

УДК: [574: 539.163]+621.039.7

В.Н. Трапезникова<sup>1</sup>, А.В. Коржавин<sup>1</sup>, А.В. Трапезников<sup>1</sup>,  
В.Г. Зайнуллин<sup>2</sup>, В.Н. Николкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт экологии растений и животных УрО РАН,  
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта 202, тел.: 8(34377) 3-61-16; факс 8(34377) 3-20-70;  
E-mail: vera\_zar@mail.ru., BFS\_zar@mail.ru.

<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28;  
тел.: 8(8212) 43-04-78; E-mail: VZainullin@ib.komisc.ru

## РАДИОЭКОЛОГИЯ ОБЬ-ИРТЫШСКОЙ РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ В ГРАНИЦАХ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА-ЮГРЫ



**В.Н. Трапезникова**  
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологии растений и животных УрО РАН



**А.В. Коржавин**  
кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник Института экологии растений и животных УрО РАН



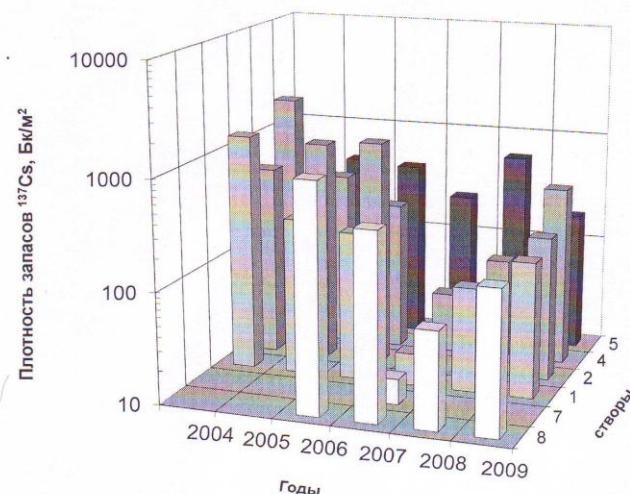
**А.В. Трапезников**  
доктор биологических наук, заведующий Отделом континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных УрО РАН

В бассейне Обь-Иртышской речной системы на территории Свердловской, Челябинской и Томской областей исторически сформировалась развитая промышленная инфраструктура, включающая несколько предприятий атомного профиля, являющихся поллютантами техногенных радионуклидов в открытое водоемы. Наиболее сильное влияние на экосистему этого бассейна оказывает деятельность ПО «Маяк» (Челябинская область), технологические системы которого в конце сороковых - начале пятидесятых годов произ-

вели прямой сброс радиоактивных отходов в реку Теча в количестве  $76 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ , суммарной активностью  $10^{17} \text{ Бк}$ . Часть радионуклидов поступила транзитом в Обь – Иртышскую речную систему через реки Теча, Исеть и Тобол. Другая значительная часть радионуклидов была аккумулирована в донных отложениях рек и пойменных почвах, которые продолжают поступать, и еще в течение длительного срока будут поступать в Обь-Иртышскую речную систему. По имеющимся оценкам в пойме Течи депонировано от 15 до 30 ТБк  $^{137}\text{Cs}$  и от 120 до 200 ТБк  $^{90}\text{Sr}$ , представляющих потенциальную радиационную опасность для регионов, расположенных ниже по течению рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь [1].

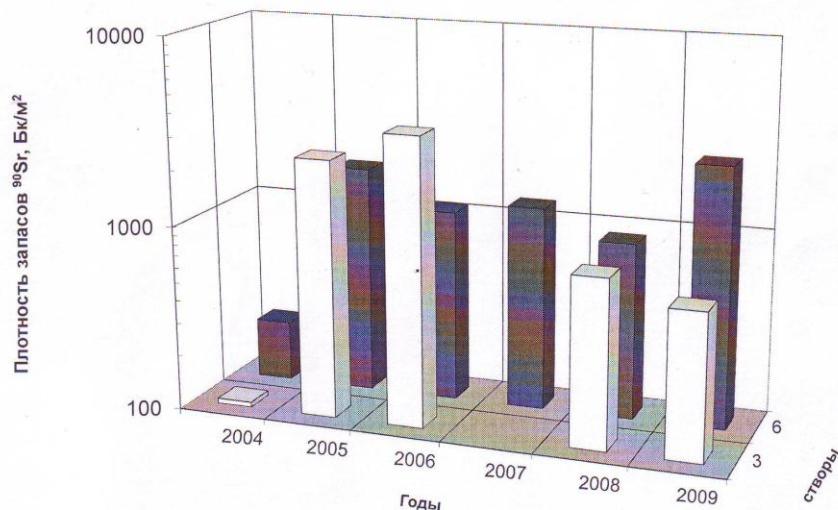
Так же значительная часть поллютантов депонирована на территории верхнего участка р. Теча – в Асановских болотах, представляющих собой заболоченную пойму площадью  $40 \text{ км}^2$  с запасом активности около 330 ТБк по  $^{137}\text{Cs}$  и 220 ТБк по  $^{90}\text{Sr}$  [4]. В бассейне р. Обь и ее притока р. Томь находится территория, загрязненная после радиационной аварии на Сибирском химическом комбинате в 1993 г., границы распространения которой и степень влияния на Обскую речную систему, к сожалению, пока недостаточно хорошо изучены [2]. Предполагается, что суммарное количество радиоактивности в выбросе составило 4,3 ТБк (115 Ки) по долгоживущим изотопам. Радиоактивные элементы были разнесены в северо-восточном направлении, их выпадение зафиксировали на территории  $120 \text{ км}^2$ .

Начиная с 2004 года Отдел континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных УрО РАН, проводил масштабные радиоэкологические исследования Обь - Иртышской речной системы в Ханты-Мансийском автономном округе. В настоящей работе представлены результаты научно-мониторинговых исследований основных депонирующих компонентов Обь-Иртышской речной экосистемы.



б)

Рис. 2. Плотность загрязнения пойменных почв Оби по  $^{90}\text{Sr}$  (а) и  $^{137}\text{Cs}$  (б) в период 2004-2009 гг.



а)

Исходными данными для оценки величины локальных запасов или плотности загрязнения пойменных почв, выраженных в

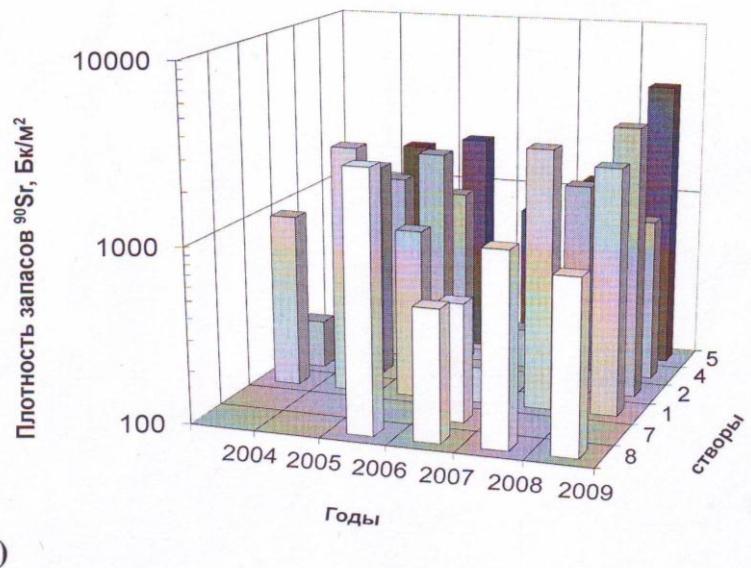
Бк/м<sup>2</sup>, являются результаты исследования проб указанных природных сред, взятых послойно с шагом 5 см до глубины 25-30 см.

Плотность загрязнения радионуклидами пойменных почв Оби и Иртыша представлена на рисунках 2-3. Ранее, в ряде фундаментальных работ [7;8] на основании результатов натурных исследований было показано, что основным депо радионуклидов в пресноводных биогеоценозах являются донные отложения водоема, а в реках это пойменные почвы и донные от-

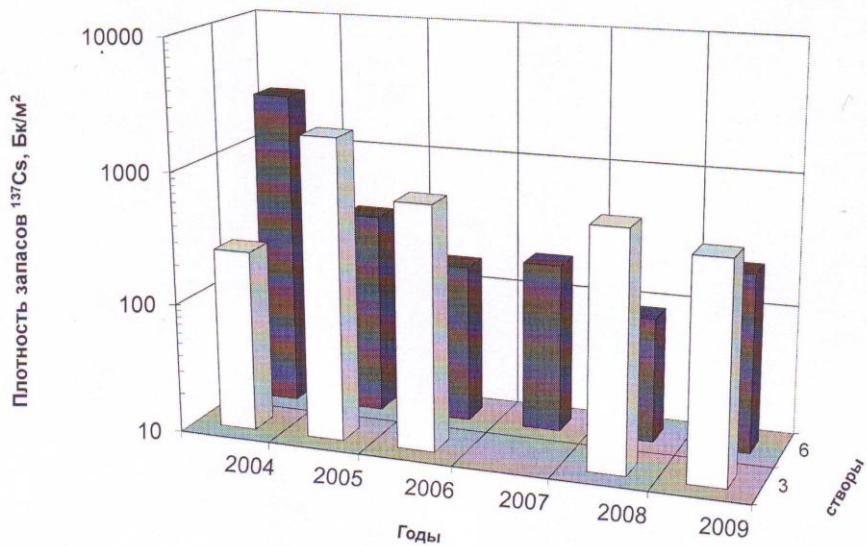
ложения пойменных водоемов, которые поглощают 80% и более нуклидов, затем следует водная компонента (в пределах от долей процента до 20%) и, наконец, гидробионты (так, высшие водные растения могут аккумулировать в общей сложности доли процента от суммарной активности в водоеме).



Рис. 1. Схема района исследований (цифрами обозначены номера створов).



a)



б)

Рис. 3. Плотность загрязнения пойменных почв Иртыша по  $^{90}\text{Sr}$  (а) и  $^{137}\text{Cs}$  (б) в период 2004-2009 гг.

По результатам определения локальных запасов радионуклидов моделировалось их распределение на участках рек вдоль русла в донных отложениях и пойменных почвах, и интегрированием полученных регрессионных уравнений определяли интегральные запасы радионуклидов на этих участках. Общие запа-

сы получали суммированием всех полученных величин для всех участков. Ниже в качестве примера приведен вариант расчета для участка двусторонней поймы Иртыша от Демьянского до устья реки шириной 5 км и длиной 297 км, выполненный по результатам исследований 2009 г.

$$^{137}\text{Cs} (\text{Бк}) = 5 \cdot 10^6 \cdot \int_0^{297} \left( 4.917 \cdot 10^2 \cdot e^{2.569 \cdot 10^{-3} \cdot \underline{x}} \right) d\underline{x} = 1.095 \times 10^{12} \quad (1)$$

$$^{90}\text{Sr} (\text{Бк}) = 5 \cdot 10^6 \cdot \int_0^{297} \left( 5.571 \cdot 10^2 \cdot e^{5.048 \cdot 10^{-3} \cdot \underline{x}} \right) d\underline{x} = 1.919 \times 10^{12} \quad (2)$$

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

$\underline{x}$  – расстояние от места слияния Оби и Иртыша.

#### Результаты выполненных расчетов представлены в таблице 1.

В работе [9] показано, что расчет запасов радионуклидов в компонентах водных экосистем, играющих роль депо радиоактивных веществ, служит количественной оценкой барьерной функции этих биогеоценозов по отношению к переносу нуклидов за пределы данной экосистемы.

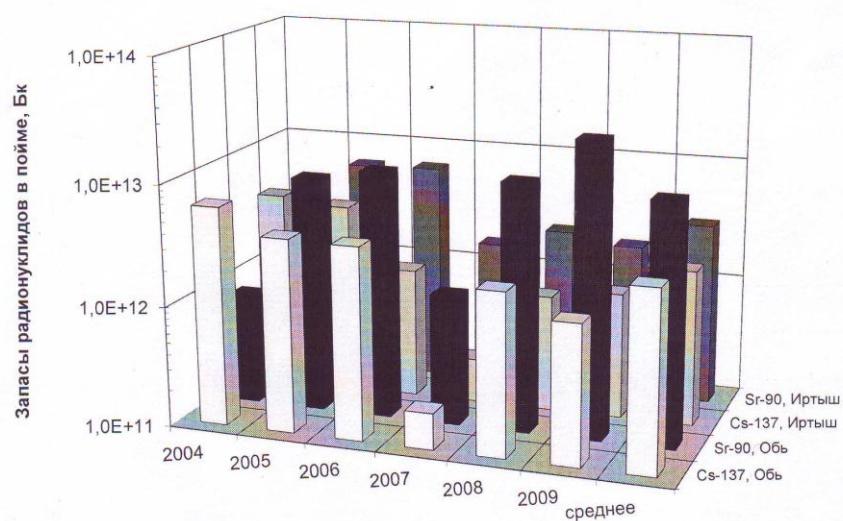
Средние величины интегральных запасов радионуклидов в пойме Оби и Иртыша показали, что преобладающим радионуклидом на обследованных участках рек является  $^{90}\text{Sr}$ . Интегральный запас  $^{90}\text{Sr}$  в пойме Оби в 3,3 раза превышал интегральные запасы  $^{137}\text{Cs}$ , в пойме Иртыша – в 1,68 раза. Но подобное соотношение радионуклидов в пойме рек на протяжении указанного периода наблюдалось не

всегда. На рисунке 4 представлена динамика интегральных запасов радионуклидов в обследованной пойме Оби и Иртыша на протяжении 2004-2009 гг. На начальном этапе мониторинговых исследований в 2004 году соотношение интегральных запасов  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  в пойме Оби составляло 7,8, а в пойме Иртыша, соответственно, 8,9, то есть расчетные запасы  $^{137}\text{Cs}$  в

пойме обеих рек превышали запасы  $^{90}\text{Sr}$ . Начиная с 2005 года ситуация начала меняться. Отношение интегральных запасов  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  в пойме Оби уменьшилось до 0,45, а в Иртыше до 0,59. Все последующие годы интегральные запасы  $^{90}\text{Sr}$  в поймах рек всегда превышали запасы  $^{137}\text{Cs}$ .

**Таблица 1** Интегральные запасы (Бк)  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в поймах исследуемых участков Оби и Иртыша

Год	Обь		Иртыш	
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
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	$2,0 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{12}$	$2,3 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$
2008	$2,2 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$9,2 \cdot 10^{11}$	$2,3 \cdot 10^{12}$
2009	$1,4 \cdot 10^{12}$	$2,6 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{12}$
Средняя величина	$3,0 \cdot 10^{12}$	$9,8 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$3,2 \cdot 10^{12}$



**Рис. 4.** Динамика изменения интегральных запасов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в исследованных поймах участках Оби и Иртыша в период 2004-2009 гг.

Подобное соотношение  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  в

пойменных участках Оби и Иртыша не харак-

терно для радиоактивного загрязнения, вызванного глобальными выпадениями. По данным UNSCEAR (1993), в поясе между 50° и 60° с.ш. интегральная плотность загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  с учетом радиоактивного распада составляет 1,5 кБк/м<sup>2</sup>. Соответственно уровень содержания  $^{137}\text{Cs}$  в 1,6 раза выше – 2,4 кБк/м<sup>2</sup>, что усреднено можно считать фоновыми значениями [5]. Средняя для большого периода наблюдений (с 1960 по 1971 гг.) величина соотношения  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  в глобальных выпадениях равна 0,6 [3]. По данным А.В. Трапезников и др. [10], проводивших исследования в различных почвенно-климатических зонах, в зоне средней тайги (Республика Саха, Якутия), в меньшей степени испытывающей антропоген-

ное воздействие, запас радионуклидов в 0-30 см слое для  $^{90}\text{Sr}$  составил 1,7-3,0 кБк/м<sup>2</sup>, а для  $^{137}\text{Cs}$  – 2,3-3,7 кБк/м<sup>2</sup>, величина соотношения  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  варьировала от 1,2 до 1,5, приближаясь к таковым в глобальных выпадениях.

Таким образом, анализ изотопных соотношений  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  показывает, что источником радиоактивного загрязнения пойменных участков Оби и Иртыша являются не глобальные атмосферные выпадения, а радионуклиды, присутствующие в воде данных рек.

## 2.2. Содержание $^{137}\text{Cs}$ и $^{90}\text{Sr}$ в воде

Динамика изменения содержания радионуклидов в воде Оби и Иртыша в период 2004-2010 гг. представлена в таблице 2.

Таблица 2 Объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в воде рек Обь и Иртыш в период 2004-2010 гг.

Содержание	Год	Створы рек					
		Обь					Иртыш
		1	2	4	5	8	3
$^{137}\text{Cs}, \text{Бк/м}^3$	2004	0,17	0,26	1,31	-	-	0,62
	2005	2,1	1,6	1,3	2,1	-	1,3
	2006	10,6	6,4	-	3,0	1,01	10,6
	2007	10,4	0,68	2,0	0,78	0,26	0,27
	2008	0,13	0,10	0,26	0,18	0,91	0,12
	2009	1,2	1,2	2,1	1,0	4,3	0,42
	2010	0,9	0,36	6,1	4,4	2,2	0,73
$^{90}\text{Sr}, \text{Бк/м}^3$	2004	12,5	5,0	10,0	-	-	10,0
	2005	83,5	16,6	27,0	22,0	-	54,5
	2006	110,5	91,2	-	98,4	16,5	44,2
	2007	29,1	16,1	32,2	27,0	7,3	45,4
	2008	10,5	13,0	16,5	20,5	14,5	29,0
	2009	20,0	17,3	16,8	154,0	19,2	28,8
	2010	24,2	15,2	17,7	15,2	19,6	24,9

Как показывают представленные данные, радиоэкологическая ситуация на Оби и Иртыше не стабильна и не однозначна. При анализе массива данных с 2004 по 2010 гг. можно условно выделить два временных периода: 1) – период роста объемной активности радионуклидов в воде, 2) – период стабилизации. Первый период охватывает временной промежуток с 2005 по 2008 гг. Данный период характеризуется подъемом объемной активности радионуклидов в воде Оби и Иртыша практически на всех обследованных участках. Так, по сравнению с исходными данными 2004 года объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в воде Оби возросла с 0,17 до 10,4-10,6 Бк/м<sup>3</sup>, в Иртыше с 0,62 до 10,6 Бк/м<sup>3</sup>. Объемная активность  $^{90}\text{Sr}$

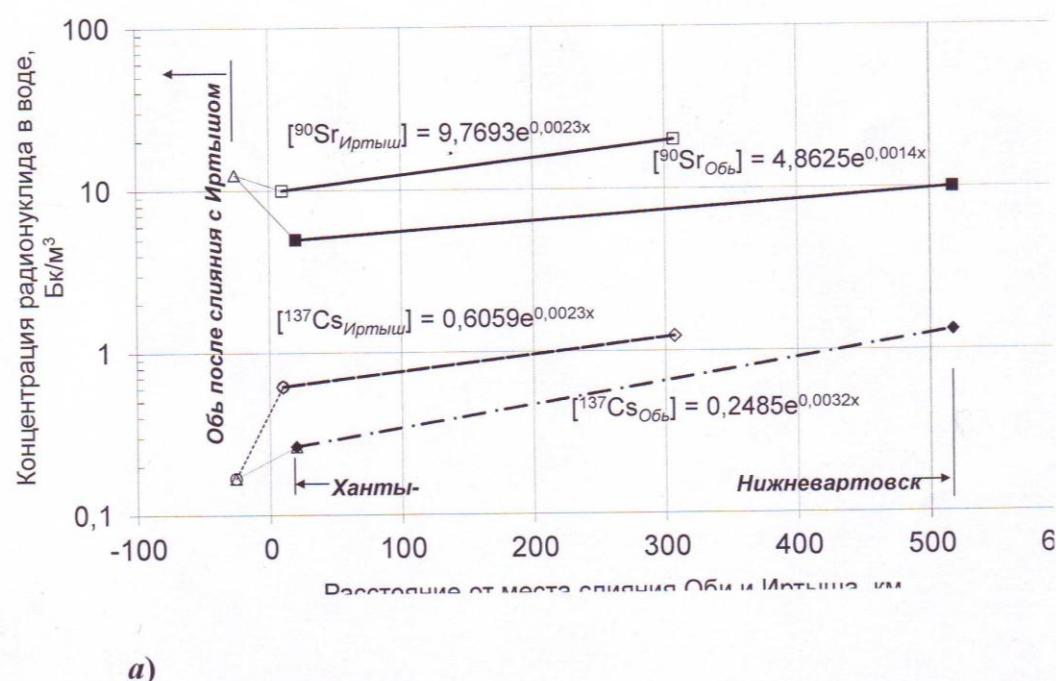
также увеличилась с 12,5 до 110,5 Бк/м<sup>3</sup> в воде Оби и с 10,0 до 54,5 Бк/м<sup>3</sup> в воде Иртыша. Начиная с 2009 года, наблюдается период некоторой стабилизации показателей. Содержание радионуклидов в воде рек начало снижаться, оставаясь на более высоком общем уровне по сравнению с показателями 2004 года. При этом единичные случаи подъема содержания радионуклидов в воде были отмечены и в 2009 году. Так, на входном створе Оби на границе с Томской областью (№5 п. Соснино) было зафиксировано увеличение объемной активности  $^{90}\text{Sr}$  до 154 Бк/м<sup>3</sup>. На следующий год объемная активность  $^{90}\text{Sr}$  в воде данного створа снизилась до 15,2 Бк/м<sup>3</sup> и таких резких подъемов на других участках в 2010 году уже не отмечалось.

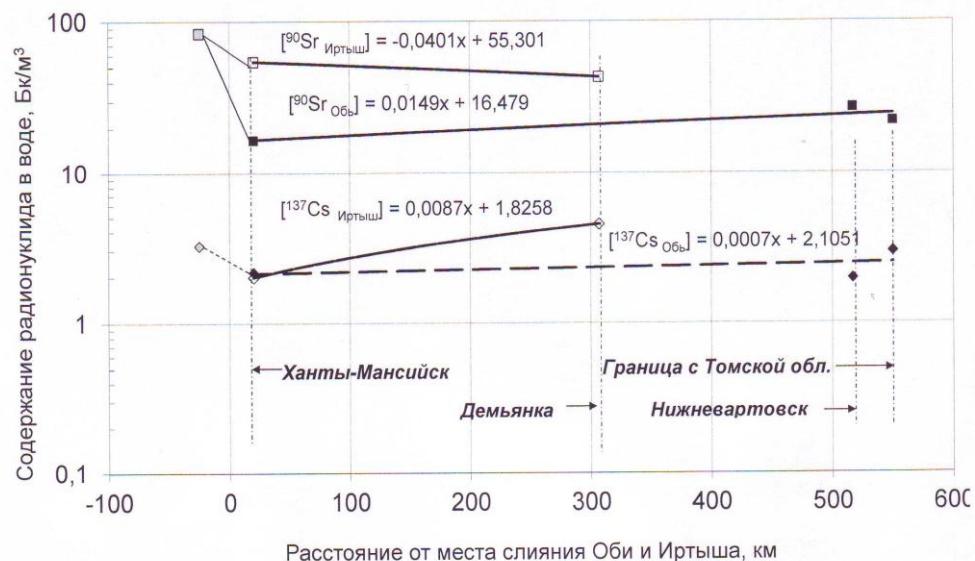
лось.

Изменение объемной активности радионуклидов в воде сопровождалось изменением изотопных отношений  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ . В 2004 году исходное значение отношения  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  в Оби составляло 9,62, в Иртыше несколько выше – 16,2. В последующий период наблюдалось последовательное увеличение изотопного отношения с 12,9 в 2005 году до 92,8 к 2008 году. В Иртыше за указанный период изотопное отношение  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  увеличилось до 193,9. Далее с 2009 года показатель изотопного отношения в воде начал снижаться и в 2010 году в Оби составил 4,42, в Иртыше – 39,66. Таким образом, нестабильный период в Обь-Иртышской речной системе с 2005 по 2008 годы характеризовался ростом объемной активности радионуклидов в воде и, в первую очередь, увеличением содержания  $^{90}\text{Sr}$ , как обладающего более высокой миграционной активностью, по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$ .

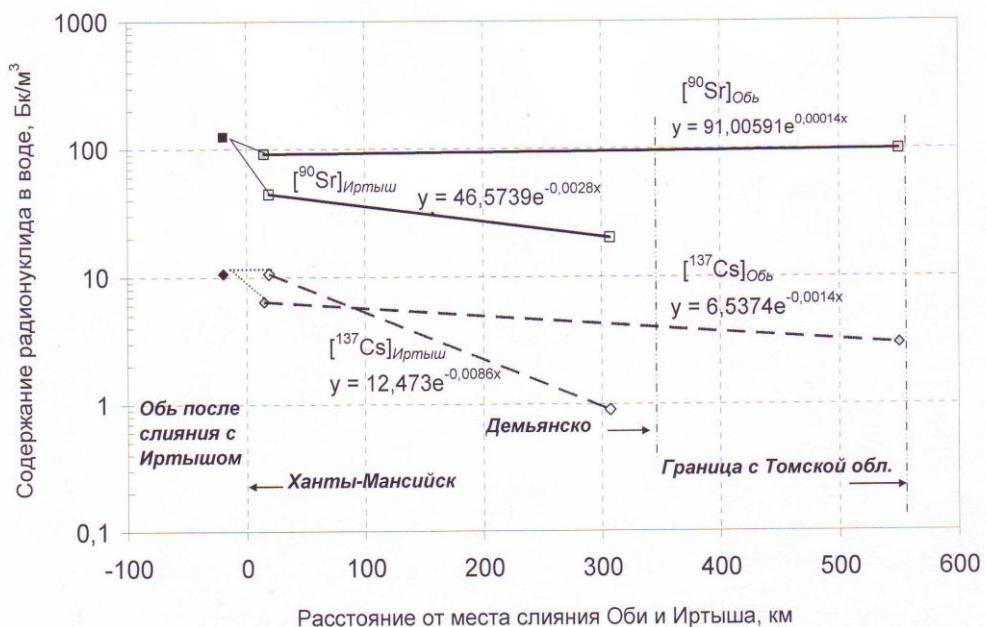
Кроме изменения изотопных отноше-

ний, увеличение содержания радионуклидов в воде Оби и Иртыша сопровождалось изменением концентрационного профиля на обследованных участках рек. На рисунке 5 показано распределение радионуклидов на обследованных участках на протяжении периода роста объемной активности. В 2004 году (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  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в воде по течению обеих рек, смоделированный экспоненциальными функциями. Начиная с 2005 года (рис. 4 б), картина распределения начала постепенно меняться. В 2005 году объемные активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на обследованных участках выровнялись, графики распределения приобрели более пологий вид. Подобная тенденция по распределению  $^{90}\text{Sr}$  в Оби и Иртыше сохранилась и в 2006 году (рис. 4 в).

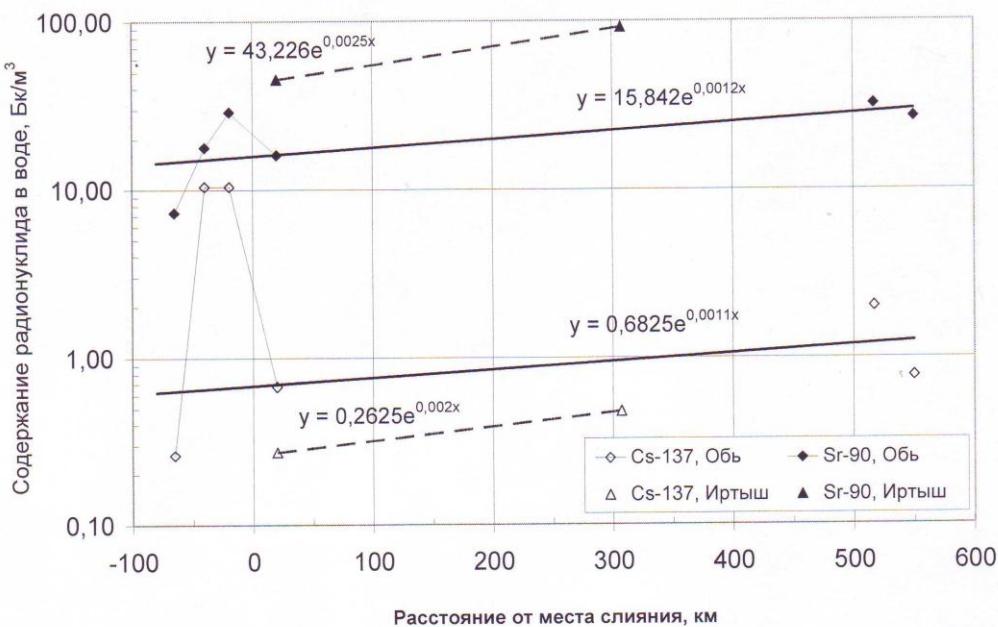




б)



б)



**Рис. 5.** Распределение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в воде Оби и Иртыша на протяжении обследованных участков рек: (а) в 2004 г, (б) в 2005 г, (в) в 2006 г и (г) -2007 г.

При этом произошло изменение градиента распределения  $^{137}\text{Cs}$  в Иртыше при котором его объемная активность возросла по течению реки, т.е. ситуация стала противоположной 2004 году.

И, наконец, в 2007 году (рис.4 г) тенденция предыдущих лет изменилась, и представленные графики опять показывают 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 году в связи с продолжительным весенним паводком и повыш-

енным водным стоком. В результате в створе 1, расположеннном на 20 км ниже слияния рек, более чем на порядок произошло увеличение содержания  $^{137}\text{Cs}$  и в полтора раза возросло содержание  $^{90}\text{Sr}$ .

Таким образом, на протяжении указанного периода в воде Оби и Иртыша на территории Ханты-Мансийского автономного округа были отмечены случаи повышения объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в воде рек почти на порядок величин по сравнению с исходными данными 2004 года. При этом повышение объемной активности было отмечено как в Иртыше, так и в Оби выше впадения Иртыша. Самое значительное повышение объемной активности  $^{90}\text{Sr}$  до 154 Бк/м<sup>3</sup> было зафиксировано в воде Оби на границе с Томской областью. Средние значения концентрации данного нуклида в реках России составляют 5-6 Бк/м<sup>3</sup>.

Несмотря на происходящие изменения, содержание  $^{137}\text{Cs}$  на 3-4 порядка величин, а  $^{90}\text{Sr}$  на два порядка было ниже уровней вмешательства, предусмотренных Нормами радиационной безопасности. Согласно (НРБ – 99/2009) [6], уровни вмешательства при содержании в воде отдельных радионуклидов составляют:  $^{137}\text{Cs} - 11 \text{ Бк/кг}, ^{90}\text{Sr} - 4,9 \text{ Бк/кг}$ .

#### Заключение

ЮГРА - ХАНТА-МАНСИЙСК АВТОНОМИЯЛЫҚ АЙМАҒЫ  
ШЕКАРАЛАРЫНДАҒЫ ОБЬ-ЕРТІС ӨЗЕНІ ЖҮЙЕСІНІҢ РАДИОЭКОЛОГИЯСЫ  
В.Н. Трапезникова, А.В. Коржавин, А.В. Трапезников,  
В.Г. Зайнуллин, В.Н. Николкин

2004-2010 және аралығында Обь және Ертіс өзендерінде суларында  $^{137}\text{Cs}$   $^{90}\text{Sr}$  ауқымды белсенделілігі 2004 жылғы бастапқы деректермен салыстырылғанда бірталай мөлшерге көтерілгені байқалды. Судагы радионуклидтердің ауқымды белсенделілігінің артуы Ертіс өзенінде қалай байқалса, Ертіс құйылғанга дейінгі мерзімде, Обь өзенінен де солай байқалды. Сондықтан, сулардың қосылатын жерінен төмен орналасқан Обь су жүйесінің ластануы тек Теча-Исет-Тобол-Ертіс-Обь өзен жүйесі бойынша «Маяк» ПО-мен түскен техногенді радионуклидтердің себебінен ғана емес, сонымен бірге, радионуклидтердің көрші Томск облысы аумағынан трансшекаралық тасымалдануы арқылы Обь өзенінде түсетең радионуклидтерге де байланысты.

RADIOECOLOGY OF THE OB-IRTYSH RIVER SYSTEM IN BORDERS  
OF HUNTY-MANJSK AUTONOMOUS OKRUG - JUGRA  
V.N. Trapeznikova, A.V. Korzhavin, A.V. Trapeznikov,  
V.G. Zainylin, V.N. Nikolkin

Cases of increase of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  volume activity almost by an order of value in comparison with the initial data of 2004 was noted in 2004-2010 for water of the Ob and Irtysh rivers. The increase of radionuclides volume activity in water was observed in Irtysh-river and in Ob-river before confluence of Irtysh. Therefore pollution of the Ob-river system, located below merge of the rivers, caused not only by receipt of technogenic radionuclides from "MAYAK" Corporation down to river system Techa-Iset-Tobol-Irtysh-Ob, but also from Ob-river by transboundary radionuclides carrying from territory of the neighbour Tomsk region.