

**ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДЕ НА ОСНОВЕ
МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

А.С. Торопов

Научный руководитель профессор Л.П. Рихванов

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия**

Техногенные радионуклиды могут содержаться в значимых количествах в водных объектах радиационно-опасных объектов и представлять потенциальную опасность для экосистем и человека, перемещаясь за территорию участка загрязнения. При этом на миграционный процесс может значительно повлиять форма нахождения радиоактивных элементов наряду с ландшафтно-геохимическими условиями природной среды. Актуальность исследования определяется фактическим отсутствием информации о том, в виде каких физико-химических форм техногенные радионуклиды способны мигрировать с поверхностными водами во взвешенном, коллоидном либо растворенном состоянии. Механизмы транспорта техногенных радионуклидов с водой исследованы недостаточно, что связано как с методическими трудностями, так и с объективной сложностью определения форм нахождения радионуклидов и элементов в водных системах из-за их ультранизких количеств.

Для понимания миграционной способности радионуклидов и их распределения по формам нахождения в природных водах радиационно-опасных объектов, например таких, как Семипалатинский испытательный полигон (СИП), были поставлены модельные эксперименты. В основу приготовления модельных растворов был положен принцип максимальной приближенности к натурному объекту – природной воде, т.е. имитировались природные процессы взаимодействия грунта с повышенным уровнем радионуклидов с водой. В модельном эксперименте скорость процессов взаимодействия фаз в системе грунт - вода в модельных экспериментах была многократно увеличена за счет механического воздействия (диспергирования частиц и взбалтывания) в лабораторных условиях.

Модельные растворы (водные вытяжки) для проведения исследований были приготовлены с использованием образцов грунта с площадки «Опытное поле» СИП, отобранных из наиболее загрязненных участков, которые характеризовались высоким содержанием таких радионуклидов как ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$. Раствор центрифугировался и фильтровался через мембранный фильтр 0,45 мкм, который является условной границей размера взвешенных веществ и наиболее часто используется в аналитической практике.

Для изучения распределения форм нахождения радионуклидов в модельных растворах пробы подвергали каскадной фильтрации и выделяли следующие формы: псевдоколлоидная (0,1-0,45 мкм), коллоиды высокомолекулярных веществ (0,1-100 кДа), органические коллоиды низкомолекулярных веществ (10-100 кДа) и растворенная (<10 кДа).

Радиохимические и спектрометрические анализы проводились в соответствии со стандартными методиками [1-3]. Определение ^{137}Cs и ^{241}Am проводили гамма-спектрометрическим методом на гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором из особо чистого Ge, производства ORTEC, ^{90}Sr – прямым измерением методом бета-спектрометрии с использованием жидкосцинтилляционного спектрометра TriCarb серии 2900, удельную активность $^{239+240}\text{Pu}$ определяли после предварительного радиохимического выделения с электроосаждением на металлическом диске методом альфа-спектрометрии с использованием спектрометрической установки Alpha Analyst, производства Canberra.

Полученные модельные растворы (водных вытяжек) заметно отличались между собой по физико-химическим свойствам, что в первую очередь определялось характеристиками грунта, который использовался для их приготовления.

Так, уровень pH полученных модельных растворов колебался в диапазоне от 6,2 до 8,4, что характерно для нейтральных и слабощелочных вод, минерализация – от 320 до 720 мг/л (пресные воды), содержание органического вещества – от <10 до 40 мг/л. Анализ полученных данных показал, что по своим физико-химическим свойствам полученные модельные растворы были близки к воде ручьев и водотоков штолен испытательной площадки «Дегелен» СИП.

Результаты по распределению техногенных радионуклидов при каскадном фракционировании модельных растворов представлены на рисунке 1.

Выявлено, что содержание ^{137}Cs в модельном растворе после каждого этапа каскадной фильтрации убывает. Выявлено, что фильтр 0,1 мкм отсекает от 40 до 80 % радиоактивного ^{137}Cs (рассчитано по разнице остаточных активностей после фильтров 0,45 и 0,1 мкм). С уменьшением диаметра пор фильтров после 0,1 мкм при последовательной фильтрации для модельных растворов №3 и 4 наблюдается сохранение активности ^{137}Cs . В природных водах частицы размера 0,1-0,45 мкм классифицируют как взвесь и высокомолекулярные коллоиды гидроксидов железа (псевдоколлоиды) [1, 8].

Таким образом, можно предполагать, что в условиях модельных растворов данный радионуклид находится преимущественно в псевдоколлоидной и растворенной форме.

Полученные результаты согласуются с литературными данными, согласно которым ^{137}Cs в воде может находиться как в растворенной форме, в виде различных органических и неорганических комплексов и взвешенных веществ [4].

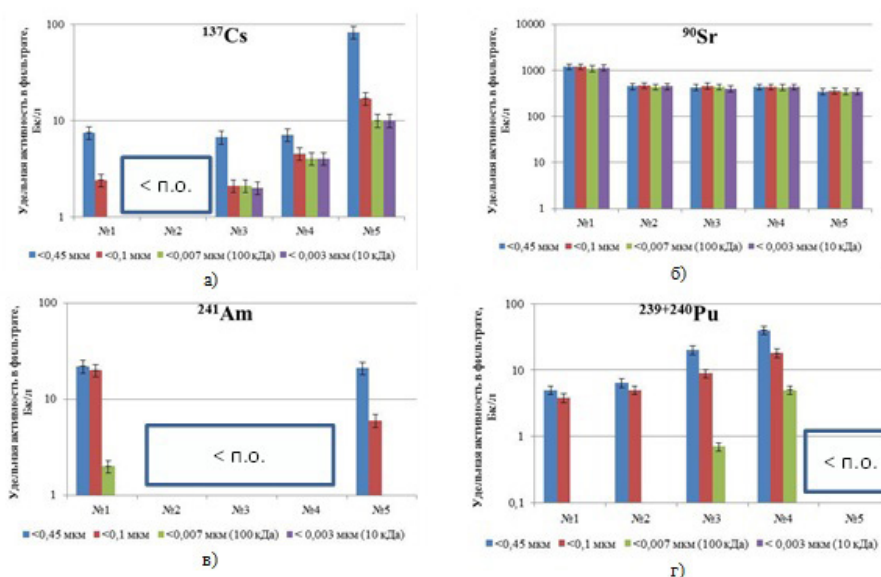


Рис. 1. Формы нахождения радионуклидов в модельных растворах
Примечание: <math>< \text{п.о.}</math> – ниже предела обнаружения

Колебания остаточной удельной активности ^{90}Sr после отдельных стадий фильтрации находилось в пределах погрешности измерений. Таким образом, в условиях эксперимента по определению форм нахождения ^{90}Sr в модельных растворах, было установлено, что данный радионуклид преимущественно находится в растворенной форме, что также хорошо согласуется с литературными данными.

Распределение содержания ^{241}Am по формам нахождения показало, что данный радионуклид в случае модельного раствора №1 связан с частицами размерами 0,1-0,007 мкм, так как наблюдалось снижение удельной активности после фильтрации через мембрану с диаметром пор 0,007 мкм на 90%, для модельного раствора №5 снижение удельной активности наблюдалось после фильтрации через мембрану 0,1 мкм на 72%. Однозначных выводов по преобладающим формам нахождения ^{241}Am на основе этих данных сделать не удалось.

Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в полученных модельных растворах варьировалось в диапазоне от $5 \pm 0,5$ до 40 ± 4 Бк/л для фракции $< 0,45$ мкм, которая являлась начальным этапом фильтрации. Доля формы псевдоколлоидов (фракция 0,1-0,45 мкм) колебалась от 22 до 56 %. Доля коллоидной формы для частиц, с размерами крупнее 0,007 мкм (100 кДа), изменялась в диапазоне от 33 до 72 %.

Для модельных растворов № 3 и 4 снижение удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в растворе после фильтрации через мембрану 0,007 мкм по сравнению с исходным содержанием (фильтрат после мембраны 0,45 мкм) составило 96% и 88% соответственно. Для модельного раствора №1 количественные значения по данному радионуклиду после фильтрации через мембрану 0,007 мкм не фиксировались. Таким образом, можно предполагать, что $^{239+240}\text{Pu}$ в указанных модельных растворах связан с псевдоколлоидами (0,45-0,1 мкм) и коллоидами с размерами 0,1-0,007 мкм.

Учет формы нахождения радиоактивных элементов позволяет оценить миграционные способности отдельных радионуклидов. Изучение распределения форм нахождения радионуклидов в модельных растворах позволяет понять, каким образом они могут распределяться в реальных водных объектах, близких по составу воды, окислительно-восстановительному состоянию и другим факторам.

Часть работы проведена за счет поддержки Министерства образования и науки Республики Казахстан, номер гранта 0122/14 ПЦФ.

Литература

1. Методика определения содержания искусственных радионуклидов $^{239,240}\text{Pu}$, ^{90}Sr и ^{137}Cs в природных водах методом концентрирования. ИЯФ НЯЦ РК регистрационный №0307/3 от 5.04.2001.
2. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре: МИ 2143-91. - Введ. 1998-06-02. - Рег. № 5.06.001.98. – М.: НПО ВНИИФТРИ, 1991. - 17 с.
3. Методика определения изотопов плутония–(239+240), стронция-90 и америция-241 в объектах окружающей среды (почвы, растения, природные воды). № 06-7-98 от 04.03.1998г. – Алматы: ГП "ЦСМС".
4. Поляков Е.В., Егоров Ю.В. Современные методы определения физико-химического состояния микроэлементов в природных водах // Успехи химии. – 2003. – Т. 72. – № 11. – С. 1103–1114.