

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. Шагин, 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. Дюшои (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, Xe^{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. Кейли (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. созвали в Севастополе Всесоюзный симпозиум по физико-химическому состоянию радиоизотопов в морской воде.

Было рассмотрено следующее:

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

2) методы изучения физико-химического состояния ультрамалых количеств элементов в морской воде;

3) результаты наблюдений за состоянием и химической формой искусственных радиоизотопов и стабильных элементов в морской воде;

4) влияние форм и состояния радиоизотопов на взаимодействие их с живыми организмами морской среды.

Принципиальные вопросы способов индикации различных физико-химических форм вещества в растворе при очень большом разбавлении заняли в программе симпозиума центральное место.

В докладе И. А. Скульского (Институт эволюционной физиологии и биохимии АН СССР) была разработана новая концепция известного, предложенного ранее И. Е. Стариком, адсорбционного метода изучения состояния вещества в растворе. Изменение сорбируемости гидролизующихся элементов в зависимости от pH раствора может быть вызвано не только переходом элемента из ионного состояния в незаряженное (коллоидное), но также и различием в свойствах простых ионов и ионов-гидролизатов, ионов-гидролизатов разной степени гидролиза, мономерных и полимерных форм гидролизатов. Такая интерпретация кривой pH — адсорбция элемента разрешает многие противоречия, к которым приводит адсорбционный метод при сохранении его классических предпосылок.

Теоретический анализ причин появления максимума на кривой pH — адсорбция элемента содержится в докладе Н. Д. Бетенкова и др. (Уральский политехнический институт). Авторы показали, что этот максимум соответствует, как правило, изоэлектрическому состоянию системы гидрооксокомплексов.

О соотношении адсорбции, коллоидообразования и явлениях полимеризации гидрооксокомплексов рассказано в докладе Ю. П. Давыдова (Институт ядерной энергетики АН БССР). Критикуется такое известное физико-химическое понятие, как «произведение растворимости» труднорастворимых гидроокисей. По мнению автора, эта величина теряет признаки константы для всех элементов, гидролиз которых протекает по механизму полимеризации.

Н. И. Попов (Институт океанологии АН СССР) рассмотрел термодинамические равновесные формы гидролизующихся элементов при параметрах, свойственных морской воде. Выяснилось, что типичной формой, в которой такие элементы находятся в растворенной фракции морской воды, являются незаряженные молекулы гидроокиси. Концентрации любого из гидролизующихся элементов в океане таковы, что эти молекулы не могут сформировать самостоятельно твердую фазу или образовать полимерные цепочки. Высказано также мнение, что вопреки общепринятому представлению искусственные радиоизотопы, попавшие в океан, не могут быть, по-видимому, полностью связаны с твердой фазой морской воды ввиду исключительно низкого содержания ее в водах открытого океана и ограниченных адсорбционных способностей.

Большое внимание на симпозиуме уделено практическим методам изучения состояния радиоизотопов в океане. Методические трудности таких исследований вызваны двумя обстоятельствами. С одной стороны, все известные методы рассчитаны на работу в лаборатории. При этом изоляция ограниченного объема воды и перенос исследуемой порции в рамки лаборатории может существенно изменить естественные условия, в которых радиоизотоп находится в море. С другой стороны, при лабораторной затравке воды исследуемыми радиоизотопами нет уверенности, что исходные формы их вве-

дения в морскую воду в лаборатории и в природе идентичны.

О специальных приемах, позволяющих максимально отожествить лабораторные формы поступления в морскую воду некоторых естественных радиоактивных изотопов с природными, сообщил Ю. В. Кузнецов с сотрудниками (Радиевый институт им. В. Г. Хлопина). Те же авторы рассмотрели совокупность методов для выявления закономерности поведения естественных радиоактивных изотопов в океане *in situ*.

Новый метод лабораторного исследования агрегатного состояния радиоизотопов в растворе — метод «дочерних атомов» описали И. А. Скульский и В. В. Глазунов.

Об электрофильтрации морской воды с целью выделения наиболее тонкой фракции твердой фазы доложили Ю. Б. Холина и Л. М. Хитров (Институт геохимии и аналитической химии АН СССР).

Взаимосвязи между химическими формами элементов в растворе природных вод и поглощением их на ионообменных смолах были посвящены доклады П. Д. Новикова с сотрудниками (Институт океанологии АН СССР), А. П. Сорочан и Г. М. Вартол (Институт геохимии и аналитической химии АН СССР).

В разделе, отражающем результаты наблюдений и экспериментов, были представлены новые данные о физико-химическом состоянии искусственных радиоизотопов: марганца, кобальта, церия, меди, цинка, рутения и железа (Л. М. Хитров и Ю. Б. Холина; В. К. Лутин, Ю. В. Кузнецов и Ю. Н. Лобанов; Ю. М. Петров, Полярный научно-исследовательский и проектный институт морского рыбного хозяйства и океанографии; А. А. Любимов, Л. И. Рожанская, Институт биологии южных морей АН СССР).

Сравнительное сопоставление поведения в океане Sr^{90} и Cs^{137} представлено в докладе А. Г. Трусова, Л. М. Ивановой, Л. И. Геденова (ГКАЭ СССР), Радиевый институт им. В. Г. Хлопина).

Учитывая, что состояние в океане радиоизотопов — продуктов ядерных взрывов может зависеть от их специфического исходного состояния, были рассмотрены формы осколочных изотопов в атмосферных выпадениях (М. И. Жилкина, Л. И. Геденов, А. Г. Трусов).

Обсуждены реальные возможности взаимодействия искусственных радиоизотопов, попавших в морскую воду, с растворенным в ней органическим веществом. В. П. Парчевский и Ю. М. Сердюков (Институт биологии южных морей АН УССР) установили, что в лабораторных условиях ряд радиоизотопов связывается поверхностно-активными веществами, выделенными из морской воды. Однако Н. И. Попов в обзоре литературных данных показал, что в настоящее время не обнаружено достоверных признаков органического комплексования искусственных радиоизотопов в океане *in situ*.

Отдельное заседание симпозиума было посвящено влиянию состояния радиоактивных изотопов на поглощение их морскими гидробионтами. На большом оригинальном литературном материале А. Я. Зесенко (Институт биологии южных морей АН УССР) продемонстрировал исключительно высокую восприимчивость живых организмов к формам и состоянию химических элементов и их изотопов при концентрировании из воды. Г. Г. Поликарпов, В. Г. Цыцугина и А. В. Токарева (Институт биологии южных морей АН УССР) показали, что локализация, например, Y^{91} в различных компонентах клетки зависит от «старения» радиоизотопа в растворе.

Установлена связь между состоянием радиоизотопов и их поглощением как зоопланктоном (В. Н. Иванов,

Институт биологии южных морей АН УССР), так и высшими водорослями (Н. И. Буйнов, Полярный научно-исследовательский и проектный институт морского рыбного хозяйства и океанографии).

По всем докладам состоялись оживленные дискуссии. Материалы симпозиума предполагается опубликовать отдельным изданием.

А. Г. ТРУСОВ

Симпозиум по нейтронной дозиметрии для радиологической защиты

Симпозиум, организованный МАГАТЭ, проходил в Вене с 11 по 15 декабря 1972 г. В его работе приняли участие 145 специалистов из 30 стран и девяти международных организаций. Заслушано 63 доклада и несколько кратких сообщений.

Спектрам нейтронов и глубинным распределениям дозы уделено большое внимание как ключевой информации при установлении радиационного риска, калибровке приборов, интерпретации результатов измерений полей излучений и при критическом сравнении различных методов и приборов дозиметрии. В этой связи получены новые результаты об энергетических спектрах нейтронов от $Ra - Be$, $Am - Be$, $Pu - Be$ источников в диапазоне $90 \text{ кэВ} - 11 \text{ МэВ}$ (Х. Кляге и др., ФРГ). С помощью спектрометра, созданного Р. Мейди и Ф. Ватерманом (США), измерены энергетические распределения нейтронов, образующихся при бомбардировке бериллиевой мишени дейтонами с энергией 447 МэВ и протонами с энергией 724 МэВ . Экспериментальные результаты, в частности, позволяют установить степень достоверности данных расчетов, получаемых с помощью метода Монте-Карло. Несколько интересных сообщений было сделано об энергетических распределениях нейтронов за защитой ядерно-физических установок. Спектры изучали в зависимости от композиции защиты, состава материала и источника излучений. Так, в докладе В. Е. Алейникова и др. (ОИЯИ) представлены энергетические распределения нейтронов в диапазоне $10^{-2} - 10^9 \text{ эВ}$ за защитой синхроциклотрона и вблизи синхротрона ОИЯИ. Результаты измерений показали, что спектры нейтронов зависят не столько от энергии ускоренных протонов, сколько от конфигурации и конструкции защиты. Вследствие этого за сплошной бетонной защитой синхроциклотрона на энергию протонов 660 МэВ вклад релятивистских нейтронов составляет около 80% от суммарной эквивалентной дозы, в то время как вблизи синхротрона на энергию протонов 10 ГэВ в области «полутени», создаваемой железным ярмом ускорителя и оборудованием, этот вклад равен $\sim 20\%$ от суммарной эквивалентной дозы.

Из сообщений о глубинных распределениях дозы в тканеэквивалентных фантомах следует отметить доклад Г. М. Обатурова, представленный И. В. Филошкиным (СССР). Эти данные хорошо дополняют аналогичные результаты, опубликованные В. Снайдером в 1970 г.

Значительный интерес и оживленную дискуссию вызвало предложение, сделанное Г. Стивенсоном от имени группы авторов, о стандартизации коэффициента перехода от потока к эквивалентной дозе при общем облучении тела нейтронами. Они рекомендуют за стандартное значение принимать эквивалентную дозу, которая передается на поверхность фантома при его двухстороннем облучении единичным потоком моноэнергетических нейтронов. Основанием для такого предложения явились последние рекомендации МКРЕ и МКРЗ,

руководствуясь которыми можно получить для одного и того же поля излучения различные величины эквивалентных доз, и чрезвычайная трудность определения радиационного риска через максимальную эквивалентную дозу в фантоме за длительное время, когда излучение имеет сложное пространственно-энергетическое распределение. Анализируя известные данные расчетов распределения эквивалентной дозы по глубине фантома на единичный поток моноэнергетических нейтронов в диапазоне энергий $10^{-2} - 10^{12} \text{ эВ}$, авторы рекомендуют числовые значения коэффициентов перехода от потока нейтронов к эквивалентной дозе для диапазона энергий от тепловой до 400 ГэВ .

Наиболее распространенным методом дозиметрии нейтронов в широком энергетическом диапазоне в оперативных целях по-прежнему остается метод, основанный на замедлении нейтронов с дальнейшей регистрацией медленных и тепловых нейтронов. Несколько типов приборов, работающих по этому принципу, было представлено в докладах.

О современных методах и приборах дозиметрического контроля смешанного γ -нейтронного излучения сообщил в обзорном докладе М. Зельчинский (Польша). В частности, он подробно остановился на методах измерения эквивалентной дозы с помощью детекторов, чувствительных к ЛПЭ; рассмотрены преимущества, недостатки и область их применения.

Индивидуальной дозиметрии нейтронов было посвящено около трети докладов. Из сообщений следует, что значительные усилия в настоящее время направлены на внедрение в практику индивидуального контроля методов, основанных на счете радиационных повреждений в пленках или использовании пары детекторов LiF^6 и LiF^7 . Однако дороговизна и некоторые несовершенства дозиметров сдерживают их широкое использование. Поэтому для индивидуальной дозиметрии нейтронов в большинстве случаев по-прежнему используется счет треков протонов отдачи в ядерной эмульсии (П. Кришнамурти, Индия). Неудовлетворительное состояние индивидуальной дозиметрии привело к созданию в США постоянно действующей группы, в которую входят представители 10 различных лабораторий, заинтересованных в решении проблемы. Председатель группы Д. Хенкин сообщил на симпозиуме о некоторых итогах и планах работы группы. В случае ядерной аварии наиболее надежные результаты при установлении дозы нейтронов дает сочетание двух методов: восстановление спектра нейтронов по показаниям активационных детекторов и измерение радиоактивности натрия в крови. К такому выводу пришли участники симпозиума в ходе обсуждения докладов, посвященных этой проблеме.

Несколько докладов содержали результаты сравнения различных методов и средств дозиметрического контроля. Так, Х. Сегуин (Люксембург) в результате сравнения показаний дозиметров индивидуального контроля быстрых нейтронов из различных лабораторий получил среднее отклонение показаний от эталонных значений