

Разработка методов инкапсулированных долгоживущих ядерных отходов в углеродные матрицы для их хранения и трансмутации.

Работа была выполнена в рамках МНТЦ Проекта № 2491 коллаборацией трех институтов: **ПИЯФ РАН**, [Радиевым институтом им. В.Г. Хлопина](#) и [ИВМС РАН](#). Успеху проведенной работы во многом способствовал опыт работы ОФВЭ в области химии дифталоцианиновых комплексов редкоземельных актинидных и трансурановых элементов. Получаемые металл-углеродные композиты с высокопористой структурой MeC_x (x в зависимости от технологии может меняться от 12 до 40) используются на масс-сепараторе комплекса **ИРИС** для непрерывного (on-line) получения короткоживущих нуклидов ряда элементов. Длительная эксплуатация мишеней подтвердила их высокую радиационную и термическую устойчивость. Эти свойства композитов определяют направление работы по созданию углеродных матриц для трансмутации долгоживущих ядерных отходов.

Одним из наиболее важных требований, необходимых для практического осуществления трансмутации, является создание принципиально новых, термически и радиационно стойких матриц, не содержащих в своём составе сильно активируемых нейтронами элементов и прочно удерживающих РАО как при длительном хранении, так в жёстких радиационных и термических условиях процесса трансмутации.

В ОФВЭ осуществлена разработка таких универсальных матриц и способов внедрения в них долгоживущих радионуклидов технеция, йода и трансурановых элементов (так наз. «minor actinides», в частности, америция), и проведены исследования удержания этих радионуклидов в матрице при воздействии различных факторов: температуры, воды, нейтронного и радиационного облучения и т. д.

Главным преимуществом такой углеродной матрицы по сравнению с используемыми сейчас является её универсальность, т.е. возможность использования не только для длительного хранения долгоживущих радионуклидов, но и для их трансмутации в стабильные и короткоживущие изотопы путём облучения в интенсивном нейтронном потоке ($\sim 10^{16}$ н/см²•с). Это обусловлено тем, что матрица не содержит в своём составе элементов (кроме самих подлежащих трансмутации радионуклидов), сильно активируемых нейтронами. Сечение активации углерода составляет 3,2мбарн для ¹²C и 1,2мбарн для ¹³C. В группе экзотических ядер (**ГФЭЯ**) ОФВЭ разработаны способы внедрения в углеродную матрицу радионуклидов Eu, Am, Tc и I и проведены испытания по термической, радиационной и химической устойчивости матриц.

Сравнение полученных результатов с нормами Общероссийского Стандарта показывает, что для исследования радионуклидов термическая устойчивость значительно превышает допустимую, а скорость выщелачивания радионуклидов водой на 3-4 порядка ниже требований ГОСТа.

Технология иммобилизации РАО в углеродной матрице изложенным выше способом представляется достаточно простой, исходные реагенты недороги, а при организации непрерывного циклического процесса их расход сводится к минимуму. Радиационная, термическая и химическая устойчивость таких матриц достаточно высока (в особенности для РЗЭ и ТПЭ). Матрица может использоваться для длительного хранения долгоживущих, в том числе высокоактивных РАО, а после создания соответствующих установок и для их трансмутации без какой-либо специальной подготовки, т.к. не содержит легко активируемых элементов.

Другим самостоятельным направлением работ по созданию углеродных матриц, проведенным в сотрудничестве с Институтом высокомолекулярных соединений РАН (**ИВС**) и Радиевым институтом им. В.Г. Хлопина, является использование иполиимидных производных. При этом иммобилизация (внедрение) исследуемых долгоживущих

радионуклидов и их химических аналогов проводилось как в виде индивидуальных химических соединений указанных элементов (солей, окислов), так и в виде их комплексов с органическими ионообменными смолами (**ИОС**). Процесс карбонизации, полученных органических композитов, проводился в условиях вакуумирования или в среде инертного газа (аргона). Было показано, что полученные матрицы обладают комплексом свойств, удовлетворяющих требованиям к матрицам для хранения высокоактивных отходов (**ВАО**). Они обладают высокой термической и химической устойчивостью (коэффициенты выщелачивания исследуемых элементов составляют 10^{-6} - 10^{-7} г/см²•сут., что сопоставимо со скоростями выщелачивания из остеклованных отходов). Показано также, что образцы обладают высокой прочностью на сжатие и имеют высокий модуль упругости, соответствующие требованиям к матрицам для ВАО. Облучение в исследовательском реакторе **ВВР-М** при интегральном потоке 10^{18} нейтронов (расчетная поглощенная доза гамма-излучения 10^8 Гр) не приводит к значимому изменению вышеперечисленных свойств.

Участники работы от ОФВЭ: В.С. Гусельников, В.К. Капустин, Т.В. Конева, Ю.Н. Новиков, В.И. Тихонов.