

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЕЙ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ОБЬ-ИРТЫШСКОЙ РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

А. В. Коржавин, В. Н. Трапезникова, В. Н. Николкин, А. В. Трапезников

*Институт экологии растений и животных УрО РАН
Екатеринбург, Россия, BFS_zar@mail.ru*

COMPARATIVE ANALYSIS OF ACCUMULATION LEVELS OF TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN GROUND DEPOSITS ON VARIOUS SITES OF THE OB-IRTYSH RIVER SYSTEM

A. V. Korzhavin, V. N. Trapeznikova, V. N. Nikolkin, A. V. Trapeznikov

*Institute of plant ecology and animals OURO RAHN
Yekaterinburg, Russia, BFS_zar@mail.ru*

Assessment of the ^{137}Cs and ^{90}Sr pollution modern levels of ground deposits in Tеча and Irtysh Rivers is presented. Mathematical models of their distribution and accumulation in ground deposits of the Ob-Irtysh river system are constructed. Calculations of the technogenic radionuclides integral reserves in ground deposits of Tеча, Iset, Tobol, and Irtysh Rivers are executed. It is shown that the ^{90}Sr specific stocks increase in ground deposits of Tеча River on water-course while for ^{137}Cs their essential reduction is noted. The specific reserves of both radionuclides in ground deposits in downstream sections of the Tobol-Irtysh rivers system monotonously decrease on current, at the same time the ^{90}Sr stocks prevail over the ^{137}Cs stocks.

Введение

Открытые речные экосистемы по отношению к радиоактивным веществам выполняют две очень важные функции. С одной стороны – это транспортная функция. Радионуклиды, поступившие в речные экосистемы со сточными водами предприятий ядерного цикла или с площади водосбора, способны переноситься на многие десятки и сотни километров. С другой стороны, любая пресноводная экосистема выполняет барьерную роль. В зависимости от своих химических характеристик техногенные радионуклиды способны откладываться и накапливаться в различных компонентах речных экосистем, причем это накопление происходит не равномерно. Натурными исследованиями показано, что основным депо радионуклидов в пресноводных биогеоценозах являются донные отложения водоема, которые поглощают 80 % и более радионуклидов, затем следует водная компонента (в пределах от долей процента до 20 %) и, наконец, гидробионты (высшие водные растения могут аккумулировать в общей сложности доли процента от суммарной активности в водоеме). В речных экосистемах основным депо радионуклидов являются пойменные почвы и донные отложения пойменных водоемов, которые поглощают 80 % и более нуклидов [4].

Бассейну реки Обь принадлежит важное место в экономике России, ее водные ресурсы обеспечивают потребности населения и жизнедеятельности региона, используются для водоснабжения, судоходства, рыболовства и рекреации. В пределах терри-

тории Обского бассейна проживает 22 млн. человек (15 % от всего населения России). В 1949–1952 гг., вследствие отсутствия надлежащих технологических систем обращения с жидкими отходами радиохимического производства, с ПО «Маяк» было сброшено 2,75 миллионов Кюри (100 Пбк) радиоактивных отходов в реку Теча, являющуюся частью Обь-Иртышской речной системы. В результате облучению подверглись 124 тысячи человек, проживавших в прибрежной зоне рек Теча и Исеть в пределах Челябинской и Курганской областей [6].

Часть радионуклидов транзитом прошла через р. Течу и поступила в р. Исеть, входящую, как и первая река, в Обь-Иртышскую речную систему. Другая значительная часть нуклидов была депонирована в донных отложениях рек и в пойменных почвах. По имеющимся оценкам общее количество радионуклидов в воде и грунтах Течи составляет $6 \cdot 10^{12}$ Бк для ^{137}Cs , $0,32 \cdot 10^{12}$ Бк для ^{90}Sr [5].

В пойме р. Течи в 18 км от плотины оконечного водоема на площади 45 га, в так называемых Асановских болотах, депонировано 0,22 Пбк (6 тыс. Ки) ^{90}Sr и ^{137}Cs . Часть этой активности ежегодно вымывается с паводковыми водами в Обь-Иртышскую речную систему [1].

Несмотря на то, что пойменные почвы в речных экосистемах являются основным депо радионуклидов, донные отложения тоже играют очень важную роль не только в процессах депонирования, но и в процессах переноса радионуклидов, постоянно контактируя и обмениваясь с водной компонентой. Из-

учение процессов распределения радионуклидов в донных отложениях на примере Обь-Иртышской речной системы является очень важной как научной, так и практической задачей, поскольку позволяет отследить закономерности миграции техногенных радионуклидов от источника загрязнения по руслам рек на большие расстояния с учетом их химических и миграционных характеристик.

Данная работа посвящена оценке современных уровней загрязнения техногенными радионуклидами донных отложений рек Теча и Иртыш, а также построению эмпирических моделей их распределения и накопления в донных отложениях Обь-Иртышской речной системы.

Материалы и методы

Пробы донных отложений отбирали в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80 [3] при помощи трубчатого пробоотборника до глубины до 30 см, разделяя извлеченные керны на последовательные сегменты длиной 5 см. В лабораторных условиях подготовка проб проводилась в соответствии с ГОСТ Р ИСО 11464-2011 [2], которая включала операции высушивания, дробления, просеивания и размола.

Измерения содержания ^{137}Cs в нативных образцах проводили на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре «DSPTC-jr» фирмы «Ortec» (США) с коаксиальным детектором из высокоочищенного германия (HPGe), по гамма-линии 661,2 кэВ с эффективностью 40 % и погрешностью измерений не более 10 %.

Для определения ^{90}Sr пробы донных отложений подвергали дополнительной радиохимической обработке, включавшей выщелачивание радионуклида 6-нормальной соляной кислотой, выделение осадка ^{90}Sr в форме оксалата, его высушивание, прокаливание, взвешивание и измерение β -активности сконцентрированных препаратов на малофоновой установке УМФ-2000 (НПО «Доза», Россия) с нижним пределом обнаружения 0,02 Бк/кг и статистической погрешностью измерения не более 10 %.

Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях исследованных рек определена полойным суммированием активности на всю глубину отобранных почвенных кернов. Статистическая обработка результатов заключалась в определении среднеарифметического значения и стандартного отклонения среднего арифметического.

Результаты и их обсуждение

Плотности запасов радионуклидов в донных отложениях Обь-Иртышской речной системы представлены на рис. 1.

Запасы радионуклидов в донных отложениях р. Теча распределены неравномерно. Основные запасы ^{137}Cs сосредоточены в верховьях реки, а по мере удаления от истока содержание данного радиону-

клида в донных отложениях значительно снижается. Величина суммарных запасов ^{90}Sr , напротив, возрастает по течению реки. На нижерасположенных участках рек системы Тобол-Иртыш запасы обоих радионуклидов в донных отложениях монотонно уменьшаются по течению, причем запасы ^{90}Sr преобладают над запасами ^{137}Cs .

Это объясняется разными миграционными характеристиками радионуклидов. Высокая миграционная подвижность ^{90}Sr в речных системах обеспечивается его хорошей растворимостью в воде и слабым удержанием донными отложениями и почвой. Цезий-137, в отличие от стронция-90, легко сорбируется и удерживается донными отложениями и пойменными почвами. Это наглядно подтверждается распределением запасов ^{137}Cs в донных отложениях р. Теча.

Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных отложениях в реках Обь-Иртышской речной системы с высоким значением квадрата коэффициента корреляции R^2 аппроксимировано следующими регрессионными уравнениями:

$$^{137}\text{Cs} \text{ (Бк/кв.м.)} = 2,17\text{E}+09 x^{-2,03}, R^2 = 0,86 \quad (1)$$

$$^{90}\text{Sr} \text{ (Бк/кв.м.)} = y = 13294e^{-0,001x}, R^2 = 0,72 \quad (2)$$

На рис. 2 представлены эмпирические модели горизонтального распределения техногенных радионуклидов в донных отложениях Обь-Иртышской речной системы. График распределения ^{137}Cs резко снижается по мере удаления от источника загрязнения. График распределения ^{90}Sr монотонно снижается на протяжении всего исследованного участка речной системы.

Интегральные запасы радионуклидов в донных отложениях определены при следующих допущениях: средняя ширина донного полотна р. Течи принята равной 15 м, р. Исети – 25 м, рек Тобол и Иртыш – 1,5 км.

Полученные оценки интегральных запасов (Бк) составили:

а) для ^{137}Cs :

$$0,015 \cdot 10^6 \cdot \int_{49}^{237} (2,17 \cdot 10^9 \cdot x^{-2,03}) dx = (\text{р. Теча}) \quad (3)$$

$$= 4,607 \cdot 10^{11}$$

$$0,025 \cdot 10^6 \cdot$$

$$\int_{237}^{550} (2,17 \cdot 10^9 \cdot x^{-2,03}) dx = (\text{р. Исеть}) \quad (4)$$

$$= 1,094 \cdot 10^{11}$$

$$1,5 \cdot 10^6 \cdot$$

$$\int_{550}^{1580} (2,17 \cdot 10^9 \cdot x^{-2,03}) dx = (\text{р. Тобол-Иртыш}) \quad (5)$$

$$= 3,151 \cdot 10^{12}$$

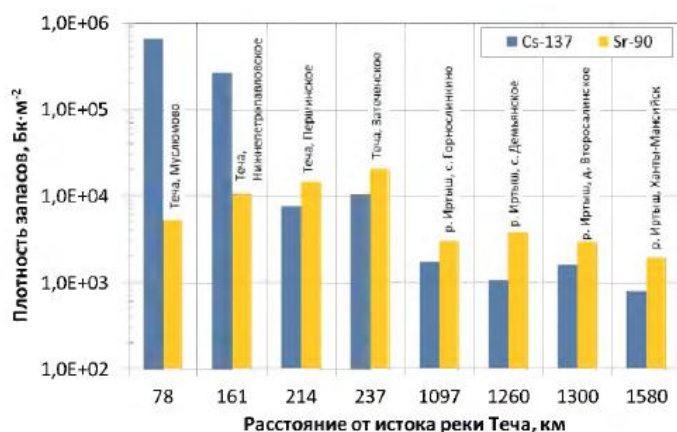


Рис. 1. Плотности запасов радионуклидов в донных отложениях

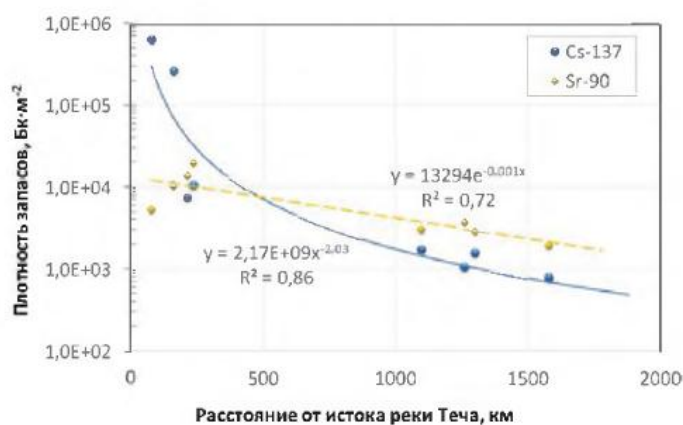


Рис. 2. Эмпирические модели горизонтального распределения ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в донных отложениях Обь-Иртышской речной системы

$$4,607 \cdot 10^{11} + 1,094 \cdot 10^{11} + 3,151 \cdot 10^{12} = 3,721 \cdot 10^{12} \quad (\text{суммарно}) \quad (6)$$

б) для ⁹⁰Sr:

$$0,015 \cdot 10^6 \cdot \int_{49}^{237} (13294 \cdot e^{-0,0016 \cdot x}) dx = (\text{р. Теча}) \quad (7)$$

$$= 3,182 \cdot 10^{10} + 0,025 \cdot 10^6 \cdot$$

$$\int_{237}^{550} (13294 \cdot e^{-0,0016 \cdot x}) dx = (\text{р. Исеть}) \quad (8)$$

$$= 6,627 \cdot 10^{10}$$

$$1,5 \cdot 10^6 \cdot \int_{550}^{1580} (13294 \cdot e^{-0,0016 \cdot x}) dx = (\text{р. Тобол-Иртыш}) \quad (9)$$

$$= 6,333 \cdot 10^{12} + 3,182 \cdot 10^{10} + 6,627 \cdot 10^{10} + 6,333 \cdot 10^{12} = 6,431 \cdot 10^{12} \quad (\text{суммарно}) \quad (10)$$

где x – расстояние в километрах, e – экспонента.

Заключение

1. Представлены данные об уровнях загрязненности ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr донных отложений рек Теча и Иртыш. Приведены эмпирические модели, описывающие закономерности горизонтального распределения техногенных радионуклидов в донных отложениях Обь-Иртышской речной системы.

2. Основные запасы ^{137}Cs в донных отложениях р. Теча сосредоточены в верховьях реки, по мере удаления от истока содержание данного радионуклида в донных отложениях значительно снижается. В количественном отношении суммарные запасы ^{137}Cs в верховьях реки превышают запасы ^{90}Sr . Величина интегральных запасов ^{90}Sr , напротив, возрастает по течению реки. На нижерасположенных участках системы рек Тобол-Иртыш суммарные запасы обоих радионуклидов в донных отложениях монотонно уменьшаются по течению, причем запасы ^{90}Sr преобладают над запасами ^{137}Cs .

Литература

1. Заключение комиссии под председательством вице-президента АН СССР О. М. Нефедова, организованной распоряжением Президента СССР № РП-1283 от 3 января 1991 г, по экологической и радиоэкологической обстановке в Челябинской области. – М, 1991. – 157 с.
2. Качество почвы. Предварительная подготовка проб для физико-химического анализа: ГОСТ Р ИСО 11464-2011. – М.: Стандартиформ, 2012. – 12 с.
3. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность: ГОСТ 17.1.5.01-80. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1980. – 5 с.
4. Трапезников А. В. Радиоэкология пресноводных экосистем / А. В. Трапезников, В. Н. Трапезникова. – Екатеринбург: Изд-во УрГСХА, 2006. – 390 с.
5. Трапезников А. В. ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ в пресноводных экосистемах. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2010. – 510 с.
6. Чуканов В. Н. Генезис и концепция Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона / В. Н. Чуканов, П. В. Волобуев, Е. Г. Дрожко, Б. А. Коробицын, Г. Н. Романов, Л. Г. Стоббе, А. В. Трапезников, В.А. Ячменев, В.И. Кирюшкин. – Екатеринбург, 1993. – 66 с.

3. Расчетные величины запасов ^{137}Cs в донных отложениях р. Теча составили 460,7 ГБк, величина запасов ^{90}Sr существенно ниже – 31,8 ГБк. Суммарная оценка запасов ^{137}Cs в донных отложениях рек Теча, Исеть, Тобол и Иртыш составила 3,7 ТБк, для ^{90}Sr интегральная оценка запасов составила 6,4 ТБк.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, тема № АААА-А19-119032090023-0.