

УДК [574:539.163]+621.039.7

© 2009

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЬ-ИРТЫШСКОЙ
РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ТЕРРИТОРИИ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО
АВТОНОМНОГО ОКРУГА***А.В. Трапезников, А.В. Коржавин, В.Н. Трапезникова, В.Н. Николкин
Россия, г. Екатеринбург, Институт экологии растений и животных УрО РАН**В.И. Мигунов**Россия, г. Ханты-Мансийск, Департамент гражданской защиты населения
Ханты-Мансийского автономного округа - Югры*

В период 2004–2007 гг. проведено радиоэкологическое исследование участков Оби и Иртыша в границах Ханты-Мансийского автономного округа. С 2004 по 2006 гг. в воде рек наблюдался рост объемной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , особенно на участках вблизи слияния рек. В Иртыше объемная активность ^{137}Cs в воде возросла с 0,62 до 10,6 Бк/м³, т.е. в 17 раз, а ^{90}Sr – с 10 до 54,5 Бк/м³ в 2005 г. и до 44,2 Бк/м³ в 2006 г. В Оби до слияния с Иртышом объемная активность ^{137}Cs за три года увеличилась в 24 раза, ^{90}Sr в 18 раз, в створе ниже слияния – ^{137}Cs в 62 раза, ^{90}Sr в 9 раз. В 2007 г. вследствие многоводного паводка в воде Иртыша отмечено снижение объемной активности ^{137}Cs до 0,3 Бк/м³, что ниже результатов 2004 г. Содержание ^{90}Sr , напротив, увеличилось до 91,8 Бк/м³. В воде Оби объемная активность ^{137}Cs уменьшилась в 3,3–9 раз, ^{90}Sr в 2,3–5,7 раза. Особенностью концентрационного профиля для всего периода исследований является резкое, скачкообразное изменение объемной активности радионуклидов на участке, расположенном ниже слияния Оби и Иртыша вследствие усиления аллювиальной активности, вызванной слиянием водных потоков. Средняя расчетная оценка запасов радионуклидов в пойменных грунтах составляет: для Оби – $4,8 \cdot 10^{12}$ Бк по ^{137}Cs и $6,9 \cdot 10^{12}$ Бк по ^{90}Sr . Для Иртыша аналогичные величины равны $3,1 \cdot 10^{12}$ Бк и $4,5 \cdot 10^{12}$ Бк, соответственно.

Обь и Иртыш являются важнейшими реками на территории Западной Сибири. Особенно большое значение Обь-Иртышская речная система оказывает на территорию Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО). Протяженность Оби по территории округа составляет 1150 км, Иртыша – 254 км. Вместе с многочисленными притоками, старицами, озерами и болотами Обь и Иртыш образуют обширную гидрографическую сеть, занимающую от 40 до 70 % территории округа. Экологическое состояние ХМАО чрезвычайно зависит от экологии данных рек [1].

В бассейне Обь-Иртышской речной системы на территории Свердловской, Челябинской и Томской областей функционирует ряд предприятий атомного профиля, являющихся источни-

ками поступления техногенных радионуклидов в открытые водоемы. Наиболее сильное влияние на экосистему этого бассейна оказывает деятельность ПО «Маяк» (Челябинская область), производившего в конце сороковых – начале пятидесятых годов прямой сброс жидких радиоактивных отходов в р. Теча, принадлежащую бассейну р. Иртыш. В р. Течу в период 1949–1951 гг. с ПО «Маяк» было сброшено $76 \cdot 10^6$ м³ радиоактивных отходов общей радиоактивностью 10^{17} Бк [2]. 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 пойменных почвах. По имеющимся оценкам в пойме Течи депонировано 15–30 ТБк

^{137}Cs и 120–200 ТБк ^{90}Sr , представляющих потенциальную радиационную опасность для регионов, расположенных ниже по течению рек Теча–Исеть–Тобол–Иртыш–Обь [3].

В бассейне Оби и ее притока р. Томь находится территория, загрязненная после радиационной аварии на Сибирском химкомбинате в 1993 г., границы распространения которой и степень влияния на Обскую речную систему, к сожалению, пока недостаточно хорошо изучены [4].

Данная работа является логическим продолжением масштабных исследований, проведенных сотрудниками Отдела континентальной радиоэкологии ИЭРиЖ УрО РАН на р. Теча и р. Исеть в период с 1990 по 1996 гг. Многолетние наблюдения подтвердили наличие процессов миграции радионуклидов вниз по руслу реки Течи. При этом было отмечено, что главным источником радиоактивного загрязнения р. Исети является водный сток р. Течи. Удельная активность ^{90}Sr в воде Исети после впадения этого притока возрастает более чем в 10 раз. Содержание ^{90}Sr в пойменных грунтах Исети в 2 раза больше, чем в грунтах Течи [5].

В настоящей работе представлены результаты радиоэкологических исследований Обь-Иртышской речной системы в границах Ханты-Мансийского автономного округа, проведенных в период 2004–2007 гг.

ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Отбор проб природных сред для радиоэкологических исследований на р. Обь и Иртыш проводился ежегодно примерно в одни и те же сроки в границах Ханты-Мансийского автономного округа. Для проведения многолетних исследований на реках были выбраны и обозначены постоянные створы. Место расположения створов определяли при помощи спутниковой навигационной системы GPS. При ежегодном отборе проб максимально придерживались выбранных координат. В месте слияния Оби с Иртышом створы располагались в виде треугольника. На Оби за 20 км выше и ниже впадения Иртыша (створы 1; 2), а на Иртыше выше по течению за 20 км до впадения в Обь (створ 3). Учитывая большую протяженность рек и зна-

чительные расстояния, на Оби были определены еще два постоянных створа, расположенные от предыдущих выше по течению в районе г. Нижневартовска и н.п. Соснино (створы 4; 5) и ниже по течению на расстоянии 40 и 65 км от впадения Иртыша (створы 7; 8), а на Иртыше выше по течению в районе с. Демьянское (створ 6). Расположение створов представлено на рис. 1, а краткое их описание в табл. 1.

Пробы воды для спектрометрии отбирали в алюминиевые фляги и сразу подкисляли небольшим количеством соляной кислоты, предотвращая сорбцию радионуклидов на стенках сосудов. Для получения объективных результатов все пробы воды отбирали в двух параллельных повторностях по 110–120 л в каждой. В лабораторных условиях пробы выпаривали до сухого остатка.

При отборе почвенных проб руководствовались рекомендациями, которые впервые были опубликованы в Методических указаниях по комплексной оценке воздействия выбросов и сбросов радиоактивных, химических веществ и тепла предприятий ЯТЦ на прилегающие угодья, разработанными сотрудниками Института сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии (г. Обнинск) для использования в аграрной отрасли. В них отмечалось, что при взятии проб почвы составляют среднюю пробу из 5-ти образцов, которые отбирают по методу конверта по углам и на пересечении диагонали. Такой конверт имеет площадь 100–400 м² и представительно описывает территорию от 0,05 до 0,10 км². При необходимости берут большее количество проб в ячейках меньшей площадью, например, по углам равностороннего треугольника с длиной стороны 10 м. Усредненная (из 3-х) проба в этом случае представительно характеризует площадь 0,01 км². Эта методика была авторами успешно использована на протяжении ряда лет при радиоэкологическом обследовании загрязненных территорий Уральского региона и опубликована в работе И.В. Молчановой и др., 2006 [6].

Пробы пойменных почв отбирали из полнoproфильных разрезов. После заглабления разреза на необходимую глубину, один край выравнивали и из него послойно отбирали пробы в виде рамки 30×30 см, последовательно снимая слои по 5 см до глубины до 40 см, сразу

же разделяя их на две параллельные пробы. В каждом реперном участке отбор проб почв проводили из трех полнопрофильных разрезов, расположенных в виде равностороннего треугольника со стороной 10 м. Таким образом, в каждом створе отбирали не менее 48 проб почв. Пробы маркировали и упаковывали в двойные полиэтиленовые пакеты для временного хранения и транспортировки. В лабораторных условиях пробы просушивали, взвешивали, перемалывали в шаровой мельнице и просеивали через сито с ячейкой 1 мм.



Рис. 1. Схема района исследований

Определение ^{137}Cs проводили на гамма-спектрометре “Canberra Packard” (США) с охлаждаемым германиевым полупроводниковым детектором при ошибке счета 5–15 %. Содержание ^{90}Sr в воде определяли в образцах сухого остатка проб воды после выпаривания и в оксалатных концентратах из нативных проб грунтов на гамма-бета-спектрометре “ПРОГРЕСС-2000” со сцинтилляционным детектором с ошибкой определения не выше 30 %. Пределы обнаружения ^{137}Cs в природных объектах с учетом методов подготовки проб составляли: 1 Бк/кг в грунтах и 0,1 Бк/м³ в воде, ^{90}Sr – соответственно – 0,6 Бк/кг и 5 Бк/м³.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИХ АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде р. Обь и Иртыш за период 2004–2007 гг. отражена в табл. 2 и представлена в виде диаграмм на рис. 2–3.

Как показывают полученные результаты, динамика содержания радионуклидов в воде рек отличалась большим разнообразием и нестабильностью. При этом все же можно выделить определенную закономерность. В

Таблица 1

Характеристика исследуемых объектов на реках Обь и Иртыш

Объект	Описание	Координаты
Створ 1	Река Обь на ~20 км ниже по течению от места слияния Оби с Иртышом, левый берег	61° 04,360' N 68° 29,111' E
Створ 2	Река Обь на ~20 км выше впадения Иртыша, левый берег	61° 10,558' N 69° 02,265' E
Створ 3	Река Иртыш, ~20 км до впадения в Обь, правый берег	60° 57,526' N 68° 04,062' E
Створ 4	Река Обь напротив г. Нижневартовска, левый берег	60° 49,716' N 76° 39,263' E
Створ 5	Река Обь в районе населенного пункта Соснино (граница ХМАО с Томской областью)	60° 41,695' N 77° 05,908' E
Створ 6	Река Иртыш в районе с. Демьянское, правый берег	59° 36,162' N 69° 16,444' E
Створ 7	Река Обь, ~40 км ниже впадения Иртыша	61° 08,497' N 68° 23,337' E
Створ 8	Река Обь, ~65 км ниже впадения Иртыша	61° 25,001' N 68° 18,301' E

период 2004–2006 гг. на большей части обследованных участков в воде рек наблюдался определенный рост объемной активности радионуклидов, 2007 г. стал исключением, как в плане погодных условий в период отбора проб, так и полученных результатов. Особенностью природных условий в 2007 г. послужил продолжительный многоводный паводок. Обширные пойменные участки были затоплены водой. Высокий уровень паводковых вод и сильное течение способствовали размыванию, перемещению и перемещению значительных количеств пойменных и донных отложений. При этом происходил вынос больших количеств как стабильных, так и радиоактивных элементов, депонированных ранее в донных отложениях и перенос их с водой на другие участки, что должно сопровождаться увеличением их содержания в воде. С другой стороны, многократное увеличение водной массы может способствовать эффекту разбавления и снижению содержания радионуклидов в единице объема. Поэтому, полученные результаты, в определенной степени, можно считать уникальными и представляющими большой интерес в плане изучения закономерностей миграции радионуклидов в водных экосистемах при различных природных условиях.

Представленные в табл. 2 и на рис. 2–3 результаты свидетельствуют, что в 2004 г. со-

держание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде Оби и Иртыша было минимальным. Начиная с 2005 г., прослеживался определенный рост объемной активности радионуклидов в воде рек, которое продолжилось и в 2006 г. При этом наиболее существенные увеличения объемных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr наблюдалось на участках рек, расположенных в районе их слияния: в Иртыше – перед впадением в Обь (створ 3), а в Оби – на участках до слияния и ниже слияния с Иртышом (створы 1; 2). На указанном участке Иртыша объемная активность ^{137}Cs в воде с 2004 по 2006 гг. возросла с 0,62 до 10,6 Бк/м³, т.е. в 17 раз, а ^{90}Sr – с 10 до 54,5 Бк/м³ в 2005 г. и до 44,2 Бк/м³ в 2006 г.

В створе Оби, расположенном до слияния с Иртышом (створ 2), объемная активность ^{137}Cs за три года увеличилась в 24 раза, ^{90}Sr – в 18 раз. В створе ниже слияния (створ 1) объемная активность ^{137}Cs возросла в 62 раза с 5 до 91,2 Бк/м³, а ^{90}Sr – в 9 раз.

Учитывая сложившуюся тенденцию, в систему мониторинга с 2005 г. был включен дополнительный створ на Оби, расположенный на границе ХМАО с Томской областью (створ 5), а с 2006 г. створы, расположенные ниже по течению, на 40 и 65 км от впадения Иртыша (створы 7; 8). Полученные результаты показали, что на входном створе участка Оби в 2005 и 2006 гг. отмечалось увеличение объемной активности ^{90}Sr в 4,5 раза.

Таблица 2

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде Оби и Иртыша в 2004–2007 гг., Бк/м³

Створ		^{137}Cs				^{90}Sr			
		2004	2005	2006	2007	2004	2005	2006	2007
река Иртыш	Створ 6 (с. Демьянское)	1,23	2,0	0,9	0,5	20	43,0	20,0	91,8
	Створ 3 (20 км до слияния с Обью)	0,62	1,3	10,6	0,3	10	54,5	44,2	45,4
река Обь	Створ 5 (н.п. Соснино – граница ХМАО)	–	2,1	3,0	0,8	–	22,0	98,4	27,0
	Створ 4 (г. Нижневартовск)	1,31	1,3	–	2,0	10	27,0	–	32,0
	Створ 2 (20 км до слияния с Иртышом)	0,26	1,6	6,4	0,7	5	16,6	91,2	16,1
	Створ 1 (20 км ниже слияния с Иртышом)	0,17	2,1	10,6	10,4	12,5	83,5	110,5	29,1
	Створ 7 (40 км ниже слияния)	–	–	–	10,4	–	–	–	17,9
	Створ 8 (65 км ниже слияния)	–	–	1,0	0,3	–	–	16,5	7,3

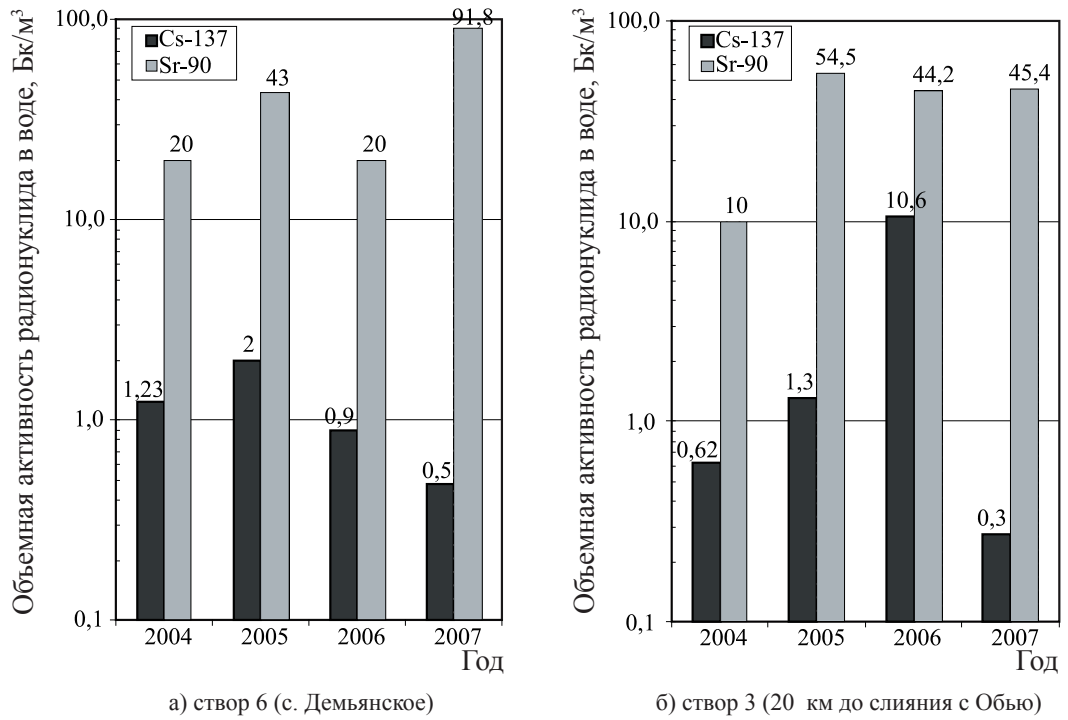


Рис. 2. Динамика содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде реки Иртыш в течение 2004–2007 гг.

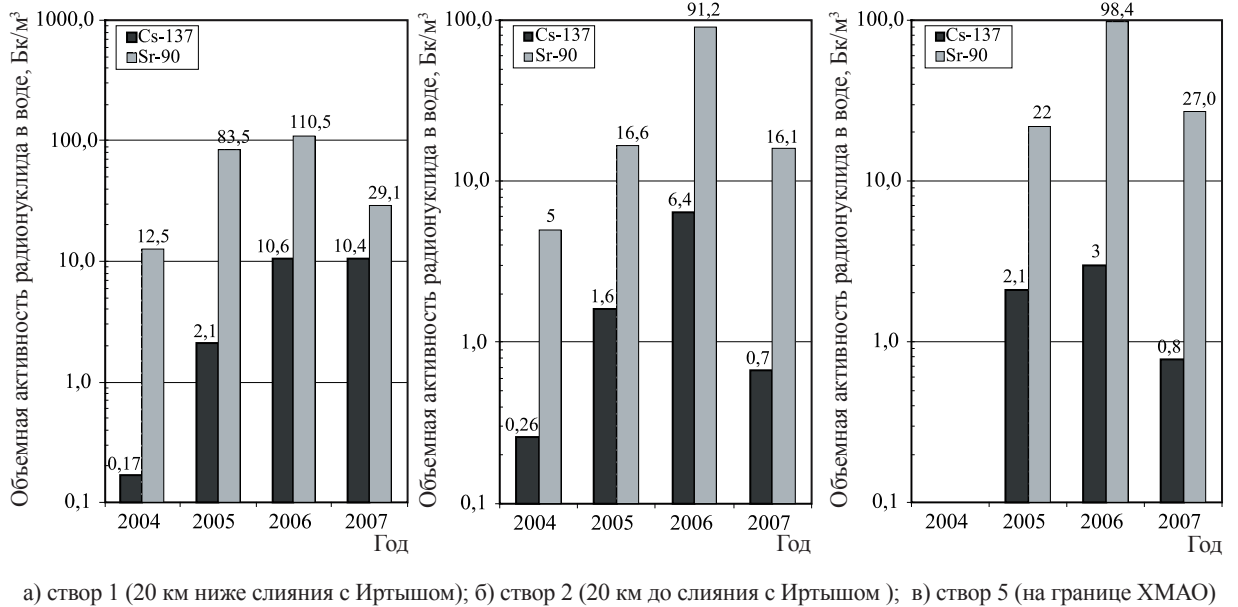


Рис. 3. Динамика содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде р. Обь в течение 2004–2007 гг.

В 2007 г. вследствие особых природных условий в воде Иртыша было отмечено довольно значительное снижение объемной активности ^{137}Cs до $0,5 \text{ Бк/м}^3$ на входном створе (створ 6) и $0,3 \text{ Бк/м}^3$ в створе в районе г. Ханты-Мансийска (створ 3). Полученные величины являются ниже исходных результатов 2004 г. Содержание ^{90}Sr , напротив, по сравнению с предыдущим годом, увеличилось. На входном створе Иртыша (створ 6) установлена самая высокая в 2007 г. объемная активность ^{90}Sr – $91,8 \text{ Бк/м}^3$. В результате существенно изменилось отношение $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$. В Иртыше оно составило 168 (створ 6) и 194,5 (створ 3). В пробах Обской воды диапазон отношений $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ составлял 1,7–34,7. Минимальные значения изотопных отношений зафиксированы на расстояниях 20–40 км после слияния рек. Соответственно и динамика изменения содержания радионуклидов в пробах Обской воды несколько отличалась от предыдущих результатов. Практически, на всем протяжении обследованного участка реки отмечено достаточно существенное снижение объемных активностей радионуклидов. Так, на входном створе (створ 5), объемная активность ^{137}Cs снизилась в 3,8 раза, ^{90}Sr – в 3,6 раза. В створе перед впадением Иртыша (створ 2) объемная активность ^{137}Cs уменьшилась в 9 раз, а ^{90}Sr в 5,7 раза. И, наконец, заключительный створ на Оби (створ 8) – содержание ^{137}Cs по сравнению с предыдущим годом уменьшилось в 3,3 раза, ^{90}Sr в 2,3 раза.

Более высокое содержание ^{90}Sr в воде Оби и Иртыша по сравнению с ^{137}Cs обусловлено его более высокой миграционной подвижностью и растворимостью в воде по сравнению с ^{137}Cs , меньшим удержанием природными объектами вблизи мест сброса. Известно, что ^{137}Cs легко захватывается илистыми частицами и взвесями, и, следовательно, значительная его часть вовлекается в процессы миграции в виде твердого стока в периоды активного движения водных потоков, например, в половодье или в сезон затяжных дождей.

На рис. 4 показано распределение радионуклидов на протяжении обследованных участков рек за последних четыре года. В 2004 г. (рис. 4 а) более высокое содержание радионуклидов наблюдалось на входных створах обследованных участках рек, ниже по течению

отмечено постепенное снижение их содержания в воде. Представленные на рисунке графики иллюстрируют монотонный спад содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде по течению обеих рек, смоделированный экспоненциальными функциями. Начиная с 2005 г. (рис. 4 б), картина распределения начала постепенно меняться. В 2005 г. объемные активности ^{137}Cs и ^{90}Sr на обследованных участках выровнялись, графики распределения приобрели более пологий вид. Подобная тенденция по распределению ^{90}Sr в Оби и Иртыше сохранилась и в 2006 г. (рис. 4 в). При этом произошло изменение градиента распределения ^{137}Cs в Иртыше при котором его объемная активность возросла по течению реки, т.е. ситуация стала противоположной 2005 г.

И, наконец, в 2007 г. (рис. 4 г) тенденция предыдущих лет опять изменилась, и представленные графики опять характеризуют картину монотонного спада содержания радионуклидов по течению данных рек. Показательно, что декремент спада для обоих радионуклидов примерно одинаков (наклон кривых подобен, показатели экспонент близки по значению), но для Иртыша примерно в два раза превышает величину такового для Оби.

Характерной особенностью концентрационного профиля для всего периода исследований является резкое, скачкообразное изменение объемной активности радионуклидов на участке, расположенном ниже слияния Оби и Иртыша. Гидродинамика водных потоков в месте слияния двух рек имеет свои особенности. Слияние двух мощных водных потоков вызывает усиление аллювиальной активности, активизирует процессы дренирования и водного переноса радионуклидов с пойменных участков и донных отложений. Особенно это наглядно проявилось в 2007 г. в связи с повышенным водным стоком. В результате в створе 1, расположенном на 20 км ниже слияния рек, более чем на порядок произошло увеличение содержания ^{137}Cs и в полтора раза возросло содержание ^{90}Sr .

Плотности запасов радионуклидов в поймах Оби и Иртыша оценивались на основе изучения профиля вертикального распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs в пойменных грунтах исследованных створов по результатам определения содержания указанных радионуклидов в послойных пробах. В тех случаях, когда квадрат коэффици-

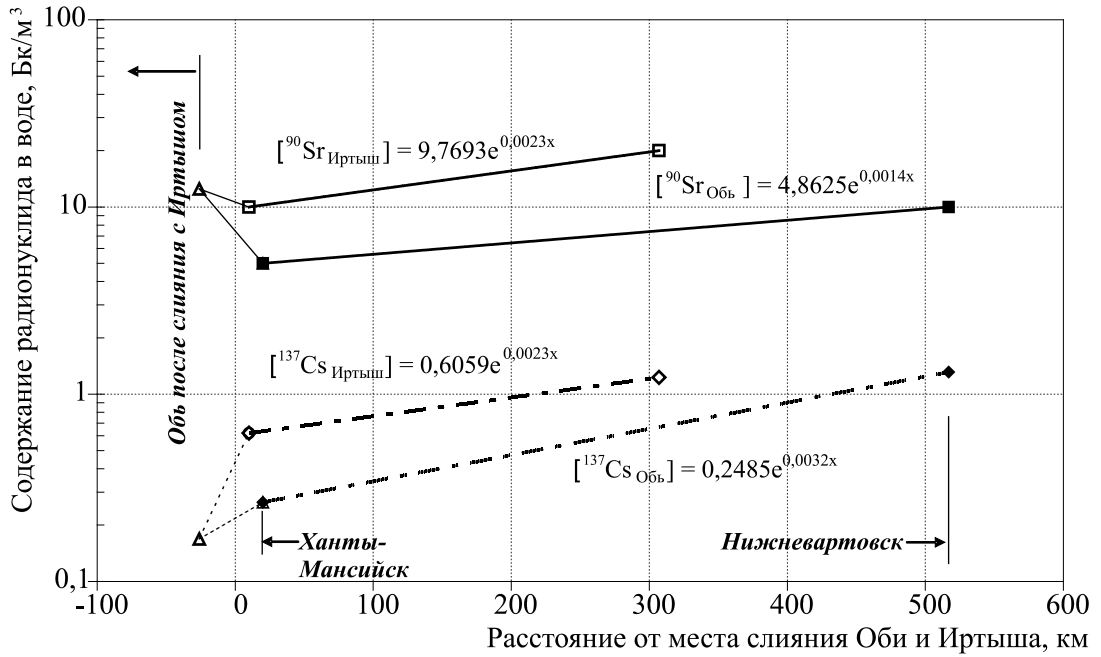


Рис. 4 а. Распределение ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в воде Оби и Иртыша на протяжении обследованных участков рек в 2004 г.

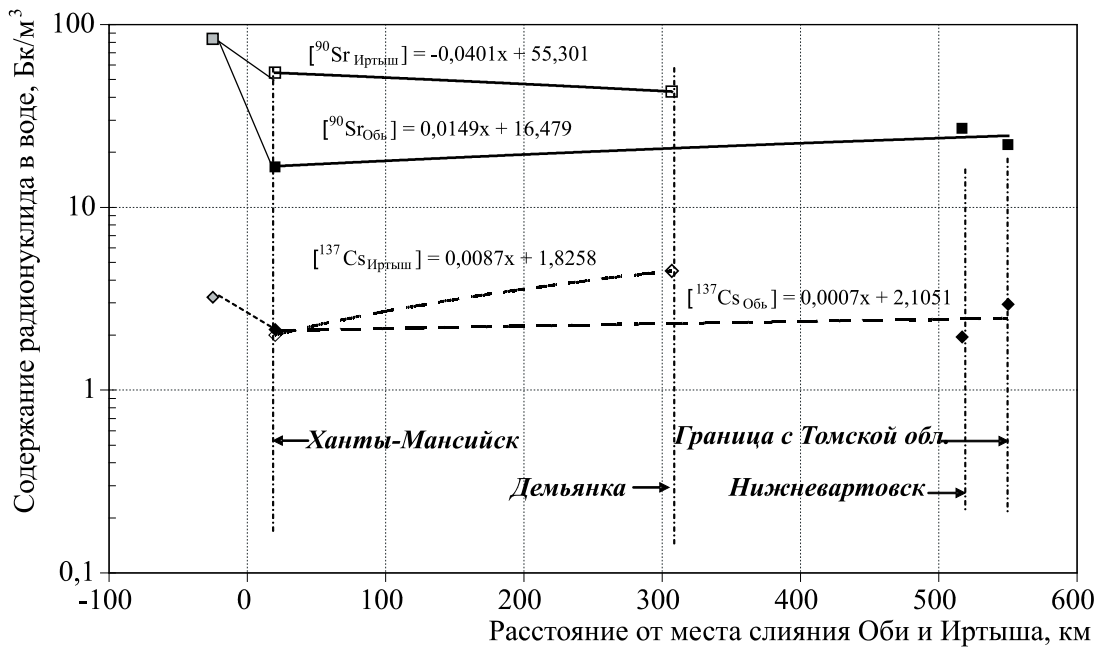


Рис. 4 б. Распределение ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в воде Оби и Иртыша на протяжении обследованных участков рек в 2005 г.

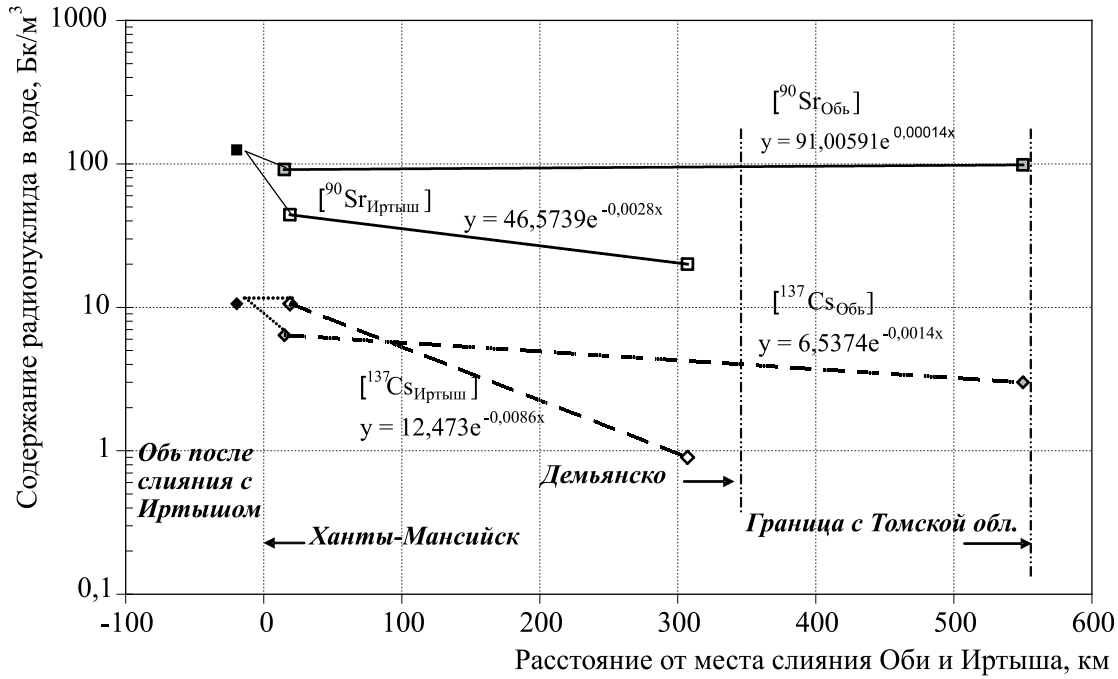


Рис. 4 в. Распределение ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в воде Оби и Иртыша на протяжении обследованных участков рек в 2006 г.

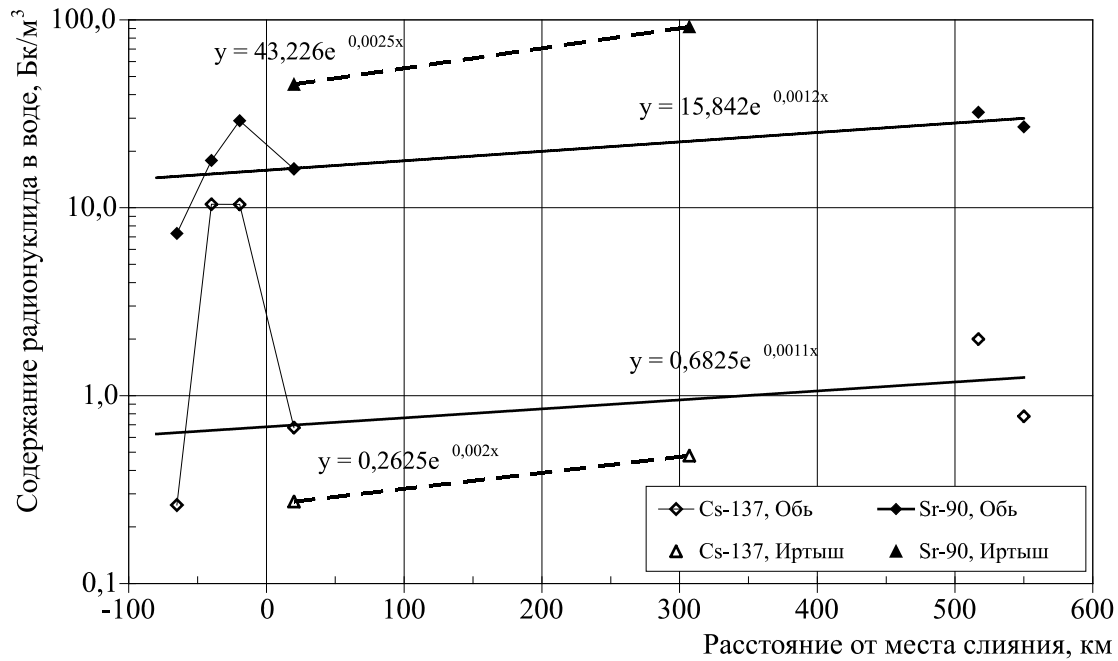


Рис. 4 г. Распределение ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в воде Оби и Иртыша на протяжении обследованных участков рек в 2007 г.

ента корреляции обеспечивал достаточно высокую достоверность аппроксимации ($R^2 > 0,8$), вертикальное распределение радионуклидов представлялось в виде простых аналитических функций – экспоненциальных или степенных. Если профиль вертикального распределения радионуклидов имел сложный немонотонный характер, моделирование вертикального распределения радионуклидов проводилось полиномами третьей или более высоких степеней. В большинстве случаев это обеспечивало достоверность аппроксимации с $R^2 > 0,6-0,7$.

В качестве примера, иллюстрирующего использованный нами подход для математического моделирования вертикального профиля распределения радионуклидов и проведения последующих расчетов запасов, ниже приведены график (рис. 5) и соответствующие вычисления для створа 1 (р. Обь, 20 км ниже впадения Иртыша, 2007 г). Аналогичные расчеты были проведены для всех исследованных нами створов.

Вертикальное распределение радионуклидов в рассматриваемом створе с высоким коэффициентом детерминации R^2 представлено следующими регрессионными уравнениями:

$$[^{90}\text{Sr}, \text{Бк/м}^3] = -160639,88x^3 + 50149,19x^2 - 3908,83x + 700,70; R^2 = 0,95 \quad (1)$$

$$[^{137}\text{Cs}, \text{Бк/м}^3] = 7828,19x^3 + 1109,0x^2 + 107,5; R^2 = 1,0 \quad (2)$$

где x – средняя глубина слоя, м;
 $[^{90}\text{Sr}, \text{Бк/м}^3]$ и $[^{137}\text{Cs}, \text{Бк/м}^3]$ – объемные активности радионуклидов.

Плотности запасов радионуклидов в верхнем слое грунтов 0–0,3 м, соответствующие рассматриваемому распределению, найдены интегрированием по вертикальной координате x с верхним пределом интегрирования, равным глубине слоя (в данном примере 0,3 м):

$$Q [^{90}\text{Sr}] = \int_0^{0,3} (-160639,88x^3 + 50149,19x^2 - 3908,83x + 700,7) dx = 160,36 \text{ Бк/м}^2 \quad (3)$$

$$Q [^{137}\text{Cs}] = \int_0^{0,3} (7828,19x^3 + 1109,0x^2 - 861,35x + 107,5) dx = 19,322 \text{ Бк/м}^2 \quad (4)$$

где $Q [^{90}\text{Sr}]$ и $Q [^{137}\text{Cs}]$ – рассчитываемые плотности запасов;

x – вертикальная координата, характеризующая глубину слоя, м.

Определенные таким образом оценки величин локальных плотностей запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr для каждого из исследованных створов за период 2004–2007 гг. систематизированы и представлены в табл. 3.

Соответствующие диаграммы, иллюстрирующие изменения полученных величин оценок плотностей запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в пойменных грунтах исследованных створов рек за период наблюдений 2004–2007 гг. приведены на рис. 6.

На представленных диаграммах во всех исследованных створах Оби прослеживается общая тенденция заметного снижения уровня загрязнения и связанных с ними величин плот-

Таблица 3

Локальные плотности запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr (Бк/м²) на различных участках поймы Оби и Иртыша в 2004–2007 гг.

Река	Створ	Расстояние от устья Иртыша, км	Q [^{137}Cs], Бк/м ²				Q [^{90}Sr], Бк/м ²			
			2004	2005	2006	2007	2004	2005	2006	2007
Обь	8	-90÷-65	–	–	1152,0	481,3	–	–	3022,0	562,2
	7	-40	–	–	–	16,8	–	–	–	478,5
	1	-20	1418,0	268,0	224,1	19,3	993,1	2647,0	928,4	160,4
	2	15	555,6	1032,0	1142,0	–	189,1	1742,0	2174,0	–
	4	508	1985,0	400,0	230,3	34,7	129,1	1246,0	1065,0	168,1
	5	538	–	459,0	425,0	234,8	–	1683,0	1939,0	740,0
Иртыш	3	18	245,4	1983,0	736,5	–	106,3	2433,0	3514,0	–
	6	295	2660,0	347,0	162,3	195,6	211,8	1702,0	1078,0	1249,0

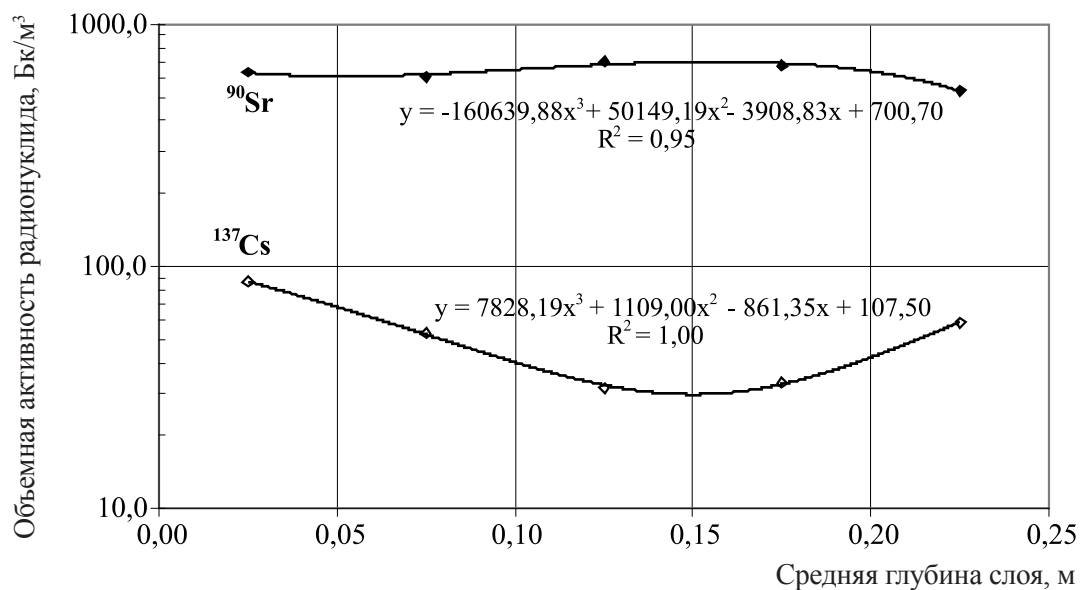


Рис. 5. Вертикальное распределение радионуклидов в пойменных грунтах Оби створа 1 (среднее по трем точкам в створе)

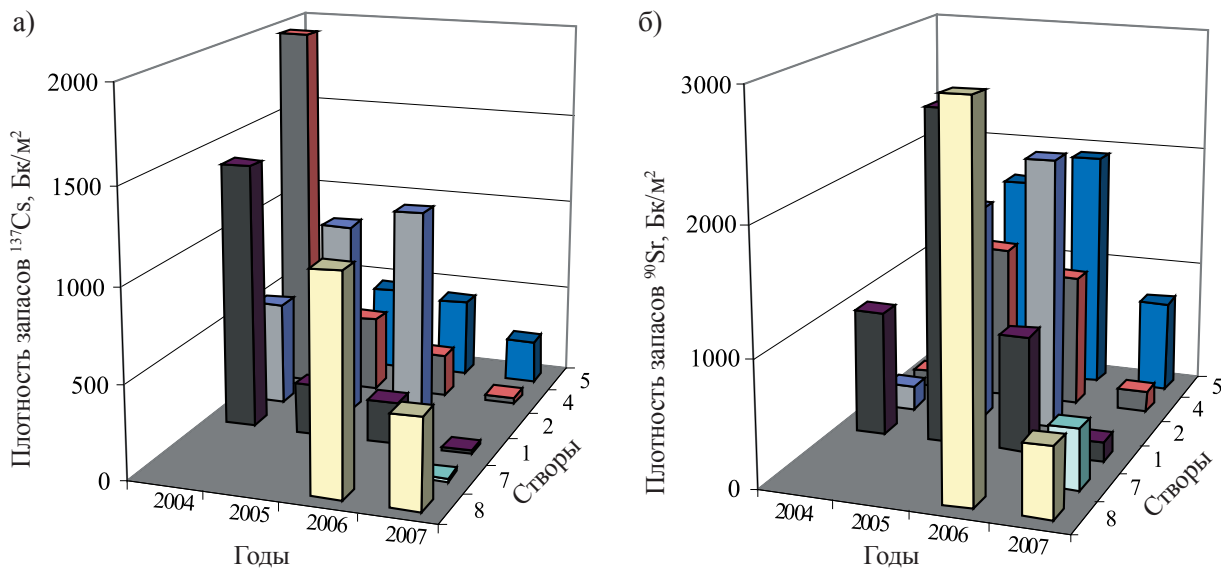


Рис. 6. Оценки плотностей запасов ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в пойменных грунтах исследованных створов Оби по данным исследований 2004–2007 гг.

ностей запасов радионуклидов в пойменных грунтах в течение рассматриваемого периода времени. Такое снижение не всегда было строго монотонным. Например, в 2005–2006 гг. отмечался существенный рост содержания ^{137}Cs в пойменных грунтах в створах 2 и 5, и ^{90}Sr в створах 1, 2, 4, 5 и 8. Содержание радионуклидов, зафиксированное в 2007 г., оказалось минимальным за весь рассматриваемый период времени 2004–2007 г.

Отмеченная динамика указывает на протекание интенсивных процессов аллювиального выноса радионуклидов из рассматриваемого участка поймы Оби в нижележащие по течению реки. На возможность протекания такого процесса указывалось в предыдущих исследованиях, проведенных нами в 2005–2006 гг. На основании полученных ранее оценок отрицательного баланса стоков радионуклидов было показано, что расчетные годовые стоки радионуклидов на выходных створах участков Оби и Иртыша превышают входные.

По результатам определения локальных запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в пойме обследованных створов строились математические модели распределения загрязнения радионуклидами в пойме вдоль русла рек в течение 2004–2007 гг. Опыт многочисленных предыдущих исследований в поймах Течи, Туры, Тобола, Исети и ряда других рек показывает, что тренд горизонтального миграционного профиля отмеченных радионуклидов в пойме по течению рек в большинстве случаев удовлетворительно описывается экспоненциальными функциями. Поэтому в данном случае в силу ограниченного числа точек обследования протяженные участки поймы были условно разбиты на несколько зон, в каждой из которых по двум крайним точкам – на входном и выходном створах – распределение плотности запасов аппроксимировалось экспоненциальными уравнениями. Расчет общих запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в поймах проводился интегрированием зависимостей, описывающих изменение плотностей запасов в пойме исследуемых участков рек по течению. Ниже на примере данных 2006 г. рассмотрена методика проводимых вычислений.

а) Запасы на участке Оби от устья Иртыша до границы ХМАО (Соснино):

$$^{137}\text{Cs} = 10 \cdot 10^6 \cdot \int_0^{538} (1159,7 \cdot e^{-0,0025x}) dx = 3,43 \cdot 10^{12} \text{ Бк} \quad (5)$$

$$^{90}\text{Sr} = 10 \cdot 10^6 \cdot \int_0^{538} (2157,4 \cdot e^{-0,0008x}) dx = 9,432 \cdot 10^{12} \text{ Бк} \quad (6)$$

б) запасы на участке Оби ниже устья Иртыша:

$$^{137}\text{Cs} = 10 \cdot 10^6 \cdot \int_{-95}^0 (142,1 \cdot e^{-0,0231x}) dx = 4,906 \cdot 10^{11} \text{ Бк} \quad (7)$$

$$^{90}\text{Sr} = 10 \cdot 10^6 \cdot \int_{-95}^0 (668,52 \cdot e^{-0,0167x}) dx = 1,556 \cdot 10^{12} \text{ Бк} \quad (8)$$

в) Суммарные запасы в пойме Оби:

$$^{137}\text{Cs} = 3,92 \cdot 10^{12} \text{ Бк}$$

$$^{90}\text{Sr} = 1,1 \cdot 10^{13} \text{ Бк}$$

г) Запасы в пойме Иртыша:

$$^{137}\text{Cs} = 10 \cdot 10^6 \cdot \int_0^{307} (811,55 \cdot e^{-0,0052x}) dx = 1,244 \cdot 10^{12} \text{ Бк} \quad (9)$$

$$^{90}\text{Sr} = 10 \cdot 10^6 \cdot \int_0^{307} (3790,6 \cdot e^{-0,0041x}) dx = 6,619 \cdot 10^{12} \text{ Бк} \quad (10)$$

где e – экспоненциальная функция, использованная нами для аналитического представления плотности запасов в пойме;

x – расстояние от места слияния Оби и Иртыша.

На рис. 7 приведен пример такого моделирования по результатам исследований, проведенных в 2006 г.

В табл. 4 систематизированы расчетные оценки интегральных запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в поймах исследуемых участков Оби и Иртыша, выполненные в 2004–2007 гг. Сравнение оценок величин запасов, полученных в различные годы

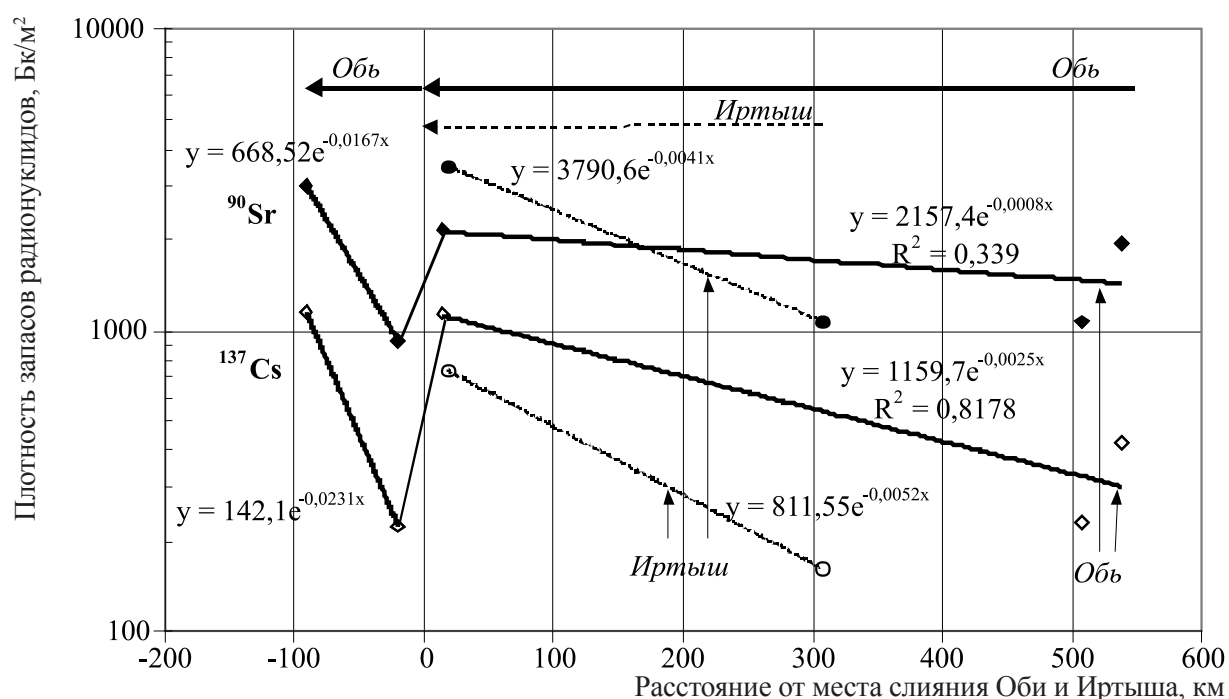


Рис. 7. Изменение плотности запасов радионуклидов по течению в поймах исследованных участков Оби и Иртыша

Таблица 4

Оценки интегральных запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в поймах исследуемых участков Оби и Иртыша, полученные в различные годы

Год	Обь		Иртыш	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
2004	$6,5 \cdot 10^{12}$	$8,3 \cdot 10^{11}$	$4,3 \cdot 10^{12}$	$4,8 \cdot 10^{11}$
2005	$4,0 \cdot 10^{12}$	$8,8 \cdot 10^{12}$	$3,8 \cdot 10^{12}$	$6,4 \cdot 10^{12}$
2006	$3,9 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{12}$	$6,6 \cdot 10^{12}$
2007	$2,0 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{12}$	$2,3 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$
Среднее за 2004–2006 гг.	$4,8 \cdot 10^{12}$	$6,9 \cdot 10^{12}$	$3,1 \cdot 10^{12}$	$4,5 \cdot 10^{12}$

по результатам определения содержания радионуклидов в пробах пойменных грунтов, показывает близость оценок 2005–2006 гг. Полученная в 2007 г. оценка запасов радионуклидов оказалась по ^{137}Cs наименьшей за весь наблюдаемый период исследований, а по ^{90}Sr – сопоставимой с результатами 2004 г. Минимальные запасы по ^{137}Cs в 2007 г. объясняются нами наблюдавшимся в этом году высоким половодьем, вследствие

чего для отбора проб в пойме были доступны лишь наиболее возвышенные незатопленные места. Наиболее высокие и близкие между собой оценки запасов радионуклидов датируются периодом 2005–2006 гг. Средняя за указанный интервал времени оценка запасов составляет: для Оби – $4,8 \cdot 10^{12}$ Бк по ^{137}Cs и $6,9 \cdot 10^{12}$ Бк по ^{90}Sr . Для Иртыша аналогичные величины равны $3,1 \cdot 10^{12}$ Бк и $4,5 \cdot 10^{12}$ Бк, соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что с 2004 по 2006 гг. в воде Оби и Иртыша наблюдался рост объемной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , особенно на участках вблизи слияния рек. В 2007 г. вследствие многоводного паводка в воде Иртыша отмечено снижение объемной активности ^{137}Cs до $0,3 \text{ Бк/м}^3$, что ниже результатов 2004 г. Содержание ^{90}Sr , напротив, увеличилось до $91,8 \text{ Бк/м}^3$. В воде Оби объемная активность ^{137}Cs уменьшилась в 9 раз, ^{90}Sr в 5,7 раза.

2. По результатам определения послойного содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в пробах пойменных грунтов в 2004–2007 гг. выполнены оценки локальных плотностей запасов радионуклидов в донных отложениях и поймах Оби и Иртыша. Наиболее высокие и близкие между собой оценки запасов радионуклидов датируются периодом 2005–2006 гг., наиболее низкие (вследствие высокого половодья) – 2007 г. Средняя за интервал 2004–2006 гг. оценка запасов радионуклидов составляет: для Оби – $4,8 \cdot 10^{12} \text{ Бк}$ по ^{137}Cs и $6,9 \cdot 10^{12} \text{ Бк}$ по ^{90}Sr . Для Иртыша аналогичные величины равны $3,1 \cdot 10^{12} \text{ Бк}$ и $4,5 \cdot 10^{12} \text{ Бк}$, соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №07–05–00171 и Департамента гражданской защиты населения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экология Ханты-Мансийского автономного округа / Под ред. В.В. Плотникова. – Тюмень: СофтДизайн, 1997. – 288 с.
2. Заключение комиссии по оценке экологической ситуации в районе производственного объединения “Маяк”, организованной по решению Президиума АН СССР № 1140–501 // Радиобиология. – 1991. – Т. 31, вып. 1. – С. 436–452.
3. Трапезников А.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н. и др. Итоги многолетних радиэкологических исследований реки Теча // Вопросы радиац. безопасности. – 2007. – № 3. – С. 36–49.
4. Израэль Ю.А., Артемов Е.В., Пахомов В.Н. и др. Радиоактивное загрязнение местности в результате аварии на радиохимическом заводе в Томске-7 // Метеорология и гидрология. – 1993. – № 6. – С. 5–8.
5. Трапезников А.В., Позолотина В.Н., Юшков П.И. и др. Исследование радиэкологической ситуации в реках Теча и Исеть, загрязненных сбросами ПО “Маяк” / Под ред. А.В. Трапезникова и С.М. Вовка // Проблемы радиэкологии и пограничных дисциплин. – 1999. – Вып. 2. – С. 20–66.
6. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н. Радиэкологические исследования почвенно-растительного покрова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 87 с.