

Несколько докладов было посвящено теоретическим вопросам ядерной геофизики. В обзорном докладе Д. А. Кожевникова (СССР) рассмотрено пространственно-энергетическое и временное распределения нейтронов и γ -квантов в среде заданного состава и геометрии при заданном пространственном, энергетическом и временном распределении источников. Результаты численных расчетов нестационарных нейтронных полей в горных породах методом статистических испытаний (Монте-Карло) представлены в докладе С. А. Денисова и др. (СССР). Р. Л. Колдуэлл и др. (США) рассмотрели теоретические и экспериментальные модели для изучения влияния параметров скважин и свойств горных пород при измерениях времени жизни тепловых нейтронов.

Довольно широко представлены работы по применению рентгено-радиометрического метода в промышленности и геофизике при исследовании состава сталей, цемента, газов, водных суспензий, определении золы угля на конвейере, для решения некоторых технических задач (почтовой сортировки, измерения толщины гальванических покрытий) и т. д. Общие вопросы рентгено-радиометрического метода рассмотрены в обзорном докладе Дж. Ротариу (США). Сообщено о разработке источников рентгеновских лучей для рентгеновского флюоресцентного анализа. Большой выход рентгеновских лучей $K - \alpha$ был измерен для углерода, титана, железа и меди. Предполагается, что этот метод найдет широкое применение при аналитических определениях состава, измерениях плотности и толщины. Описан узкополосный рентгеновский детектор золота с источником ^{133}Xe активностью 20 $\mu\text{Ки}$. Гамма-лучи источника ($E = 0,08 \text{ МэВ}$) возбуждают характеристическое рентгеновское излучение золота в предметах, содержащих его на поверхности.

В докладе И. Неводничанского (Польша) сообщены результаты применения рентгеновского метода непосредственно на шахтах для определения содержания меди в рудах. Анализ оловянных и медных руд с помощью портативного рентгеновского флюоресцент-

ного анализатора описан в докладе А. Дарнлея и К. Лими (Великобритания). Чувствительность метода составляет 0,05% (по олову) и 0,25% (по меди). Отмечается, что ошибки, связанные с разнообразием размеров зерен, вкраплений и частиц вмещающей породы, могут быть значительно уменьшены тщательным отбором образцов или их измельчением до частиц с радиусом менее 50 $\mu\text{м}$.

Ф. Дадд и Г. Друллард (США) привели описание системы для измерения плотности урановых руд с автоматической интерпретацией результатов измерений на электронно-вычислительной машине. Результаты измерений двумя различными зондами ($\gamma - \gamma$ метод) вместе с данными о диаметре скважины и параметрами калибровки записываются на перфокартах, которые вводятся в ЦЭВМ для автоматической интерпретации плотности, пористости и влажности с последующей корреляцией.

После окончания работы симпозиума советская делегация посетила центр ядерных исследований Шверк.

В Кракове члены советской делегации с интересом ознакомились с работами в области ядерной геофизики, проводимыми в Институте ядерной техники Горнометаллургической академии. В Кракове же состоялось организованное МАГАТЭ экспертное совещание по использованию радиоизотопов в разведке и разработке природных ресурсов. В совещании участвовало 25 специалистов от 10 стран.

Материалы симпозиума и экспертного совещания будут опубликованы.

Подытоживая результаты работы симпозиума и совещания экспертов, можно отметить, что применение радиоизотопных приборов в промышленности и геофизике уделяется большое внимание во многих странах.

Очередной симпозиум по ядерной геофизике предполагается провести в СССР в 1968 г.

Ф. А. АЛЕКСЕЕВ, Д. А. КОЖЕВНИКОВ,
Р. А. РЕЗВАНОВ, А. И. ХОЛИН

Совещание по вопросам фиксации радиоактивных отходов

В декабре 1965 г. в Дубне (СССР) состоялось совещание в рамках МАГАТЭ «Физические и химические свойства материалов, пригодных для использования при захоронении радиоактивных отходов». В работе совещания участвовали представители Бельгии, Великобритании, Индии, СССР, США, Франции, ФРГ, ЧССР и Японии.

Повесткой дня совещания предусматривалось обсуждение свойства твердых препаратов, пригодных для включения отходов различной удельной активности: низкой (меньше 10^{-4} Ки/л), средней (от 10^{-4} до 10 Ки/л) и высокой (больше 10 Ки/л).

Однако в ходе дискуссии рассматриваемые твердые препараты делились по существу только на две категории: пригодные для включения отходов с удельной активностью ниже 1 Ки/л и выше 1 Ки/л . Для последних характерен саморазогрев теплом радиоактивного распада, особенно интенсивный при удельной активности 10 Ки/л и более.

Препараты для отходов с удельной активностью менее 1 Ки/л

Цементы. Важными преимуществами связывания радиоактивных отходов цементами является отсутствие необходимости нагрева, газовых выбросов, а следовательно, и систем улавливания аэрозолей. Эксперты, однако, не рекомендовали применять этот метод к высокоактивным отходам по следующим соображениям: 1) объем отходов увеличивается в 1,2—2,5 раза; 2) радиоактивные вещества фиксируются недостаточно надежно; скорости их выщелачивания достигают $10^{-1} - 10^{-2} \text{ г/см}^2 \cdot \text{сутки}$ и незначительно снижаются введением таких добавок, как вермикулит или водоотталкивающие компоненты; 3) хранение цементных блоков с удельной активностью более 10^{-6} Ки/л невозможно без надежной гидроизоляции; 4) низкая радиационная стойкость цемента делает

цементирования непригодным для удельной активности отходов выше 10^{-2} кюри/л.

Связывание радиоактивных веществ цементами может применяться только на установках для относительно небольших объемов жидких отходов (несколько десятков или сотен кубических метров в год), имеющих низкую активность. Организация пункта захоронения в этом случае не требует сложного оборудования и доступна любой стране и практически в любом месте.

Битумы, асфальты. Установки по связыванию радиоактивных отходов битумами функционируют в Бельгии, Франции, Великобритании, США и Индии. Скорость вымывания радиоактивных изотопов из чистых битумов и битумов с различными наполнителями колеблется от 10^{-4} до 10^{-6} г/см²·сутки. Более устойчивые препараты характерны для высокотемпературных битумов.

Радиационная стойкость битумов изучается только в СССР и США. Работами советских исследователей показано, что при поглощенных дозах 10^8 рад и более наблюдается выделение газообразных продуктов радиолиза. В США при этих же дозах отмечено увеличение объема битума на 30%. Эксперты пришли к выводу о пригодности битума для связывания отходов с удельной активностью ниже 1 кюри/л.

Несмотря на то, что в программу совещания вопросы технологии получения тех или иных препаратов не входили, им было уделено достаточно много внимания. В Моде (Бельгия) в течение двух лет работает установка производительностью 50 000 м³/год по битумиро-

ванию радиоактивных отходов. Предварительно расплавленный битум подается с помощью архимедова винта в аппарат, обогреваемый трубчатыми электронагревателями, где производится смешение с радиоактивным шламом. Пары очищаются на электростатическом фильтре главным образом от капель жидкости и затем сбрасываются. На битумирование подаются шламы, получаемые на станции переработки жидких отходов обычными методами соосаждения. Для более полного удаления воды из осадков они перед фильтрацией часто подвергаются предварительному замораживанию.

Во Франции принят двухстадийный процесс. На битумирование также подается пульпа, полученная после обработки жидких радиоактивных отходов. После отделения основной массы воды на барабанных вакуумных фильтрах пульпа подается в обогреваемый шнековый аппарат, где и производится смешение ее с битумом при температуре 130°С. Получаемый препарат с содержанием остаточной влажности 6% передается во второй аппарат, где при 150°С происходит полное высушивание. Производительность установки, действующей в Маркуле, составляет от 200 до 500 л/ч.

В США для битумирования отходов применяется аппарат, действующий на принципе пленочного испарителя. Пульпа или раствор подается в подогреваемый аппарат одновременно с битумом. Аппарат снабжен мешалкой допастного типа, с помощью которой разбрызгивается вся масса. За счет этого на стенках аппарата все время создается тонкая пленка, где и происхо-



Во время совещания.

дит интенсивное испарение воды. Специалисты США считают, что такая установка наиболее экономична благодаря хорошему использованию тепла. Работа пока проводится на имитаторах.

Английская установка в Харуэлле ничем не отличается от установки, используемой в Моле.

Вопросы борьбы с аэрозолями, пожалуй, лучше всего решены на французской установке, где благодаря разделению процесса на две стадии не происходит бурного испарения воды, а следовательно, и уноса капель активных растворов с парами воды.

Совещание рекомендовало применять битумирование для отходов средней удельной активности. Дальнейшее усовершенствование должно идти по пути поиска различных добавок для улучшения фиксации активности в битумах и повышения их радиационной стойкости, определения максимально возможного уровня излучения без резкого ухудшения фиксирующих свойств битумов и, наконец, исследования влияния состава битума на свойства получаемых препаратов.

Препараты для отходов с удельной активностью более 1 кюри/л

Участники совещания были единодушны в мнении, что наилучшим препаратом для захоронения высокоактивных отходов является стекло. В США все еще рассматривается возможность захоронения кальцинированных препаратов, однако низкая химическая стойкость вынуждает в этом случае производить захоронение в оболочках, а малая теплопроводность материала усложняет и удорожает систему хранения.

На совещании были рассмотрены два вида стекол — силикатные и фосфатные. Первые обладают относительно высокой удерживающей способностью, снижающейся с ростом сухого остатка радиоактивных отходов. Максимальной устойчивостью обладают канадские стекла, содержащие до 5% сухого остатка и до 80% кремнезема. За ними идут французские стекла, содержащие до 15% сухого остатка и около 70% кремнезема. Скорость выщелачивания радиоактивных изотопов в этом случае составляет 10^{-7} г/см²·сутки. Для стекол, содержащих 35—40% сухого остатка, она возрастает до 10^{-5} — 10^{-6} г/см²·сутки. Во всех случаях скорость выщелачивания в динамических условиях выше, чем в статических. Заметной разницы в скорости выщелачивания в морской и дистиллированной воде не наблюдалось.

Установлено, что для плавленных радиоактивных препаратов справедливы те же закономерности, что и для обычных стекол. Химическая устойчивость препаратов увеличивается по мере повышения в них содержания окиси кремния и снижения доли щелочных элементов. Обжиг препаратов при температурах, не приводящих к их кристаллизации, как правило, повышает их химическую стойкость. Это можно объяснить улетучиванием щелочных компонентов из наружных слоев блока.

По данным английских и французских специалистов, при поглощенной дозе 10^{11} рад, полученной за короткий промежуток времени (до 200 ч), существенных изменений свойств силикатных стекол не наблюдается. Работами советских ученых показано, что при длительном облучении происходит радиационно-химическое разрушение препарата. Даже при удельной активности 5 к/л заметно снижается химическая стойкость стекол и увеличивается скорость выщелачивания радиоактивных изотопов. Показано также, что повышенные температуры замедляют радиационно-химическое разрушение стекол, но зато увеличивают их кристаллизацию.

Фосфатные стекла привлекают внимание ученых всех стран, работающих в этой области. В первую очередь это объясняется более низкой температурой плавления, что снижает требования к материалу тигля, а также возможностью включения в стекло отходов, содержащих молибден (Франция, Великобритания, США) и до 23% сульфатов (США), что очень трудно осуществить для силикатных стекол. Химическая стойкость фосфатных стекол, по данным специалистов Франции, Великобритании и США, на порядок ниже, чем у силикатных (10^{-4} — 10^{-5} г/см²·сутки). Однако, учитывая, что работы последних лет по остекловыванию, проводимые в Великобритании и США, предусматривают захоронение готовых препаратов в том же тигле, в котором проводился процесс, этот фактор не будет иметь большого значения.

Совещание признало, что в настоящее время наиболее безопасными формами для захоронения высокоактивных отходов являются фосфатные и силикатные стеклообразные материалы. В странах, имеющих большие сухие геологические структуры, таких, как США, захоронение высокоактивных отходов в виде остеклованных препаратов, кроме того, может рассматриваться и как более экономичный метод по сравнению с хранением жидких отходов в стальных емкостях с охлаждением и постоянным контролем.

Совещание рекомендовало: а) продолжать исследования свойств стеклообразных материалов и условий их захоронения; б) вести поиски более простой технологии отверждения отходов; в) изучать плавленные базальты; г) обсудить в ближайшее время способы захоронения и конструкции могильников для отвержденных высокоактивных отходов.

Кроме того, по предложению советской делегации совещание признало необходимость установления единой международной методики оценки химической, термической и радиационной устойчивости твердых препаратов. Для этого все страны-участницы должны представить в МАГАТЭ свои предложения, которые будут рассмотрены на совещании соответствующих экспертов.

Проведенное совещание показало, что такие встречи по узкому вопросу очень полезны, они позволяют по деловому обсудить рассматриваемую проблему и поэтому должны проводиться регулярно.

Б. С. КОЛЫЧЕВ

Семинар на ВДНХ СССР

В павильоне «Атомная энергия» ВДНХ в феврале 1966 г. был проведен семинар по обмену опытом работы на γ -терапевтическом аппарате «Луч-1» с источником излучения из Co^{60} активностью 4000 кюри, предназна-

ченного для статического облучения злокачественных опухолей. В работе семинара приняли участие врачи-радиологи из различных городов страны и представители других организаций.