных ядерных взрывов для строительства канала между реками Ориноко и Рио-Негро, извлечения геотермального тепла и нефти из непромышленных нефтеносных песчаников, добычи минерального сырья и стимуляции добычи газа (Д. Родригес Диас, Венесуэла). Из предусмотренных национальной программой направлений мирного использования подземных ядерных взрывов предварительные оценки были сделаны только по строительству канала (Ф. Пас-Кастильо, Венесуэла; П. Кругер, США). Для сооружения канала протяженностью 62 км предполагается использовать химические и ядерные взрывчатые вещества, в том числе для строительства трассы на участке с крепкими породами протяженностью 15,5 км — 157 10-килотонных ядерных зарядов. Ширина канала 77 м, глубина 16 м, предполагаемый срок строительства — четыре года.

Национальная программа АРЕ предусматривает использование подземных ядерных взрывов для интенсификации разработки нефтяных и газовых месторождений, создания емкостей-хранилищ в массиве каменной соли, извлечения геотермального тепла (М. Эль Квебейли, Е. Эль Шаули, АРЕ).

Программа «Плаушер» (использование подземных ядерных взрывов в США) по-прежнему основное внимание уделяет применению ядерных взрывов для интенсификации газовых месторождений по примеру проведенных экспериментов в Гасбагги и Рулисоне, где продолжают исследовательские работы (Р. Тейлор, США).

В больших масштабах проводятся лабораторные работы по извлечению нефти из битуминозных сланцев в расчете на применение ядерных взрывов для образования подземных реторт (Г. Сонз, США).

Значительные изменения произошли в программе «Плаушер-геотермал». Специалисты США отказались от идеи применения взрывов большой мощности (по несколько сот килотонн) для дробления пород на большой глубине с целью извлечения геотермального тепла. В настоящее время работы по извлечению

геотермального тепла ведутся в следующих направлениях:

1) гидроразрыв пласта на глубине 2000 м с температурой пород 300—380°С в расчете на дополнительное разрушение пород в результате их резкого охлаждения водой (для проверки этой идеи под Лос-Аламосом начато бурение двух экспериментальных скважин);

2) применение химических ВВ для уменьшения гидравлического сопротивления выходу геотермальных вод на поверхность земли;

3) использование ядерных взрывов сравнительно небольшой мощности для выполнения задач, изложенных в двух предыдущих пунктах.

В США продолжаются исследования по применению ядерных взрывов для дробления медных руд с целью последующего выщелачивания меди. При этом основное внимание уделяется извлечению меди из первичных сульфидных минералов, таких, как халькопирит (А. Люис и др., США).

В сообщениях о национальных программах и докладах французских специалистов (А. Барту и др.) большое внимание уделено использованию подземных ядерных взрывов для создания хранилищ. В этой связи большой интерес вызвал доклад, подготовленный советскими специалистами, в котором на основе проведенных опытно-промышленных работ содержатся научно-технические основы создания подземных хранилищ с помощью ядерных взрывов в массиве каменной соли (К. В. Мясников, В. А. Леонов и Н. М. Ромадин, СССР). Сообщалось о передовом опыте Советского Союза по созданию завальных плотин с помощью взрывов химических зарядов на реках Вахш (Байпазанская плотина) и Малая Алма-Атинка (селезащитная плотина) (В. Н. Родионов, А. Н. Ромашов, СССР). Эти примеры показывают успешное применение новых технологических решений с использованием мощных взрывов.

Большинство докладов американских специалистов было посвящено более глубокому исследованию явлений, сопровождающих взрыв, путем моделирования, изучения результатов натуральных экспериментов и теоретических исследований с применением ЭВМ.

Исследования ведутся в таких различных направлениях, как разработка теории движения и разрушения среды при подземном взрыве, совершенствование методов экспериментального изучения развития взрывов, создание модельных установок, детальная разработка конкретных проектов использования ядерных взрывов при строительстве каналов или, например, для интенсификации добычи газа, изучение распространения сейсмических волн, определяющих условия безопасности проведения подземных взрывов.

По экскавационным работам США представили доклады об устойчивости и фильтрационных характеристиках бортов воронок. Для исследований использовалось математическое моделирование на ЭВМ.

Определенный методический интерес представляет прием для оценки степени дробления горной породы при подземном взрыве, предложенный в докладе об исследовании взрыва нескольких зарядов в одной скважине с помощью ЭВМ. Подсчитывается, сколько раз каждая из ячеек, на которые расчленяется все пространство при расчете движения среды, достигает критического напряженного состояния. Зоны с многократно «разрушенными» ячейками рассматриваются как раздробленные. Такой подход позволил выявить условия, при которых групповой взрыв может дать больший эффект, чем сумма последовательных взрывов той же энергии.

В докладе о сейсмическом эффекте подземного взрыва, представленном СССР, были изложены методы прогнозирования сейсмических колебаний и связанных с ними повреждений зданий (В. Н. Костюченко, В. Н. Родионов, Д. Д. Султанов и В. М. Шамин, СССР). Интересно отметить, что в США разрабатывается несколько иной метод описания сейсмических колебаний (доклад на эту тему был представлен на предыдущем совещании). Для характеристики колебаний используется так называемый спектр действия, обезличивающий природу отдельных групп волн, что, вероятно, может быть удобно для статистической обработки повреждений, но чрезвычайно затрудняет прогноз «спектра» в районе, где ранее взрывы не проводились. Опытные данные не показывают явного преимущества какого-либо из указанных подходов.

Значительная часть докладов была посвящена проблеме радиационной безопасности при подземных ядерных взрывах в мирных целях. В доложенных работах рассматривались либо методы прогноза радиационной обстановки, либо оценка степени радиационного риска.

Ряд докладов содержит полезную информацию по исходным данным, необходимым для моделей прогноза, новые идеи и подходы по прогнозированию. Так, в работе Р. Сиддонса (Англия) на основе анализа опубликованных данных приведена характеристика основных источников радиоактивности, возникающей при подземных взрывах, оценен их вклад в общее количество образующихся радиоактивных продуктов и отмечено их снижение. Высказывается мнение, что имеющаяся по этим вопросам информация является основой для прогноза радиационной опасности при осуществлении любого проекта по использованию ядерных взрывов в мирных целях.

В представленном от СССР докладе Ю. А. Израэля систематизированы и обобщены опубликованные данные по радиоактивному загрязнению основных зон (облако, эпицентральный район, ближний и дальний следы) при подземных взрывах на выброс и на этой основе составлено представление о феноменологии радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Определенный интерес представляет работа М. Дюшюи (Франция), в которой рассмотрены подходы к оценке распределения различных радиоизотопов в паровой, жидкой и твердой фазах в условиях замкнутой котловой полости в разное время после взрыва. Основной подход базируется на использовании принципа

термодинамического равновесия. В соответствии с разработанной моделью происходит постепенное накопление данного радиоизотопа в слое расплавленного грунта. Например, по проведенным оценкам максимальная доля Kr^{85} , попадающего в расплав, составляет 10—20% от образовавшегося количества и накапливается в течение ~150 сек. Вместе с тем, по нашим данным, такое же количество газообразного радиоизотопа (например, He^{137}) накапливается в расплаве при экскавационных взрывах в течение секунд и долей секунд. Это обстоятельство заставляет думать, что использование законов термодинамического равновесия для всех радиоизотопов может оказаться неправомерным. Второй наш доклад по этому вопросу (Ю. А. Израэль, А. Тер-Сааков, В. А. Петров, Г. А. Красилов) посвящен исследованию радиационных характеристик основных носителей радиоактивных продуктов и разработке моделей их формирования при подземных ядерных взрывах.

По оценке степени радиационного риска прежде всего необходимо отметить доклад М. Келли (США), в котором оценена сравнительная опасность от радиоизотопов в природном газе, добытом с помощью подземных ядерных взрывов.

Рассмотрены три аспекта этого вопроса:

1) возможные концентрации различных радиоизотопов в газе (на основе материалов по взрывам «Гэсбагги» и «Рулисон»);

2) сравнение предполагаемых доз, которые могут быть получены отдельными лицами и населением в целом при использовании загрязненного газа, с расчетными дозами облучения от других источников;

3) сравнение прогнозируемой опасности от расчетных средних доз облучения с другими видами нерадиационной опасности, встречающимися в повседневной жизни человека, что, на наш взгляд, представляет несомненный интерес для развития работ, связанных с использованием атомной энергии.

Прошедший обмен информацией выявил единство взглядов специалистов по всем основным принципиальным вопросам, возникающим при мирном использовании подземных ядерных взрывов, и взаимно обогатил опытом всех участников совещания. Следующее совещание намечено провести в 1974 г.

И. Д. МОРОХОВ, К. В. МЯСНИКОВ, В. Н. РОДИОНОВ,
А. А. ТЕР-СААКОВ

Современные исследования физико-химического состояния радиоизотопов в морской воде

Широкое промышленное использование атомной энергии и радиоактивных изотопов, а также продолжающиеся некоторыми странами испытания ядерного оружия в атмосфере стимулируют изучение свойств и поведения искусственных радиоизотопов в морской воде, поскольку моря и океаны являются конечным резервуаром сосредоточения радиоактивных веществ. Степень участия радиоактивных изотопов в природных процессах седиментации и биологического концентрирования и ассимиляции в значительной степени зависит от химической формы и физико-химического состояния этих изотопов. Вопросы о физико-химическом состоянии изотопов возникают также при решении

практических задач дезактивации вод и при анализе их на содержание радиоизотопов.

Учитывая интерес, который проявляют к рассматриваемой проблеме специалисты разных направлений, Океанографическая комиссия АН СССР (Подсекция морской радиоактивности) и Институт биологии южных морей АН УССР (Отдел радиобиологии) 21—23 ноября 1972 г. создали в Севастополе Всесоюзный симпозиум по физико-химическому состоянию радиоизотопов в морской воде.

Было рассмотрено следующее:

1) теоретические вопросы поведения химических элементов в растворе при ультранизких концентрациях;