

шей способности (микротермовесов МТВ-10-8<sup>г</sup> и пр.), синтезу сульфатных комплексов уранила с двухвалентными металлами, молибдато- и вольфраматоуранилатов щелочных металлов, перброматов уранила, изучению их строения и свойств.

Большая часть докладов, представленных на секции «Поведение урана в расплавах и твердофазные реакции», касалась более детального изучения химических процессов, протекающих в галогенидных расплавах урана и щелочных металлов. Рассмотрены вопросы комплексобразования, диффузии урана в галогенидных расплавах, исследованы физико-химические условия образования твердых фаз на основе фосфатов урана и рутения в расплавах хлоридов щелочных металлов, кинетика его выделения из расплавов методом газового фторирования, приведены результаты летучести  $UCl_4$  и  $ThCl_4$  из их расплавленных смесей с хлоридами щелочных металлов. Уделено внимание осаждению урана из фторидных расплавов окислами Са или Al. Даны теоретические предпосылки электрорафинирования урана в расплавленных галогенидах на жидкометаллических электродах. Приведены результаты изучения реакций термического разложения и синтеза оксидов урана, обсуждены новые данные о пиролизе гексафторида урана, влиянии внешнего силового поля на реакции разложения, восстановления и конверсии фторидов урана. Сообщалось об исследовании сложных тернарных силицидов урана с переходными металлами, смешанных халькогенидов урана и лантаноидов, являющихся новыми магнитными и полупроводниковыми материалами.

На конференции были заслушаны также доклады о методах определения урана, примесей в нем и качества ядерного топлива. В докладе В. К. Маркова отмечена возможность, пределы применения и погрешности гравиметрических, электрохимических, химико-спектральных, атомно-абсорбционных, масс- и гамма-спектрометрических,

нейтронотрических и рентгенофлуоресцентных методов анализа. Для определения урана в отработавшем топливе предложены объемные, масс-спектрометрические, спектрофотометрические и другие методы, допускающие погрешность анализа  $\sim 0,3\%$ . В других докладах показаны возможности использования дистанционного автоматического или неинвазивного методов определения урана с меньшей погрешностью  $\sim 5-10\%$ , но более удобных при контроле производства чистых соединений урана. Представлен был также автоматический экспрессный метод определения нестехиометричности ядерного топлива методом ЭДС высокотемпературной твердоэлектродной гальванической ячейки, позволяющий определять соотношение кислорода к урану с высокой точностью, недостижимой другими методами.

В связи с возможными выбросами урана в виде твердых и жидких отходов в процессе ядерно-энергетического топливного цикла были рассмотрены вопросы охраны окружающей среды. В этом аспекте интересным был доклад Д. И. Гусева, в котором приведены данные о содержании урана в различных объектах внешней среды, в том числе и тканях человека, показано влияние урана на водные организмы при длительном поступлении его в водоемы. Рассмотрены пути поступления урана в организм человека. В одном из докладов приведены экологические параметры контроля за уровнем содержания урана в гидросфере и биохимические параметры для природных водоемов.

На конференции обращалось внимание на развитие исследований по квантовой химии, необходимых для научного обоснования синтеза соединений урана с необычной валентностью этого элемента, подбора лигандов, стабилизирующих координационные соединения урана с различной степенью окисления его атомов.

Участники конференции отметили ее высокий научный уровень.

СЕМЕНОВА Э. А.

## Симпозиум по научным основам обращения с радиоактивными отходами

Симпозиум состоялся в ноябре — декабре 1978 г. в Бостоне США. На нем было представлено 77 докладов. Специалисты, занимающиеся обращением с жидкими высокоактивными отходами, придерживаются точки зрения, что перед окончательным захоронением отходы должны быть включены в твердые устойчивые материалы. В Великобритании, Бельгии, Франции и ФРГ наиболее разработана технология отверждения отходов с получением борсиликатных стекол. Во Франции разработан и впервые осуществлен в 1978 г. двухстадийный процесс остекловывания на установке АVM в Маркуле; в ФРГ и Бельгии планируют построить подобные установки. В этих странах дорабатывается процесс включения стеклогранул в металлические матрицы. В Великобритании продолжают разрабатывать кальцинацию и последующее остекловывание в одном аппарате-тигле.

Во многих докладах обсуждалась идея создания «барьеров», которые призваны обеспечить более высокую гарантию защиты биосферы от загрязнения по сравнению с одним стеклом. Первый барьер — твердая химически и термически устойчивая композиция (ядро), включающая высокоактивные отходы. В качестве материала внутреннего ядра рассматривается спеченный керамический суперкальцинат и стеклянные гранулы. Второй барьер — покрытие ядра слоем пироуглерода и окиси алюминия, третий — металлическая матрица (Pb + Sn; Cu; Ti и др.), обеспечивающая высокую теплопроводность, сопротивление коррозии и механическим воздействиям. Роль после-

дующих барьеров могут играть контейнер и, наконец, подходящая геологическая среда.

Рассматривается включение высокоактивных отходов в минералы, известные стабильностью в течение миллионов лет. Сообщалось о фиксации радионуклидов титанатным (неорганическим) понитом с последующим горячим изостатическим прессованием (Швеция, США и др.). Исследуется включение отходов в стеклокерамику на основе фрезноита  $Ba_2TiSi_2O_8$  (ФРГ), в синтетический камень «синрок», содержащий силикатные продукты и титанаты, такие, как  $BaAl_2Ti_6O_{16}$ ,  $ZrO_2$  — Ca, Ti,  $CaTiO_3$ ,  $BaAl_2Si_2O_8$ ,  $KAlSiO_4$ ,  $KAlSi_2O_6$  (Австралия), в поллудит (США и др.).

Во многих докладах приводились свойства отвержденных материалов. Так, в Институте Хана-Майтнер (Зап. Берлин) исследовали поведение He, образующегося в стеклах в результате  $\alpha$ -распада содержащихся актиноидов (для имитации  $\alpha$ -распада применяли ядерную реакцию  $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ ).

Х. Хили и др. (США) используют сканирующую электронную микроскопию для исследования микроструктуры отвержденных отходов, гелиевую пикнометрию — для определения доли связанных с поверхностью пор в керамике, ионоволучевой спектрохимический анализатор — для изучения процесса выщелачиваемости — определение содержания Si, Al, щелочных, щелочно-земельных и переходных элементов Fe, Zr и Mo (В. Хоусер и др., США).

Подробно проанализирована возможность получения более достоверных данных по кинетике перехода радио-



активности в окружающую среду из отверженных отходов при проведении сравнительно кратковременных опытов (США). Разрабатывается отверждение наиболее долгоживущего и одного из наиболее летучих радиоизотопов  $^{129}\text{I}$ : до 18% иода в виде иодата бария предложено включать в цемент. Считают, что постоянная изоляция на огромное время, которое требуется для  $^{129}\text{I}$ , гарантирована быть не может, но комбинация изоляции и разбавления будет препятствовать опасному влиянию на нынешнее и будущие поколения. Ведется поиск природных аналогов для определения возможных изменений в отверженных отходах в период длительного хранения при ограниченном времени лабораторных экспериментов, рассмотрена стабильность природных стекол (древнейшие вулканические стекла имеют возраст 40 млн. лет, но большинство из них много молосе), определены скорости гидратации для вулканических стекол в зависимости от состава, температуры и климата.

В докладе Г. Мак-Карти (США) рассматривается целесообразность гидротермального контакта отверженных отходов с породами, в результате которого некоторые радионуклиды (а может быть и большинство) провзаимодействуют с алюмосиликатными породами (но не с соляными формациями), что может привести к образованию новых термодинамически стабильных и малорастворимых минералоподобных фаз.

В США исследуется взаимодействие остеклованных имитирующих отходов с породами: система в течение месяца поддерживалась в нагретом состоянии, после чего проводили рентгеноструктурный и электронно-микрографический анализы по 17 элементам. Подробно обсуждается соляная формация как среда для захоронения отверженных отходов. Отмечается, что хотя эти формации содержат в среднем менее 1% воды, локально ее содержание может быть выше в 5 раз и более, под воздействием различных сил жидкость в солях мигрирует со скоростью от нескольких миллиметров до 1 м/год. К тому же раствор хлоридов может собираться около контейнеров с отходами и вызывать их коррозию (США).

На симпозиуме обсуждалось радиационное воздействие на природную и искусственную каменную соль и гидротермальное воздействие солевого раствора на стекла при 350 °C. В качестве геосреды для вечного захоронения отверженных отходов предлагают рассматривать также туфы (материал имеет высокие сорбционные свойства за счет высокого до 70% содержания цеолитов; клинопти-

лолит — основной цеолитовый минерал в глубоководных туфах, устойчивый до 700 °C) и  $\text{CaSO}_4$  (малая растворимость, высокая теплопроводность, незначительные включения жидкости характеризуют этот материал как среду, более пригодную для размещения отходов, чем каменная соль). Отмечалась важность организации «банка» экспериментальных результатов для моделей, которые позволят предсказать поведение, в том числе миграцию, радионуклидов в течение длительного периода времени, а также глубину экстраполяции лабораторных исследований. Интересные результаты в этом плане могут дать наблюдения, проводимые на территории природного ядерного реактора в Окло.

Рассмотрению термодинамики процессов миграции радионуклидов в геосфере и исследованию сорбционных свойств глинистых и скальных пород были посвящены доклады специалистов США, Швеции и ФРГ. Закачка бентонита в разрушенные скальные породы является эффективным средством сокращения миграции радионуклидов от хранилища отходов в окружающую среду (Швеция).

На симпозиуме сообщалось, что химическое взаимодействие между отходами и близлежащей геосферой может играть определяющую роль в их миграции. Так, коррозия металлического контейнера может привести к переходу в грунтовую воду ионов поливалентных металлов в количестве, достаточном для ингибирования ионообменного удержания радионуклидов близлежащими минералами, сорбция на силикатных материалах — к разделению и созданию зон повышенной концентрации определенных радионуклидов внутри хранилища. Необходимое время жизни канистры — одного из барьеров против попадания радионуклидов в биосферу будет определяться либо системой анализов степени риска, либо законодательными требованиями (США). Предусматриваются канистры для отверженных отходов — из титана (Швеция), для отработавших твэлов — медные, из  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (Швеция), из стеклокерамического  $\beta$ -сподумена (США). Интересны материалы по коррозии 11 образцов материалов баллонов для длительного хранения  $^{85}\text{Kr}$ , по цементам и другим низко-температурным связующим для отверждения радиоактивных отходов, по разработке математических моделей оценки основных аспектов обращения с высокоактивными отходами.

СПИЦЫН В. И., ПОЛЯКОВ А. С.

## Совещание экспертов о влиянии ядерной энергетики на окружающую среду

В работе совещания, состоявшегося в ноябре 1978 г. в Женеве (Швейцария), участвовали специалисты Австралии, Австрии, Великобритании, Аргентины, Испании, Канады, Китая, Польши, СССР, Турции, Франции, Швейцарии, Швеции и Японии, а также представители международных организаций: ЮНЭП, МАГАТЭ, МКРЗ, НКДР, ВОЗ, ЕЭК и Всемирного церковного совета. Председателем совещания был видный ученый Швеции директор института радиационной защиты Б. Линделл.

На совещании обсуждался проект доклада «Влияние ядерной энергетики на окружающую среду», подготовленный специалистами во главе с Эль-Хиннави, председателем энергетической программы и руководителем совета по состоянию окружающей среды при ЮНЭП. Это совещание явилось одним из серии совещаний по оценке влияния различных источников получения энергии (органическое, ядерное топливо и др.) на человека и окружающую среду.

В проекте доклада приведены данные о современном состоянии и прогнозных оценках развития традиционной и ядерной энергетики в мире до 2000 г., дозовых нагруз-

ках за счет различного вида радиационного воздействия на человека в США, Великобритании и Канаде, типах ядерных реакторов и их использовании до 2000 г. Особое внимание уделено источникам и путям поступления радиоактивных и химических веществ, тепла в окружающую среду, возможным воздействиям на человека и окружающую среду, дозовым нагрузкам на человека при осуществлении всех операций ядерного топливного цикла, от добычи урановой руды до переработки отработавшего ядерного топлива. Рассмотрены важнейшие в ядерном топливном цикле операции захоронения высокоактивных отходов и меры при демонтаже АЭС после ресурсной их отработки.

По оценкам МАГАТЭ, которые совпадают с данными других организаций, ядерная энергетика в 1985 г. будет обеспечивать 11—13%, в 2000 г. около 17—20% общей потребности электроэнергии мира. При этом установленная мощность АЭС составит в 1985 г. 350—400 ГВт (эл.), в 2000 г. 1500—1800 ГВт (эл.). Мировое производство урана в 1972—1975 гг. составило 19—20 тыс. т/год,