

# Миграционное поведение радионуклидов в условиях Нижнеканского гранитоидного массива

*м.н.с. Родионова Анастасия Андреевна  
Лаборатория радиохимии*

## Введение

Развитие атомной энергетики невозможно без решения проблем, связанных с безопасной утилизацией радиоактивных отходов (РАО), среди которых особую опасность для окружающей среды представляют высокоактивные отходы (ВАО). Мировым сообществом признано, что наиболее эффективным методом утилизации ВАО является их захоронение в глубокие геологические формации. В настоящее время в России реализуется проект по созданию пункта окончательной изоляции ВАО на участке «Енисейский» в зоне экзоконтакта Нижнеканского гранитоидного массива (НГМ) на территории Красноярского края. Для обоснования безопасности хранилища предварительно планируется создание подземной исследовательской лаборатории, в которой особое внимание будет уделено изучению миграции радионуклидов с подземными водами в системе горных кристаллических пород. Исследование общих закономерностей сорбции радионуклидов породами должно быть дополнено пониманием роли отдельных минеральных фаз в удерживании мобилизованных компонентов отходов. Такая информация поможет проводить более детальное моделирование миграции радионуклидов в районе захоронения, так как доля минеральных фаз, преимущественно удерживающих те или иные радионуклиды, значительно варьирует в массиве. Особое значение представляют минеральные выделения зон трещиноватости, которые могут стать как основными путями миграции радионуклидов, так и зонами их удерживания.

**Цель научной работы** заключалась в определении количественного вклада различных минеральных фаз вмещающих пород будущего хранилища ВАО в сорбцию Cs, Sr и Ra, Am, Pu, Np, U для проведения прогнозного моделирования.

Для анализа распределения сорбированных радионуклидов: Cs, Sr и Ra, Am, Pu, Np, U использовались цельные образцы пород участка «Енисейский» неоднородного состава, которые сложены плагио и гранито-гнейсами. Образцы представляли собой плоскополированные препараты (диски, плашки). Минеральный состав образцов был исследован с применением растровой электронной микроскопии (РЭМ) с рентгено-спектральным микроанализом. Для анализа микрораспределения радионуклидов по поверхности образцов применялась система цифровой радиографии, основанная на использовании запасающих пластин Imaging Plate.

## Результаты

На основании полученных радиограмм, характеризующих распределение радионуклидов по поверхности образцов, было показано, что сорбция радионуклидов на различных минеральных фазах проходит крайне неравномерно. В качестве примера на рисунке 1 представлено распределение цезия на образце скважины Р-11, где показано, что наиболее эффективной минеральной фазой для цезия является хлорит.

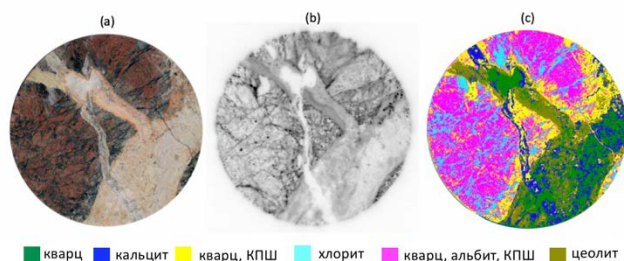


Рис.1 (а) – оптическое изображение образца скважины Р-11, (б) – радиограмма сорбции Cs на образце Р-11, (в) - оптическое изображение образца скважины Р-11 с определением минеральных фаз

Для определения количественной оценки сорбционной эффективности отдельных минеральных фаз была разработана методика по определению параметра относительной эффективности сорбции (ОЭС), характеризующего вклад каждой минеральной фазы гетерогенной системы в сорбцию различных радионуклидов [1,2]. Методика по определению параметра ОЭС была основана на проведении сравнительного анализа радиограммы, характеризующей микрораспределение радионуклидов по поверхности образца породы, с РЭМ-изображением, на котором были выделены минеральные фазы. Проведение сравнительного анализа было осуществлено двумя методами: с применением программы ImageJ и с использованием языка программирования Python [3]. Значения по ОЭС были определены, исходя из следующего соотношения :

$$\text{ОЭС} = \frac{\text{доля сорбции на мин.фазе}}{\text{доля площади поверхности, занимаемая мин.фазой}} \quad (1)$$

Отмечено, что значения ОЭС, полученные двумя методами, были согласованы между собой.

Разработанная методика также позволила оценить вклад минеральных фаз зон трещиноватости в удерживание радионуклидов Cs, Sr/Y, Am. Исходя из полученных данных было установлено, что для радионуклидов Cs, Sr/Y характерно неравномерное распределение по поверхности образца, преимущественной минеральной фазой для данных радионуклидов оказался хлорит со значениями ОЭС равными 2 и 1,8 соответственно. В случае Am было установлено его равномерное распределение по минеральным фазам с близкими значениями эффективности (ОЭС=0,97-1).

На основании данных по ОЭС для каждого изученного радионуклида были выбраны наиболее эффективные минеральные фазы сорбции: Cs, Ra, U – слоистые алюмосиликаты (Cs, Ra – мусковит, хлорит; U – мусковит); Am – фосфат (апатит); Pu, Np – фосфаты (монацит, апатит), карбонаты (кальцит), окислы (Fe-содержащий минерал – магнетит).

#### **Выводы**

Таким образом, в представленной работе была впервые разработана методика количественного анализа микрораспределения радионуклидов на различных минеральных фазах с учетом гетерогенности системы; впервые установлена относительная эффективность сорбции Cs, Ra, Am, Pu, Np, U на минеральных фазах пород зоны экзоконтакта НГМ на основе разработанной методики; впервые установлен вклад различных минеральных фаз зон трещиноватости в сорбцию Cs, Sr/Y, Am и получены значения их относительной эффективности сорбции.

#### **Заключение**

Полученные данные по ОЭС радионуклидов на минеральных фазах пород в дальнейшем дополняют понимание вклада отдельных минералов в удерживании радионуклидов при проведении прогнозного моделирования. На основании значений ОЭС и известного состава вмещающей породы можно будет внести поправки на коэффициенты распределения радионуклидов, значения которых уже известны для многих минеральных фаз и широко применяются в моделировании.

#### *Список литературы*

1. Rodionova A.A., Petrov V.G., Vlasova I.E. et al. Digital Radiography for Evaluating the Relative Efficiency of Radionuclide Sorption onto Various Rock Minerals // Radiochemistry. 2019. Vol. 61, № 1.
2. Rodionova A.A. Petrov V.G., Vlasova I.E. et al. The radionuclide distribution onto different mineral phases of the rocks of the exocontact zone of Nizhnekansky granitoid massif // Perspect. Sci. 2019. Vol. 12. P. 100406.
3. Petrov V.G., Vlasova I.E., Rodionova A.A. et al. Preferential sorption of radionuclides on different mineral phases typical for host rocks at the site of the future Russian high level waste repository // Appl. Geochemistry. 2019. Vol. 100.