

**ИЗУЧЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДНЫХ
ОБЪЕКТАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА МЕТОДОМ
КАСКАДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ**

А.С. Торопов

Научный руководитель: д.г.-м.н, профессор Л.П. Рихванов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия

Актуальность исследования форм нахождения радионуклидов в водных объектах бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) обусловлена фактическим отсутствием информации о том, как распределяются физико-химические формы техногенных радионуклидов и как они способны мигрировать с поверхностными водами в виде взвешенных веществ, псевдокolloидной, коллоидной форме либо в виде растворенных веществ. 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 ультрамалых количеств. Форма нахождения радионуклидов определяет скорость и интенсивность их миграции вблизи радиационно-опасных объектов, а также влияние на состояние окружающей среды и здоровье населения. В данной работе были изучены формы нахождения искусственных радионуклидов в поверхностных водах СИП.

Всего было исследовано 3 водоисточника, где ранее были установлены суммарные активности радиоактивных элементов [1] и которые являются одними из наиболее загрязненных на СИП. Среди них 2 водотока штолен 177 и 503, а также искусственное озеро «Телкем-2».

Для изучения распределения форм нахождения радионуклидов в воде пробы подвергали каскадной фильтрации и выделяли следующие формы: грубое взвешенное вещество (1-10 мкм), тонкое взвешенное вещество (1-0,45 мкм), псевдокolloиды (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 [2-4]. 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 жидкостинцилляционного 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.

Величина pH воды штольни 177 площадки «Дегелен» составила $6,76 \pm 0,02$, минерализация – 400 ± 10 мг/л. Уровень pH в воде штольни 503 составил 7,02, величина минерализации – 420 мг/л. По основным физико-химическим параметрам, вода озера Телкем-2 относилась к щелочной ($\text{pH} = 8,58 \pm 0,02$), по степени минерализации – к классу соленых вод (6400 ± 130 мг/л). Содержание органических веществ во всех изученных водных объектах было ниже предела обнаружения (<10 мг/л).

Результаты распределения форм нахождения в водных объектах СИП показаны в таблицах 1-3.

Таблица 1

Формы нахождения искусственных радионуклидов в воде водотока штольни 177, Бк/л

| Фракция | ^{137}Cs | ^{90}Sr | $^{239+240}\text{Pu}$ |
|-----------|-------------------|------------------|-----------------------|
| <10 мкм | $5,0 \pm 0,5$ | 680 ± 70 | $0,58 \pm 0,06$ |
| <1 мкм | $5,0 \pm 0,5$ | 690 ± 70 | $0,53 \pm 0,05$ |
| <0,45 мкм | $4,3 \pm 0,4$ | 660 ± 70 | $0,44 \pm 0,04$ |
| <0,1 мкм | $3,7 \pm 0,4$ | 680 ± 70 | $0,40 \pm 0,04$ |
| <100 кДа | $3,8 \pm 0,4$ | 670 ± 70 | $0,68 \pm 0,07$ |
| <10 кДа | $3,6 \pm 0,4$ | 720 ± 70 | $0,32 \pm 0,03$ |

Таблица 2

Формы нахождения искусственных радионуклидов в воде водотока штольни 503, Бк/л

| Фракция | ^{137}Cs | ^{90}Sr | $^{239+240}\text{Pu}$ |
|-----------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| <10 мкм | <0,3 | 150 ± 15 | $0,70 \pm 0,07$ |
| <1 мкм | <0,3 | 160 ± 20 | $0,6 \pm 0,06$ |
| <0,45 мкм | <0,3 | 150 ± 15 | $0,52 \pm 0,05$ |
| <0,1 мкм | <0,3 | 150 ± 15 | $0,37 \pm 0,04$ |
| <100 кДа | <0,3 | 130 ± 15 | $(7,2 \pm 0,7) \cdot 10^{-2}$ |
| <10 кДа | <0,3 | 110 ± 10 | $(6,2 \pm 0,6) \cdot 10^{-2}$ |

Таблица 3

Формы нахождения искусственных радионуклидов в воде озера Телкем-2, Бк/л

| Фракция | ^{137}Cs | ^{90}Sr | $^{239+240}\text{Pu}$ |
|-----------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| <10 мкм | <0,4 | 190 ± 20 | $0,35 \pm 0,03$ |
| <1 мкм | <0,4 | 170 ± 20 | $0,24 \pm 0,02$ |
| <0,45 мкм | <0,4 | 170 ± 20 | $0,26 \pm 0,03$ |
| <0,1 мкм | <0,4 | 160 ± 20 | $0,30 \pm 0,03$ |
| <100 кДа | <0,4 | 160 ± 20 | $0,11 \pm 0,01$ |
| <10 кДа | <0,4 | 160 ± 20 | $(4 \pm 0,4) \cdot 10^{-2}$ |

Активность ^{137}Cs в воде водотока штольни 177 составила 5.0 ± 0.5 Бк/л для самой крупной фракции, снижаясь до 3.6 ± 0.4 Бк/л для растворенной формы (менее 10 кДа). Таким образом, порядка 30 % ^{137}Cs связано с частицами различного размера, находящихся в поверхностных водах. Активность данного радионуклида для воды водотока штольни 503 и озера Телкем-2 была ниже предела обнаружения.

Было установлено, что основной формой нахождения ^{90}Sr была растворенная форма для всех изученных водных объектов. Однако для воды водотока штольни 503 наблюдалось снижение остаточной активности после фильтрации через мембраны, отсекающие коллоидное вещество (10 и 100 кДа) порядка 25-30 % от начальной активности данного радионуклида.

Установлено, что $^{239+240}\text{Pu}$ способен находиться как во взвешенной форме, так и в коллоидах и растворенной форме. Так, например, для воды водотока штольни 503 активность $^{239+240}\text{Pu}$ изменялась ступенчато с 0,7 до $(6.2 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}$ Бк/л, после фильтрации через мембрану с разрешением 10 кДа. Распределение форм нахождения следующее: мембрана 1 мкм удерживает 17% $^{239+240}\text{Pu}$, 0,45 мкм – 6%, 0,1 мкм – 21 %, 100 кДа – 43 % и 10 кДа – 1 %.

Для водотока штольни 177 выявлено, что более 50% $^{239+240}\text{Pu}$ находилось в растворенной форме.

Для озера Телкем-2 активность $^{239+240}\text{Pu}$ снизилась на один порядок с 0,35 до 0,04 Бк/л с максимумом задержания на мембранах, отсекающих коллоиды.

Соотношение между формами нахождения зависит в первую очередь от самого водоисточника и подвержено изменениям условий окружающей среды.

Обобщая результаты по определению форм нахождения радионуклидов в водных объектах СИП, выявлено, что для ^{90}Sr характерна растворенная форма нахождения, для $^{239+240}\text{Pu}$ свойственно нахождение в различных формах, с преобладанием коллоидных и растворенных, при этом соотношение форм нахождения зависит от изучаемого объекта. Для установления форм нахождения ^{137}Cs и ^{241}Am необходимы более детальные исследования.

Данные о формах нахождения техногенных радионуклидов в воде могут в дальнейшем послужить основой для разработки практических рекомендаций по оценке радиоэкологического состояния СИП, прогнозирования уровня содержания и миграции радионуклидов в компонентах экосистем на СИП и близлежащих территориях.

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

Литература

1. Aidarkhanova A.K. Lukashenko S.N. Investigation of character of distribution of radioactive contamination in the "water – sediments" system of Semipalatinsk Test Site and adjacent territories. // ENVIRA-2015 International Conference proceedings. Greece, 2015. P. PS3-43.
2. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре: МИ 2143-91. - Введ. 1998-06-02. - Пер. № 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. 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.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ВОСТОЧНОМ ДОНБАССЕ

Е. С. Торопова, В. Е. Борисова

Научный руководитель профессор А. И. Гавришин

Южно-Российский Государственный Политехнический Университет (НПИ)

имени М. И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Воды каменноугольных отложений в Восточном Донбассе отличаются высокой неоднородностью химического состава: они изменяются от гидрокарбонатных кальциевых до хлоридных натриевых, минерализация колеблется от 0,2 до 57,2 г/л, содержания Cl^- – 0,012-35,6, Na^+ - 0,002-17,6 г/л и т.д. (таблица 1). Распределение содержаний компонентов не соответствует нормальной модели, и корреляционные связи могут быть криволинейными [1].

Химический состав подземных вод каменноугольных отложений

Таблица 1

| Компонент | X | Me | X_{\min} | X_{\max} | S |
|--------------------|------|------|------------|------------|-------|
| pH | 7.7 | 7.7 | 6.4 | 8.6 | 0.5 |
| HCO_3^- | 358 | 352 | 77 | 947 | 135 |
| SO_4^{2-} | 485 | 400 | 15 | 1427 | 405 |
| Cl^- | 2366 | 243 | 12 | 35636 | 7086 |
| Ca^{2+} | 337 | 153 | 20 | 4084 | 716 |
| Mg^{2+} | 140 | 82 | 4 | 11145 | 227 |
| Na^+ | 1237 | 252 | 2 | 17582 | 3316 |
| M | 4729 | 1611 | 178 | 57419 | 11149 |
| H | 124 | 75.5 | 3 | 922 | 163 |

Примечание: во всех аналогичных таблицах X — среднее арифметическое, Me - медиана, X_{\min} и X_{\max} — минимальное и максимальное значения, S - стандартное квадратичное отклонение (компоненты в мг/л, H - глубина в м).