

ЛЕКЦИЯ 4

3. ПРИКЛАДНАЯ РАДИОХИМИЯ

3.1. Получение и выделение радиоактивных изотопов

Известны три основных пути получения радиоактивных изотопов: переработка руд урана и тория, в которых в результате радиоактивного распада ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th образуются радиоактивные изотопы элементов с порядковыми номерами от 81 до 91; проведение ядерных реакций на различного рода установках с последующим извлечением изотопов из облученных мишеней; извлечение изотопов из продуктов деления урана. Кроме того, в природе содержится ряд долгоживущих радиоактивных изотопов химических элементов, способы отделения которых не разработаны.

При радиоактивном распаде естественных радиоактивных изотопов дочерние радиоактивные изотопы находятся в смеси с материнским изотопом и в большинстве случаев с рядом других радиоактивных изотопов. Все указанные радиоактивные изотопы распределены в большой массе неактивного вещества, например в рудах урана и тория.

При облучении мишени ядерными частицами радиоактивные изотопы, получающиеся в результате ядерной реакции, также распределены среди большой массы неактивных атомов. Кроме того, в мишени образуются радиоактивные примеси.

При делении ядра урана образуется сложная смесь радиоактивных изотопов ряда химических элементов. В связи с этим встает задача концентрирования, отделения и очистки радиоактивных изотопов.

Если радиоактивный изотоп получен по ядерной реакции, идущей без изменения заряда ядра ($n, \gamma; n, 2n; n, n; X, X; \gamma, n; d, {}^3\text{H}; d, p$; изомерный переход), то отделение его от материала мишени может основываться лишь на эффекте отдачи, в результате которой при соответствующем подборе мишени часть атомов радиоактивного изотопа получается в отделимой от материнского вещества химической форме (иное соединение, иное валентное состояние). В указанных выше реакциях необходима также очистка радиоактивного изотопа от радиоактивных примесей.

В случае образования радиоактивного изотопа в мишени по ядерной реакции, протекающей с изменением заряда ядра ($n, p; n, \alpha; p, n; p, \gamma; d, n; d, 2n; \alpha, p; \alpha, n; \alpha$ - и β -распад и т. д.), его отделение не только возможно, но и необходимо. При этом в ряде случаев отделение можно осуществить без добавления изотопного носителя и получить радиоактивный изотоп без носителя. В других случаях отделение проводится с разбавлением радиоактивного изотопа нерадиоактивным изотопом (изотопным носителем) данного элемента, при этом может быть получен радиоактивный изотоп с носителем, имеющий удельную радиоактивность, которая зависит от количества введенного носителя. Так же как и в первом случае, процесс выделения связан с очисткой от радиоактивных примесей.

Если радиоактивный изотоп получается в результате деления ядер или процесса глубокого расщепления, то его порядковый номер значительно отличается от порядкового номера элемента мишени, и, кроме того, он получается в сложной смеси радиоактивных изотопов. В этом случае выделение, как правило, проводится в два приема: разделение смеси радиоактивных изотопов на группы сходных элементов и далее разделение группы на отдельные компоненты смеси.

Процесс отделения радиоактивного изотопа от материала мишени называется концентрированием и характеризуется коэффициентом обогащения, который представляет собой отношение радиоактивности единицы массы выделенного соединения данного элемента к радиоактивности единицы массы облученной мишени.

Основными методами выделения и очистки радиоактивных изотопов являются: экстракция, соосаждение, адсорбция, хроматография, электрохимическое и электролитическое выделение, отгонка, выщелачивание.

3.3. Радиоактивные отходы (РАО)

3.3.1. Образование и классификация радиоактивных отходов

РАО образуются при эксплуатации и выводе из эксплуатации объектов ядерного топливного цикла, атомных электростанций, судов с ядерными энергетическими установками и иными радиационными источниками; при использовании радиоактивных веществ в

производственных, научных организациях и медицине; при реабилитации территорий, загрязненных радиоактивными веществами, а также при радиационных авариях.

По агрегатному состоянию РАО подразделяются на жидкие, твердые и газообразные.

К жидким РАО относятся не подлежащие дальнейшему использованию любые радиоактивные жидкости, растворы органических и неорганических веществ, пульпы и др. Жидкие отходы считаются радиоактивными, если в них удельная активность радионуклидов более чем в 10 раз превышает значения уровней вмешательства (УВ), приведенных в приложении НРБ-2000 (приложение 1 настоящих Правил).

К твердым РАО относятся отработавшие свой ресурс радионуклидные источники, не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование, биологические объекты, загрязненные объекты внешней среды, отвержденные жидкие отходы, в которых удельная активность радионуклидов превышает значения минимально значимой удельной активности (МЗУА), приведенной в приложении НРБ-2000.

При известном радионуклидном составе в отходах они считаются радиоактивными, если сумма отношений удельной активности радионуклидов к их минимально значимой активности превышает 1.

При неизвестном радионуклидном составе твердые отходы считаются радиоактивными, если их удельная активность больше:

- 100 кБк/кг - для бета - излучающих радионуклидов;
- 10 кБк/кг - для источников альфа - излучающих радионуклидов;
- 1 кБк/кг - для трансурановых радионуклидов.

Гамма - излучающие отходы неизвестного состава считаются радиоактивными, если мощность поглощенной дозы у их поверхности (0,1 м) превышает 0,001 мГр/ч над фоном при соблюдении условий измерения в соответствии с утвержденными методиками.

Жидкие и твердые РАО подразделяются по удельной активности на три категории (табл. 5.17). В случае, когда по приведенным характеристикам радионуклидов отходы относятся к разным категориям, для них устанавливается наиболее высокое значение категории отходов.

Т а б л и ц а 5.17. Классификация жидких и твердых радиоактивных отходов по удельной радиоактивности

Категория отходов	Удельная активность, кБк/кг		
	бета – излучающие радионуклиды	альфа - излучающие радионуклиды (кроме трансурановых)	трансурановые радионуклиды

Низкоактивные	менее $1 \cdot 10^3$	менее $1 \cdot 10^2$	менее $1 \cdot 10^1$
Среднеактивные	от $1 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^7$	от $1 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^7$	от $1 \cdot 10^1$
Среднеактивные	более $1 \cdot 10^7$	более $1 \cdot 10^6$	более $1 \cdot 10^5$

3.3.2. Основные стадии обращения с РАО:

Сбор и сортировка РАО осуществляется в местах их образования и /или переработки с учетом радиационных, физических и химических характеристик в соответствии с системой классификации отходов и с учетом методов последующего обращения с ними.

Первичная сортировка отходов включает в себя их разделение на радиоактивные и нерадиоактивные составляющие.

Сортировка первичных жидких и твердых РАО направлена на разделение отходов по различным категориям и группам для переработки по принятым технологиям и для подготовки к последующему хранению и захоронению.

Кондиционирование РАО осуществляется для повышения безопасности обращения с ними за счет уменьшения их объема и перевода в форму, удобную для транспортировки, хранения и захоронения.

Хранение РАО осуществляется отдельно для отходов разных категорий и групп в сооружении, обеспечивающем безопасную изоляцию отходов в течение всего срока хранения и возможность последующего их извлечения.

Транспортирование РАО предусматривает их безопасное перемещение между местами их образования, переработки, хранения и захоронения с использованием специальных грузоподъемных и транспортных средств.

Захоронение РАО направлено на их безопасную изоляцию от человека и окружающей его среды.

3.3.3. Требования к сбору, хранению и удалению радиоактивных отходов из организации

Сбор РАО в организации должен производиться в местах их образования отдельно от обычных отходов с учетом:

- категории отходов;
- агрегатного состояния (твердые, жидкие);
- физических и химических характеристик;
- природы (органические, неорганические);
- периода полураспада радионуклидов, находящихся в отходах (с периодом полураспада, составляющим часы, дни, месяцы, годы, десятилетия и больший период);
- взрыво- и огнеопасности;
- принятых методов переработки отходов.

РАО должны в организации по возможности переводиться в физически-, химически- и биологически инертное состояние.

Не допускается смешивание радиоактивных и нерадиоактивных отходов и РАО разных категорий с целью снижения их удельной активности.

Для сбора РАО в организации должны быть специальные сборники - контейнеры. Для первичного сбора твердых РАО могут использоваться пластиковые или бумажные мешки, которые затем загружаются в сборники - контейнеры. Мешки из полимерной пленки должны быть механически прочными, максимально устойчивыми к воздействию низких температур и иметь шнур для плотного затягивания верха мешка после его заполнения. При размещении отходов в мешках во всех случаях следует принять меры, предотвращающие возможность их механических повреждений острыми, колющими и режущими предметами. Заполнение сборников - контейнеров РАО

должно производиться под радиационным контролем в условиях, исключающих возможность их рассыпания и разлива.

Жидкие РАО должны собираться в специальные емкости. В организации, где образуются жидкие РАО, рекомендуется переводить их в твердое состояние. При малых количествах жидких РАО (менее 200л/сутки) они должны направляться на хранение или переработку в специализированные организации (СПО). В организациях, где возможно образование значительного количества жидких РАО (более 200 л/сутки), проектом должна быть предусмотрена система спецканализации. В нее не должны попадать нерадиоактивные стоки.

В процессе сбора РАО должны разделяться на горючие и негорючие. Горючие жидкие РАО собираются в отдельные емкости, отвечающие требованиям пожарной безопасности.

Запрещается сброс жидких РАО в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площади, в недра и на почву.

Короткоживущие отходы, время распада радионуклидов которых до значений ниже МЗУА составляет менее одного года, допускается временно хранить в организации без направления на захоронение с последующим обращением с ними как с нерадиоактивными отходами.

Временное хранение РАО различных категорий в организации должно осуществляться в отдельных помещениях.

Ответственный за организацию сбора, хранения и сдачу РАО назначается приказом администрации организации. Ответственное лицо ведет систематический контроль и учет за сбором, временным хранением и подготовкой к удалению РАО, образующихся в процессе работы. Указанные сведения заносятся в журнал учета РАО.

Не реже одного раза в год комиссия, назначаемая администрацией организации, проверяет правильность ведения учета количества РАО, сданных специализированной организации на захоронение, а также находящихся в организации. В случае установления потерь РАО немедленно ставятся в известность органы государственного надзора за радиационной безопасностью, а виновные должностные лица привлекаются к ответственности в установленном порядке.

3.3.4. Требования к транспортированию радиоактивных отходов

Транспортирование РАО вне организации на переработку, хранение и захоронение производится в транспортных контейнерах (транспортных упаковочных комплектах – ТУК) на специально оборудованных транспортных средствах – чаще всего автомобилях.

Транспортирование радиационных упаковок осуществляется организацией, имеющей лицензию на такой вид деятельности.

Радиационный контроль в процессе загрузки и в пути следования спецавтомобиля осуществляет дозиметрист или сопровождающее автомобиль лицо.

3.3.5. Требования к размещению и оборудованию специализированных организаций по обращению с радиоактивными отходами

Выбор площадки, проектирование, строительство, эксплуатация и вывод из эксплуатации хранилищ жидких, твердых и отвержденных РАО должны осуществляться в соответствии с действующими нормами, правилами в области радиационной безопасности и охраны окружающей природной среды.

При проектировании хранилищ РАО необходимо предусмотреть:

- технические решения и организационные меры, исключающие несанкционированный доступ к РАО;

- герметичность конструкции в отношении атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод;
- внутренний дренаж конденсата или аварийных протечек;
- раздельное размещение отходов по категориям активности и видам отходов (горючие, негорючие); для горючих отходов должны быть выделены отдельные отсеки (помещения), выполненные в соответствии с требованиями, определяемыми их категорией по пожароопасности (обеспеченность системой пожаротушения, отдельной принудительной вентиляцией с очисткой вентиляционного воздуха и др.);
- организованное адресное складирование упаковок с отходами;
- поддержание оптимальных условий хранения, исключающих преждевременное разрушение упаковок и ухудшение физических, химических и других параметров отходов;
- возможность извлечения отходов (без превышения нормативов дозовых нагрузок для персонала) и транспортирования их за пределы сооружения;
- радиационный контроль объекта;
- возможность демонтажа строительных конструкций при выводе из эксплуатации хранилища.

Для строительства СПО следует выбирать участки:

- расположенные на малонаселенных незатопаемых территориях;
- имеющие устойчивый ветровой режим;
- ограничивающие возможность распространения радиоактивных веществ за пределы промышленной площадки объекта благодаря своим топографическим, геологическим и гидрогеологическим условиям.

Площадка для вновь строящихся объектов должна отвечать требованиям строительных норм проектирования и настоящих Правил и учитывать его потенциальную радиационную, химическую и пожарную опасности для населения и окружающей среды.

Места размещения СПО должны быть оценены с точки зрения воздействия на безопасность проектируемого объекта метеорологических, гидрологических и сейсмических факторов при нормальной эксплуатации и в аварийных условиях.

Вокруг СПО устанавливается санитарно - защитная зона, которая определяется в проекте СПО.

3.3.6. Требования к переработке и кондиционированию радиоактивных отходов

Кондиционирование РАО.

Основной целью кондиционирования является снижение общего объема отходов с одновременным уменьшением возможности распространения радионуклидов при переработке, хранении, транспортировании и захоронении.

Кондиционирование жидких и твердых РАО является одной из операций по изготовлению упаковки отходов, конечной целью которых является перевод РАО в форму, пригодную для транспортирования, хранения и захоронения. Переработка газообразных РАО включает операции по очистке воздуха от радиоактивных аэрозолей и газов до уровней, установленных нормативными документами.

Методы кондиционирования РАО должны выбираться с учетом характеристики отходов, технологических и экономических показателей процесса, а также с учетом условий и продолжительности временного хранения упаковок, условий транспортирования и захоронения отходов.

При выборе способа переработки предпочтение должно быть отдано тому из методов, при котором максимально снижается риск облучения людей на всех последующих стадиях обращения с РАО.

Объем кондиционированных РАО должен сокращаться до технически и экономически обоснованного минимума. Особенно это относится к отвержденным высокоактивным отходам, где объем определяется допустимым удельным тепловыделением, условиями теплоотвода и другими условиями хранения и захоронения.

Кондиционированные РАО должны иметь твердое агрегатное состояние, характеризующееся оптимальной устойчивостью к радиационному, механическому, химическому, тепловому и биологическому воздействиям.

Кондиционированные РАО должны иметь низкие растворимость и выщелачиваемость подземными и поверхностными водами. Остаточное содержание свободной воды в отвержденных отходах должно быть минимальным, определяемым свойствами конечного продукта и технологией отверждения.

Кондиционированные РАО не должны содержать самовоспламеняющихся и взрывчатых веществ. Газообразование вследствие радиохимических, химических и биологических реакций должно быть сведено к минимуму.

Тепловыделение кондиционированных высокоактивных отходов должно ограничиваться термоустойчивостью формы отходов, а также возможностью теплоотвода при хранении и захоронении отходов.

Размещение переработанных радиоактивных отходов в специальный контейнер с последующей его герметизацией является последней операцией кондиционирования отходов.

Переработка жидких РАО. Методы переработки жидких РАО включают следующие технологические операции:

- концентрирование радионуклидов методом упарки, ионного обмена, сорбции и др.;
- отверждение концентратов методом упарки до солей, битумирования, цементирования, включения в полимеры, стекло, керамику, стеклометаллические композиции, синтетические горные породы и др.;
- частичный возврат очищенных до санитарных норм воды, веществ и материалов, образующихся при переработке жидких РАО, для повторного использования в производстве.

В некоторых случаях на подготовительной стадии целесообразно проводить фракционирование отходов, т.е. выделение одной или нескольких групп радионуклидов с целью последующей отдельной переработки.

Низкоактивные и низкосолевые жидкие РАО должны перерабатываться с использованием комбинации методов соосаждения, фильтрации, ионного обмена, сорбции и др., конечной целью которых является получение воды, пригодной для повторного использования или сброса в открытую гидросеть, и концентрата (в виде регенератов, шлам, пульп), подлежащего дальнейшей переработке.

Среднеактивные и высокосолевые жидкие РАО должны перерабатываться упаркой с получением конденсата, направляемого в схему очистки низкоактивных и низкосолевого жидких РАО, и концентрата солей, направляемого на отверждение.

Выбор метода отверждения жидких РАО определяется их радионуклидным и химическим составом, уровнем радиоактивности и количеством отходов, типом упаковки и схемой последующего обращения с РАО. Он обосновывается экономическими показателями и оценкой безопасности для всех стадий обращения, включая хранение, транспортирование и захоронение.

Высокоактивные жидкие РАО рекомендуется перерабатывать упаркой с получением конденсата, направляемого в схему очистки среднеактивных жидких РАО, и концентрата солей, направляемого на отверждение.

Переработка твердых РАО.

Методы переработки твердых РАО включают следующие технологические операции:

- уменьшение объема отходов за счет фрагментации, сжигания, прессования, дезактивации и переплавки металла и др.;
- упаковку фрагментированных и переработанных отходов;
- заключение сыпучих отходов в матрицу;
- частичный возврат очищенных до санитарных норм веществ и материалов для повторного использования в промышленности.

Очистка газообразных РАО.

Для очистки газообразных отходов от радиоактивных газов и аэрозолей должны использоваться системы газоочистки, включающие (при необходимости) аппараты мокрой очистки, фильтры, сорбционные и абсорбционные колонны. Значение допустимого воздушного выброса радиоактивных веществ для организации устанавливается на стадии проектирования, исходя из установленной квоты облучения критической группы населения, указанной в п. 3.3.5 ОСПОРБ-99, федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным осуществлять государственный санитарно - эпидемиологический надзор.

Очистка вентиляционного воздуха осуществляется отдельно от специальных систем газоочистки.

3.3.7. Требования к долговременному хранению и (или) захоронению радиоактивных отходов

Приемка на захоронение РАО.

На РАО, направляемые на захоронение, составляется паспорт. В паспорте указываются показатели, характеризующие радиационную опасность РАО:

- категория отходов (долгоживущие, короткоживущие отходы, группа по уровню активности);
- радионуклидный состав отходов;
- удельная активность отходов и суммарная активность содержимого упаковки;
- мощность дозы гамма - излучения в воздухе на расстоянии 0,1 м и 1 м от наружной поверхности упаковки;
- уровень нефиксированного поверхностного загрязнения упаковки (на дату вывоза на захоронение).

Перед отправкой на захоронение производится контроль упаковок с РАО на соответствие паспортным данным по мощности дозы и величине нефиксированного загрязнения.

Выбор способа захоронения РАО.

Твердые и отвержденные радиоактивные отходы после кондиционирования должны быть помещены в хранилища долговременного хранения и (или) захоронены в приповерхностные. Выбор способа захоронения или долговременного хранения и конструкций сооружений должен осуществляться в зависимости от физико-химических и радиационных характеристик отходов, определяющих их радиотоксичность и срок потенциальной опасности.

Долговременное хранение и захоронение кондиционированных среднеактивных отходов, содержащих радионуклиды с периодом полураспада не более 30 лет (включая Cs-137), и всех низкоактивных может осуществляться в сооружениях приповерхностного типа.

Долговременное хранение и захоронение кондиционированных средне- и высокоактивных отходов с преимущественным содержанием радионуклидов с периодом полураспада более 30 лет должно осуществляться в подземных сооружениях,

глубина которых определяется комплексом природных и экономических условий, обеспечивающих необходимый уровень радиационной безопасности.

Захоронение радионуклидных источников излучения должно производиться в СПО или в организациях, имеющих разрешение на такое захоронение, в специальных емкостях, после их извлечения из транспортных контейнеров.

Выбор мест и площадок захоронения РАО. Гидрогеологические, топографические, сейсмические, тектонические, климатические, социальные и другие условия места приповерхностного и подземного захоронения РАО должны удовлетворять комплексу нормативно – технических требований к выбору места захоронения, регламентированных специальными нормативными документами.

Площадка захоронения должна включать объекты наземного и подземного комплексов, иметь санитарно – защитную зону и зону наблюдения, а при захоронении в геологические формации – горный отвод.

Территория площадки захоронения ограждается предупредительными знаками радиационной опасности и обеспечивается охраной и другими элементами системы физической защиты.

Вокруг площадки захоронения радиоактивных отходов устанавливается санитарно - защитная зона в соответствии с п. 8.7 настоящих Правил. На границе санитарно - защитной зоны уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации СПО не должен превышать установленный предел дозы облучения населения.

Размещение зданий и сооружений на площадке захоронения должно выполняться по принципу разделения на чистую зону и зону возможного загрязнения. В зоне возможного загрязнения должны располагаться объекты наземного и подземного комплекса, где обращаются с РАО.