

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ БОРСОДЕРЖАЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ АЭС

Сотрудники лаборатории радиохимии Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) предложили технологию отверждения борсодержащих радиоактивных отходов атомных электростанций (АЭС) с помощью магний-калий-фосфатного компаунда. На примере имитатора высокосолевого кубового остатка продемонстрирована возможность иммобилизации отходов в магний-калий-фосфатный компаунд, характеристики которого соответствовали действующим требованиям к отвержденным радиоактивным отходам. Результаты исследования опубликованы в журнале «Радиохимия» / *Radiochemistry* (Fimina et al., 2025)*.

При эксплуатации АЭС образуются жидкие радиоактивные отходы, которые упаривают до кубовых остатков. После глубокого концентрирования кубовые остатки представляют собой высокосольевые концентраты, загрязненные продуктами деления, радионуклидами коррозионного происхождения и различными веществами, используемыми для поддержания водно-химического режима и дезактивации оборудования. Раньше такие отходы направляли для временного хранения в пристанционное хранилище, однако на вновь вводимых блоках АЭС их необходимо сразу перерабатывать, так как не предусмотрено места для их размещения. В России уже накоплено более 600 тыс. м³ таких отходов, а временные хранилища заполнены более чем на 90%.

Такие радиоактивные отходы не подходят для длительного хранения, поэтому их необходимо переводить в устойчивую твердую форму, чтобы исключить миграцию радионуклидов в окружающую среду. Таким образом, решение проблемы экологически безопасного обращения с жидкими радиоактивными отходами АЭС весьма актуально для обеспечения радиологической безопасности окружающей среды.

Следует особо отметить, что высокосольевые радиоактивные отходы АЭС с реакторами типа ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор)

представлены преимущественно нитратами натрия и калия и кислородными соединениями бора, в том числе борной кислотой. Иммобилизация таких радиоактивных отходов осложняется тем, что высокие концентрации солей ухудшают свойства традиционно используемых для этого цементных материалов.

В своей работе ученые продемонстрировали возможность иммобилизации в магний-калий-фосфатный компаунд имитатора кубового остатка АЭС, содержащего борную кислоту и нитраты натрия и калия. Показано, что компаунд способен включать до 14 масс.% компонентов отходов, сохраняя при этом основную матрицеобразующую фазу – К-струвит, отвечающий за устойчивость материала. Отмечено, что введение в компаунд 15–20 масс.% волластонита приводит к повышению его прочности на сжатие более чем в три раза. Прочность компаунда сохраняется после его 90-дневного погружения в воду и термических циклов замораживания/оттаивания. При длительном контакте с водой на поверхности образцов компаунда

образовались вторичные защитные фазы – минералы лунбергит и хазенит, которые дополнительно снижают растворимость компонентов и препятствуют миграции радионуклидов в окружающую среду.

Особое внимание в работе уделено исследованию удержания ¹³⁷Cs в компаунде. По результатам испытания на водоустойчивость компаунда показано, что средний индекс выщелачивания достиг 10,7, что соответствует требованиям для кондиционированных радиоактивных отходов третьего класса. Отмечено, что в первые 10 суток контакта компаунда с выщелачивающим раствором происходило вымывание ¹³⁷Cs с его поверхности, а затем процесс перешел в диффузионный режим, что свидетельствовало о надежной иммобилизации радионуклида в кристаллической структуре компаунда.

«Полученные результаты подтвердили, что магний-калий-фосфатный компаунд является эффективным универсальным материалом для промышленного кондиционирования радиоактивных отходов, обеспечивая высокую механическую прочность, водоустойчивость и надежную фиксацию радионуклидов», – прокомментировала старший научный сотрудник лаборатории радиохимии ГЕОХИ РАН, кандидат химических наук Светлана Анатольевна Фимилина.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-73-10202, <https://rscf.ru/project/22-73-10202>.

Пресс-служба ГЕОХИ РАН



Ленинградская АЭС-2 с реактором типа ВВЭР-1200

* Fimina S. A., Chalysheva N. D., Belova K. Y., Vinokurov S. E. (2025) Immobilization of Boron-Containing Radioactive Waste from Nuclear Power Plants in Magnesium Potassium Phosphate Compound. *Radiochemistry*. 2025; 67 (3): 293–302, <https://doi.org/10.1134/S1066362225030087>

