

## ФОРМЫ ПЛУТОНИЯ И НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОСАДКАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

В ходе экспериментальных исследований сотрудники лаборатории радиохимии окружающей среды Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) впервые определили и сопоставили формы нахождения плутония-239 и других химических элементов, включая редкоземельные, в донных отложениях моря Лаптевых и Карского моря. Проведено сравнение их миграционного поведения в природной среде. Актуальность работы объясняется необходимостью получения информации о радиозоологическом состоянии арктических морей, территории которых в прошлом активно использовали для испытаний ядерного оружия, а также деятельностью предприятий ядерного топливного цикла, включая утилизацию радиоактивных отходов. Результаты исследований опубликованы в журнале «Радиохимия» (Горяченкова и др., 2023)<sup>\*</sup>.

Формы нахождения элементов исследованы тремя различными методами селективного выщелачивания – методом Tessier, авторским методом, разработанным и применяемым в ГЕОХИ РАН, и методикой Д. С. Орлова. Первые два позволяют оценить геохимические формы подвижности радионуклидов и других химических элементов (водорастворимую, обменную, подвижную, кислоторастворимую и труднорастворимую), а также долю ананта, связанную с органическим веществом, карбонатами и оксидами. Третий метод оценивает связи радионуклидов и химических элементов с различными группами органического вещества почв, донных отложений, взвешенного и коллоидного вещества природных вод. Проведенные исследования в целом позволяют оценить возможность использования ряда редкоземельных элементов как маркера для прогнозирования миграционного поведения плутония в природной среде.

Распределение Pu-239 по фракциям органического и неорганического вещества, полученного по методу Tessier, наиболее близко к распределению редкоземельных элементов кроме скандия (рис. 1). Наибольшее совпадение наблюдается в поведении плутония и иттрия, а также тяжелых представителей

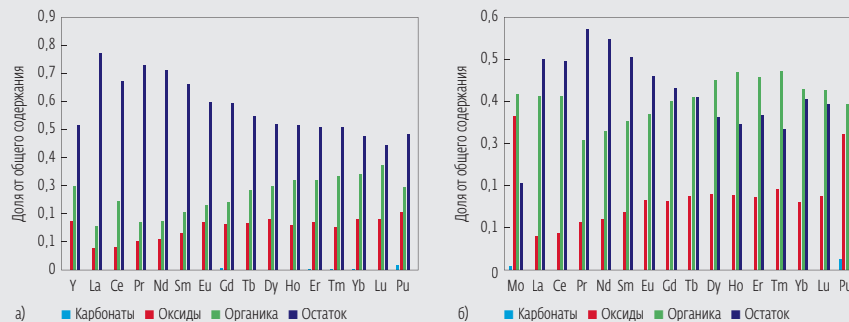


Рис. 1. Формы нахождения Pu-239 и редкоземельных элементов в донных отложениях методом Tessier (а, б – образцы 5591 и 5596 моря Лаптевых)

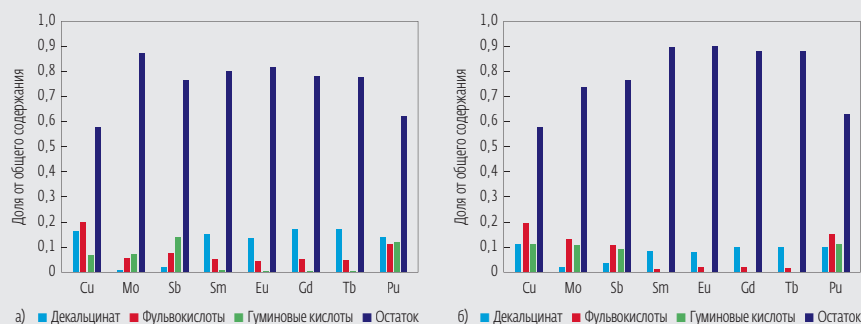


Рис. 2. Распределение Pu-239 и химических элементов по группам органического вещества донных отложений (а, б – образцы 5591 и 5596 моря Лаптевых)

лантанидов от Tb до Lu. Этот факт нельзя объяснить исключительно совпадением значений ионных радиусов элементов.

Следует также отметить, что корреляционная зависимость в поведении плутония и природных актинидов – урана и тория (коэффициенты корреляции  $R = 0,84$  и  $0,80$  соответственно) – выражена несколько слабее таковой для лютеция и тяжелых лантанидов, для которых величина  $R$  составляет более  $0,99$ .

При сравнении результатов, полученных двумя методами селективного выщелачивания (Tessier и Орлова), значения для Pu-239 оказались близки (рис. 2). Установлено, что до 40% плутония входит в состав органического вещества донных отложений разной степени подвижности (низкомолекулярные и фульвокислоты), что указывает на потенциальную возможность плутония мигрировать в системе морская вода – донные отложения.

В целом, сходство с мобильными химическими формам характерно в большей степени именно для плутония и группы тяжелых лантанидов. Несмотря на низкое содержание органического вещества в донных отложениях морей российской Арктики, органические вещества разной степени растворимости в значительной степени влияют на поведение изученных элементов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России.

<sup>\*</sup> Горяченкова Т.А., Казинская И.Е., Травкина А.В., Стародымова Д.П., Новиков А.П. (2023). Формы нахождения плутония и некоторых химических элементов в донных отложениях моря Лаптевых и Карского моря. *Радиохимия*. 2023; 65 (5): 474–481, doi: 10.31857/S0033831123050106. [https://sciencejournals.ru/view-article/?j=radkhim&y=2023&v=65&n=5&a=RadKhim\\_2305010Goryanchenkova](https://sciencejournals.ru/view-article/?j=radkhim&y=2023&v=65&n=5&a=RadKhim_2305010Goryanchenkova)