Российская академия наук
Уральское отделение
ФГБУН Институт экологии растений и животных
ФГБНУ Уральский федеральный аграрный
научно-исследовательский центр

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

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

ТОМ III

Екатеринбург
2018

Российская академия наук
Уральское отделение
ФГБУН Институт экологии растений и животных
ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр

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

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

ТОМ III

ЕКАТЕРИНБУРГ
Издательство «АкадемНаука»
2018

УДК 574.58; 577.346
ББК 28.08

Ответственный редактор академик РАН,
доктор биологических наук, профессор **И.М.Донник**

Рецензенты
профессор, доктор биологических наук **Е.А.Пряхин**
профессор, доктор биологических наук **Б.В.Тестов**

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

Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем, Том III – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2018. – 304 с.

ISBN 978-5-884252-49-3

Обобщен 5-летний опыт радиоэкологического мониторинга низовья реки Оби и ряда её притоков, протекающих по территории полуострова Ямал в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. Изучены закономерности миграции, накопления и распределения ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ по основным компонентам речных экосистем, включая пойменные почвы. Построены эмпирические модели пространственного переноса данных техногенных радионуклидов в нижней Оби.

Таблиц – 74, рисунков – 97, библиография – 12 названий.

Организация экспедиции, отбор материала, измерение концентраций ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в воде и ихтиофауне, а также интерпретация результатов выполнены при финансовой поддержке проекта Комплексной программы УрО РАН № 18-9-4-9. Пробоподготовка и определение данных радионуклидов в пойменных почвах и донных отложениях, а также построение эмпирических математических моделей выполнены в рамках государственного задания ФГБУН Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН

ISBN 978-5-884252-49-3

УДК 574.58; 577.346
ББК 28.08

© А.В.Трапезников, В.Н.Трапезникова, А.В. Коржавин, В.Н. Николкин, 2018
© ФГБУН Институт экологии растений и животных УрО РАН, 2018
© ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр, 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая работа является третьим томом монографии «Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем». Первые две книги опубликованы в 2014 г. и в 2016 г., соответственно. Монография содержит информацию о накоплении, распределении и миграции ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в реке Обь и ряде ее притоков, а также в их пойме в 2013-2017 гг. в границах Ямало-Ненецкого автономного округа.

На различных этапах сбора и обработки материалов в экспедиционных и аналитических работах авторам помогал ряд специалистов: к.б.н. О.А. Николин, к.г.н. В.Г. Штро, к.б.н. А.А. Соколов, к.б.н. Л.Н. Михайловская, А.П. Платаев, М.Д. Рыбин, Г.И. Рябухина, Т.М. Васина, А.И. Волкова, И.А. Петрова, О.Ю. Кравцова, Е.И. Гугучкина, О.А. Пуртова, Э.А. Афанасьев.

Всем им авторы выражают искреннюю благодарность. Особую признательность приносим члену-корреспонденту РАН В.Д. Богданову.

2.20. Миграция, накопление и перераспределение основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. 2013-2014 гг.

2.20.1. Содержание ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{239,240}Pu в воде рек Обь, Иртыш и оценка их годовых стоков. 2013-2014 гг.

Для понимания процессов радиоактивного загрязнения реки Обь в границах Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) чрезвычайно важно выяснить, какая из двух крупнейших рек – Обь или Иртыш привносит бóльший вклад в годовой сток основных техногенных радионуклидов перед их слиянием. Данные по содержанию ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{239,240}Pu в воде рек Обь, Иртыш приведены в таблице 149. Годовой сток р.Иртыш до впадения ее в р.Обь равен 57,3 км^3/год. Тогда вынос основных техногенных радионуклидов Иртышом составит: для ^{90}Sr – 1427 ГБк, для ^{137}Cs – 42 ГБк, для ^{239,240} Pu – 0,5 ГБк.

Годовой сток р. Обь до ее слияния с Иртышом составляет 263 км^3/год. В таком случае вынос основных искусственных радионуклидов Обью будет равен: для ^{90}Sr – 3998 ГБк, для ^{137}Cs – 95 ГБк, для ^{239,240} Pu – 1,0ГБк.

Таким образом, интегральный вынос всех трех рассматриваемых радионуклидов будет бóльшим для Оби: по ^{90}Sr в 2.8 раза, по ^{137}Cs – в 2,3 раза и по ^{239,240}Pu – в 2,0 раза.

Очень большую помощь в понимании процессов переноса техногенных радионуклидов в реке Обь принесли материалы многолетних наблюдений (2004-2013 гг.) за уровнями содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в различных створах Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО), а также Ямало-Ненецкого автономного округа в 2013 г., проведенные сотрудниками Отдела континентальной радиоэкологии ИЭРЖ УрО РАН.

Таблица 149

Содержание ^{137}Cs, ^{90}Sr и $^{239,240}Pu$ в воде Оби и Иртыша

Место отбора проб	Содержание, Бк/м^3		
	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239,240}Pu$
Створ 1, р. Обь после слияния с Иртышом	0,9±0,28	24,2±0,8	0,011
Створ 2, р. Обь до слияния с Иртышом	0,36±0,28	15,2±9,6	0,0037
Створ 3, р. Иртыш до слияния с Обью	0,73±0,3	24,9±1,4	0,0089

На рисунке 391 и таблице 150 дана карта-схема и характеристика исследуемых участков нижней и средней Оби с расположением точек отбора проб.

На схеме кроме точек в нижнем течении Оби, исследованных в 2013-2014 г., приведены также створы Оби в пределах ХМАО, исследования которых проведены в течение 2004-2013 г. Все расстояния приведены относительно места слияния Оби и Иртыша (отрицательные – вниз по течению, положительные – вверх по течению).

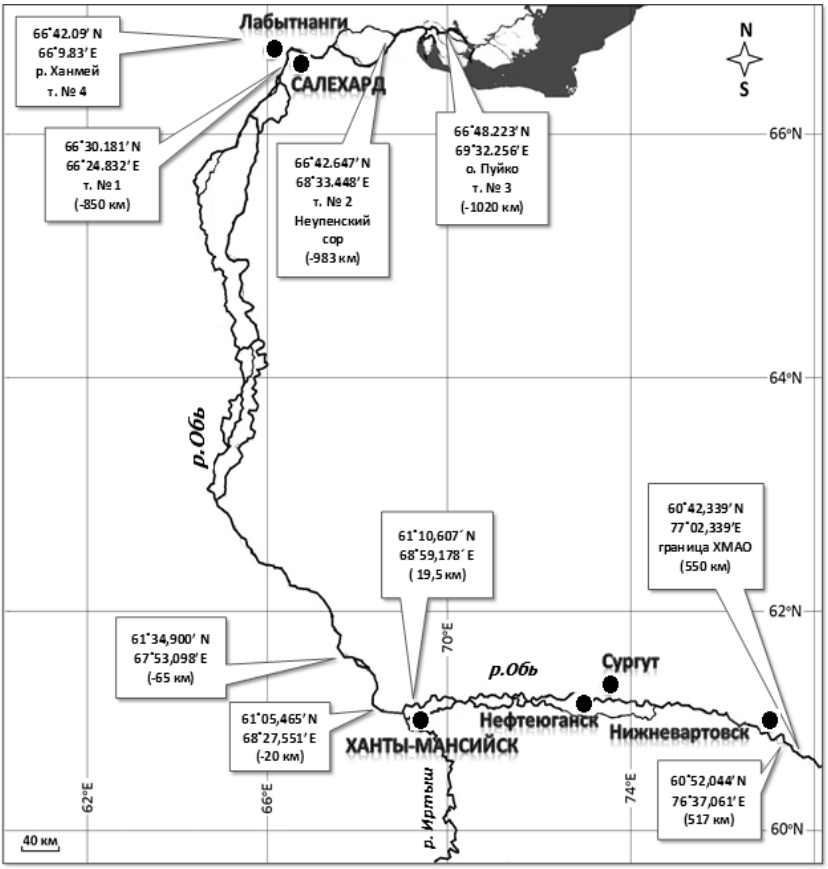


Рисунок 391 – Карта-схема исследуемых створов Оби и расположение точек отбора проб

Таблица 150

Характеристика точек отбора проб

№ створа	Створ	Координаты	Время проведения исследований
1	р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	66˚30.181′ N 66˚24.832′ E	2013-2014 гг.
2	р. Обь, Неупенский сор	66˚42.647′ N 68˚33.448′ E	2014 г.
3	р. Обь, (около о. Пуйко)	66˚48.223′ N 69˚32.256′ E	2014 г.
4	р. Ханмей, левый приток р. Собь, впадающей в Объ в 30 км выше Лабытнанги	66˚42.09′ N 66˚9.83′ E	2013-2014 гг.
5	р. Обь – 65 км ниже слияния	61˚34,900′ N 67˚53,098′ E	2004-2013 гг.
6	р. Обь – 20 км ниже слияния	61˚05,465′ N 68˚27,551′ E	2004-2013 гг.
7	р. Обь -15 км до слияния с Иртышом	61˚10,607′ N 68˚59,178′ E	2004-2013 гг.
8	р. Обь - Нижневартовск	60˚52,044′ N 76˚37,061′ E	2004-2013 гг.
9	р. Обь – Соснино, граница ХМАО	60˚42,339′ N 77˚02,339′ E	2004-2013 гг.

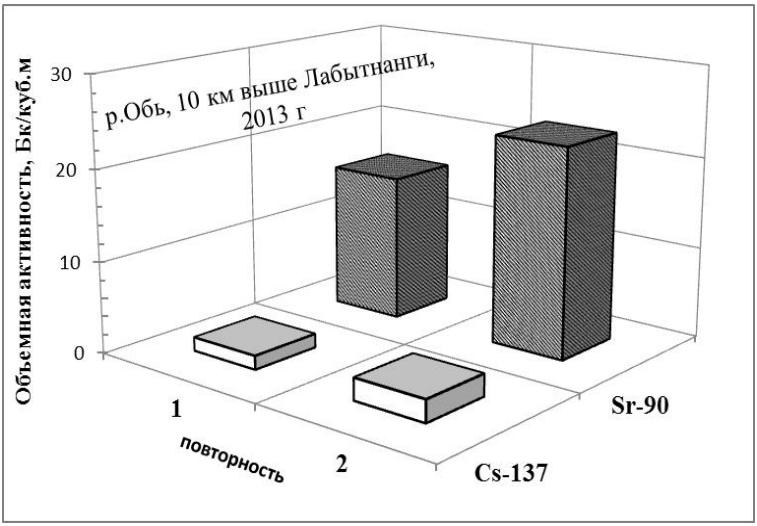
Результаты определения активности радионуклидов в пробах воды Оби в 2014 г. представлены в таблице 151.

На рисунках 392-395 представлены результаты определения объемных активностей радионуклидов в воде Оби в исследованных створах в виде диаграмм.

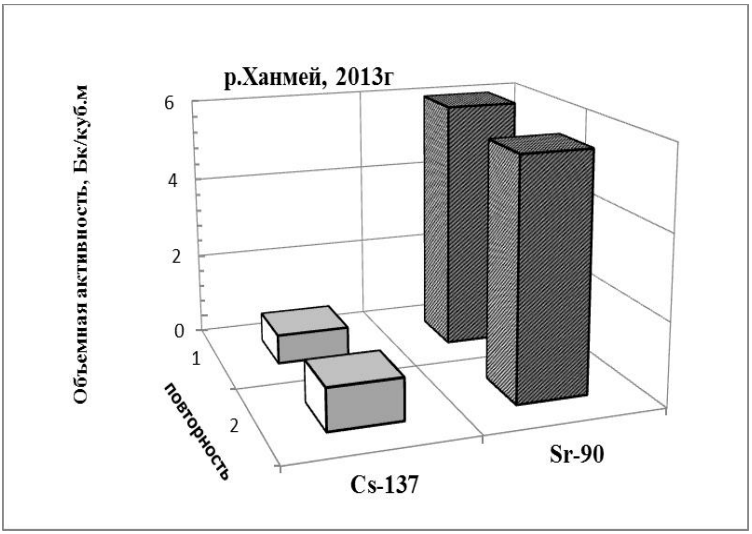
Таблица 151

Содержание ^{90}Sr, ^{137}Cs, $^{239,240}Pu$ в воде р. Обь и р. Ханмей, 2014 год

№ пп	Место отбора проб	Повторность	Объём (л)	Содержание, Бк/л		
				^{90}Sr ($n \cdot 10^{-3}$)	^{137}Cs ($n \cdot 10^{-3}$)	$^{239,240}Pu$ ($n \cdot 10^{-5}$)
1	р. Обь, Неупенский сор	1	150	14±0,5	39±6,0	0,7±0,02
		2	150	13±0,4	42±4,0	0,5±0,01
		3	150	12±0,6	36±5,0	0,7±0,02
		Средн.		13,0±0,82	39,0±2,45	0,6±0,09
2	р. Обь, Неупенский сор (на русле с глубины 20 м)	1	150	7,0±0,2	7,0±2,0	0,7±0,02
		2	150	8,0±0,3	8,0±3,0	0,6±0,01
		3	150	9,0±0,2	7,0±3,0	0,8±0,03
		Средн.		8,0±0,82	7,3±0,47	0,7±0,08
3	р. Обь, (около о. Пуйко)	1	150	9,0±0,3	9,0±3,0	0,9±0,03
		2	150	14±0,5	6,0±2,0	0,6±0,02
		3	150	8,0±0,2	7,0±3,0	0,8±0,03
		Средн.		10,3±2,62	7,3±1,25	0,77±0,12
4	р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	1	150	9,0±0,1	6,0±2,0	0,6±0,02
		2	150	5,0±0,2	9,0±3,0	0,4±0,01
		3	150	7,0±0,2	6,0±3,0	0,5±0,02
		Средн.		7,0±1,63	7,0±1,41	0,5±0,08
5	р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, (русло с глубины 20 м)	1	150	7,0±0,2	4,0±2,0	0,5±0,01
		2	150	9,0±0,3	13,0±1,0	0,6±0,02
		3	150	12,0±0,3	6,0±2,0	0,5±0,02
		Средн.		9,3±2,05	7,7±3,86	0,53±0,05
6	р. Ханмей	1	150	4,0±0,1	1,0±0,1	0,3±0,01
		2	150	5,0±0,2	2,0±0,1	0,3±0,01
		3	150	4,0±0,1	2,0±0,2	0,4±0,02
		Средн.		4,3±0,47	1,7±0,47	0,33±0,05

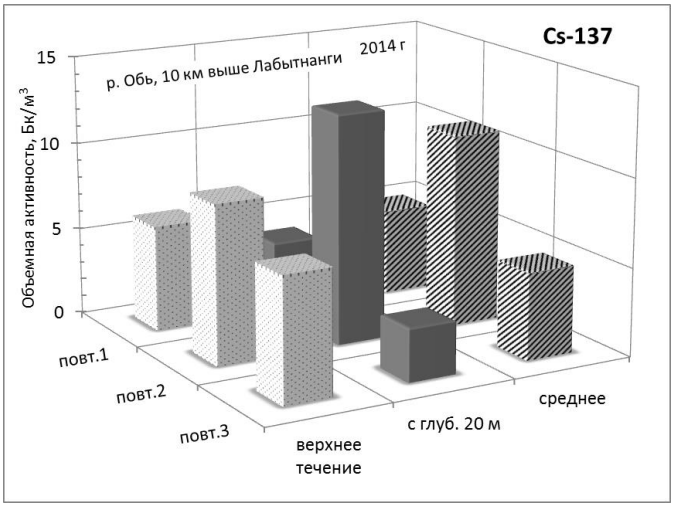


а

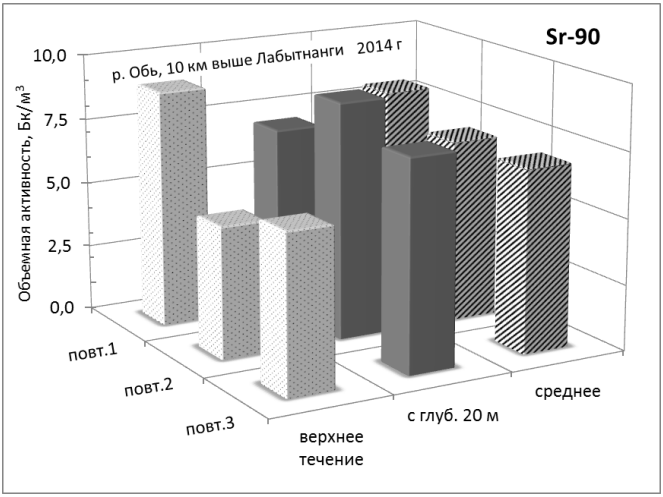


б

Рисунок 392 – Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде Оби в створе выше Лабытнанги (а) и р. Ханмей (б) в 2013 г.

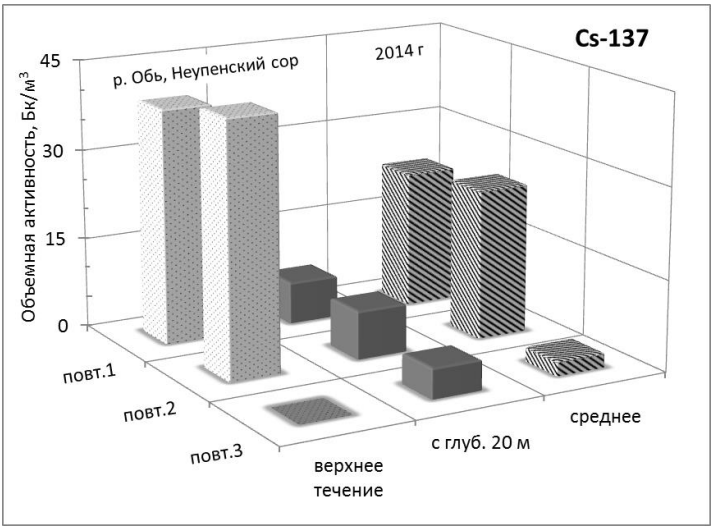


а

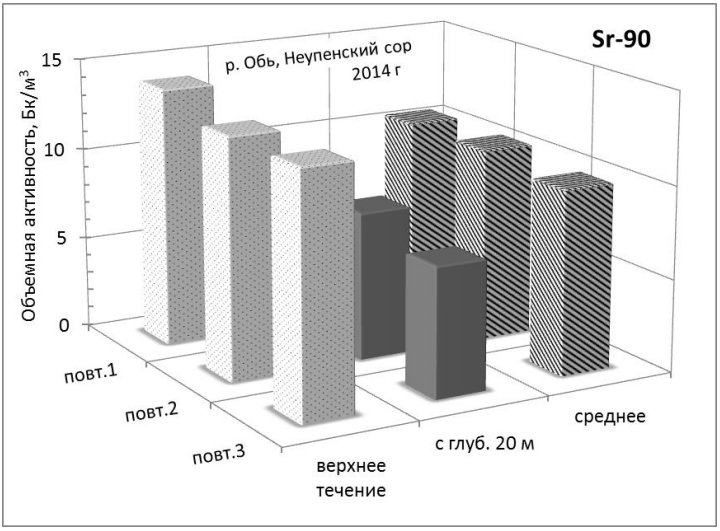


б

Рисунок 393 – Содержание ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в воде р. Обь в створе выше Лабытнанги в 2014 г.



а



б

Рисунок 394 – Содержание ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в воде р. Обь в створе Неупенский сор, 2014 г.

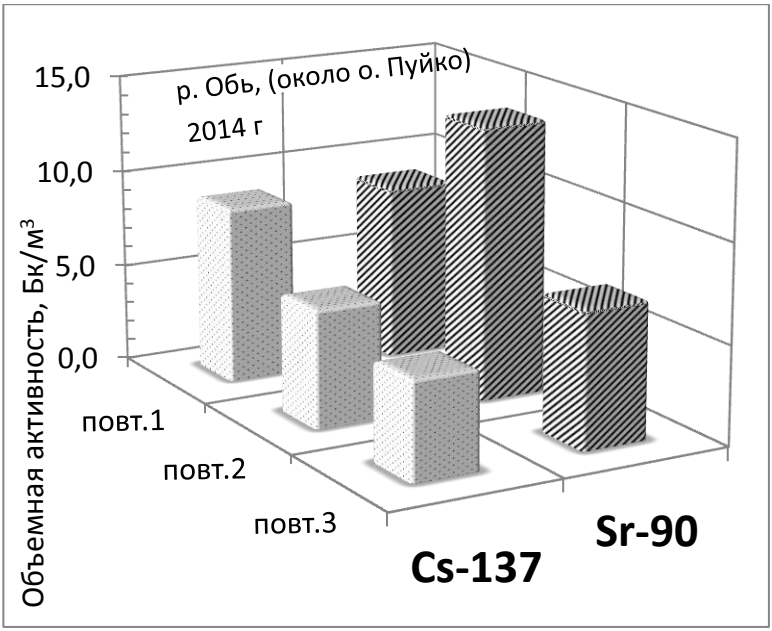


Рисунок 395 – Содержание радионуклидов в воде р. Обь в створе около о. Пуйко, 2014 г.

Максимальные уровни содержания радионуклидов зарегистрированы в Неупенском соре, причем, в верхних слоях воды этого створа концентрация ^{90}Sr несколько выше, чем на глубине 20 м, а по ^{137}Cs больше в 5 раз. В створе вблизи Лабытнанги такого различия между глубинным и верхним водотоком не наблюдалось. В остальном, объемные активности ^{137}Cs и ^{90}Sr близки по величинам как между собой в пределах одного створа, так и в разных створах.

Отметим, что содержание радионуклидов в р. Ханмей, принадлежащей к Обскому бассейну, в несколько раз ниже, чем в самой Оби.

При дальнейшей обработке содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr усреднялось для различных глубин в пределах одного створа.

Также дополнительно для моделирования рассмотрены усредненные данные по содержанию радионуклидов в створах Оби в пределах ХМАО (вблизи Ханты-Мансийска, Нижневартовска и н.п. Соснино вблизи границы ХМАО и Томской области), полученные в период 2004-2007 гг. В таблице 152 приведены усредненные данные по створам.

Таблица 152

Содержание радионуклидов в воде в различных створах Оби вдоль русла, Бк/м^3

Створ	Расстояние от ХМ, км	Cs-137	Sr-90
р. Обь, (около о. Пуйко)	-1020	6,7	10,0
р. Обь, Неупенский сор	-983	23,6	10,3
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	-850	7,0	7,3
Р.Обь – в месте слияния с Иртышом	0	4,0	36,9
Р.Обь - граница ХМАО с Томской областью	550	1,8	36,1

На рисунке 396 представлены зависимости изменения объемной активности радионуклидов в воде по течению Оби. В левой части диаграммы сосредоточены данные исследований 2013-2014 гг. створов нижней Оби, правая и средняя части диаграммы представлены результатами исследований ряда створов средней Оби в границах ХМАО, проведенными в 2004-2013 гг. (светлые маркеры).

Объемная активность радионуклидов в воде средней Оби в 2004-2013 гг. варьировалась в довольно широких пределах, составляя, а нередко и превышая, диапазон одного порядка. Вариациям были подвержены даже пробы одного года, отобранные в створе в различных повторностях.

Особенно значительная девиации результатов измерений наблюдалась в пробах, близких к месту слияния Оби и Иртыша, отражая сильное влияние активно протекающих процессов перемешивания водных потоков двух рек. Поэтому, для дальнейшего статистического анализа все пробы разных лет были сгруппированы в два массива: в первый вошли пробы, близкорасположенные к месту слияния Оби и Иртыша (как до, так и после слияния), во втором остались пробы, отобранные в Нижневартовске и на границе ХМАО (Соснино). В обеих группах были определены средние величины, представленные на рисунке 396 закрашенными маркерами.

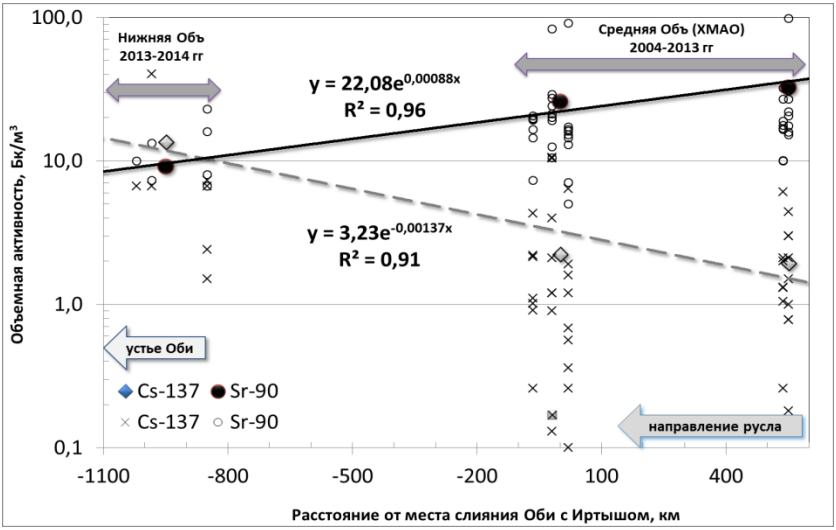


Рисунок 396 – Изменение содержания радионуклидов в воде по течению Оби

С высоким параметром достоверности аппроксимации R^2 объемная активность радионуклидов в воде Оби (Бк/м^3) представлена следующими экспоненциальными уравнениями, аргументом которых является расстояние x (км) от места слияния Оби и Иртыша:

$Sr\text{-}90 = 22{,}08 \times e^{0{,}009 \cdot x}$ $R^2 = 0{,}96$

$Cs\text{-}137 = = 3{,}23 \times e^{-0{,}0014 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}91$

Из приведенных данных следует, что содержание Cs-137 по течению Оби снижается, в то время как содержание Sr-90, наоборот, возрастает. Экспоненциальный показатель, определяющий темп изменения содержания Sr-90 и Cs-137 в обоих случаях оказался сравнительно близким по абсолютной величине (но разный по знаку), характеризуя почти «зеркальную» динамику наблюдаемых изменений.

Отметим, что если в створах средней Оби средняя объемная активность ^{137}Cs в воде была на порядок ниже таковой для ^{90}Sr (отношение $^{90}Sr/^{137}Cs$ ~10), то в нижней Оби уровни содержания обоих радионуклидов в воде практически выровнялись ($^{90}Sr/^{137}Cs$ ~1).

При отсутствии дополнительного поступления концентрация радионуклида с увеличением водного стока по течению реки должна снижаться вследствие разбавления, что, вероятно, и наблюдается в случае со стронцием-90. Можно было бы ожидать аналогичных изменений содержания и цезия-137, однако этого не происходит. Наблюдаемое в действительности увеличение в воде объемной активности ^{137}Cs можно объяснить его выносом из поймы, где он ранее был депонирован. При этом поступление этого радионуклида в воду Оби из поймы не только компенсирует разбавление возрастающим объемом воды, но и, более того, обеспечивает дополнительное увеличение объемной активности радионуклида по течению.

Расчетные оценки годового стока радионуклидов в некоторых створах на Оби приведены в таблице 153. При расчете стоков радионуклидов пробы нижней Оби были аналогично объединены в одну группу, учитывая, что они характеризуют участок Оби длиной около 150 км, и определены средние в группе величины объемной активности.

Характер изменения годовых стоков радионуклидов по течению Оби представлен на рисунке 397.

Таблица 153

Расчетная оценка годового стока радионуклидов

Створ	Годовой сток воды, куб. км	Содержание, Бк/м^3		Годовой сток, Бк	
		Cs-137	Sr-90	Cs-137	Sr-90
Салехард – Лабытнанги	394	13,6	9,1	$5{,}3\times10^{12}$	$3{,}6\times10^{12}$
Р.Обь в месте слияния с Иртышом	270	2,23	25,82	$6{,}0\times10^{11}$	$7{,}0\times10^{12}$
Р.Обь – граница ХМАО с Томской обл.	180	1,93	32,38	$6{,}5\times10^{11}$	$5{,}8\times10^{12}$
Среднее					$5{,}5\times10^{12}$

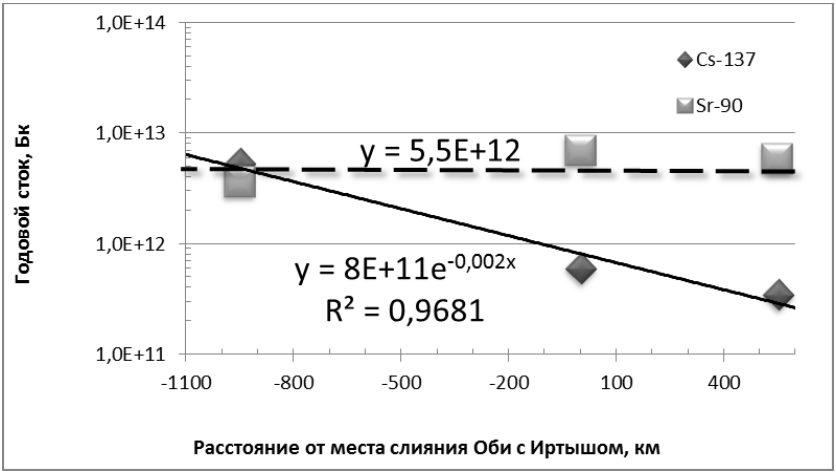


Рисунок 397 – Изменение годового стока радионуклидов по течению Оби в различных створах.

Из рисунка видно, что для стронция-90, несмотря на уменьшение его концентрации в воде по течению Оби, величина годового стока фактически постоянна в разных створах, близкая к средней величине $5{,}5\times10^{12}$ Бк, свидетельствуя, что уменьшение объемной активности этого радионуклида происходит, главным образом, за счет разбавления водой. Годовой сток ^{137}Cs экспоненциально возрастает по течению, подтверждая предположение о наличии мест его депонирования в пойме нижней Оби.

Что касается данных по содержанию $^{230,240}Pu$ в воде (таблица 151), то стоит подчеркнуть, что эта информация получена в 2014 году впервые и ее пока недостаточно для каких-либо обобщений. В целом, можно отметить, что концентрация данного радионуклида чрезвычайно низка и находится в пределах от $0{,}3\cdot10^{-5}$ Бк/л (р.Ханмей) до $0{,}9\cdot10^{-5}$ Бк/л в воде р.Обь в районе острова Пуйко. Как видно из таблицы 151 $^{239,240}Pu$ распределен в водной среде достаточно равномерно с очень небольшой тенденцией к увеличению концентрации радионуклида от створа в 10 км выше п.Лабытнанги к точкам, расположенным ниже по течению Оби.

Согласно Нормам радиационной безопасности (НРБ – 99/2009) («Нормы…» 2009), уровни вмешательства при содержании в воде отдельных радионуклидов составляют: ^{137}Cs – 11 Бк/кг, ^{90}Sr – 4,9 Бк/кг, $^{239,240}Pu$ – 0,55 Бк/кг. Согласно представленным параметрам, обследованные реки в радиоэкологическом отношении в текущем году можно считать благополучными. Содержание представленных радионуклидов в воде рек Обь и Иртыш значительно ниже уровня вмешательства.

2.20.2.Содержание техногенных радионуклидов в пойменных почвах и оценка их интегральных запасов в пойме реки Обь.2013-2014 гг.

В 2014 г. было проведено определение ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в пойменных почвах реки Обь в 9 точках на глубину до 30 см с шагом 5 см. Результаты исследований приведены в таблице 154. Усредненные величины плотности загрязнения пойменных почв даны в таблице 155.

Исходными данными для расчетов плотности загрязнения или запасов радионуклидов в пойменных почвах являются результаты исследования по содержанию радионуклидов в расчете на 1 кг сухого вещества почв, представленные в таблице 154. Для расчета средних запасов радионуклидов использовали усредненный модельный образец, составленный из суммы загрязнения почвенных слоев каждой точки на всю глубину почвенного профиля (25-30 см).

Усредненная плотность загрязнения пойменных почв по ^{90}Sr и ^{137}Cs в районе исследования колеблется в довольно широких пределах. Средние значения плотности загрязнения пойменных почв стронцием-90 находятся в диапазоне от 918,6 до 3626,5 Бк/м^2. Более высокое содержание ^{90}Sr отмечено в пойменных почвах о. Пуйко. Усредненная плотность загрязнения почв цезием-137 находится в пределах 241,03-2171,5 Бк/м^2. Более высокое содержание ^{137}Cs наблюдалось в точке, расположенной в 10 км выше г. Лабытнанги. Плотность загрязнения по $^{239,240}Pu$ в среднем составила от 13,73 до 46,42 Бк/м^2. Более высокое содержание $^{239,240}Pu$ также отмечено в точке, находящейся в 10 км выше г. Лабытнанги.

Таблица 154

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами 2014 г.

№, п/п	Место отбора	Слой, см	Вес пробы, кг	Плотность загрязнения, Бк/м^2		
				^{137}Cs	^{90}Sr	^{239,240}Pu
1	р. Обь, Неупенский сор, точка 1	0-5	1,0	80,0±30,0	79,5±6,3	7,5±3,5
2		5-10	0,82	50,2±8,2	91,2±8,4	4,1±1,03
3		10-15	0,96	62,4±16,8	582,2±9,8	н.п.о.
4		15-20	1,12	33,6±8,4	422,8±17,6	н.п.о.
5		20-25	2,01	48,2±20,1	1127,6±106,5	н.п.о.
6		25-30	1,21	н.п.о	203,0±11,5	4,2±2,1
	Суммарная плотность загрязнения			**274,4±15,5**	**2506,3±364,72**	**15,8±1,58**
7	р. Обь, Неупенский сор, точка 2	0-5	1,66	н.п.о	177,2±11,6	н.п.о.
8		5-10	1,18	н.п.о	687,4±92,9	н.п.о.
9		10-15	1,21	42,4±12,1	1142,8±124,6	6,05±0,3
10		15-20	1,86	н.п.о	364,1±14,0	н.п.о.
11		20-25	1,79	94,0±15,7	319,5±11,2	4,48±3,13
12		25-30	1,76	57,2±7,5	554,4±57,2	2,2±0,44
	Суммарная плотность загрязнения			**193,6±21,69**	**3245,4±315,3**	**12,73±1,58**

Продолжение таблицы 154

№, п/п	Место отбора	Слой, см	Вес пробы, кг	Плотность загрязнения, Бк/м^2		
				^{137}Cs	^{90}Sr	^{239,240}Pu
13	р. Обь, Неупенский сор, точка 3	0-5	1,48	47,0±11,1	238,7±10,7	2,96±0,74
14		5-10	0,82	36,9±8,2	609,1±52,9	н.п.о.
15		10-15	1,42	74,6±14,2	365,7±42,6	1,78±0,71
16		15-20	1,84	96,6±18,4	252,5±19,3	5,52±2,76
17		20-25	1,82	н.п.о	693,0±57,3	1,37±0,46
18		25-30	1,36	н.п.о	494,0±39,1	1,02±0,34
	Суммарная плотность загрязнения			**255,1±23,44**	**2653±171,60**	**12,65±1,63**
19	р. Обь, (около о. Пуйко), точка 1	0-5	1,61	575,6±382,4	268,1±9,7	8,05±3,22
20		5-10	1,31	186,3±95,0	424,4±30,8	2,29±0,98
21		10-15	2,76	372,6±241,5	1569,1±89,7	6,21±1,38
22		15-20	1,69	401,4±236,6	985,7±32,1	1,69±0,42
23		20-25	2,06	535,6±180,3	288,4±10,8	н.п.о.
	Суммарная плотность загрязнения			**2071,5±137,57**	**3535,7±503,71**	**16,55±3,17**

Продолжение таблицы 154

№, п/п	Место отбора	Слой, см	Вес пробы, кг	Плотность загрязнения, Бк/м^2		
				^{137}Cs	^{90}Sr	^{239,240}Pu
24	р. Обь, (около о. Пуйко), точка 2	0-5	1,03	79,80±23,18	330,4±32,2	н.п.о
25		5-10	1,31	298,0±150,7	924,5±59,3	н.п.о
26		10-15	1,27	345,8±127,6	372,7±21,0	0,44±0,32
27		15-20	1,38	503,7±113,9	408,8±19,3	10,35±3,1
28		20-25	2,52	573,3±138,6	986,6±38,4	9,45±3,78
	Суммарная плотность загрязнения			**1800,6±172,46**	**3023±288,296**	**20,24±4,48**
29	р. Обь, (около о. Пуйко), точка 3	0-5	1,35	158,6±104,6	1206,2±52,7	10,13±0,37
30		5-10	1,46	167,9±47,45	1263,6±128,5	2,19±0,73
31		10-15	1,36	435,2±248,2	924,8±48,6	4,76±1,7
32		15-20	1,4	416,5±119,0	533,1±49,4	3,21±2,1
33		20-25	1,54	696,9±254,1	393,1±32,7	7,7±3,08
	Суммарная плотность загрязнения			**1875,1±199,34**	**4320,8±349,78**	**27,99±2,93**

Окончание таблицы 154

№, п/п	Место отбора	Слой, см	Вес пробы, кг	Плотность загрязнения, Бк/м^2		
				^{137}Cs	^{90}Sr	^{239,240}Pu
34	р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, точка 1	0-5	1,49	382,2±126,7	217,5±27,2	5,22±1,49
35		5-10	1,6	688,0±172,0	266,8±15,6	12,0±0,48
36		10-15	1,84	768,2±220,8	394,7±23,5	10,12±4,14
37		15-20	2,29	727,1±223,3	365,3±41,2	22,9±5,73
38		20-25	1,76	334,4±176,0	176,4±11,9	8,8±3,96
	Суммарная плотность загрязнения			**2899,9±183,8**	**1420,7±23,9**	**59,04±3,16**
39	р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, точка 2	0-5	0,83	213,7±66,4	239,7±13,7	2,08±0,62
40		5-10	1,26	396,9±157,5	240,0±8,5	6,3±2,2
41		10-15	1,21	296,5±78,7	172,7±5,4	0,6±0,3
42		15-20	1,71	256,5±94,1	47,5±5,6	7,27±2,6
43		20-25	2,03	258,8±142,1	159,9±27,4	2,03±1,0
	Суммарная плотность загрязнения			**1422,4±62,02**	**859,8±70,50**	**18,28±2,63**
44	р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, точка 3	0-5	1,22	427,0±91,5	144,0±9,5	12,2±2,75
45		5-10	1,7	765,0±212,5	147,9±9,8	8,5±2,98
46		10-15	2,09	517,3±162,0	28,7±1,0	15,68±4,7
47		15-20	2,14	347,8±139,1	61,0±3,2	21,4±6,42
48		20-25	2,08	135,2±91,2	93,6±9,4	4,16±1,56
	Суммарная плотность загрязнения			**2192,3±206,48**	**475,2±46,37**	**61,94±5,91**

Таблица 155

Усредненные величины плотности загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами 2014 г.

Место отбора проб	Плотность загрязнения, Бк/м^2		
	^{90}Sr	^{137}Cs	^{239,240}Pu
р. Обь, Неупенский сор, точка 1	2506,3±364,7	274,4±15,5	15,80±1,58
р. Обь, Неупенский сор, точка 2	3245,4±315,3	193,6±21,7	12,73±1,58
р. Обь, Неупенский сор, точка 3	2653±171,6	255,1±23,4	12,65±1,63
Среднее значение	**2801,6±319,5**	**241,03±34,5**	**13,73±1,47**
р. Обь, (около о. Пуйко), точка 1	3535,7±503,7	2071,5±137,6	16,55±3,17
р. Обь, (около о. Пуйко), точка 2	3023±288,3	1800,6±172,5	20,24±4,48
р. Обь, (около о. Пуйко), точка 3	4320,8±349,8	1875,1±199,3	27,99±2,93
Среднее значение	**3626,5±533,7**	**1915,7±114,3**	**21,59±4,77**
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, точка 1	1420,7±23,9	2899,9±183,8	59,04±3,16
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, точка 2	859,8±70,5	1422,4±62,0	18,28±2,63
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, точка 3	475,2±46,4	2192,3±206,5	61,94±5,91
Среднее значение	**918,6±388,2**	**2171,5±603,4**	**46,42±19,93**

Содержание радионуклидов в пойменных почвах зависит в основном от двух факторов. Во - первых, от расположения предполагаемого источника поступления радионуклидов в пресноводные экосистемы и миграционной способности радионуклидов в водной среде. Так, цезий-137 прочно фиксируется пойменными грунтами и донными отложениями и в слабой степени из них вымывается. Миграционная способность Sr-90, напротив, намного выше. Он сильнее вымывается из пойменных грунтов и переносится водой на значительные расстояния. Ранее, на примере реки Теча (Трапезников, Трапезникова, 2006), было показано, что по степени миграционной активности в воде исследуемые радионуклиды могут быть выстроены в следующий ряд: Sr-90 > Pu-239,240> Cs-137. Во-вторых, от характеристики самой почвы. В песчаных почвах ^{137}Cs содержится в небольших количествах. Почвы с высоким содержанием гумуса и органических элементов способны в большей степени связывать и удерживать радионуклиды.

Фоновый уровень радионуклидного загрязнения почвенно-растительного покрова сформировался в основном за счет глобального загрязнения биосферы в период массового испытания ядерного оружия (50-60-е гг. XX в.). По данным (UNSCEAR,1988), в поясе между 50° и 60° с.ш. интегральная плотность загрязнения ^{90}Sr с учетом радиоактивного распада составляет 1,5 кБк/м^2. Соответственно, уровень содержания ^{137}Cs в 1,6 раза выше – 2,4 кБк/м^2 (Марей и др., 1980). Уровень глобального загрязнения ^{239,240}Pu в среднем составляет 36 Бк/м^2. При этом, содержание радионуклидов в почвах и их соотношение может существенно различаться в зависимости от условий региона и характера антропогенных нагрузок. Например, почвы геохимических сопряжений Южного Урала характеризуются повышенным содержанием ^{137}Cs

(4,6-6,8 кБк/м^2), что связано с дополнительным поступлением этого нуклида в почвенный покров в результате деятельности предприятий ядерно-энергетического комплекса. По данным (Трапезников и др., 2007), проводивших исследования в различных почвенно-климатических зонах, в зоне средней тайги (Республика Саха, Якутия), в меньшей степени испытывающей антропогенное воздействие, запас радионуклидов в 0-30 см слое для ^{90}Sr составил 1,7-3,0 кБк/м^2, а для ^{137}Cs – 2,3-3,7 кБк/м^2, величина соотношения ^{137}Cs/^{90}Sr варьировала от 1,2 до 1,5, приближаясь к таковым в глобальных выпадениях.

Таким образом, плотность загрязнения пойменных почв р. Оби в количественном отношении не превышает уровень глобальных выпадений, поэтому, можно предположить, что основным источником поступления техногенных радионуклидов в основные компоненты экосистемы р. Оби на обследованной территории являются, в первую очередь, глобальные атмосферные выпадения.

Вертикальные профили содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в верхних слоях пойменных почв 0- 35 см в пересчете на квадратный метр приведены на рисунках 398-402.

Средние в створах значения локальных запасов радионуклидов в пойменных почвах представлены в таблице 156. В ней приведены также усредненные за период 2004-2012 гг. величины удельного содержания радионуклидов в створах пойм средней Оби на территории ХМАО.

Изменение содержания радионуклидов в пойме Оби вдоль русла приведено на рисунке 403. При статистической обработке данных применена группировка результатов измерений в близкорасположенных створах с последующим определением средних значений в группах.

Таблица 156

Среднее содержание техногенных радионуклидов в пойменных почвах, Бк/м^2 (в слое до глубины 35 см).

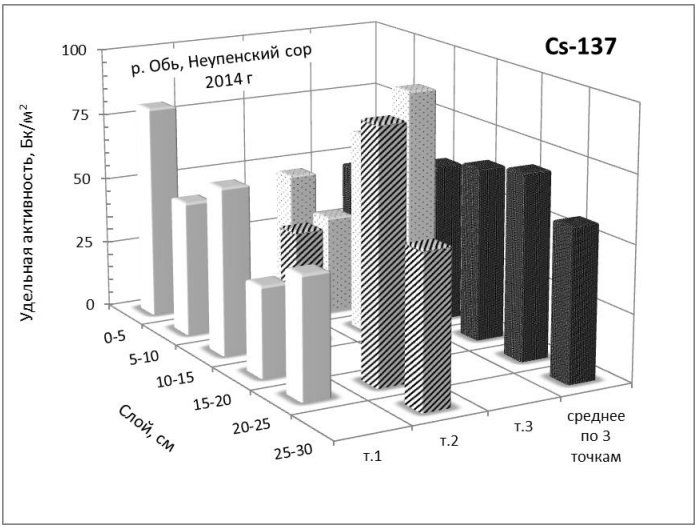
Створ	Расстояние от ХМ, км	Cs-137	Sr-90
р. Обь, (около о. Пуйко)	-1020	2034,00	4394,80
р. Обь, Неупенский сор	-983	358,72	2801,99
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги (среднее за 2013-1014 гг.)	-850	1333,15	3107,45
В районе слияния Оби и Иртыша (Ханты-Мансийск (среднее за 2004-1012 гг.)	0	633,28	1702,88
Нижневартовск и Соснино (граница ХМАО и Томской обл), (среднее за 2004-1012 гг.)	523	810,74	1982,76

Как следует из рисунка 403, плотность загрязнения пойменных почв Оби ^{90}Sr и ^{137}Cs увеличивается вниз по течению, достигая максимальных уровней в пойме нижней Оби.

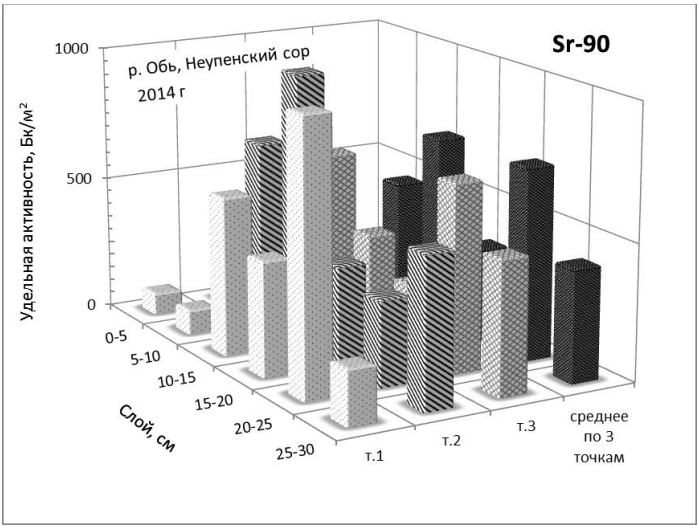
Локальные запасы радионуклидов в пойме при удалении x (км) от места слияния Оби и Иртыша (Бк/м^2) аппроксимируются следующими экспоненциальными регрессионными уравнениями:

$$Sr\text{-}90 = 2045{,}2 \times e^{-0{,}00029 \cdot x} \qquad R^2 = 0{,}64$$

$$Cs\text{-}137 = 843{,}2 \times e^{-0{,}00043 \cdot x}, \qquad R^2 = 0{,}62$$

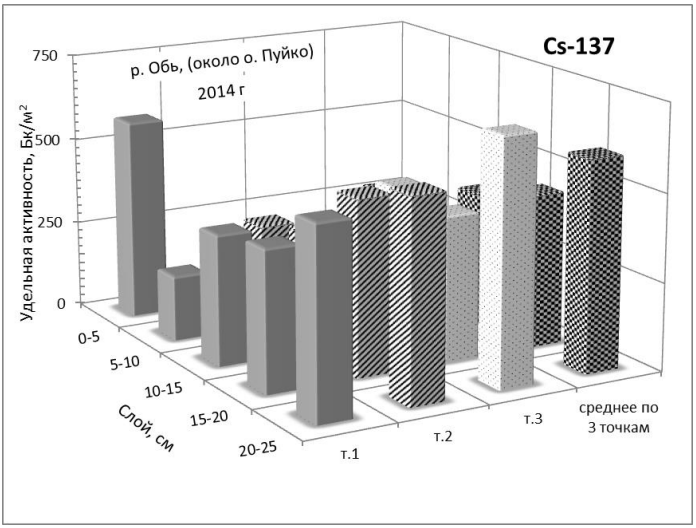


а

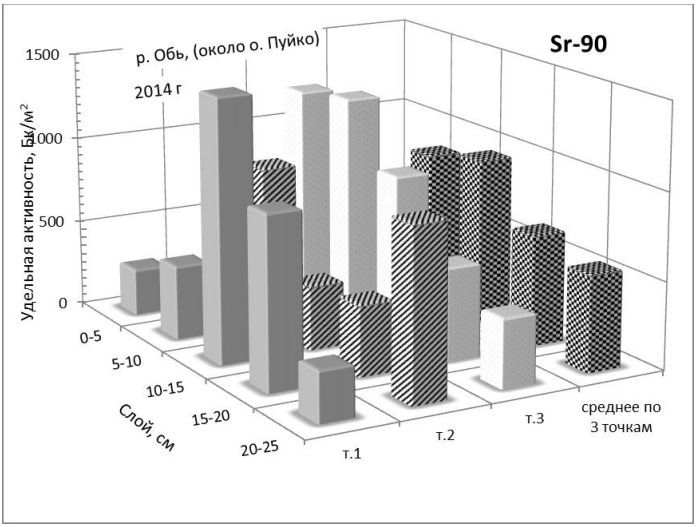


б

Рисунок 398 – Профиль вертикального распределения ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в пойме Оби в створе Неупенский сор (2014г.)

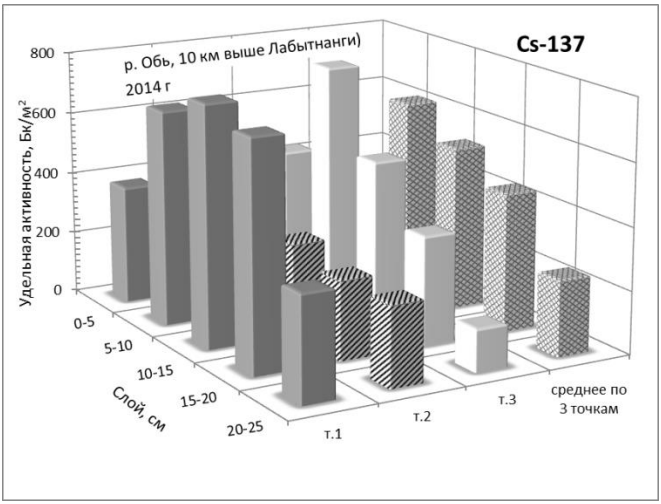


а

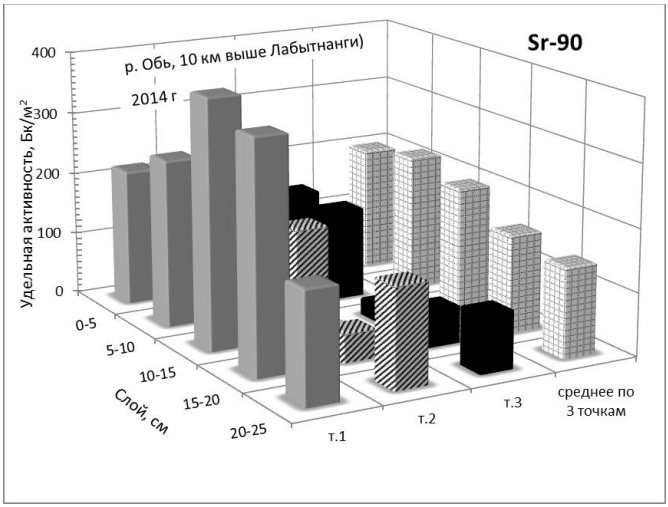


б

Рисунок 399 – Профиль вертикального распределения ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в пойме Оби в створе около о. Пуйко (2014 г.)

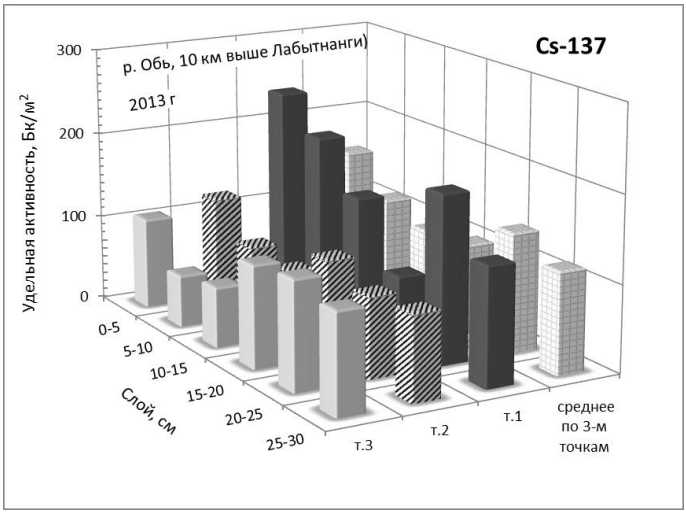


а

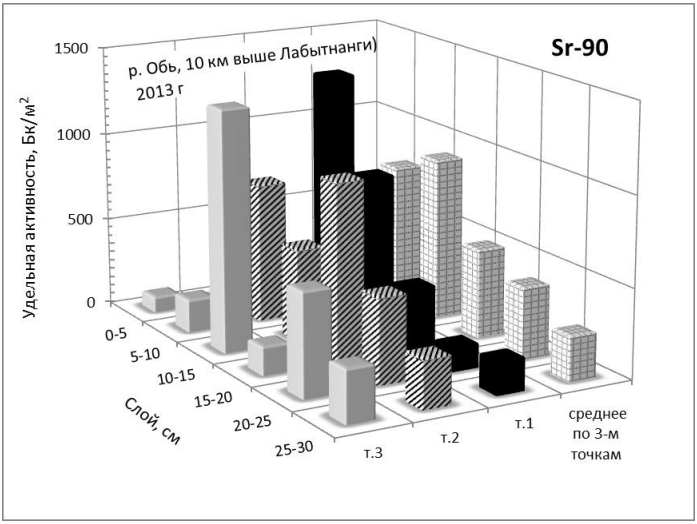


б

Рисунок 400 – Профиль вертикального распределения ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в пойме Оби в створе выше г. Лабытнанги (2014 г).

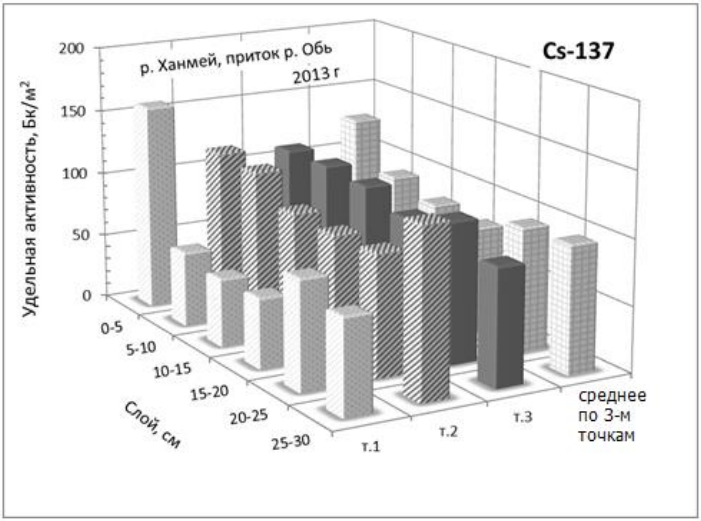


а

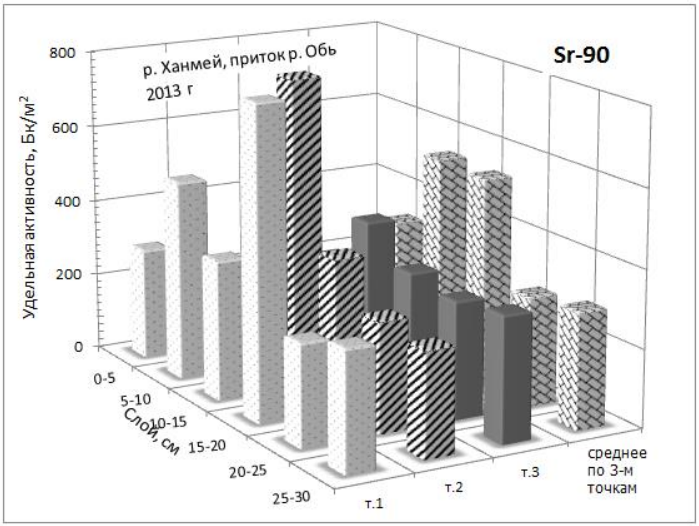


б

Рисунок 401 – Профиль вертикального распределения ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в пойме Оби в створе выше Лабытнанги (2013 г).



а



б

Рисунок 402 – Профиль вертикального распределения ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в пойме р. Ханмей (2013 г).

Экспоненциальные показатели трендов ^{137}Cs и ^{90}Sr достаточно близки, вследствие чего наклоны кривых отличаются незначительно.

Оценка запасов радионуклидов в двусторонней 10-километровой пойме Оби, полученная интегрированием найденных регрессионных зависимостей, дает следующие величины:

а) для участка поймы нижней Оби, расположенного между Салехардом-Лабытнанги и о. Пуйко (участок длиной 170 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 10 \cdot \int_{-1020}^{-850} \left(2045.2 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.00029\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 4.56 \times 10^{12} \text{ Бк}$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 10 \cdot \int_{-1020}^{-850} \left(843.15 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.00043\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.143 \times 10^{12} \text{ Бк}$$

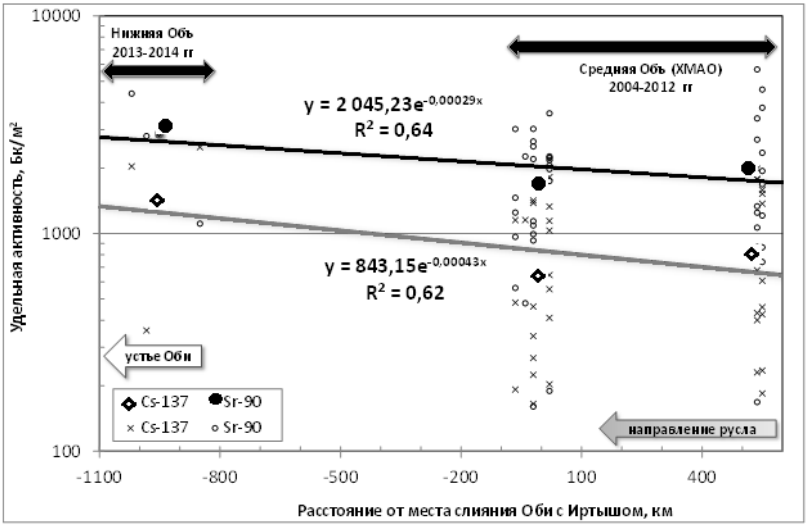


Рисунок 403 – Содержание радионуклидов в пойменных почвах вдоль русла Оби

б) суммарные запасы в пойме между Соснино (граница ХМАО) и о. Пуйко, с общей протяженностью поймы 1770 км:

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 10 \cdot \int_{-1020}^{550} \left(2045.2 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.00029\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 3.467 \times 10^{13} \quad \text{Бк}$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 10 \cdot \int_{-1020}^{550} \left(843.15 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.00043\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.492 \times 10^{13} \quad \text{Бк}$$

с) если предположить, что тренд, описывающий продольный профиль изменения запасов в пойме Оби (рисунок 403) сохраняется вплоть до Обской губы, то запасы на оставшемся неисследованном устьевом участке Оби длиной 80 км:

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 10 \cdot \int_{-1100}^{-1020} \left(2045.2 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.00029\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.225 \times 10^{12} \quad \text{Бк}$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 10 \cdot \int_{-1100}^{-1020} \left(843.15 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.00043\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.064 \times 10^{12} \quad \text{Бк}$$

которые можно приплюсовать к найденным выше.

2.20.3. Содержание техногенных радионуклидов в донных отложениях реки Обь. 2013-2014 гг.

В 2014 г. было проведено определение ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{239,240}Pu в донных отложениях реки Обь в 8 точках на глубину до 25 см с шагом 5 см. Результаты исследований приведены в таблице 157.

Содержание ^{90}Sr в отобранных образцах достаточно сильно варьирует в 40,8 раз – от 1,11 Бк/кг (р. Ханмей) до 45,3 Бк/кг (р. Обь в районе о. Пуйко). Концентрация ^{137}Cs в донных отложениях также достаточно сильно изменяется: в 35,1 раза – от 0,71 Бк/кг (р. Хамей), до 24,9 Бк/кг (р. Обь в районе о. Пуйко). Что касается содержания ^{239,240}Pu в дон-

ных грунтах, то она варьирует значительно меньше: в 8,4 раза – от 0,038 Бк/кг до 0,32 Бк/кг (р. Обь в районе г. Лабытнанги). Тот факт, что концентрация плутония в донных отложениях реки Ханмей, берущей свое начало в горах, находится на том же уровне, что и в пробах из р. Обь, свидетельствует о том, что основным источником загрязнения донных грунтов реки Обь служат глобальные атмосферные выпадения.

На рисунках 404-408 представлено распределение по глубине радионуклидов в донных отложениях.

В пробах нижней Оби показатели удельной активности для различных повторностей в створах усреднены и для характеристики загрязнения участка в целом определена средняя величина локальных запасов по всем створам.

На рисунке 409 приведены продольные профили содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных отложениях Оби на протяжении русла от границы ХМАО до устья реки. График иллюстрирует экспоненциальное возрастание запасов техногенных радионуклидов в донных грунтах Оби.

С приемлемым значением квадрата коэффициента корреляции содержание радионуклидов в донных отложениях (Бк/м^3) представлено следующими экспоненциальными регрессионными уравнениями при расстояниях x (км) от места слияния Оби и Иртыша:

$$Sr\text{-}90 = 2143{,}3 \times e^{-0{,}00043 \cdot x} \qquad R^2 = 0{,}72;$$

$$Cs\text{-}137 = = 891 \times e^{-0{,}0006 \cdot x}, \qquad R^2 = 0{,}69.$$

Экспоненциальные тренды для цезия-137 и стронция-90 идут практически параллельно, хотя на локальном уровне в створах нижнего течения Оби содержание Sr-90 в донных отложениях увеличивается заметно более круто, чем цезия-137 при приближении к устью Оби.

Таблица 157

Содержание техногенных радионуклидов в донных отложениях

№, п/п	Место отбора	Код пробы (PLC13)	Слой, см	Вес пробы, кг	^{137}Cs Бк/кг	^{90}Sr Бк/кг	$^{239,240}Pu$ Бк/кг
1	р. Обь, Неупенский сор, точка №1	65DL-14	0-5	0,189	11,3±3,9	13,35±0,95	0,051
2		66DL-14	5-10	0,184	15,2±5,0	26,7±1,8	0,042
3		67DL-14	10-15	0,22	9,0±3,6	11,91±0,75	0,082
4		68DL-14	15-20	0,175	12,2±3,8	12,3±0,9	0,046
5		69DL-14	20-25	0,159	≤0,7	33,41±32,4	н.п.о.
6	р. Обь, Неупенский сор, точка №2	70DL-14	0-5	0,07	9,8±1,6	13,7±1,1	0,041
7		71DL-14	5-10	0,140	12,7±3,1	10,3±0,8	0,048
8		72DL-14	10-15	0,189	10,2±1,4	31,1±3,4	0,071
9		73DL-14	15-20	0,154	8,4±1,0	5,7±0,2	0,038
10		74DL-14	20-25	0,146	3,7±0,7	4,6±0,1	н.п.о.

Продолжение таблицы 157

№, п/п	Место отбора	Код пробы (PLC13)	Слой, см	Вес пробы, кг	^{137}Cs Бк/кг	^{90}Sr Бк/кг	$^{239,240}Pu$ Бк/кг
11	р. Обь, (около о. Пуйко), точка №1	75DL-14	0-5	0,135	9,1±9,5	25,5±2,8	0,052
12		76DL-14	5-10	0,128	7,34±3,3	12,3±1,4	0,058
13		77DL-14	10-15	0,196	4,5±8,8	24,6±3,0	0,045
14		78DL-14	15-20	0,142	12,5±9,5	45,3±4,1	0,091
15		79DL-14	20-25	0,191	15,0±9,3	7,6±0,9	н.п.о.
16		80DL-14	25-30	0,163	4,4±2,9	24,6±2,8	н.п.о.
17	р. Обь, (около о. Пуйко), точка №2	81DL-14	0-5	0,071	24,9±13,8	20,5±1,8	0,053
18		82DL-14	5-10	0,0141	3,96±2,4	32,4±3,5	0,048
19		83DL-14	10-15	0,171	1,8±1,4	23,6±2,9	0,12
20		84DL-14	15-20	0,15	4,5±3,2	12,2±1,8	0,044
21		85DL-14	20-25	0,136	≤0,57	8,1±0,9	н.п.о.

Продолжение таблицы 157

№, п/п	Место отбора	Код пробы (PLC13)	Слой, см	Вес пробы, кг	^{137}Cs Бк/кг	^{90}Sr Бк/кг	$^{239,240}Pu$ Бк/кг
22	р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, точка №1	86DL-14	0-5	0,140	≤0,45	10,5±1,2	0,084
23		87DL-14	5-10	0,164	4,1±1,9	10,3±1,0	0,041
24		88DL-14	10-15	0,122	22,1±9,0	19,8±2,8	0,32
25		89DL-14	15-20	0,105	19,2±6,5	13,2±2,0	0,046
26		90DL-14	20-25	0,168	6,2±3,2	16,0±2,5	н.п.о.
27	р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, точка №2	91DL-14	0-5	0,177	1,2±0,4	15,3±2,1	0,067
28		92DL-14	5-10	0,129	3,5±0,9	17,3±3,0	0,038
29		93DL-14	10-15	0,154	15,1±2,1	2,9±0,16	0,21
30		94DL-14	15-20	0,189	13,7±1,2	12,6±1,8	0,051
31		95DL-14	20-25	0,20	5,7±0,4	7,9±0,8	н.п.о.

Окончание таблицы 157

№, п/п	Место отбора	Код пробы (PLC13)	Слой, см	Вес пробы, кг	^{137}Cs Бк/кг	^{90}Sr Бк/кг	$^{239,240}Pu$ Бк/кг
32	р. Ханмей, приток р. Обь, точка №1	120 DLC13	0-5	0,145	0,93±0,30	3,10±0,14	0,042
33		121 DLC13	5-10	0,144	1,07±0,29	3,91±0,18	0,053
34		122 DLC13	10-15	0,12	1,12±0,38	1,54±0,11	0,072
35		123 DLC13	15-20	0,125	≤0,7	1,29±0,13	0,081
36		124 DLC13	20-24	0,148	2,0±0,48	1,11±0,12	н.п.о.
37	р. Ханмей, приток р. Обь, точка №2	125 DLC13	0-5	0,166	1,25±0,33	2,97±0,11	0,11
38		126 DLC13	5-10	0,130	≤0,7	4,09±0,17	0,068
39		127 DLC13	10-15	0,145	0,71±0,27	2,38±0,15	0,093
40		128 DLC13	15-20	0,168	2,10±0,48	1,41±0,12	0,064
41		129 DLC13	20-25	0,19	2,05±0,49	1,19±0,14	0,042

Принимая среднюю ширину реки равной 2 км, выполнена оценка интегральных запасов радионуклидов в донных отложениях. Для тех же участков, что рассмотрены ранее, получены следующие величины:

а) для участка русла нижней Оби, расположенного между Салехардом-Лабытнанги и о. Пуйко (участок длиной 170 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-1020}^{-850} \left(2143.32 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.00043\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.09 \times 10^{12} \quad \text{Бк}$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-1020}^{-850} \left(891 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.0006\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 5.311 \times 10^{11} \quad \text{Бк}$$

б) суммарные запасы в донных отложениях русла Оби между Соснино (граница ХМАО) и о. Пуйко, при общей протяженности участка 1770 км:

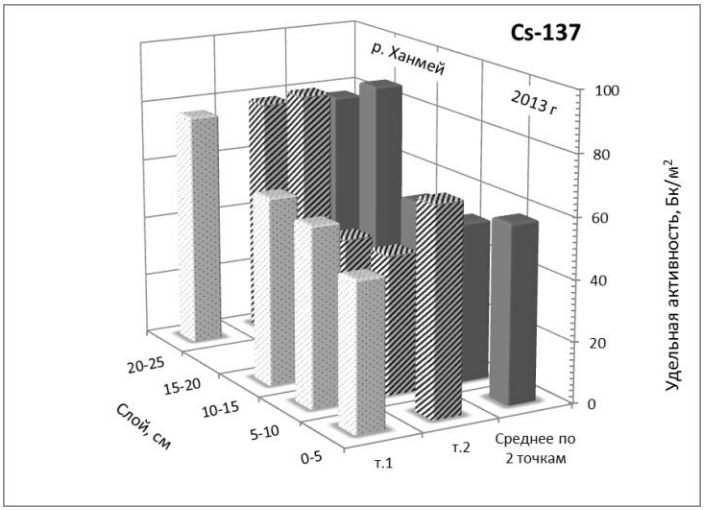
$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-1020}^{550} \left(2143.32 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.00043\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 7.588 \times 10^{12} \quad \text{Бк}$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-1020}^{550} \left(891 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.0006\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 3.342 \times 10^{12} \quad \text{Бк}$$

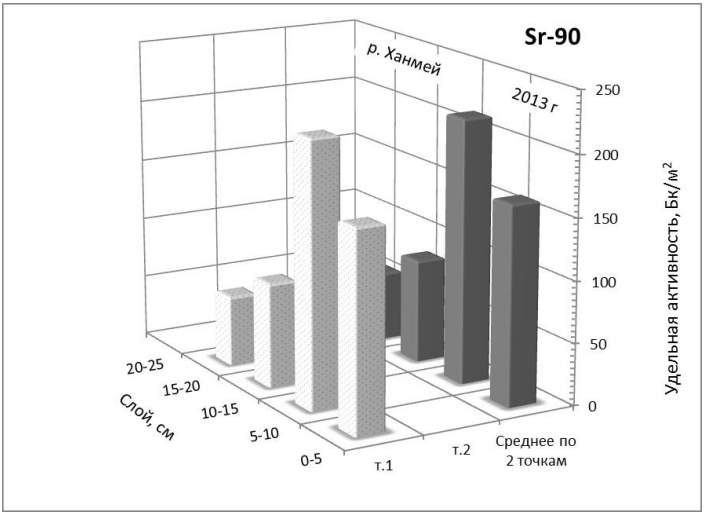
с) предполагая, что тренд, описывающий продольный профиль изменения запасов радионуклидов в донных грунтах Оби (рисунок 409) сохраняется до Обской губы, запасы на оставшемся устьевом участке русла Оби длиной 80 км равны:

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-1100}^{-1020} \left(2143.32 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.00043\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 5.41 \times 10^{11} \quad \text{Бк}$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-1100}^{-1020} \left(891 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{-0.0006\underline{\mathbf{x}}}\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.693 \times 10^{11} \quad \text{Бк}$$

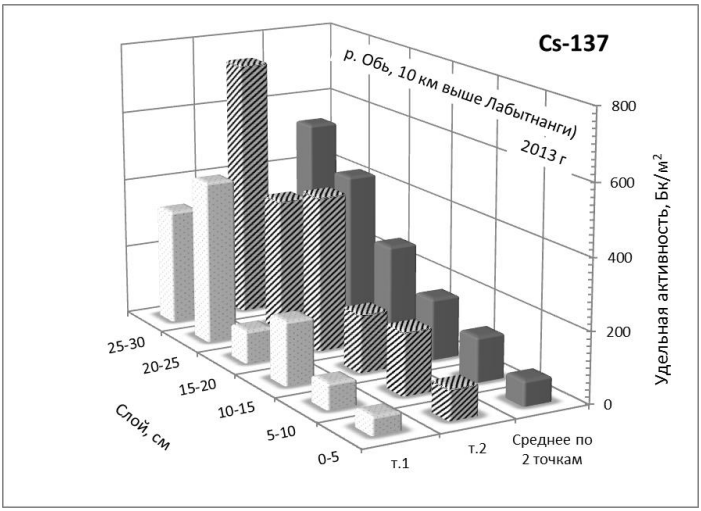


а

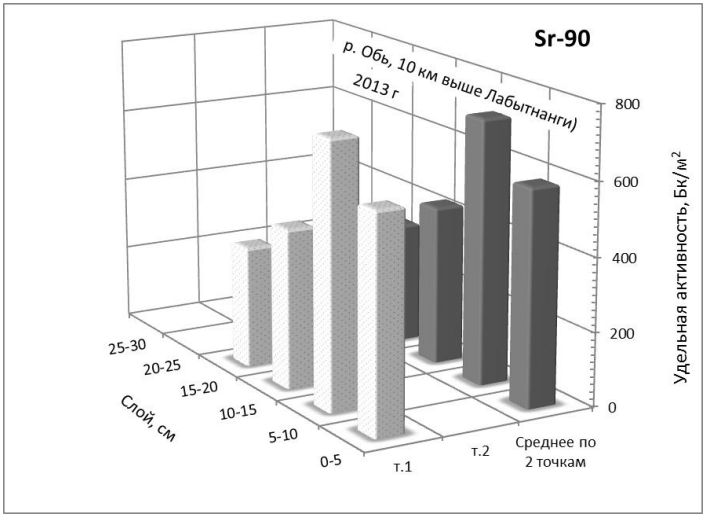


б

Рисунок 404 – Профиль вертикального распределения ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в донных отложениях р. Ханмей около Лабытнанги,

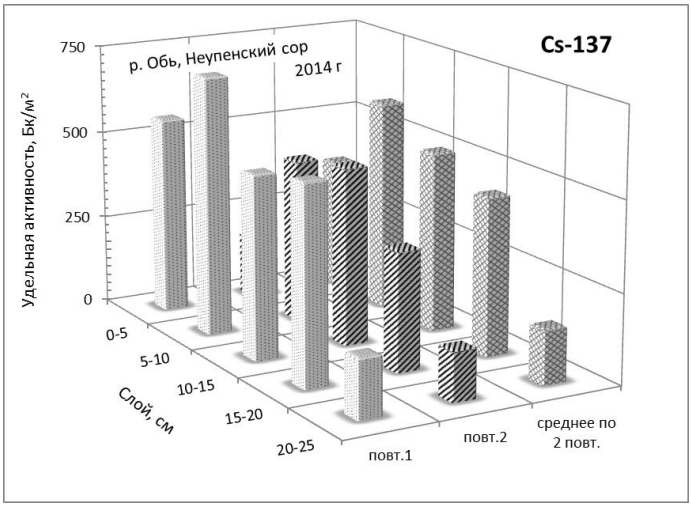


а

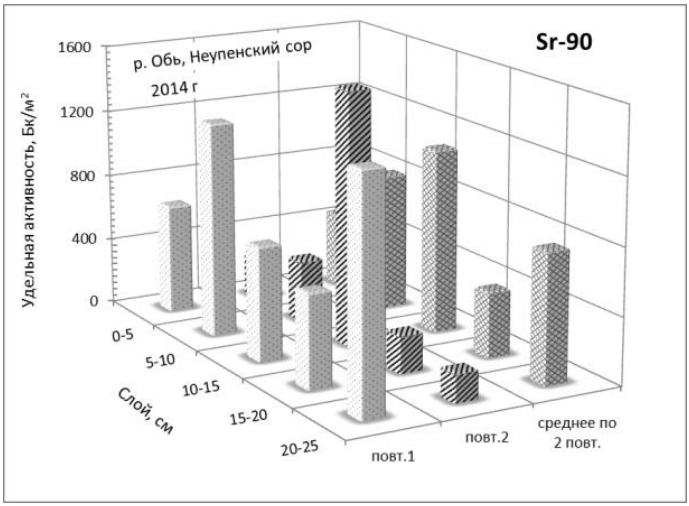


б

Рисунок 405 – Профиль вертикального распределения ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в донных отложениях Оби в створе выше Лабытнанги, (2013 г.)

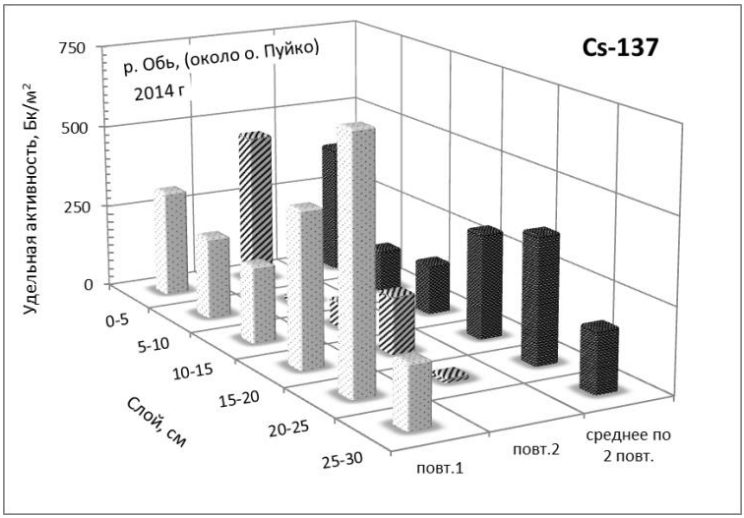


а

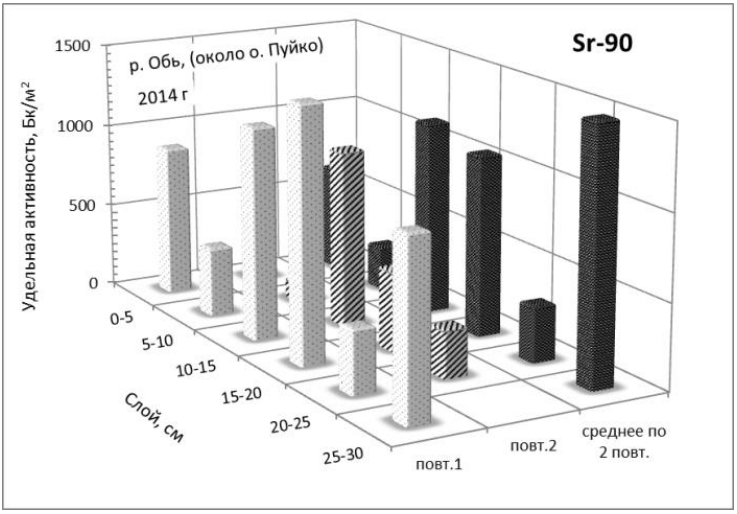


б

Рисунок 406 – Профиль вертикального распределения ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в донных отложениях Оби в створе Неупенский сор

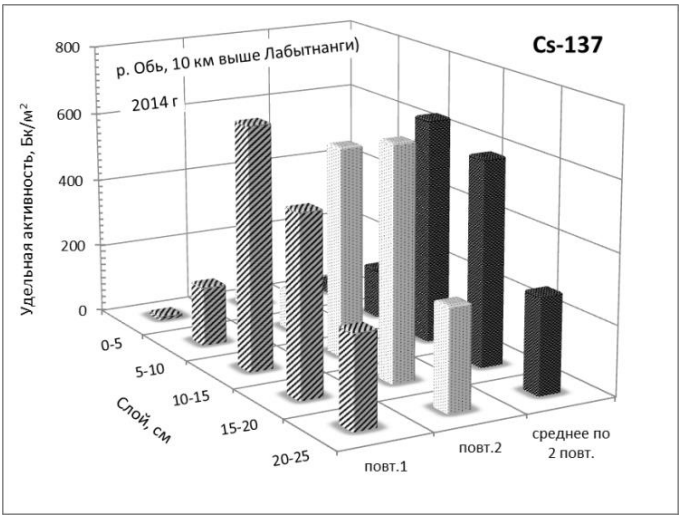


а

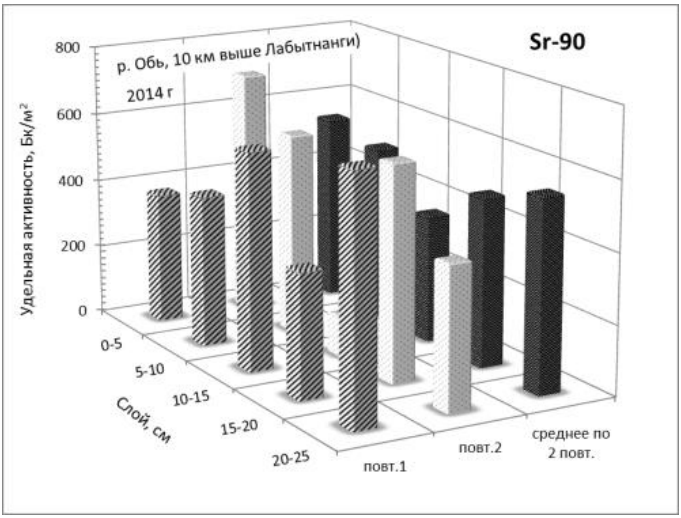


б

Рисунок 407 – Профиль вертикального распределения ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в донных отложениях в створе Оби около о. Пуйко.



а



б

Рисунок 408 – Профиль вертикального распределения ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в донных отложениях в створе Оби выше Лабытнанги (2014г.)

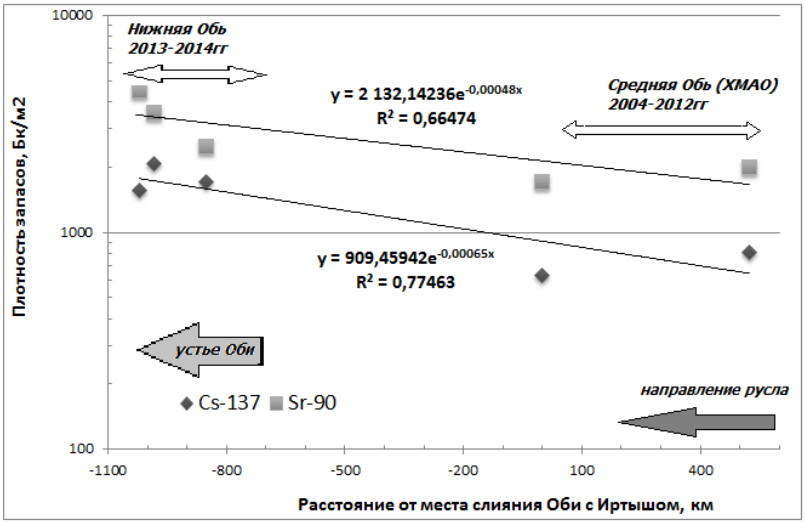


Рисунок 409 – Содержание радионуклидов в донных отложениях вдоль русла Оби

2.20.4. Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне реки Обь. 2013-2014 гг.

В 2013-2014 гг. были исследованы 7 видов рыб на содержание в них ^{90}Sr и ^{137}Cs. Кроме того в 2014 г. впервые в 4-х видах был определен ^{239,240}Pu (таблица 158). Содержание радионуклидов в ихтиофауне иллюстрируется на рисунке 410.

Несмотря на более высокие концентрации радионуклидов в воде нижней Оби, накопление их в рыбе незначительно и сопоставимо с аналогичными показателями по рыбе, выловленной в средней Оби и в устье Иртыша.

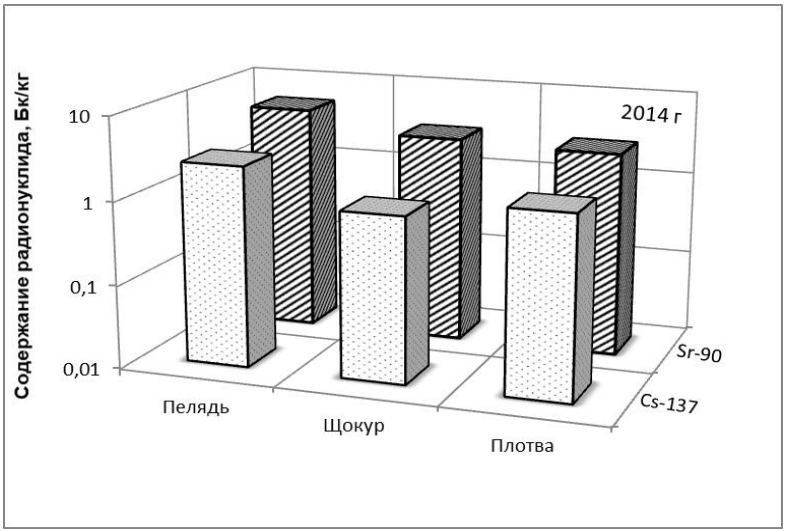
Согласно Гигиеническим требованиям безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов (Гигиенические…2001), содержание ^{90}Sr в рыбе не должно превышать 100 Бк/кг, ^{137}Cs - не выше 130 Бк/кг.

Таблица 158

Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне р.Обь. 2014 г.

№,п/п	Вид рыбы	Повтор-ность	Содержание, Бк/кг		
			^{90}Sr	^{137}Cs	$^{239,240}Pu$ ($n \cdot 10^{-3}$)
1	Пелядь	1	5,15±0,15	1,54±0,8	0,7±0,02
2		2	5,58±0,12	3,54±1,5	0,6±0,03
3		3	5,35±0,13	2,08±1,2	0,4±0,01
	Среднее значение		5,36±0,18	2,39±0,84	0,57±0,12
4	Щокур	1	2,58±0,11	≤0,81	0,4±0,01
5		2	3,63±0,17	≤1,16	0,5±0,02
6		3	2,95±0,14	≤1,11	0,4±0,02
	Среднее значение		3,05±0,43	-	0,43±0,05
7	Плотва	1	2,27±0,14	2,15±0,66	0,3±0,01
8		2	3,31±0,11	0,81±0,08	0,4±0,02
9		3	2,86±0,12	1,14±0,31	0,3±0,01
	Среднее значение		2,81±0,43	1,37±0,57	0,33±0,05
10	Щука	1	6,57±0,28	1,78±0,15	0,6±0,02
11		2	7,39±0,34	2,19±0,18	0,8±0,03
12		3	6,31±0,22	1,93±0,13	0,5±0,02
	Среднее значение		6,76±0,46	1,97±0,17	0,63±0,12

а



б

Рисунок 410 – Содержание радионуклидов в рыбе, выловленной в нижней Оби в 2013 г (а) и 2014 г (б)

Содержание $^{239,240}Pu$ в ихтиофауне в данном документе не нормируется. Согласно таблице 158, наибольшая концентрация ^{90}Sr в щуке, отловленной в 2014 г. в нижней части Оби не превышает 7,39 Бк/кг сырой массы, а максимальное содержание ^{137}Cs в пеляди равно 3,54 Бк/кг сырой массы. Таким образом, в соответствии с санитарными нормами, содержание радионуклидов в рыбе находится на безопасном для потребления уровне.

2.20.5. Итоги мониторинговых исследований 2013-2014 гг.

1. Определены уровни содержания техногенных радионуклидов в воде, донных отложениях, пойменных почвах и ихтиофауне реки Обь в границах ЯНАО.

2. При анализе сравнительного выноса ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ реками Обь и Иртыш установлено, что интегральный вынос всех трех рассматриваемых радионуклидов будет бóльшим для Оби: по ^{90}Sr – в 2.8 раза, по ^{137}Cs – в 2,3 раза и по ^{239,240} Pu – в 2,0 раза.

3. Объемная активность ^{90}Sr в воде нижней Оби уменьшается, а ^{137}Cs возрастает относительно показателей средней Оби, при этом если отношение $^{90}Sr/^{137}Cs$ в средней Оби составляло ~10, то в нижней Оби $^{90}Sr/^{137}Cs$ ~ 1.

4. Годовой сток ^{90}Sr вдоль русла средней и нижней Оби изменяется слабо, варьируя около среднего уровня $5{,}5\times10^{12}$ Бк, а для ^{137}Cs возрастает по течению почти на порядок с $6{,}5\times10^{11}$ на границе Томской области и ХМАО до $5{,}3\times10^{12}$ в створе Салехард-Лабытнанги, получая подпитку из мест депонирования в пойме нижней Оби.

5. Дана оценка содержания техногенных радионуклидов в поверхностных и придонных слоях воды реки Обь. Максимальные уровни содержания радионуклидов зарегистрированы в Неупенском соре, причем, в верхних слоях воды этого створа концентрация ^{90}Sr несколько выше, чем на глубине 20 м, а по ^{137}Cs больше в 5 раз. В створе вблизи Лабытнанги такого различия между глубинным и верхним водотоком не наблюдалось.

6. Запасы ^{90}Sr и ^{137}Cs в пойменных почвах и в донных отложениях Оби экспоненциально возрастают по ходу русла, достигая максимальных уровней в нижней Оби.

7. Содержание радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби (исследовано 7 видов) не превышает установленных санитарных норм, и находится в пределах от 0,2 до 6,8 Бк/кг. Таким образом, можно рекомендовать населению использовать в пищу рыбу различных видов, обитающую в Оби, согласно регламентации по радиационному фактору.

8. Учитывая нестабильную радиоэкологическую обстановку как в системе рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш, так и в реке Обь на границе Томской области и ХМАО, целесообразно проводить ежегодные мониторинговые исследования миграции, накопления и перераспределения основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа.

2.21. Миграция, накопление и перераспределение основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. 2015 г.

В таблице 159 и на карте-схеме (рисунок 411) приведено расположение исследуемых участков нижней Оби и уровни радиационного фона в точках отбора проб. На схеме обозначены также створы Оби в пределах ЯНАО, исследования которых проведены ранее в 2013-2014 г. (створы № 6-8). Удаленность исследованных участков относительно створа Лабытнанги определялась трассировкой по руслу Оби с помощью соответствующего встроенного инструментария Яндекс-карт.

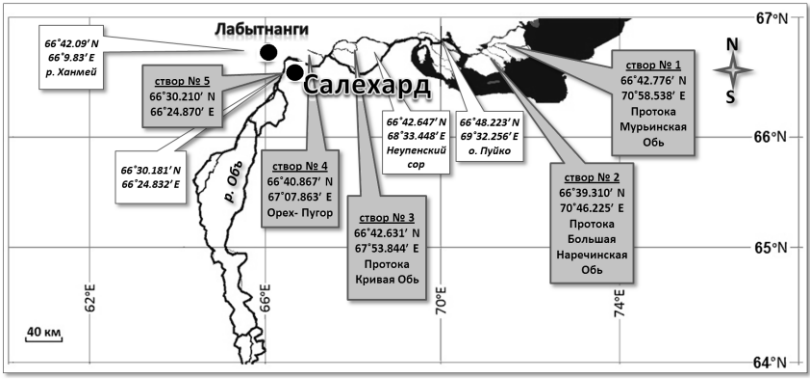


Рисунок 411 – Карта-схема исследуемых створов Оби и расположение точек отбора проб (створы 2015 г. выделены серым цветом, створы 2013-2014 гг. обозначены белым цветом)

Таблица 159

Характеристика участков отбора проб

№ створа	Створ	Координаты		Рад. Фон, мЗв/ч	Год проведения исследований
1	Р. Обь, протока Мурьинская	66˚42.776′ N 70˚58.538′ E	1	0,05	2015 г.
			2	0,06	
			3	0,07	
2	Р. Обь, протока Большая Наречинская	66˚39.310′ N 70˚46.225′ E	1	0,06	2015 г.
			2	0,06	
			3	0,09	
3	Р. Обь, протока Кривая Обь	66˚42.631′ N 67˚53.844′ E	1	0,05	2015 г.
			2	0,06	
			3	0,05	
4	Р. Обь, Орех-Пугор	66˚40.867′ N 67˚07.863′ E	1	0,07	2015 г.
			2	0,08	
			3	0,08	
5	Р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	66˚30.210′ N 66˚24.870′ E	1	0,08	2015 г.
			2	0,06	
			3	0,07	
6	р. Обь, (около о. Пуйко)	66˚48.223′ N 69˚32.256′ E	1	0,06	2014 г.
			2	0,08	
			3	0,07	
7	р. Обь, Неупенский сор	66˚42.647′ N 68˚33.448′ E	1	0,07	2014 г.
			2	0,07	
			3	0,05	
8	р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	66˚30.181′ N 66˚24.832′ E	1	0,07	2014 г.
			2	0,08	
			3	0,07	

2.21.1. Содержание радионуклидов в воде рек Обь-Иртышской речной системы и оценка их годовых стоков. 2015 г.

Содержание радионуклидов в пробах воды исследованных створов Оби характеризуется величинами, приведенными в таблице 160.

На рисунке 412 представлены графики изменения средних значений концентрации радионуклидов в воде Оби.

Содержание ^{90}Sr в воде минимально в створе, расположенном перед г.Лабытнанги. На участке 50-60 км ниже по течению удельная активность радионуклида возрастает до максимальных величин, а далее снижается почти до уровней, характерных для створа Лабытнанги.

Удельная активность ^{137}Cs также возрастает на средних участках нижней Оби, однако максимум профиля размыт и не так явно локализован. Максимальные уровни содержания ^{90}Sr в воде (41,5 Бк/м^3) зарегистрированы в створе Орех-Пугор, ^{137}Cs (5,5 Бк/м^3) – в створе Орех-Пугор и вблизи Лабытнанги.

Содержание Cs-137 в створах нижней Оби (рис. 412а) достаточно близки по уровням, кроме створа №7 (Неупенский сор), обследованного в 2014 г, где было зарегистрирован максимальный уровень данного радионуклида 23,6 Бк/м^3 (Значение не учитывалось в регрессионных уравнениях). Уровни содержания Cs-137 удовлетворительно аппроксимируются полиномами второй или третьей степени:

$y = -0{,}0002x^2 + 0{,}034x + 5{,}5957$; $R^2 = 0{,}48$ (1)

$y = 1E\text{-}7x^4 - 4E\text{-}5x^3 + 0{,}005x^2 - 0{,}1154x + 3{,}91$; $R^2 = 0{,}92$ (2)

где x – расстояние в км от Лабытнанги.

Таблица 160

Удельная активность радионуклидов (Бк/л) и изотопные отношения в пробах воды в исследованных створах Оби

Створ	Повт.	^{137}Cs, Бк/л	^{90}Sr, Бк/л	$^{239,240}Pu$ n $\cdot 10^{-5}$, Бк/л	$\frac{^{239,240}Pu}{^{137}Cs}$	$\frac{^{239,240}Pu}{^{90}Sr}$
р. Обь, протока Мурьинская	1	0,004±0,0003	0,017±0,0009	0,7±0,06		
	2	0,006±0,0005	0,014±0,0007	0,9±0,08		
	Ср.зн.	**0,005±0,0001**	**0,0155±0,0015**	**0,8±0,1**	0,0016	0,0005
р. Обь, протока Большая Наречинская	1	0,0012±0,0002	0,016±0,0008	0,8±0,06		
	2	0,0010±0,0003	0,021±0,0010	0,9±0,07		
	Ср.зн.	**0,0011±0,0001**	**0,0185±0,0025**	**0,85±0,05**	0,0077	0,0005
р. Обь, протока Кривая Обь	1	0,006±0,0006	0,027±0,0013	0,8±0,05		
	2	0,010±0,0009	0,023±0,0011	1,0±0,07		
	Ср.зн.	**0,008±0,002**	**0,025±0,002**	**0,9±0,1**	0,0011	0,0004
р. Обь, Орех-Пугор	1	0,005±0,0004	0,039±0,0015	1,1±0,08		
	2	0,006±0,0009	0,044±0,0017	1,3±0,09		
	Ср.зн.	**0,0055±0,0005**	**0,0415±0,0025**	**1,2±0,1**	0,0022	0,0003
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	1	0,005±0,002	0,014±0,0006	0,7±0,05		
	2	0,003±0,001	0,011±0,0005	0,8±0,07		
	Ср.зн.	**0,004±0,001**	**0,0125±0,0015**	**0,75±0,05**	0,0014	0,0008

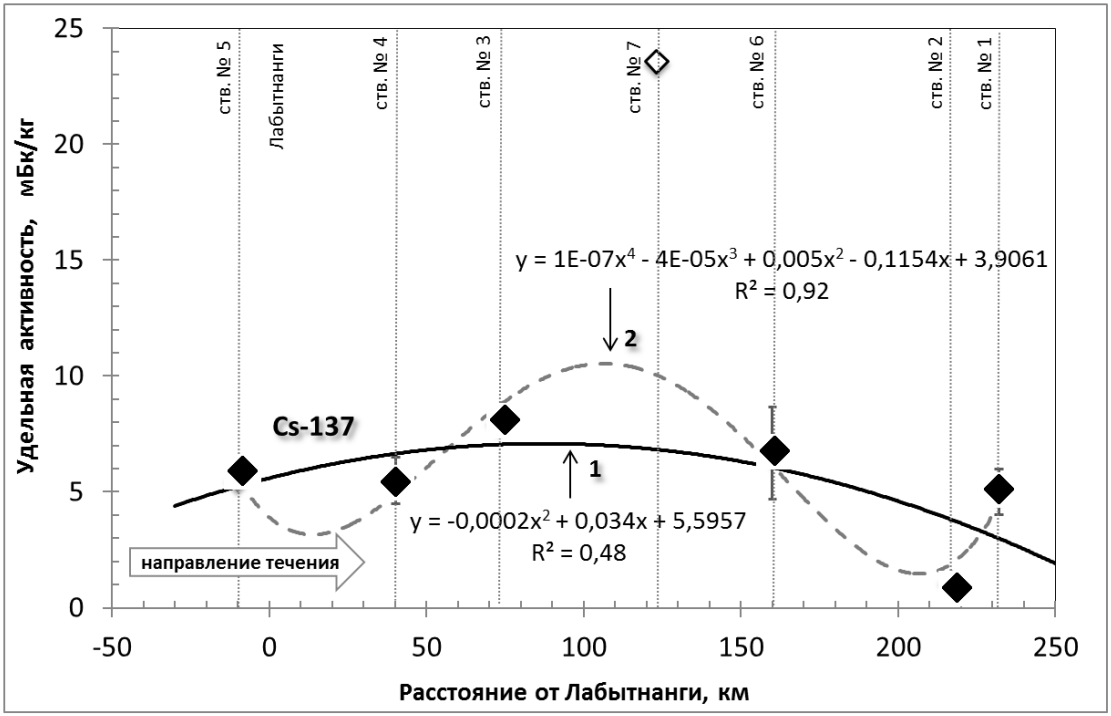


Рисунок 412 (а) – Изменение с расстоянием вдоль течения нижней Оби средних значений удельной активности Cs-137 в воде

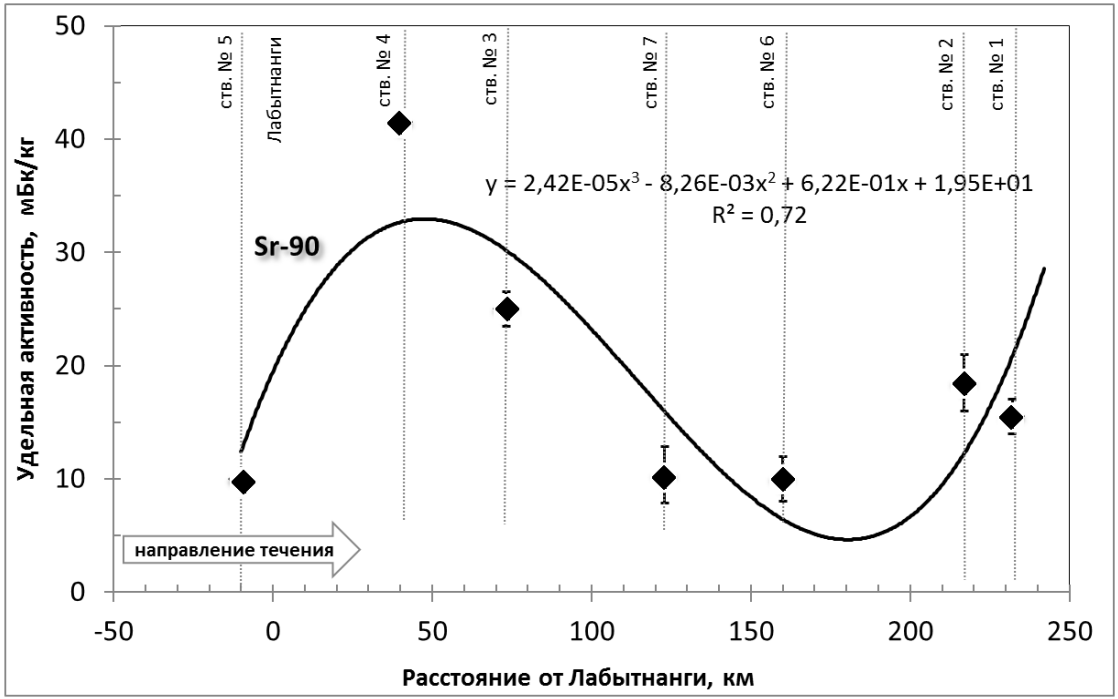


Рисунок 412 (б) – Изменение с расстоянием вдоль течения нижней Оби средних значений удельной активности Sr-90 в воде

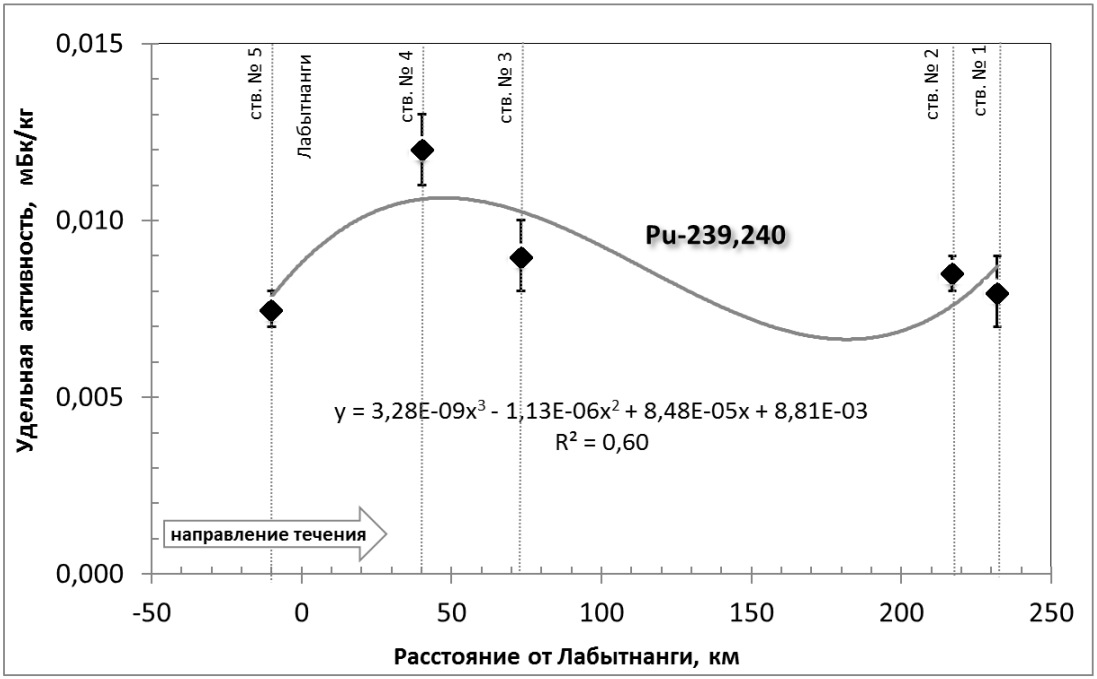


Рисунок 412 (в) – Изменение с расстоянием вдоль течения нижней Оби средних значений удельной активности Pu-239,240 в воде

Максимальные уровни содержания Sr-90 и Pu-239,240 зарегистрированы в створе №4 (Орех-Пугор), из-за чего изменение объемной активности этих радионуклидов вдоль течения также немонотонно, и уравнения регрессии, описывающие эти изменения, удовлетворительно представляются полиномами третьей степени:

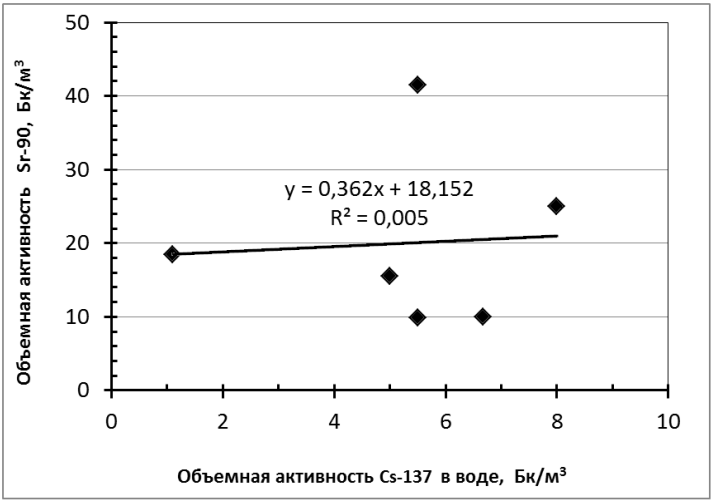
$$\text{Sr-90 (Бк/м}^3) = 2{,}417\times10^{-5}x^3 - 8{,}261\times10^{-3}x^2 + 6{,}216\times10^{-1}x + 19{,}49; \qquad R^2 = 0{,}72 \quad (3)$$

$$\text{Pu-239,240 (Бк/м}^3) = 3{,}281\times10^{-9}x^3 - 1{,}128\times10^{-6}x^2 + 8{,}477\times10^{-5}x + 0{,}008806; \qquad R^2 = 0{,}60 \quad (4)$$

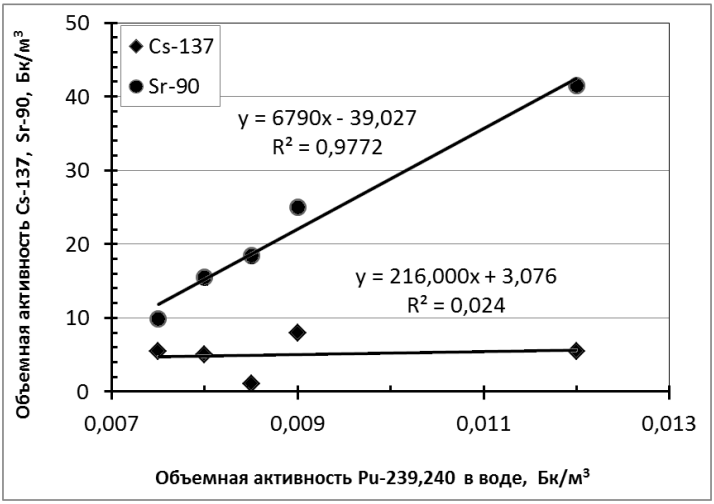
Регрессионно-корреляционный анализ, результаты которого приведены на рисунке 413, указывает на наличие сильной линейной связи между содержанием в воде Pu-239,240 и Sr-90 ($y = 6790x - 39{,}027$; $R^2 = 0{,}98$, рис. 413б), что хорошо заметно при сопоставлении графиков изменения содержания этих радионуклидов в воде (рисунок 412а и 412в). Однако между Pu-239,240 и Cs-137, а также между Cs-137 и Sr-90 никакой корреляции не наблюдается.

В конце сороковых - начале пятидесятых годов в Течу было сброшено 10^{17} Бк отходов плутониевого производства, из которых на долю Cs-137 и Sr-90 приходилось 12,2 и 11,6 % соответственно, т.е. не менее 10^{16} Бк каждого из них. В таблице 161 приведены уровни содержания Cs-137 и Sr-90 в воде рек Теча, Исеть, Тобол, Иртыш и Обь, являющихся звеньями одной речной системы (Трапезников, 2010).

График на рисунке 414 отображает изменение содержания радионуклидов в воде рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь в зависимости от расстояния от истока Течи, где был произведен сброс радионуклидов в речную систему.



а



б

Рисунок 413 – Парные корреляции между содержанием в воде Pu-239,240, Cs-137 и Sr-90 в различных исследованных створах нижней Оби

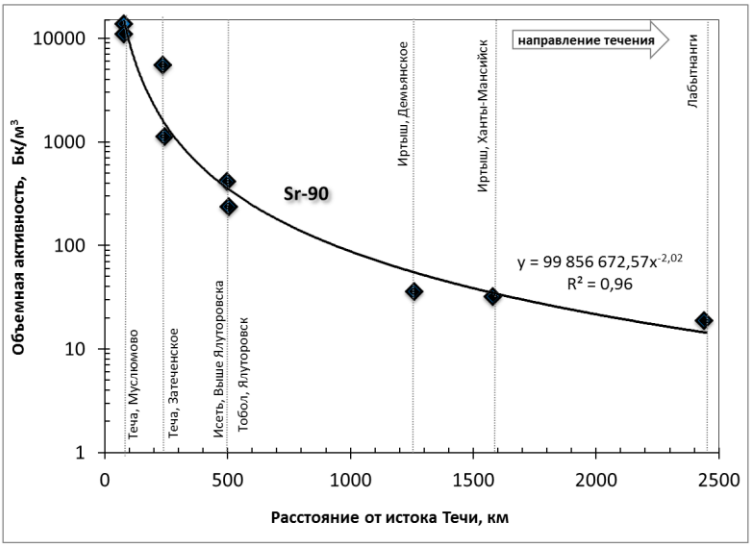
Таблица 161

Удельная активность радионуклидов (Бк/м^3) в некоторых створах Течи, Исети, Тобола, Иртыша и Оби и оценка годовых стоков радионуклидов

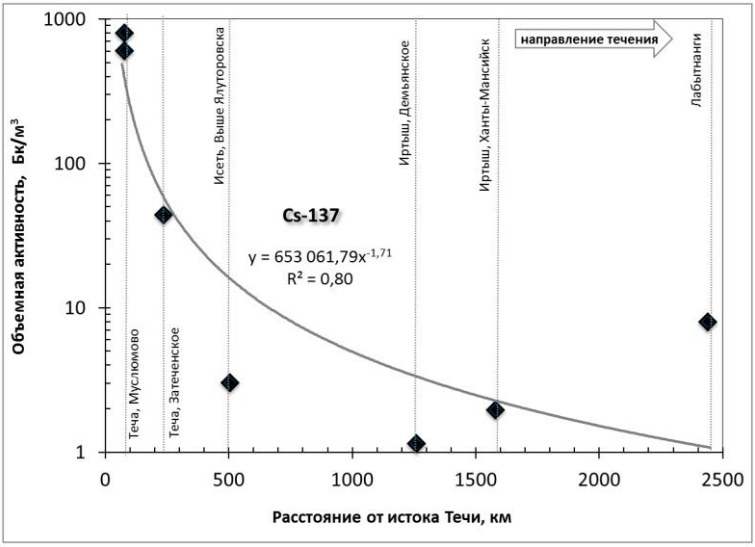
Река, створ	Расстояние от истока Течи, км	Год. сток воды, м^3	Удельная активность, Бк/м^3			Годовой сток, Бк			Год отбора проб
			^{90}Sr	^{137}Cs	^{239,240}Pu	^{90}Sr	^{137}Cs	^{239,240}Pu	
Теча, Муслюмово	78	6,00E+07	13600	600	0,35	8,16E+11	3,60E+10	2,10E+07	2005
Теча, Муслюмово	78	6,00E+07	10900	800		6,54E+11	4,80E+10		1995
Теча, Затеченское	237	3,50E+08	5500	44	0,12	1,93E+12	1,54E+10	4,20E+07	1995
Исеть, ниже впадения Течи	244		1120						1995
Исеть, Выше Ялуторовска	498	3,11E+09	415			1,29E+12			1995

Таблица 161 (Окончание)

Река, створ	Расстояние от истока Течи, км	Год. сток воды, $м^3$	Удельная активность, $Бк/м^3$			Годовой сток, Бк			Год отбора проб
			^{90}Sr	^{137}Cs	$^{239,240}Pu$	^{90}Sr	^{137}Cs	$^{239,240}Pu$	
Тобол, Ялуторовск	505		235	3					1995
Иртыш, Демьянское	1260	4,84E+10	35,48	1,15		1,72E+12	5,55E+10		2005-2013
Иртыш, Ханты-Мансийск	1580	5,59E+10	32,06	1,95		1,79E+12	1,09E+11		2005-2014
Обь, Лабытнанги	2440	3,94E+11	18,68	7,91	0,0075	7,36E+12	3,12E+12	2,96E+09	2014-2015



а



б

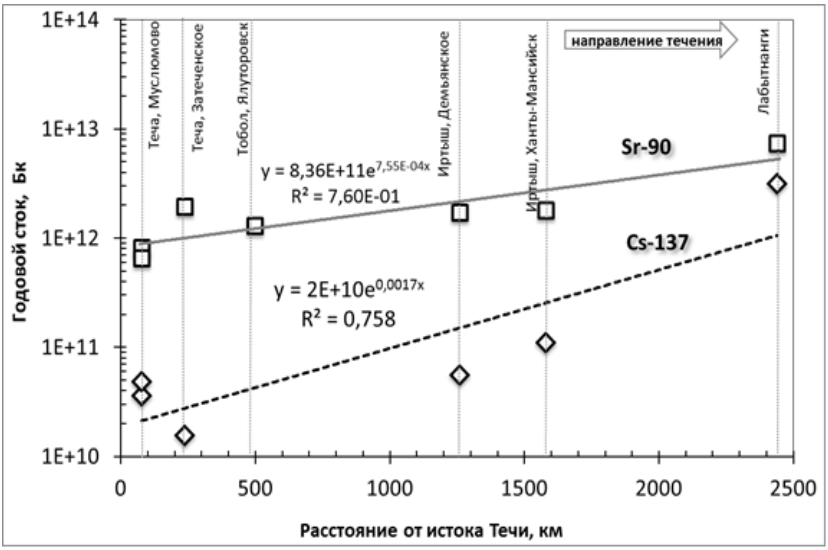
Рисунок 414 – Изменение содержания радионуклидов в воде рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь (а- Sr-90, б – Cs-137)

Из графиков видно, что содержание радионуклидов уменьшается по степенному закону в зависимости от расстояния, начальной точкой которого выбрано место сброса загрязнений (исток Течи). Распределение Sr-90 хорошо моделируется степенной функцией $y = 99856672{,}57\ x^{-2{,}02}$ с коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2 = 0{,}96$. Эта зависимость близка к обратной параболической вследствие близости показателя степени к двум. Изменение содержания ^{137}Cs представлено регрессионным уравнением: $y = 653061{,}79x^{-1{,}71}$; $R^2 = 0{,}80$. Анализ графика (рис.414б) позволяет заключить, что, несмотря на достаточно надежную аппроксимацию концентрационной кривой ниспадающей степенной зависимостью, конечные точки в дельте Оби все же характеризуются небольшим возрастанием содержания ^{137}Cs в воде, наиболее вероятным источником поступления которого являются запасы этого радионуклида в пойме.

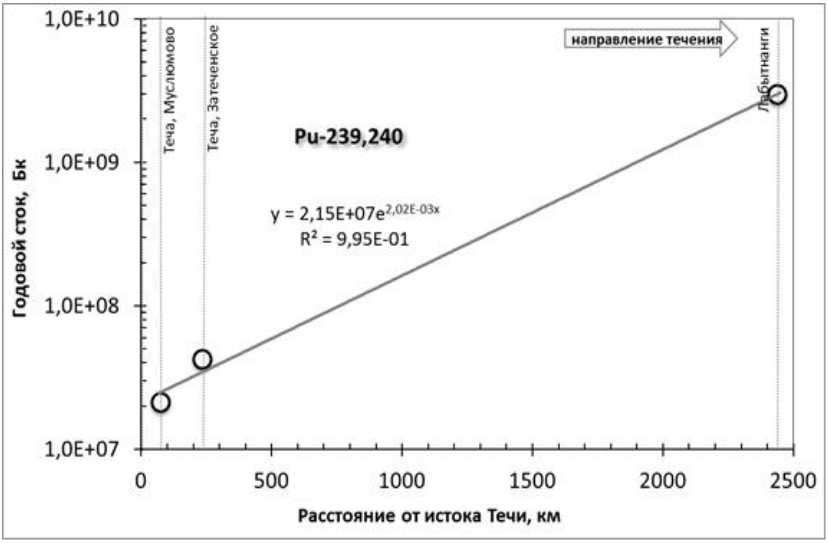
Годовой сток радионуклида определялся как произведение концентрации данного радионуклида на годовой сток воды в заданном створе. Соответствующие расчетные величины годовых стоков радионуклидов приведены в таблице 161. Графики изменения годовых стоков радионуклидов приведены на рисунке 415.

В соответствии с представленными данными, годовые стоки всех исследованных радионуклидов возрастают с увеличением расстояния от истока Течи по экспоненциальному закону, характеризуясь относительно высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0{,}76$-$0{,}99$:

$$^{90}Sr\ (Бк/год) = 8{,}36\times10^{11}\times\exp(0{,}00076x),\quad R^2 = 0{,}76\ (5)$$
$$^{137}Cs\ (Бк/год) = 2{,}0\times10^{10}\times\exp(0{,}0017x),\quad R^2 = 0{,}76\ (6)$$
$$^{239,240}Pu\ (Бк/год) = 2{,}15\times10^{7}\times\exp(0{,}002x),\quad R^2 = 0{,}99\ (7)$$



а



б

Рисунок 415 – Годовые стоки радионуклидов в створах рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь

Указанный факт означает, что в воду речной системы по ходу течения поступает дополнительное количество из ранее депонированного в пойме объема радионуклидов. Можно отметить, что увеличение стока Cs-137 и Pu-239,240 происходит со значительно большим степенным показателем (инкрементом), близким к значению 0,002 для обоих нуклидов, чем для Sr-90, величина которого равна 0,00076. На диаграммах это индицируется в виде более крутого наклона отображаемых зависимостей.

В таблице 162 приведены статистически усредненные результаты измерений удельной активности радионуклидов в створах Оби на территории ХМАО, измеренные в 2003-2013 гг, и измерения в нижней Оби в створе Лабытнанги в 2014-2015 гг. В этой же таблице приведены расчеты годовых стоков радионуклидов, выполненные по результатам указанных измерений.

Представленные в таблице 162 результаты являются величинами, полученными статистическим усреднением всех наблюдаемых за период 2003-2013 гг. измерений из массива экспериментальных данных, предварительно сгруппированных по признаку расположения исследованных участков на Оби. Например, средняя удельная активность радионуклидов для участка Оби, расположенного в месте слияния с Иртышом, получена объединением в общую выборку трех групп данных для створов Оби, расположенных за 20 км до слияния с Иртышом, за 20 км после слияния, и за 65 км после слияния, с последующим усреднением данных сгруппированной выборки.

На рисунке 416 приведен график изменения средних уровней содержания в воде радионуклидов в различных створах Оби.

Таблица 162

Удельная активность радионуклидов (Бк/м^3) в некоторых створах Оби, и оценка годовых стоков радионуклидов

Река, створ	Расстояние от Соснино, км	Год. сток воды, м^3	Удельная активность, Бк/м^3			Годовой сток, Бк			Год отбора проб
			^{90}Sr	^{137}Cs	^{239,240}Pu	^{90}Sr	^{137}Cs	^{239,240}Pu	
р.Обь - граница ХМАО (н.п. Соснино)	0	1,8E+11	32,38	1,93		5,83E+12	3,47E+11		2003-2013
р.Обь – в месте слияния с Иртышом	550	2,7E+11	25,82	2,23		6,97E+12	6,01E+11		2003-2013
Лабытнанги	1400	3,94E+11	18,68	7,91	0,01	7,36E+12	3,12E+12	3,55E+09	2014-2015

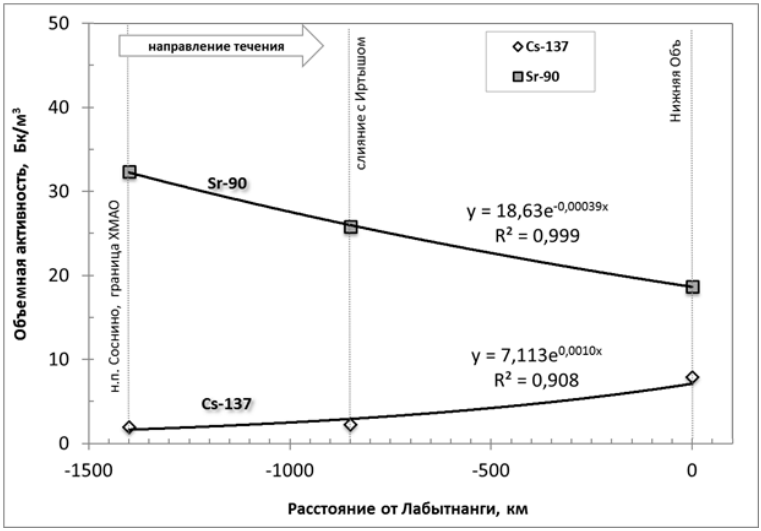


Рисунок 416 – Изменение средних значений содержания в воде радионуклидов в различных створах Оби (Средняя Обь в границах ХМАО, наблюдения 2003-2013 гг., Нижняя Обь в границах ЯНАО в 2013-2015 гг.)

Видно, что среднее содержание ^{90}Sr в воде Оби снижается по течению реки, и хорошо аппроксимируется экспоненциальным уравнением регрессии $y = 18{,}63e^{-0{,}00039x}$; $R^2 = 0{,}99$, в то время, как удельная активность ^{137}Cs, в противоположность ^{90}Sr, монотонно возрастает, удовлетворительно характеризуясь возрастающей экспоненциальной зависимостью $y = 7{,}113e^{0{,}0010x}$; $R^2 = 0{,}91$.

Годовые стоки радионуклидов в рассмотренных створах Оби представлены на рисунке 417. Из него следует, что средний годовой сток ^{137}Cs слабо изменяется вдоль течения Оби, имея слабую тенденцию к возрастанию. Годовой сток ^{90}Sr характеризуется возрастающим трендом и с высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0{,}98$ описывается экспоненциальным уравнением регрессии $y = 3{,}07\times10^{11}e^{0{,}00160x}$.

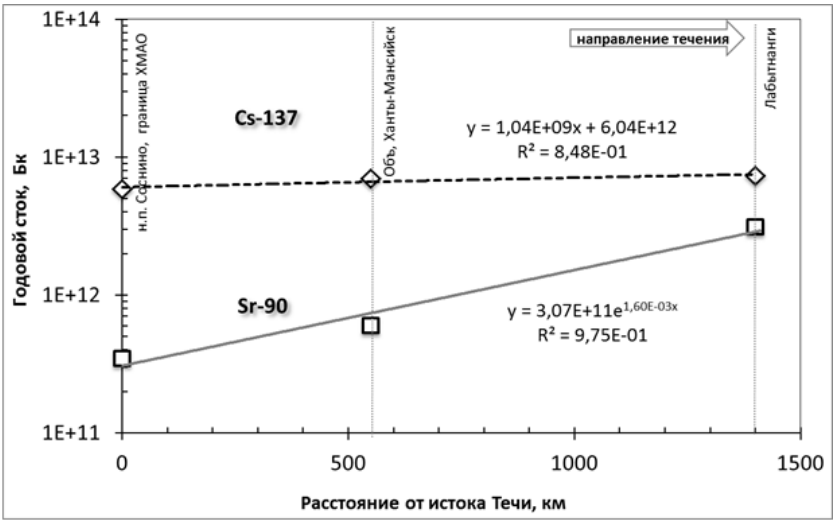


Рисунок 417 – Годовые стоки радионуклидов в створах средней и нижней Оби

2.21.2. Содержание радионуклидов в пойменных почвах нижней Оби и оценка интегральных запасов радионуклидов. 2015 г.

В 2015 г. определение ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в пойменных почвах реки Обь было проведено в 5 створах (в каждом створе по три точки) на глубину до 30 см с шагом 5 см.

Результаты определения послойного содержания радионуклидов в пробах пойменных почв и расчетные величины плотностей запасов радионуклидов в пойменных почвах, полученные суммированием активностей всех слоев, приведены в таблицах 163-168.

Таблица 163

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами (Бк/м^2) в створе № 1 (р. Обь, протока Мурьинская)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м^2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м^2)	Sr-90 (среднее)
0-5	1	248,3±19,6	230,6±16,87	280,8±22,4	370,07±68,95
	2	235,6±21,3		380,7±34,20	
	3	207,9±18,2		448,7±31,36	
5-10	1	1549,2±142,7	1668,4±50,02	263,2±28,93	349,03±65,40
	2	1633,4±170,4		421,8±29,47	
	3	1668,4±182,3		362,1±43,4	
10-15	1	317,6±28,7	383,3±15,5	560,45±23,58	557,78±80,49
	2	342,4±37,6		655,0±58,12	
	3	354,9±41,4		457,9±27,56	

Таблица 163 (Окончание)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м2)	Sr-90 (среднее)
15-20	1	261,2±29,7	280,8±14,28	429,0±51,48	344,83±82,09
	2	286,4±30,4		372,0±33,48	
	3	294,8±32,6		233,5±16,31	
20-25	1	342,6±43,7	397,4±58,33	206,7±21,36	319,9±90,23
	2	371,4±39,1		427,5±36,57	
	3	478,2±44,5		325,5±35,75	
25-30	1	304,6±34,9	367,1±60,80	542,2±37,9	492,62±43,66
	2	347,2±38,7		499,7±25,60	
	3	449,5±46,8		435,95±30,8	
		Суммарная плотность	**3327,6**	Суммарная плотность	**2434,23**

Таблица 164

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами (Бк/м^2) в створе № 2 (р. Обь, протока Большая Наречинская)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м^2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м^2)	Sr-90 (среднее)
0-5	1	98,6 ±8,9	113,6±16,76	426,9±26,37	405,6±85,32
	2	105,2 ±11,4		292,1±17,23	
	3	137,0 ±12,7		497,8±29,81	
5-10	1	289,2 ±24,9	319,0±29,57	360,9±39,15	317,23±45,48
	2	308,5 ±31,7		336,3±26,88	
	3	359,3 ±33,6		254,5±22,86	
10-15	1	507,8 ±44,2	543,3±43,77	495,5±36,52	532,26±27,41
	2	521,4 ±52,7		540,0±48,6	
	3	606,7 ±59,8		561,3±40,25	

Таблица 164 (Окончание)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м2)	Sr-90 (среднее)
15-20	1	298,4 ±31,3	330,2±31,15	311,2±26,28	400,9±94,47
	2	319,7 ±34,2		531,5±34,89	
	3	372,2 ±40,8		360,0±32,40	
20-25	1	764,7 ±64,2	828,2±65,29	446,1±27,39	519,08±55,58
	2	801,9 ±78,5		580,85±52,2	
	3	918,0 ±108,7		530,3±49,32	
25-30	1	307,9 ±28,6	379,6±72,25	461,4±32,1	453,23±30,57
	2	352,4 ±37,8		412,4±29,98	
	3	478,5 ±44,2		485,9±35,54	
		Суммарная плотность	**2513,9**	Суммарная плотность	**2628,3**

Таблица 165

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами (Бк/м^2) в створе № 3 (р. Обь, протока Кривая Обь)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м^2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м^2)	Sr-90 (среднее)
0-5	1	103,7±9,7	149,6±46,34	458,17±23,58	563,22±91,37
	2	134,4±14,6		680,9±56,7	
	3	213,7±20,8		550,6±48,23	
5-10	1	173,2±19,8	203,5±30,95	492,3±32,15	427,23±51,16
	2	191,3±16,2		367,3±30,8	
	3	246,0±25,4		422,1±39,12	
10-15	1	233,8±26,2	298,4±68,31	435,5±41,26	359,77±69,78
	2	268,5±29,3		376,7±20,36	
	3	392,9±42,4		267,1±18,59	

Таблица 165 (Окончание)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м2)	Sr-90 (среднее)
15-20	1	405,2±41,3	456,0±50,57	1128,6±101,5	1387,66±256,04
	2	437,8±46,2		1298,0±125,6	
	3	525,0±51,7		1736,3±138,8	
20-25	1	328,2±33,7	392,5±67,17	383,83±28,17	376,23±28,46
	2	364,1±49,4		338,2±19,54	
	3	485,2±44,3		406,65±36,54	
25-30	1	298,4±31,7	346,5±50,28	441,53±39,69	481,18±68,99
	2	325,2±34,2		578,2±52,02	
	3	415,9±40,8		423,8±33,84	
		Суммарная плотность	**1846,5**	Суммарная плотность	**3595,29**

Таблица 166

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами (Бк/м^2) в створе № 4 (р. Обь, Орех-Пугор)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м^2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м^2)	Sr-90 (среднее)
0-5	1		н.п.о*	251,63±37,7	239,26±46,29
	2			288,75±34,6	
	3			177,4±17,5	
5-10	1	141,7 ±16,3	163,2±42,9	872,27±10,9	806,96±77,82
	2	124,8 ±14,2		733,1±65,9	
	3	223,17 ±24,6		915,5±73,2	
10-15	1	131,2 ±15,9	154,5±24,4	817,3±57,2	683,74±99,94
	2	143,7 ±17,6		657,03±55,8	
	3	188,0 ±20,1		576,9±49,5	

Таблица 166 (Окончание)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м2)	Sr-90 (среднее)
15-20	1	203,2 ±18,7	254,1±57,4	632,33±52,1	598,88±26,29
	2	224,7 ±24,9		568,1±62,5	
	3	334,4 ±36,2		596,2±58,3	
20-25	1	289,1 ±29,3	329,4±42,9	563,3±48,2	635,0±55,20
	2	310,1 ±33,6		697,6±51,6	
	3	388,7 ±41,8		644,1±57,9	
25-30	1	307,2 ±32,8	356,5±51,1	297,5±23,8	290,3±26,94
	2	335,4 ±37,1		254,3±20,5	
	3	426,9 ±45,3		319,1±27,3	
		Суммарная плотность	**1257,7**	Суммарная плотность	**3254,14**

н.п.о* - ниже предела обнаружения

Таблица 167

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами (Бк/м^2) в створе № 5 (р. Обь, 10 км выше Лабытнанги)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м^2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м^2)	Sr-90 (среднее)
0-5	1	140,2 ±16,2	172,8±32,64	563,4±61,93	558,05±20,02
	2	160,8 ±19,4		531,3±47,79	
	3	217,4 ±23,7		579,45±46,32	
5-10	1	262,7 ±29,2	304,5±44,04	727,27±62,58	754,17±100,67
	2	285,4 ±31,7		888,7±79,98	
	3	365,4 ±40,6		646,55±51,46	
10-15	1	422,9 ±22,9	484,1±63,15	704,0±63,36	706,88±71,08
	2	458,6 ±51,2		795,35±55,65	
	3	570,8 ±62,4		621,3±49,68	

Таблица 167 (Окончание)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м2)	Sr-90 (среднее)
15-20	1	196,2 ±22,7	233,8±40,36	621,7±45,63	700,68±62,56
	2	215,4 ±26,4		774,75±46,4	
	3	289,8 ±30,7		705,6±49,35	
20-25	1		н.п.о	417,6±37,53	365,91±36,72
	2			335,8±36,94	
	3			344,33±29,70	
25-30	1		н.п.о	346,3±31,51	331,07±23,99
	2			349,7±28,32	
	3			297,2±22,25	
		Суммарная плот-ность	**1195,2**	Суммарная плотность	**3416,76**

Таблица 168

Удельная активность $^{239,240}Pu$ в пробах пойменных почв (Бк/кг), расчетная плотность загрязнения (Бк/м^2) в соответствующих створах Оби и изотопные отношения.

Створ	Слой, см	Точка	Удельная активность $^{239,240}Pu$, Бк/кг	Плотность запасов $^{239,240}Pu$, Бк/м^2	Плотность запасов $^{239,240}Pu$, (среднее), Бк/м^2	$\frac{^{239,240}Pu}{^{137}Cs}$	$\frac{^{239,240}Pu}{^{90}Sr}$
р. Обь, протока Мурьинская	0-5	1	0,13	1,46±0,17	1,68±0,225		
		2	0,17	1,91±0,21			
	5-10	1	0,05	2,62±0,31	3,67±1,05		
		2	0,09	4,72±0,52			
	Суммарная плотность (Бк/м^2)				**5,35**	0,0017	0,0022
р. Обь, протока Большая Наречинская	0-5	1	0,16	2,56±0,32	2,88±0,32		
		2	0,20	3,20±0,29			
	5-10	1	0,13	1,79±0,16	2,20±0,41		
		2	0,19	2,61±0,29			
	Суммарная плотность (Бк/м^2)				**5,08**	0,0020	0,0019

Таблица 168 (Окончание)

Створ	Слой, см	Точка	Удельная активность $^{239,240}Pu$, Бк/кг	Плотность запасов $^{239,240}Pu$, Бк/м^2	Плотность запасов $^{239,240}Pu$, (среднее), Бк/м^2	$\frac{^{239,240}Pu}{^{137}Cs}$	$\frac{^{239,240}Pu}{^{90}Sr}$
р. Обь, протока Кривая обь	0-5	1	0,21	2,31±0,18	2,64±0,33		
		2	0,27	2,97±0,26			
	5-10	1	0,07	1,92±1,5	2,47±0,55		
		2	0,11	3,02±2,51			
	Суммарная плотность(Бк/м^2)				**5,11**	0,0028	0,0014
р. Обь, Орех-Пугор	0-5	1	0,05	1,38±0,12	1,66±0,28		
		2	0,07	1,94±0,21			
	5-10	1	0,07	2,38±0,28	2,72±0,34		
		2	0,09	3,06±0,36			
	Суммарная плотность(Бк/м^2)				**4,38**	0,0035	0,0013
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	0-5	1	0,03	1,47±0,13	1,93±0,46		
		2	0,05	2,4±0,28			
	5-10	1	0,032	1,68±0,21	1,83±0,15		
		2	0,038	1,99±0,27			
	Суммарная плотность(Бк/м^2)				**3,76**	0,0031	0,0011

На диаграммах рис. 418-422 представлены результаты исследования вертикального распределения радионуклидов в пойменных почвах исследованных створов нижней Оби.

В наиболее удаленном от Лабытнанги створе № 1 (протока Мурьинская) максимальное содержание Cs-137 зарегистрировано в слое 5-10 см во всех трех исследованных точках, при его достаточно однородном распределении и в ~4 раза более низких уровнях в других слоях. В протоке Большая Наречинская максимум содержания Cs-137 располагается в более глубоком слое 20-25 см, а в самом верхнем слое содержание цезия минимально. Примерно такая же картина наблюдается в створе № 3 (протока Кривая Обь), с той лишь разницей, что максимальное содержание Cs-137 отмечается в слое 15-20 см.

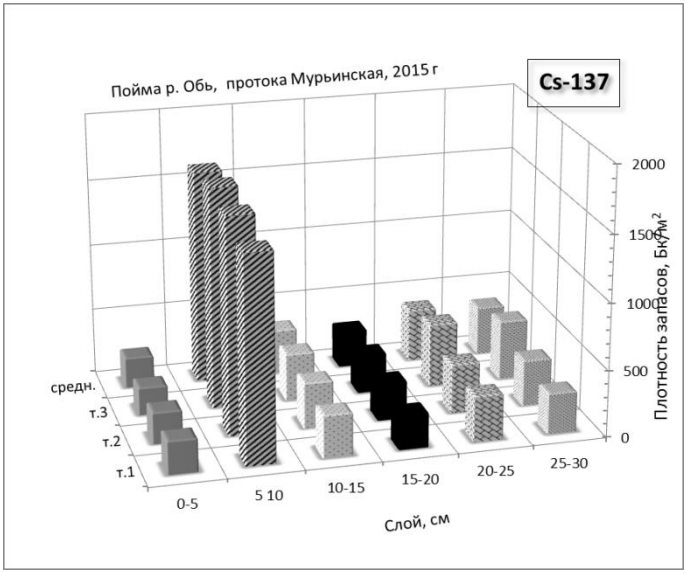


Рисунок 418 (а)– Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №1 (р. Обь, протока Мурьинская) в 2015 г.

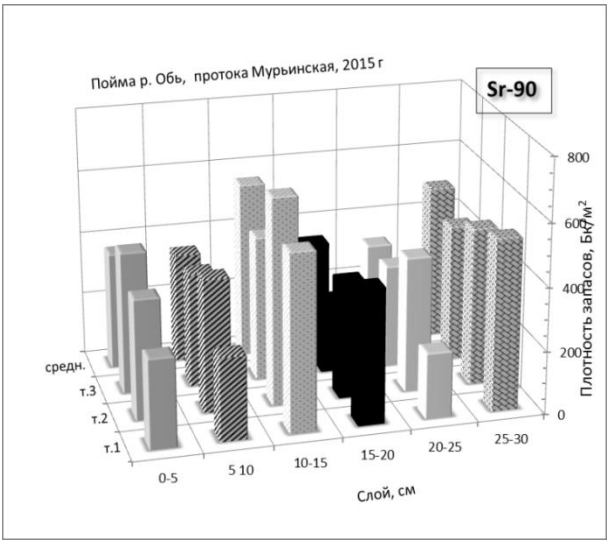


Рисунок 418 (б)– Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №1 (р. Обь, протока Мурьинская) в 2015 г.

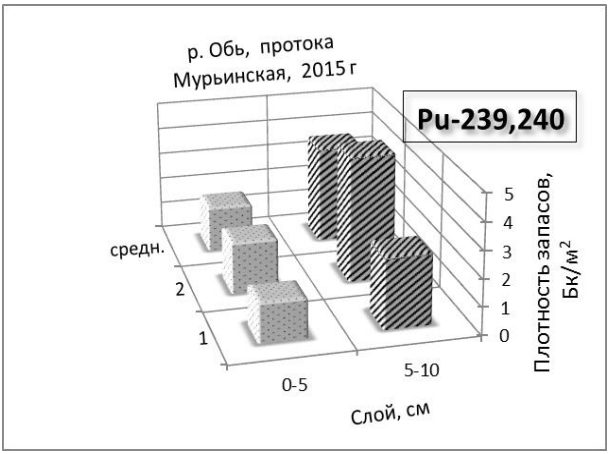


Рисунок 418 (в)– Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №1 (р. Обь, протока Мурьинская) в 2015 г.

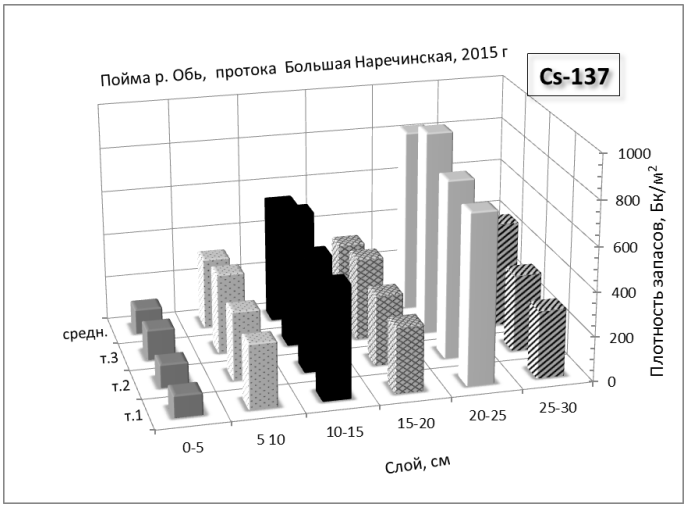


Рисунок 419 (а) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №2 (р. Обь, протока Большая Наречинская) в 2015 г.

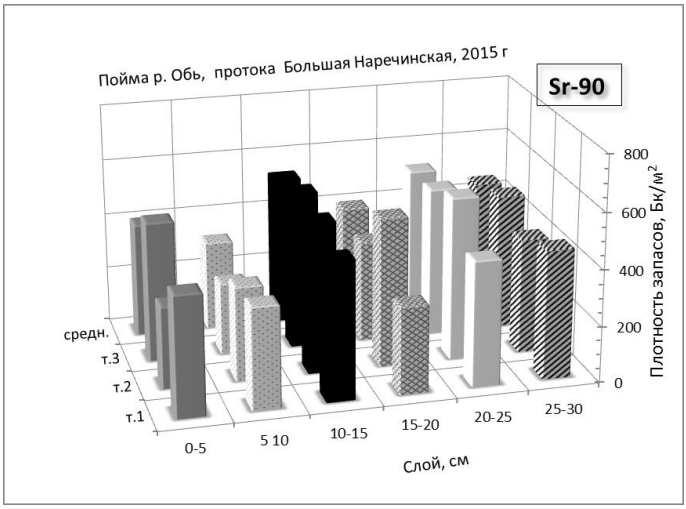


Рисунок 419 (б) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №2 (р. Обь, протока Большая Наречинская) в 2015 г.

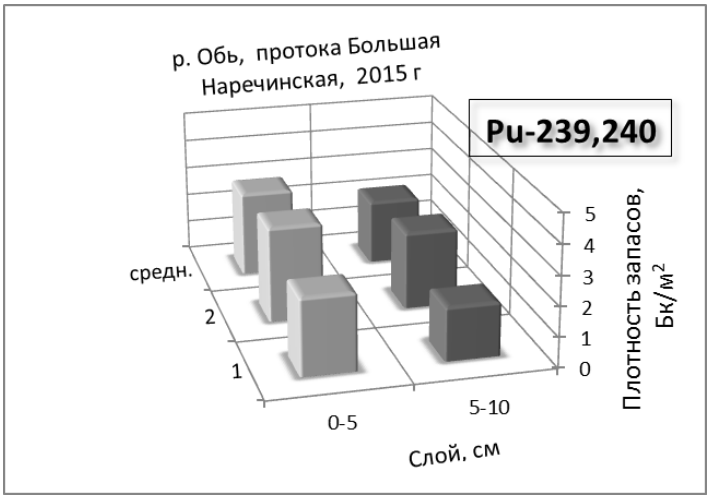


Рисунок 419 (в) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №2 (р. Обь, протока Большая Наречинская) в 2015 г.

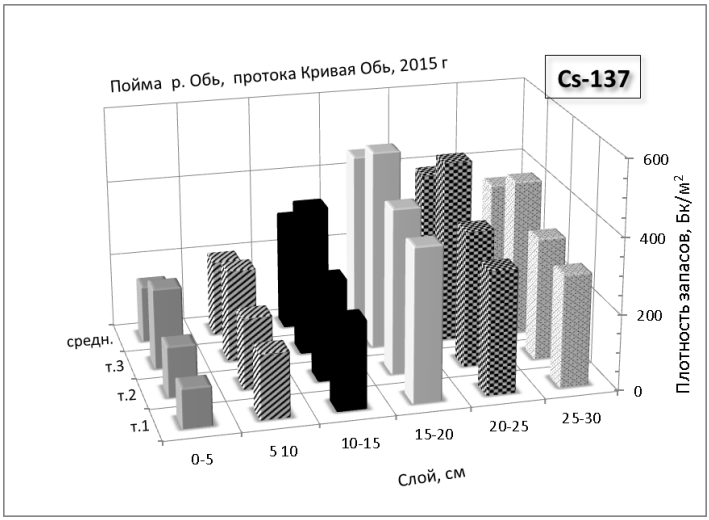


Рисунок 420 (а) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №3 (р. Обь, протока Кривая Обь) в 2015 г.

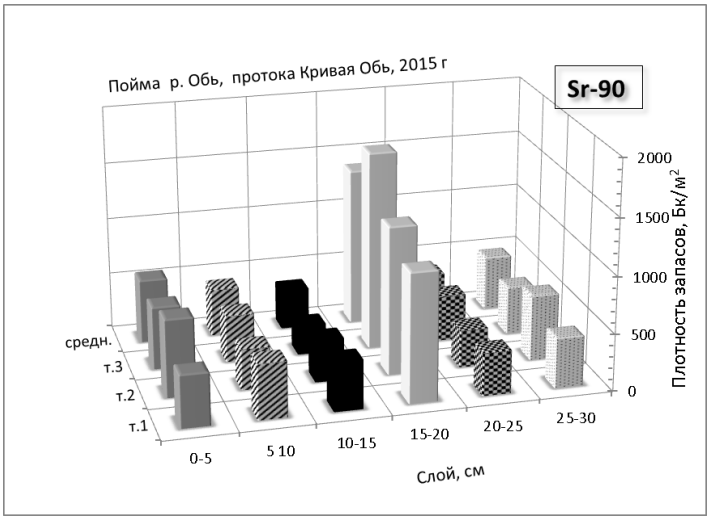


Рисунок 420 (б) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №3 (р. Обь, протока Кривая Обь) в 2015 г.

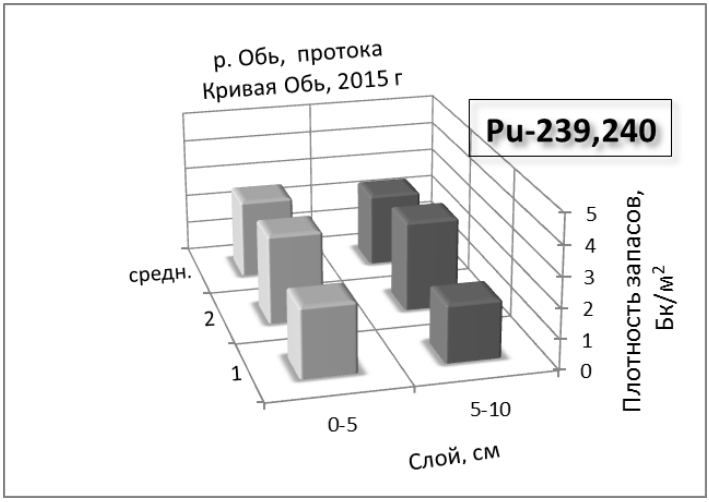


Рисунок 420 (в) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №3 (р. Обь, протока Кривая Обь) в 2015 г.

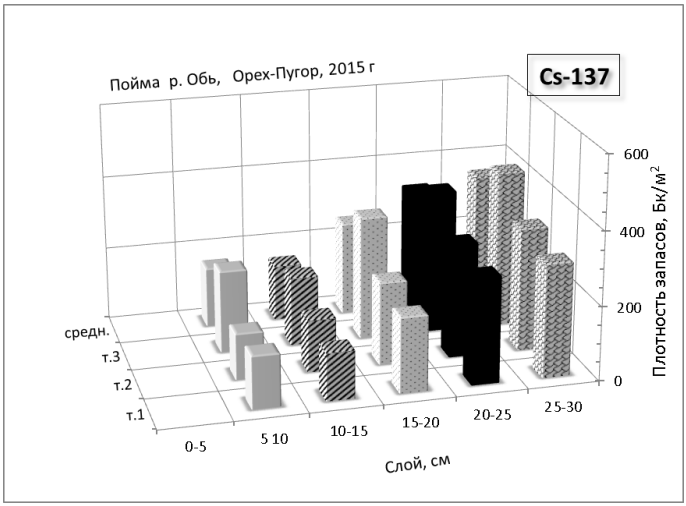


Рисунок 421 (а) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №4 (р. Обь, протока Орех-Пугор) в 2015 г.

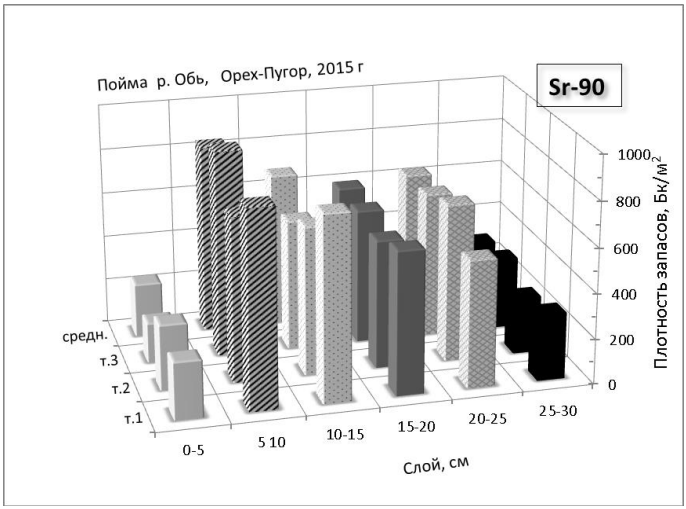


Рисунок 421 (б) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №4 (р. Обь, протока Орех-Пугор) в 2015 г.

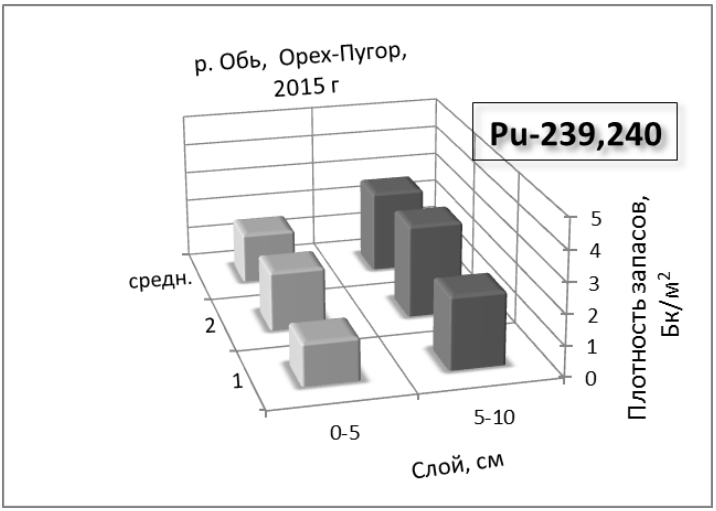


Рисунок 421 (в) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №4 (р. Обь, протока Орех-Пугор) в 2015 г.

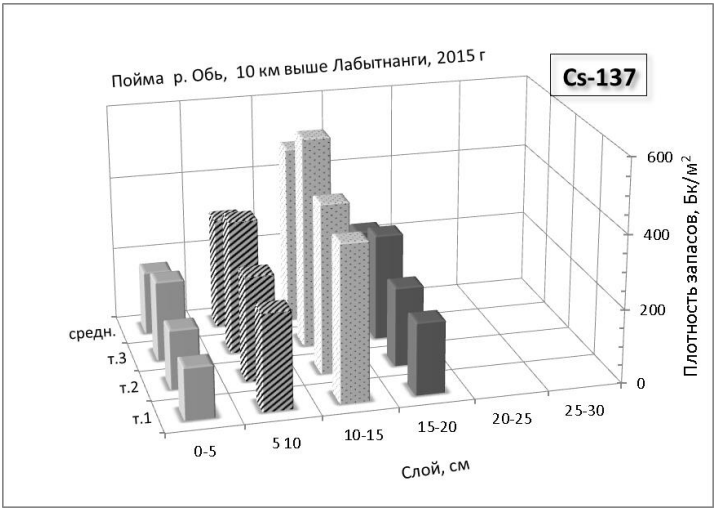


Рисунок 422 (а) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №5 (р. Обь, 10 км выше Лабытнанги) в 2015 г.

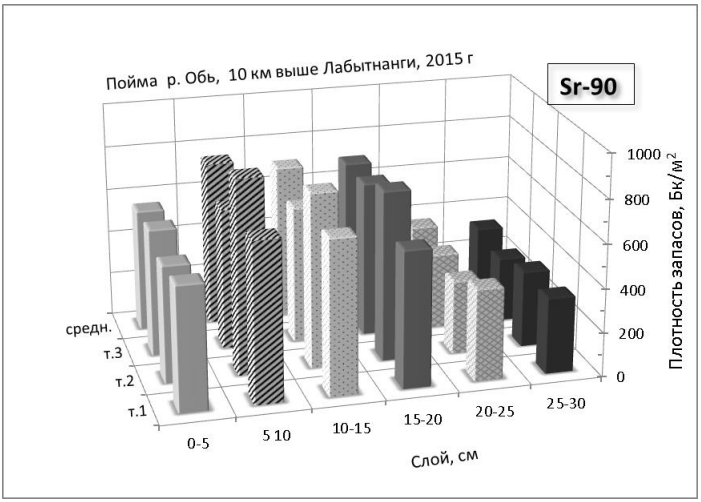


Рисунок 422 (б) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №5 (р. Обь, 10 км выше Лабытнанги) в 2015 г.

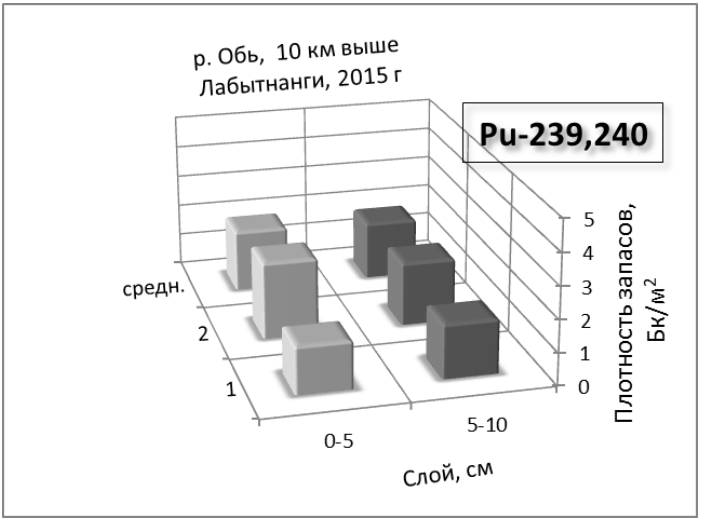


Рисунок 422 (в) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №5 (р. Обь, 10 км выше Лабытнанги) в 2015 г.

В створе Орех-Пугор содержание Cs-137 в верхнем слое вообще оказалось ниже предела обнаружения, а максимум содержания сместился в самый глубокий слой 25-30 см, и вполне вероятно, что этот радионуклид присутствует и в более глубоких слоях. В створе Лабытнанги весь радиоцезий обнаружен только в слоях до 20 см, с максимумом содержания на глубине 10-15 см.

Распределение Sr-90 в пойменных почвах створов протока Мурьинская и Большая Наречинская не имеет выраженного максимума, и уровни содержания во всех слоях близки. В створе Кривая Объ регистрируется максимум содержания Sr-90 на глубине 15-20 см. Поймы в створах Орех-Пугор и Лабытнанги характеризуются широкой глубиной проникновения стронция-90 до слоев 20-25 см с последующим резким спадом.

Содержание ^{239,240}Pu в слоях 0-5 и 5-10 см в большинстве створов практически не отличается, кроме створа протока Мурьинская, где в слое 5-10 см его объемная активность в два раза превышала таковую для слоя 0-5 см.

На рисунке 423 приведены гистограммы средних значений плотности запасов техногенных радионуклидов в пойменных почвах в различных створах нижней Оби. Совершенно определенно на диаграммах просматривается тенденция возрастания плотности запасов ^{137}Cs и ^{239,240}Pu, и одновременного убывания плотности запасов ^{90}Sr, в пойменных почвах при приближении створа к устью Оби. Максимально высокие величины плотности запасов ^{137}Cs – 3453 Бк/м^2 и ^{239,240}Pu – 5,4 Бк/м^2 наблюдались в пойме протоки Мурьинская, минимальные – в Лабытнанги. В то же время максимальная величина плотности запасов ^{90}Sr – 3676 Бк/м^2 отмечена в створе Лабытнанги, а минимальная – в створе протоки Мурьинская.

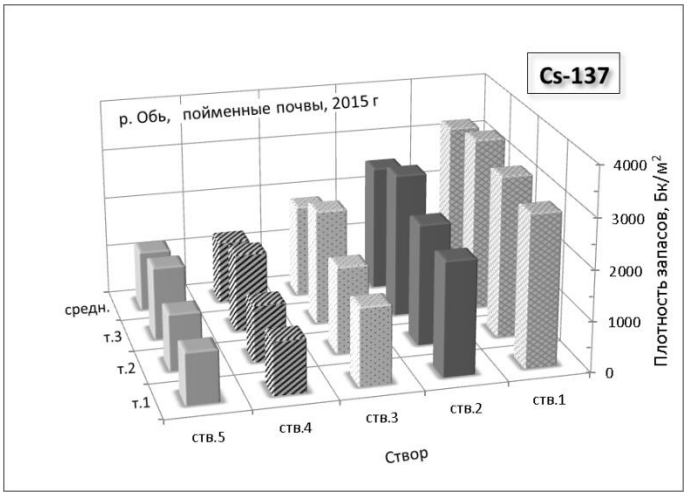


Рисунок 423 (а) – Средние значения плотности запасов радионуклидов в пойменных почвах в различных створах нижней Оби в 2015 г.

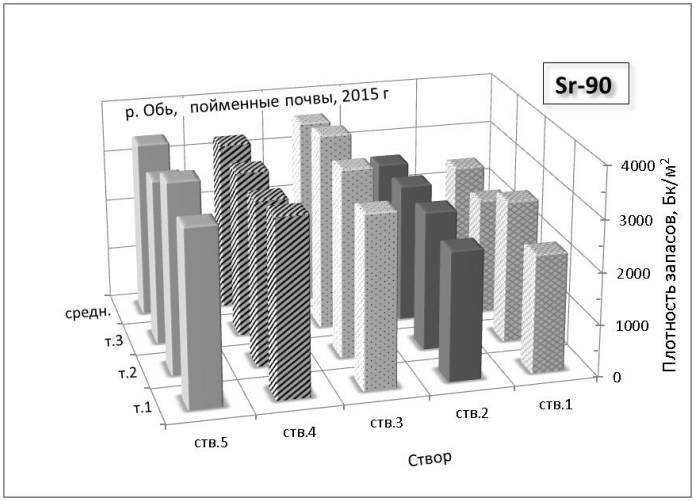


Рисунок 423 (б) – Средние значения плотности запасов радионуклидов в пойменных почвах в различных створах нижней Оби в 2015 г.

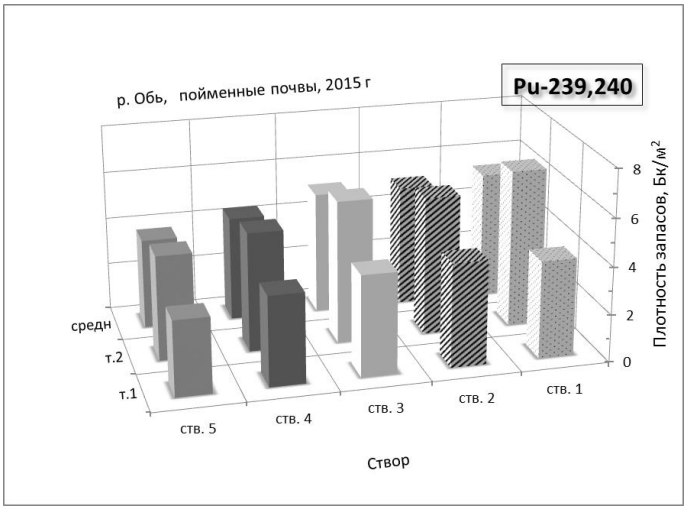


Рисунок 423 (в) – Средние значения плотности запасов радионуклидов в пойменных почвах в различных створах нижней Оби в 2015 г.

Эту тенденцию в более явном виде демонстрирует график на рисунке 424, отображающий горизонтальное распределение плотности запасов радионуклидов в пойменных почвах вдоль течения нижней Оби. Кроме данных, полученных 2015 г, на нем также представлены створы 6 и 7, исследованные ранее в 2013-2014 гг. Линейные уравнения регрессии, приведенные на графике, представляют математические модели распределения плотности запасов в зависимости от удаленности створа x (км) от Лабытнанги:

Cs-137 (Бк/м^2) = 7,2547x + 1132,3 $R^2 = 0,86$ (8)

Sr-90 (Бк/м^2) = -4,3269x + 3514,3 $R^2 = 0,8$ (9)

Pu-239,240 (Бк/м^2) = 0,0051x + 4,1715 $R^2 = 0,72$ (10)

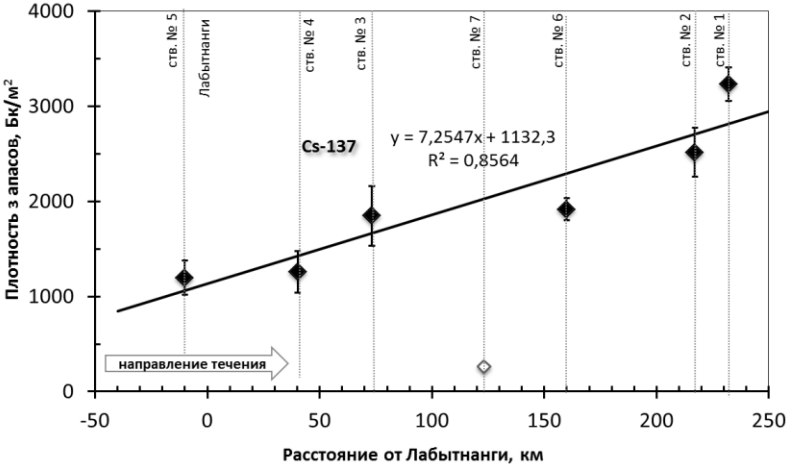


Рисунок 424 (а) – Изменение плотности запасов радионуклидов в пойменных почвах вдоль течения нижней Оби

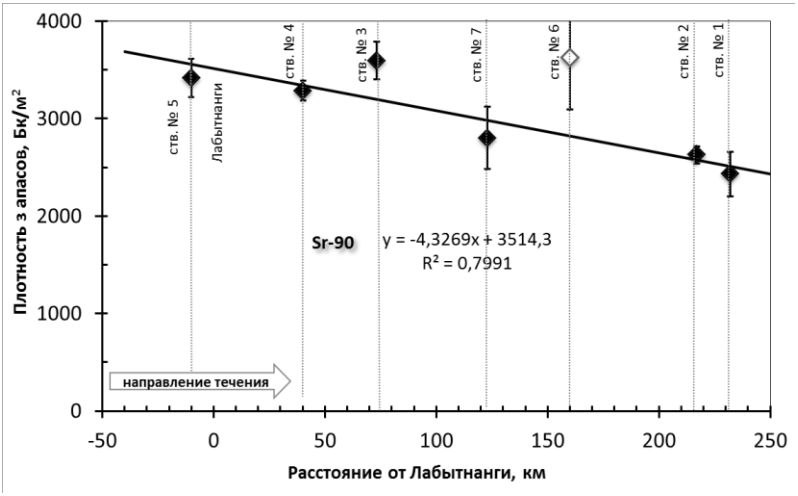


Рисунок 424 (б) – Изменение плотности запасов радионуклидов в пойменных почвах вдоль течения нижней Оби

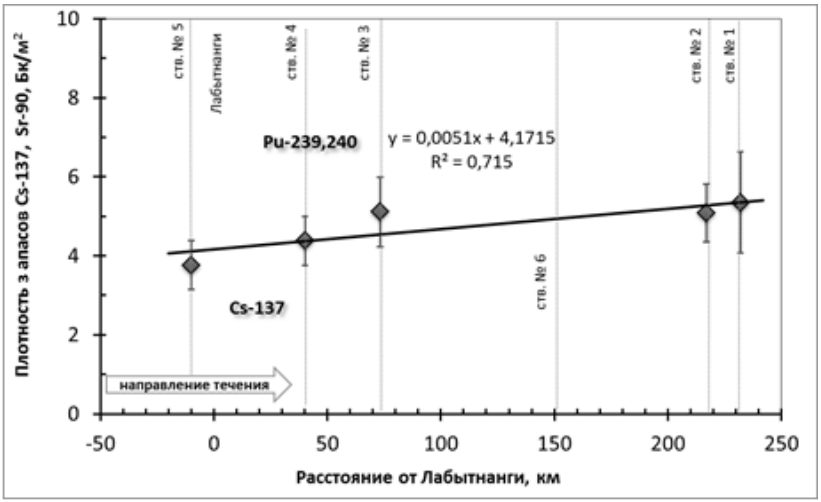


Рисунок 424 (в) – Изменение плотности запасов радионуклидов в пойменных почвах вдоль течения нижней Оби

Из приведенных данных следует, что плотность запасов Cs-137 и Pu-239,240 в пойме линейно увеличивается по течению, в противоположность этому плотность запасов Sr-90 линейно снижается. Отметим, что из регрессионной обработки были исключены значительно выпадающие из тренда данные по Cs-137 в створе № 7 (Неупенский сор, 2014 г.) и данные по Sr-90 в створе № 6 (около о. Пуйко, 2014 г.), которые на диаграммах представлены не закрашенными маркерами.

На рисунке 425 приведены результаты регрессионно-корреляционного анализа данных по плотностям запасов, позволяющие установить парные корреляции между содержанием исследованных радионуклидов в пойменных почвах.

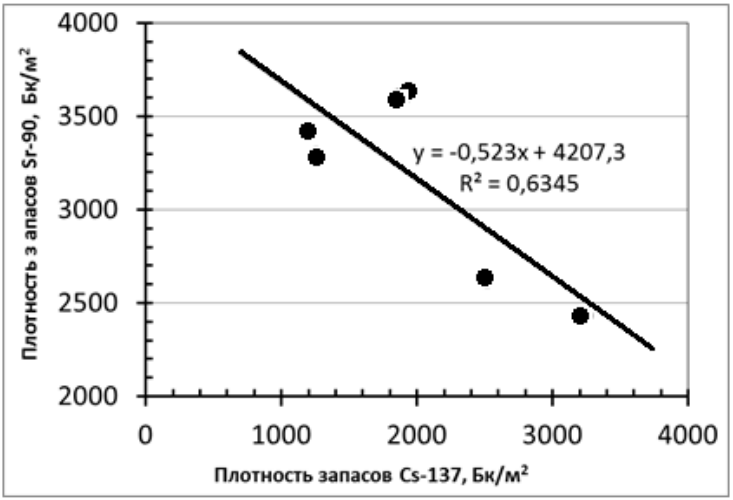


Рисунок 425 (а) – Корреляция между средними значениями плотности запасов Cs-137 и Sr-90 в пойменных почвах нижней Оби

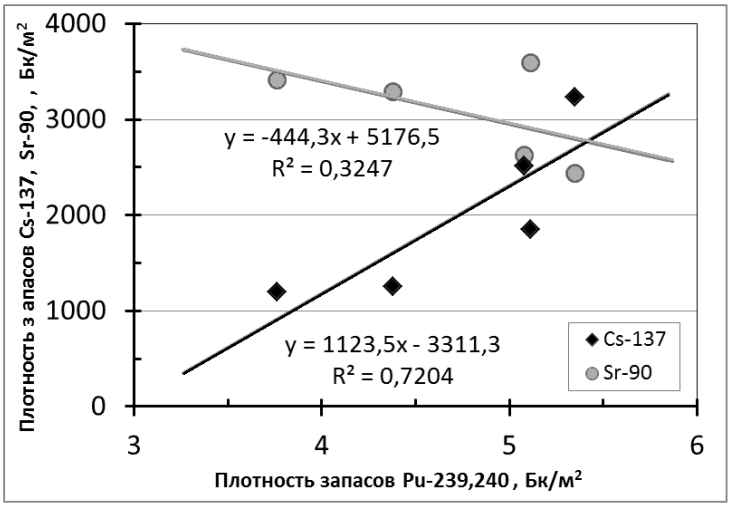


Рисунок 425 (б) – Корреляция между средними значениями плотности запасов Pu-239,240, Cs-137 и Sr-90 в пойменных почвах нижней Оби

Диаграммы демонстрируют наличие удовлетворительной прямопропорциональной зависимости между содержанием Pu-239,240 и Cs-137: $y = 1123{,}5x - 3311{,}3$ с приемлемым значением коэффициента детерминации $R^2 = 0{,}72$. Связь между содержанием в почве Cs-137 и Sr-90 носит ниспадающий линейный характер
$y = -0{,}523x + 4207{,}3$ при $R^2 = 0{,}63$, характеризуя увеличение содержания одного радионуклида при уменьшении другого. Отмечается также слабая отрицательная линейная корреляция между содержанием Sr-90 и Pu-239,240: $y = -444{,}3x + 5176{,}5$ но она характеризуется низким значением $R^2 = 0{,}32$.

Приведенные в таблице 168 величины изотопных отношений для почв $^{239,240}Pu/^{137}Cs$, лежащие в диапазоне 0,0017-0,0035, указывают на значительное отклонение этого параметра от значения 0,025, характерного для глобальных выпадений 1960-х, и более близки к значениям этого отношения в пойме Течи, характеризующим радиоактивные сбросы ПО «Маяк». Например, согласно данным (Трапезников и др., 2010) для пойменных грунтов Течи в 49 км от ее истока отношение $^{239,240}Pu/^{137}Cs$ равно 0,0041. Следовательно, можно полагать, что основным источником поступления радионуклидов в нижнюю Обь являются не глобальные выпадения после проведения ядерных испытаний на полигоне Малой Земли, а поступления с водой и из поймы Оби, в которых депонированы радионуклиды, поступившие туда ранее с Теченских каскадов водоемов в результате деятельности ПО «МАЯК».

Оценка интегральных запасов техногенных радионуклидов в двусторонней 10-км пойме нижней Оби дает следующие величины:

а) для исследованного участка поймы от створа № 5 (Лабытнанги) до максимально удаленного от него створа №1 (протока Мурьинская) на расстоянии 232 км

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^{6} \cdot 10 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{232} \left(-4.3269 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3514.3\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.468 \times 10^{13} \quad \text{Бк} \qquad (11)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^{6} \cdot 10 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{232} \left(7.2547 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 1132.3\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 9.378 \times 10^{12} \quad \text{Бк} \qquad (12)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^{6} \cdot 10 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{232} \left(0.0051 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4.1715\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.293 \times 10^{10} \quad \text{Бк} \qquad (13)$$

б) для участка поймы от Лабытнанги до устья Оби (о. Конечный) на расстоянии 260 км

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 10 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{260} \left(-4.3269 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3514.3\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.606 \times 10^{13} \quad \text{Бк} \qquad (14)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 10 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{260} \left(7.2547 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 1132.3\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.101 \times 10^{13} \quad \text{Бк} \qquad (15)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 10 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{260} \left(0.0051 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4.1715\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.597 \times 10^{10} \quad \text{Бк} \qquad (16)$$

2.21.3 Содержание и расчет интегральных запасов радионуклидов в донных отложениях нижней Оби. 2015 г.

Определение ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в донных отложениях реки Обь в 2015 г. проведено в пяти створах на глубину до 30 см с шагом 5 см. Результаты исследований приведены в таблицах 169-174.

Вертикальные профили содержания техногенных радионуклидов в верхних слоях донных отложений 0-30 см в пересчете на квадратный метр (плотность запасов) приведены на рисунках 426-431.

Вертикальное распределение Cs-137 в донных отложениях в створах протоки Мурьинская, протоки Кривая Обь, в створе Лабытнанги, и Орех-Пугор качественно подобно – запасы характеризуются низким содержанием в верхних слоях до глубины 10 см, резким возрастанием на глубине 10-15 см (15-20 см в Лабытнангах), достигая максимального уровня, и последующим уменьшением активности в слоях 20-30 см до величин, характерных для верхних слоев. В донных отложениях протоки Большая Наречинская профиль Cs-137 несколько отличался от остальных – здесь в поверхностном слое 0-5 см сразу же регистрировался высокий уровень содержания радионуклида, возрастающий с глубиной и достигающий максимальных величин в слое 10-15 см. После некоторого уменьшения на глубине 15-25 см, в слое 25-30 см снова отмечен рост активности до уровней, близких к поверхностным.

Содержание Sr-90 крайне неравномерно по глубине в различных створах, и во многих случаях имеет профиль с двумя максимумами. Так, в створе протоки Мурьинской максимумы соответствуют глубинам 5-10 и 20-25 см, для протоки Большая Наречинская – 15-20 и 25-30 см.

Таблица 169

Плотность запасов Cs-137 и Sr-90 (Бк/м^2) в донных отложениях в створе № 1 (р. Обь, протока Мурьинская)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м^2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м^2)	Sr-90 (среднее)
0-5	1	433,3±35,6	456,65±23,35	915,0±89,6	1000,85±85,8
	2	480,0±57,6		1086,7±120,4	
5-10	1	1706,7±136,5	1627,7±78,9	2475,0±236,2	2323,35±127,5
	2	1548,75±139,3		2220,0±204,7	
10-15	1	2062,5±214,7	2466,8±404,3	687,5±57,6	693,2±5,7
	2	2871,1±229,6		698,9±74,2	
15-20	1	1175,6±105,8	1361,15±185,5	648,47±63,8	859,9±211,46
	2	1546,7±139,5		1071,4±124,7	
20-25	1	360,0±41,3	428,9±68,9	1716,7±168,5	1911,82±195,0
	2	497,8±50,3		2106,8±194,7	
25-30	1	246,7±18,6	251,8±5,1	1325,8±128,6	1459,43±133,63
	2	256,9±20,4		1593,06±157,7	
		Суммарная плотность	**6188,7**	Суммарная плотность	**10238,91**

Таблица 170

Плотность запасов Cs-137 и Sr-90 (Бк/м^2) в донных отложениях в створе № 2 (р. Обь, протока Большая Наречинская)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м^2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м^2)	Sr-90 (среднее)
0-5	1	1148,3±88,6	1101,35±46,9	722,2±70,7	805,25±83,05
	2	1054, 4±94,8		888,3±84,6	
5-10	1	812,8±73,1	1008,05±195,2	1359,2±128,2	1339,3±19,9
	2	1203,3±96,2		1319,4±124,6	
10-15	1	1388,3±124,9	1360,8±27,5	1583,75±168,7	1465,22±118,5
	2	1333,3±119,9		1346,7±124,3	
15-20	1	600,0±98,2	737,5±137,5	2316,7±225,1	2445,85±129,15
	2	875,0±105,0		2575,0±254,2	
20-25	1	475,3±55,8	577,93±102,6	588,1±49,6	716,95±128,85
	2	680,56±81,6		845,8±82,5	
25-30	1	1108,3±120,8	1287,8±179,5	2850, 0±306,2	3499,7±324,85
	2	1467,39±190,2		3499,7±443,2	
		Суммарная плотность	**6073,43**	Суммарная плотность	**10272,27**

Таблица 171

Плотность запасов Cs-137 и Sr-90 (Бк/м^2) в донных отложениях в створе № 3 (р. Обь, протока Кривая Обь)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м^2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м^2)	Sr-90 (среднее)
0-5	1	717,8±88,6	818,9±101,1	2587,8±124,9	2556,4±31,4
	2	920,0±98,5		2525,0±111,7	
5-10	1	467,5±40,6	549,7±82,2	2498.6±194,2	2564,7±66,1
	2	631,9±59,3		2630.8±201,7	
10-15	1	2011,7±196,4	2219,2±207,5	2762,5±274,3	2878,2±115,7
	2	2426,7±220,8		2993,9±202,4	
15-20	1	921,39±102,6	1016,2±94,85	2126,9±182,6	2187,9±61,0
	2	1111,1±133,3		2248,9±196,4	
20-25	1	717,8±69,2	759,05±41,25	2049,4±218,7	2493,85±444,45
	2	800,3±73,5		2938,3±153,9	
25-30	1	833,9±70,1	755,3±78,6	1865,3±171,8	2051,8±186,5
	2	676,7±56,2		2238,3±208,9	
		Суммарная плотность	**6118,3**	Суммарная плотность	**14732,85**

Таблица 172

Плотность запасов Cs-137 и Sr-90 (Бк/м^2) в донных отложениях в створе № 4 (р. Обь, Орех-Пугор)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м^2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м^2)	Sr-90 (среднее)
0-5	1	206,7±25,6	183,2±23,5	833,33±62,7	678,6±154,71
	2	159,7±21,8		523,9±49,4	
5-10	1	293,3±35,6	268,05±25,25	604,45±58,6	809,42±204,9
	2	242,8±33,2		1014,4±92,1	
10-15	1	1962,5±176,6	2118,75±156,2	1125,0±123,4	1050±75,0
	2	2275,0 ±162,4		975,0±106,2	
15-20	1	1351,1±143,2	1271,65±79,4	719,4±84,7	781,1±61,7
	2	1192,2±107,3		842,8±79,6	
20-25	1	615,0±51,2	571,4±43,6	913,06±84,5	815,28±97,98
	2	527,8±45,2		717,5±68,4	
25-30	1	462,5±40,6	420,15±42,3	650,0±58,2	575±75
	2	377,8±33,5		500,0±49,4	
		Суммарная плотность	**4833,2**	Суммарная плотность	**4709,4**

Таблица 173

Плотность запасов Cs-137 и Sr-90 (Бк/м^2) в донных отложениях в створе № 5 (р. Обь, 10 км выше Лабытнанги)

Слой, см	Точка	Cs-137 (Бк/м^2)	Cs-137 (среднее)	Sr-90 (Бк/м^2)	Sr-90 (среднее)
0-5	1	102,2±12,9	132,9±30,7	587,8±48,3	578,05±9,75
	2	163,6±15,6		568,3±50,2	
5-10	1	241,7±21,9	256,95±15,25	941,7±89,4	818,42±123,28
	2	272,2±24,8		695,14±58,4	
10-15	1	781,4±85,9	736,55±44,85	644,4±57,3	730,55±86,15
	2	691,7±69,1		816,7±74,2	
15-20	1	1520,8±145,3	1643,75±122,95	798,6±74,4	1053,45±254,85
	2	1766,7±159,0		1308,3±119,2	
20-25	1	200,0±18,6	183,35±16,6	300,0±14,8	350,0±50
	2	166,7±14,9		400,0±17,6	
25-30	1	340,0±25,6	360,55±20,5	70,8±36,7	92,05±21,25
	2	381,1±30,4		113,3±62,4	
		Суммарная плотность	**3314,05**	Суммарная плотность	**3622,52**

Таблица 174

Удельная активность ^{239,240}Pu в пробах донных отложений (Бк/кг), плотность запасов (Бк/м^2) в соответствующих створах Оби и изотопные отношения

Створ	Слой, см	Точка	Удельная активность ^{239,240}Pu, Бк/кг	Плотность запасов ^{239,240}Pu, Бк/м^2	Плотность запасов ^{239,240}Pu, (среднее), Бк/м^2	$\frac{^{239,240}Pu}{^{137}Cs}$	$\frac{^{239,240}Pu}{^{90}Sr}$
р. Обь, протока Мурьинская	0-5	1	0.046±0,005	3,07±0,03	3,035±0,035		
		2	0,040±0,006	3,0±0,04			
	5-10	1	0,038±0,004	2,53±0,06	2,46±0,065		
		2	0,032±0,005	2,4±0,05			
	Суммарная плотность				**5,485**	0,0008	0,0007
р. Обь, протока Большая Наречинская	0-5	1	0,058±0,006	4,19±0,38	3,83±0,36		
		2	0,048±0,007	3,47±0,32			
	5-10	1	0,052±0,003	2,02±0,25	2,22±0,20		
		2	0,046±0,007	2,43±0,30			
	Суммарная плотность				**6,05**	0,0010	0,0006

Таблица 174 (Окончание)

Створ	Слой, см	Точка	Удельная активность $^{239,240}Pu$, Бк/кг	Плотность запасов $^{239,240}Pu$, Бк/м^2	Плотность запасов $^{239,240}Pu$, (среднее), Бк/м^2	$\frac{^{239,240}Pu}{^{137}Cs}$	$\frac{^{239,240}Pu}{^{90}Sr}$
р. Обь, протока Кривая обь	0-5	1	0,068±0,006	6,42±0,71	6,01±0,41		
		2	0,056±0,005	5,60±0,63			
	5-10	1	0,064±0,006	5,87±0,52	5,46±0,405		
		2	0,052±0,007	5,06±0,49			
	Суммарная плотность				**11,47**	0,0019	0,0008
р .Обь, Орех-Пугор	0-5	1	0,040±0,005	2,67±0,23	2,36±0,315		
		2	0,032±0,004	2,04±0,18			
	5-10	1	0,044±0,004	5,38±0,42	4,86±0,52		
		2	0,034±0,004	4,34±0,35			
	Суммарная плотность				**7,22**	0,0015	0,0015
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	0-5	1	0,028±0,003	1,79±0,68	1,84±0,05		
		2	0,022±0,0,003	1,89±0,72			
	5-10	1	0,024±0,002	2,0±0,19	1,87±0,125		
		2	0,018±0,002	1,75±0,20			
	Суммарная плотность				**3,71**	0,0011	0,001

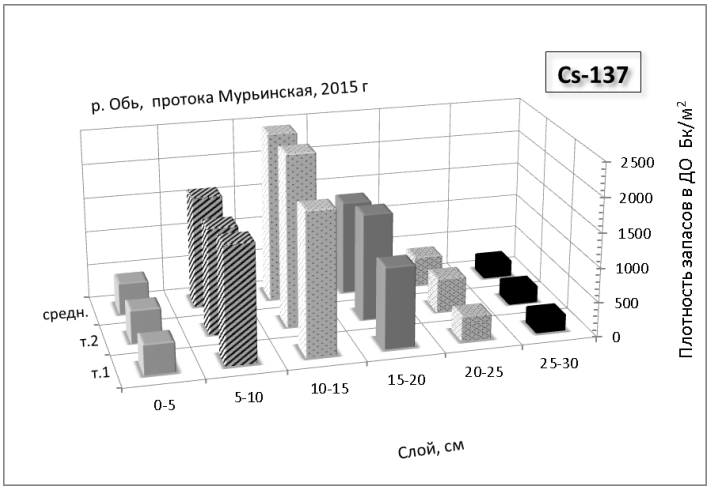


Рисунок 426 (а) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №1 (р. Обь, протока Мурьинская) в 2015 г.

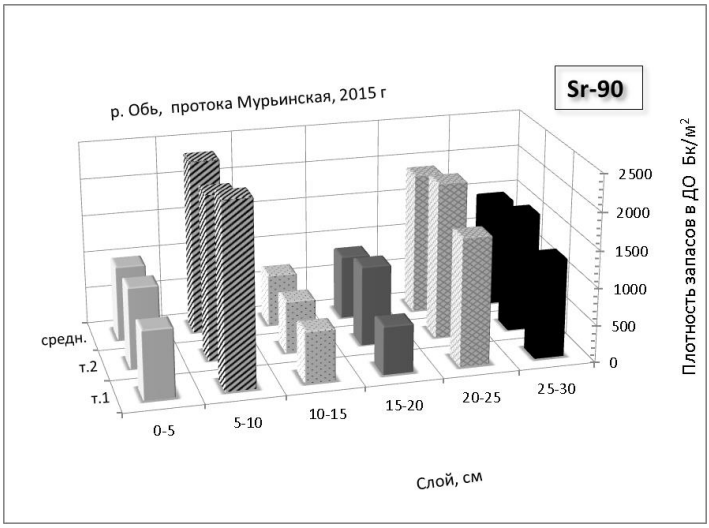


Рисунок 426 (б) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №1 (р. Обь, протока Мурьинская) в 2015 г.

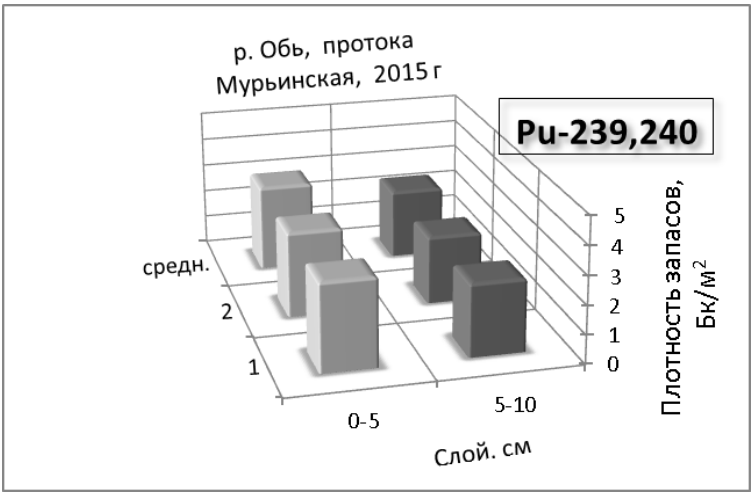


Рисунок 426 (в) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №1 (р. Обь, протока Мурьинская) в 2015 г.

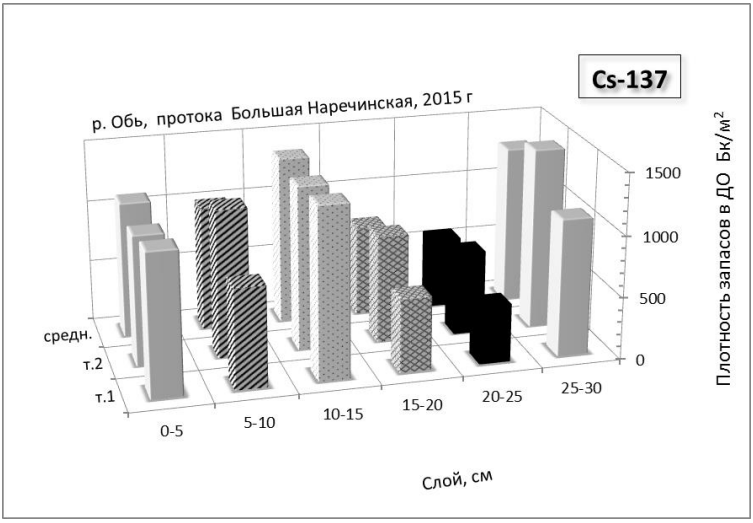


Рисунок 427 (а) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №2 (р. Обь, протока Большая Наречинская) в 2015 г.

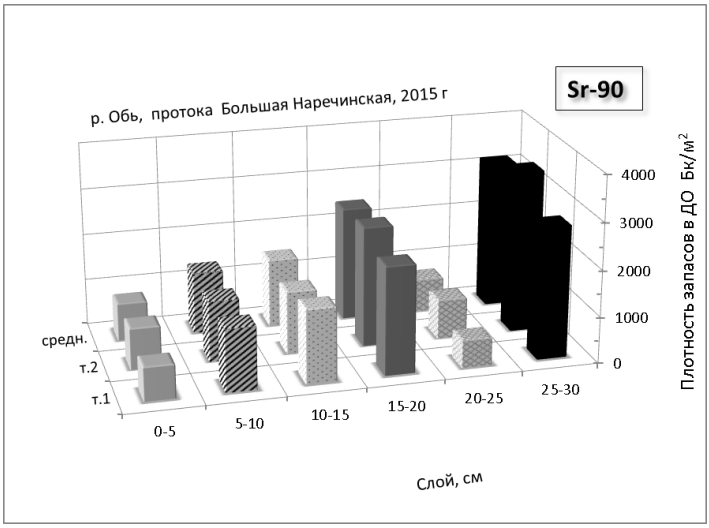


Рисунок 427 (б) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №2 (р. Обь, протока Большая Наречинская) в 2015 г.

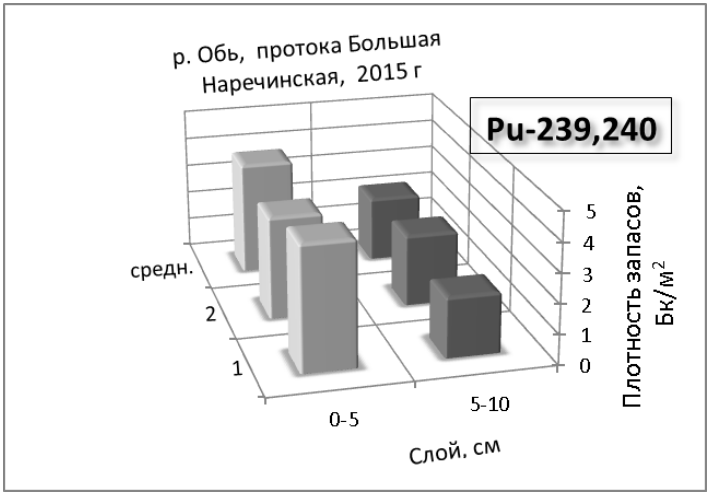


Рисунок 427 (в) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №2 (р. Обь, протока Большая Наречинская) в 2015 г.

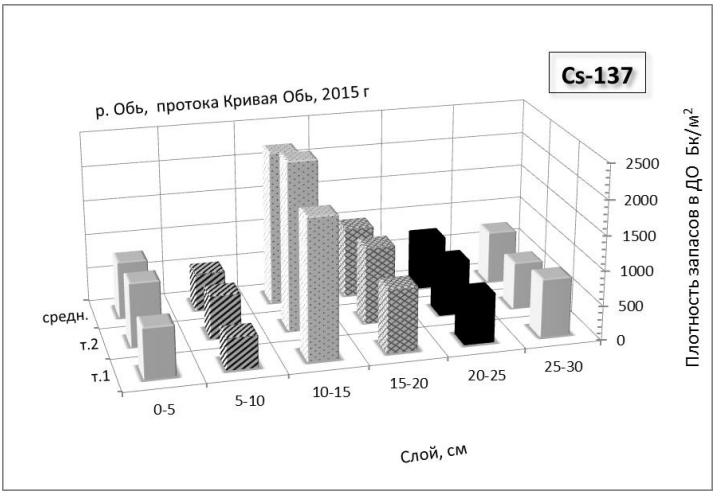


Рисунок 428 (а) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №3 (р. Обь, протока Кривая Обь) в 2015 г.

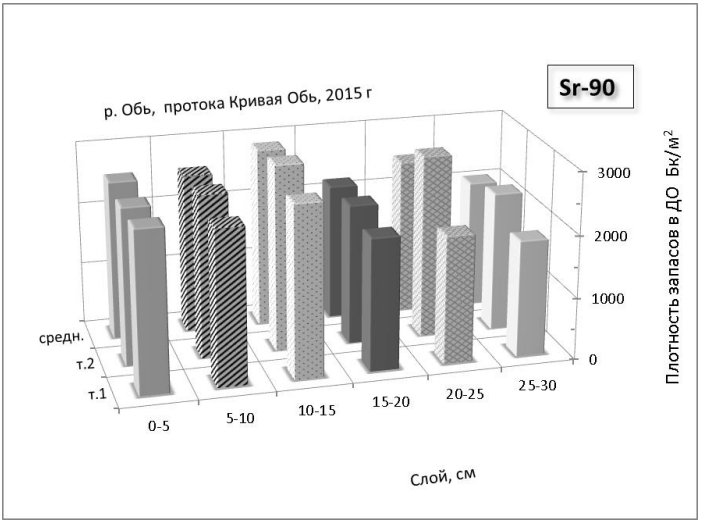


Рисунок 428 (б) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №3 (р. Обь, протока Кривая Обь) в 2015 г.

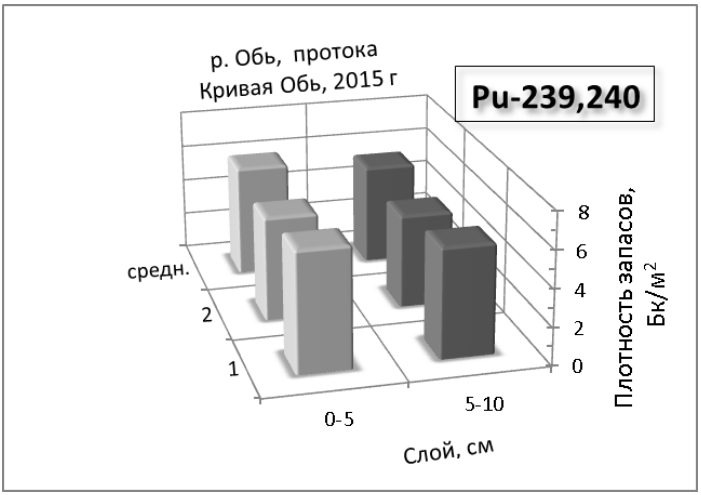


Рисунок 428 (в) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №3 (р. Обь, протока Кривая Обь) в 2015 г.

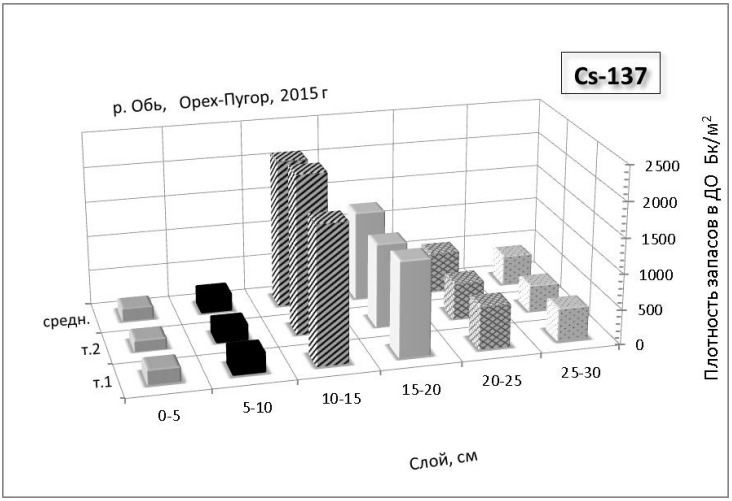


Рисунок 429 (а) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №4 (р. Обь, протока Орех-Пугор) в 2015 г.

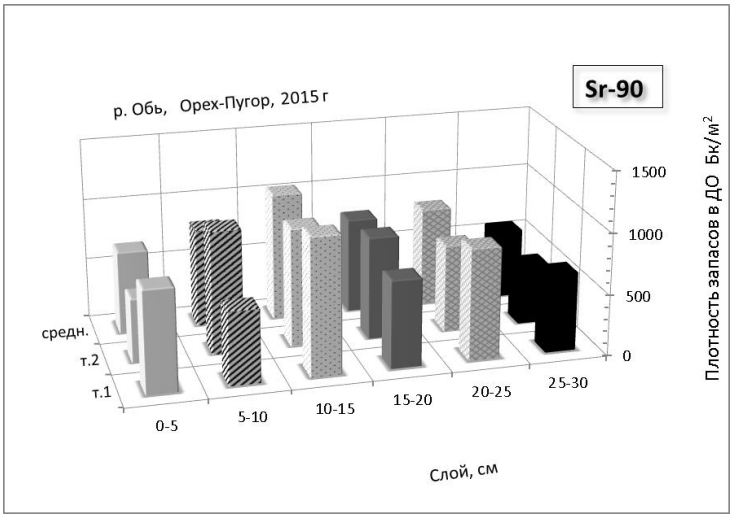


Рисунок 429 (б) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №4 (р. Обь, протока Орех-Пугор) в 2015 г.

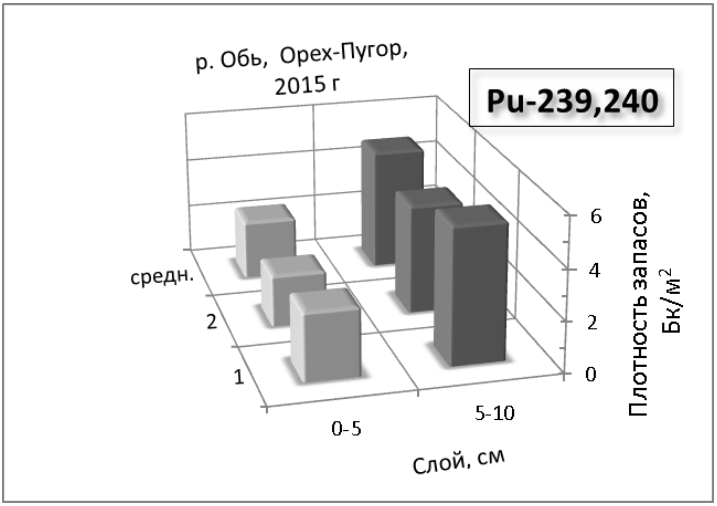


Рисунок 429 (в) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №4 (р. Обь, протока Орех-Пугор) в 2015 г.

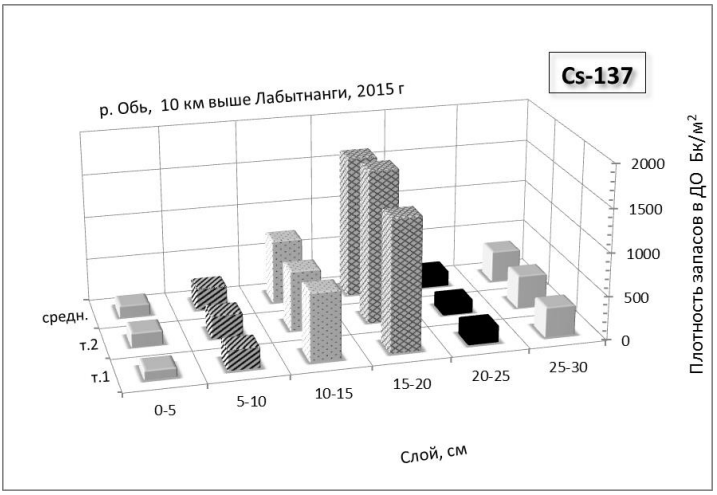


Рисунок 430 (а) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №5 (р. Обь, 10 км выше г. Лабытнанги) в 2015 г.

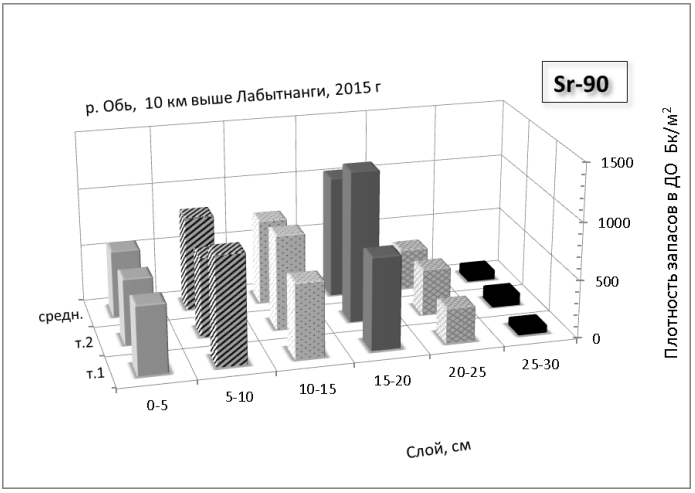


Рисунок 430 (б) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №5 (р. Обь, 10 км выше г. Лабытнанги) в 2015 г.

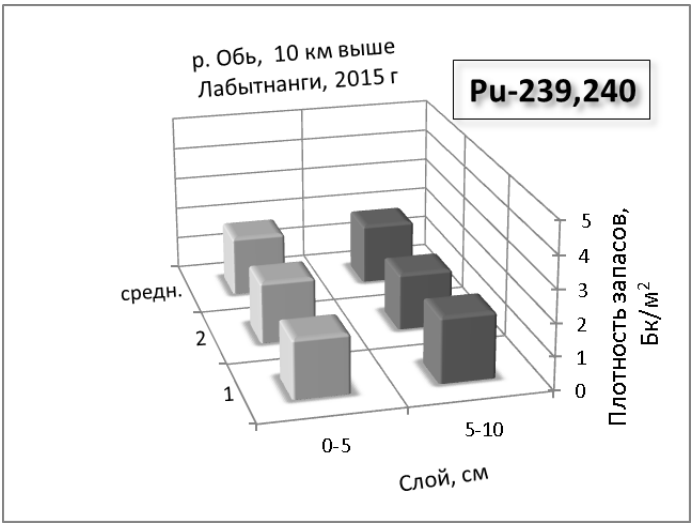


Рисунок 430 (в) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе №5 (р. Обь, 10 км выше г. Лабытнанги) в 2015 г.

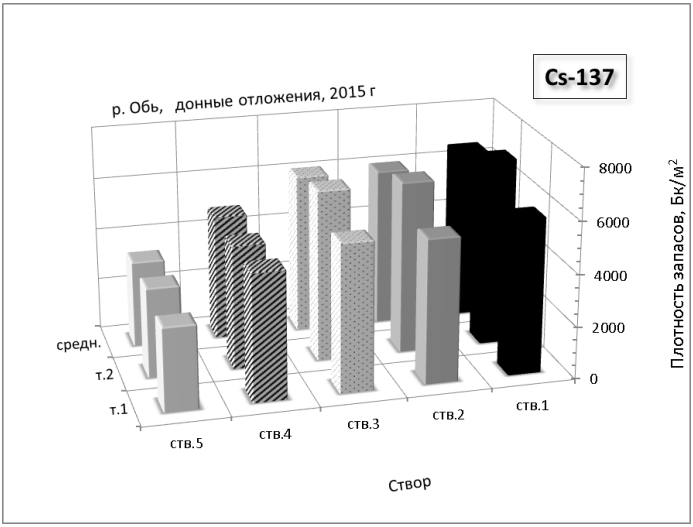


Рисунок 431 (а) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях исследованных створов Оби в 2015 г.

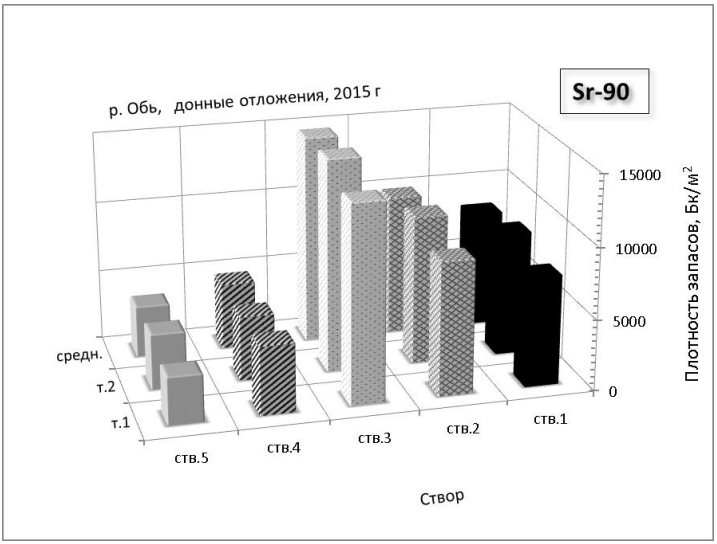


Рисунок 431 (б) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях исследованных створов Оби в 2015 г.

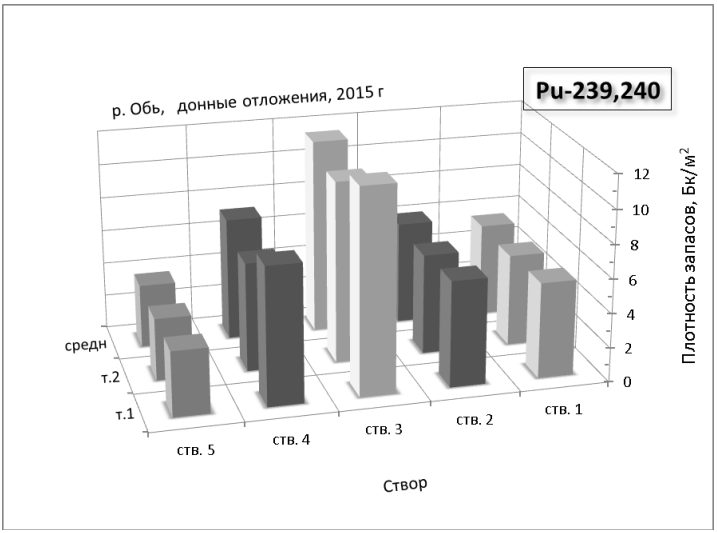


Рисунок 431 (в) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях исследованных створов Оби в 2015 г.

В створах Лабытнанги, Орех-Пугор, и в протоке Кривая Обь наблюдалось постепенное послойное увеличение содержания Sr-90 до глубины 15 см с последующим снижением. При этом, в донных отложениях протоки Кривая Обь даже на глубине 25-30 см содержание стронция-90 оставалось существенно высоким, более 2000 Бк/м^2.

Содержание ^{239,240}Pu в донных отложениях протоки Мурьинская в слоях 0-5 и 5-10 см практически не отличалось, как и в донных отложениях протоки Кривая Обь и Лабытнанги. В протоке Орех-Пугор содержание плутония в слое 5-10 см в два раза превышало содержание в слое 0-5 см, а в донных отложениях протоки Большая Наречинская такое же соотношение наблюдалось при более высоком содержании в слое 0-5 см.

Изменение по течению нижней Оби средних знаений содержания радионуклидов в донных отложениях исследованных створов нижней Оби иллюстрирует диаграмма на рисунке 432.

На диаграммах рисунка 433 приведены результаты парных корреляций уровней содержания радионуклидов в донных отложениях, позволяющие выявить возможные внутренние связи при их распределении. Как следует из диаграмм, пропорционально-линейная связь просматривается в распределении Sr-90 и Pu-239,240 в донных отложениях, с величиной квадрата коэффициента корреляции R^2 =0,66. Так же корреляция наблюдается и между содержаниями Cs-137 и Sr-90, более достоверно характеризуясь полиномиальной зависимостью между ними. Связь между Cs-137 и Pu-239,240 нельзя признать достоверной, поскольку линейная корреляция хотя и просматривается, но характеризуется очень низким значением коэффициента детерминации R^2 (0,24) что позволяет утверждать, что в донных отложениях Cs-137 и Pu-239,240 ведут себя как относительно независимые компоненты.

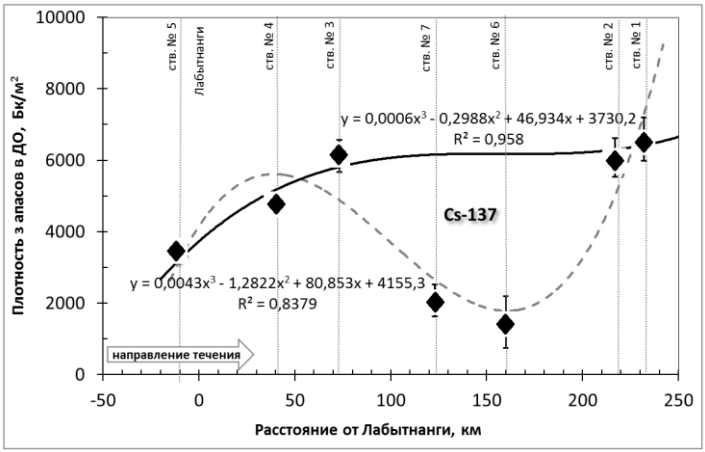


Рисунок 432 (а) – Изменение по течению нижней Оби средних значений плотностей запасов радионуклидов в донных отложениях

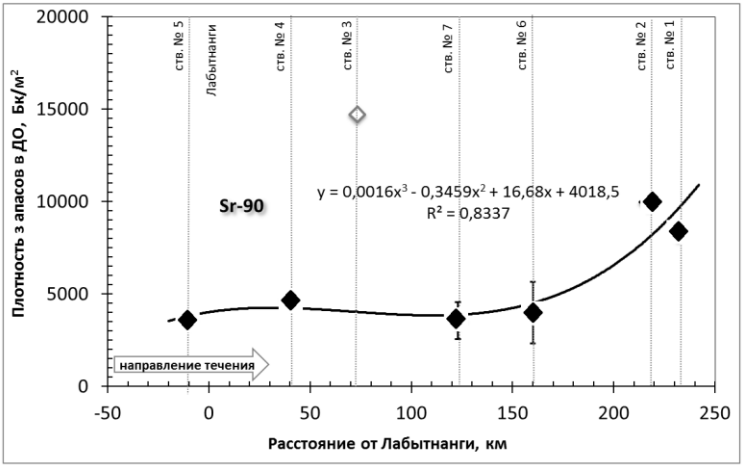


Рисунок 432 (б) – Изменение по течению нижней Оби средних значений плотностей запасов радионуклидов в донных отложениях

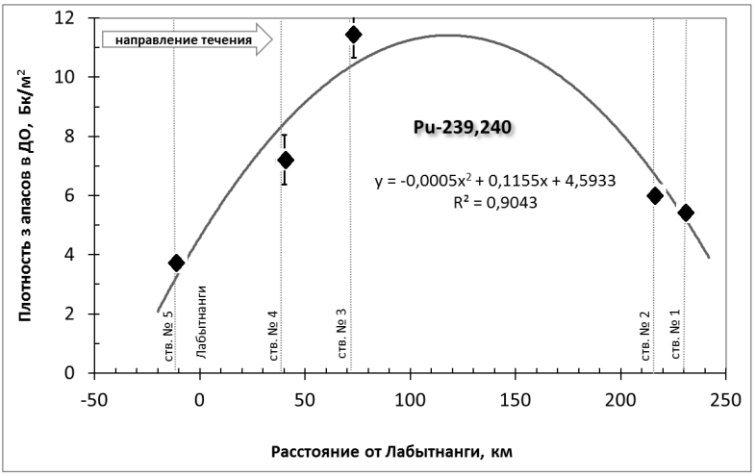


Рисунок 432 (в) – Изменение по течению нижней Оби средних значений плотностей запасов радионуклидов в донных отложениях

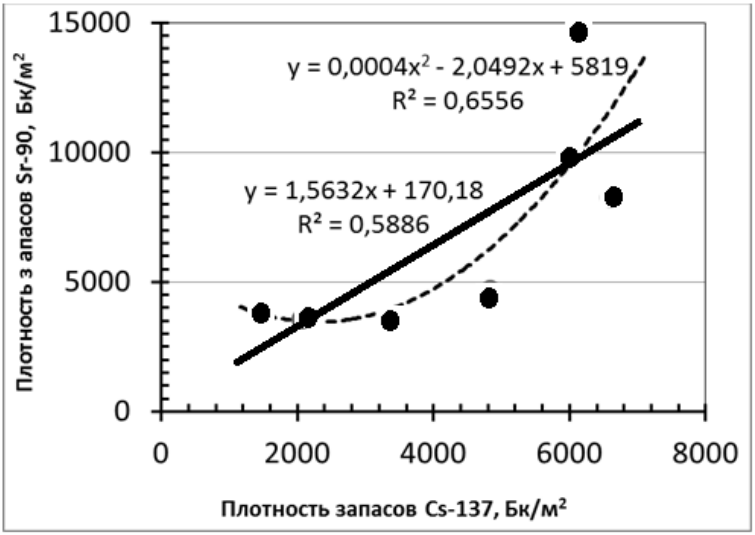


Рисунок 433 (а) – Корреляция между средними значениями плотности запасов Cs-137 и Sr-90 в донных отложениях нижней Оби

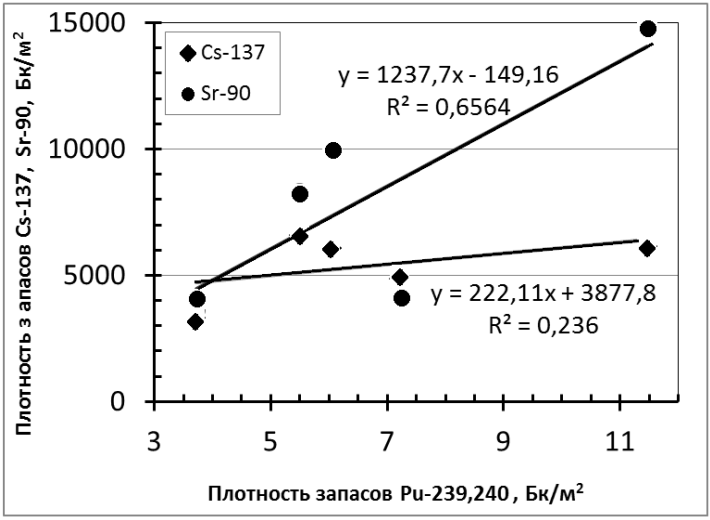


Рисунок 433 (б) – Корреляция между средними значениями плотности запасов Pu-239,240, Cs-137 и Sr-90 в донных отложениях нижней Оби

Интегральные запасы техногенных радионуклидов в донных отложениях нижней Оби с условной шириной русла реки, принятой в расчетах равной 2 км, оцениваются следующими величинами:

а) для участка реки от Лабытнанги до максимально удаленного от него створа №1 (протока Мурьинская) на расстоянии 232 км

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{232} \left(0.0016 \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 - 0.3459 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 16.68 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4018.5\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.279 \times 10^{12} \quad \text{Бк} \quad (17)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{232} \left(0.0006 \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 - 0.2988 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 46.934 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3730.2\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.708 \times 10^{12} \quad \text{Бк} \quad (18)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{232} \left(-0.0005 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 0.1155 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4.5933\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 4.266 \times 10^{9} \quad \text{Бк} \quad (19)$$

б) для участка реки от Лабытнанги до устья Оби (о. Конечный) на расстоянии 260 км:

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{260} \left(0.0016 \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 - 0.3459 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 16.68 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4018.5\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.898 \times 10^{12} \quad \text{Бк} \quad (20)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{260} \left(0.0006 \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 - 0.2988 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 46.934 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3730.2\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 3.052 \times 10^{12} \quad \text{Бк} \quad (21)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 2 \cdot \int_{-10}^{260} \left(-0.0005 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 0.1155 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4.5933\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 4.418 \times 10^{9} \quad \text{Бк} \quad (22)$$

2.21.4 Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби

В 2015 г. были исследованы пять видов рыб на содержание в них ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$. Содержание этих радионуклидов в ихтиофауне приведено в таблице 175 и на рисунке 434.

Накопление радионуклидов в рыбе незначительно и сопоставимо с аналогичными показателями по рыбе, выловленной в средней Оби и в устье Иртыша.

Гигиеническими требованиями безопасности и пищевой ценности продуктов («Гигиенические…, 2001) содержание ^{90}Sr в рыбе ограничивается нормативным показателем 100 Бк/кг, ^{137}Cs – 130 Бк/кг. Максимальное содержание ^{90}Sr, зарегистрированное в 2015 г, равное 20,1 Бк/кг, было отмечено в пеляди, ^{137}Cs – 4,96 Бк/кг – в щуке. В ней же зафиксировано и максимальное содержание $^{239,240}Pu$ – 0,00082 Бк/кг.

Согласно рекомендациям («ГОСТ 32161-2013…, 2013) и («ГОСТ 32163-2013…,2013) выполнено определение соответствия исследованных видов рыб, как пищевых продуктов, критериям радиационной безопасности с использованием показателя соответствия ***B*** и неопределенности его определения ***ΔB***, значения которых рассчитывали по результатам измерений удельной активности цезия Cs-137 и стронция Sr-90 в образцах рыбы, отловленной в 2015 году.

$$B = \left(\frac{Q}{H}\right)_{Sr\text{-}90} + \left(\frac{Q}{H}\right)_{Cs\text{-}137}, \qquad (23)$$

$$\Delta B = \sqrt{\left(\frac{\Delta Q}{H}\right)^2_{Sr\text{-}90} + \left(\frac{\Delta Q}{H}\right)^2_{Cs\text{-}137}}, \qquad (24)$$

Таблица 175

Удельная активность и изотопные отношения техногенных радионуклидов в рыбе различных видов в створе Лабытнанги в 2015 г.

Вид рыбы	Повт.	Sr-90, Бк/кг сыр.массы		Cs-137, Бк/кг сыр.массы		$^{239,240}Pu$ $n\times10^{-3}$, Бк/кг сыр.массы	$\frac{^{239,240}Pu}{^{137}Cs}$	$\frac{^{239,240}Pu}{^{90}Sr}$
Щука	1	13,2	14,5±1,3	4,42	4,69 ±0,27	0,82±0,04	0,00017	0,00006
	2	15,2		4,96				
Пыжьян	1	14,7	16,9±2,2	1,55	1,41 ±0,14	0,40±0,02	0,00028	0,00002
	2	19,1		1,27				
Щокур	1	5,1	6,3±1,2	1,23	1,49 ±0,25	0,49±0,03	0,00033	0,00008
	2	7,5		1,74				
Язь	1	7,8	9,2±1,4	2,74	2,98 ±0,24	0,67±0,03	0,00022	0,00007
	2	10,6		3,22				
Пелядь	1	16,1	18,1±2,0	2,38	2,15 ±0,21	0,63±0,03	0,00029	0,00003
	2	20,1		1,97				

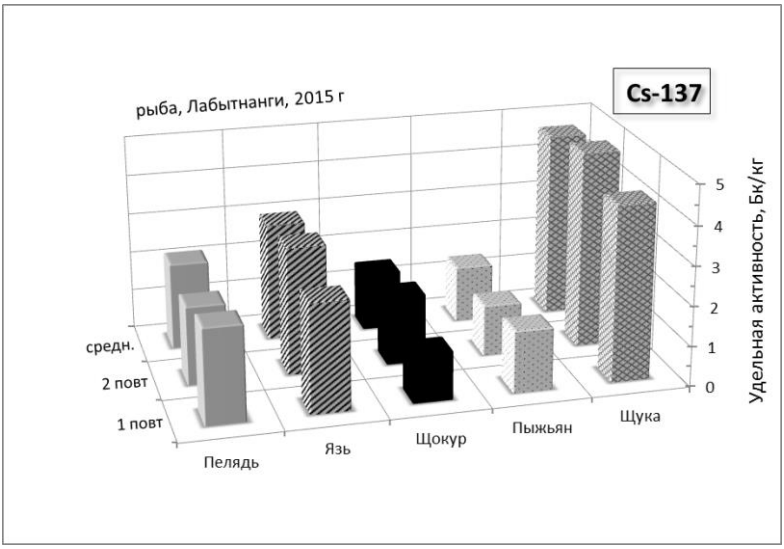


Рисунок 434 (а) – Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби (Лабытнанги) в 2015 г.

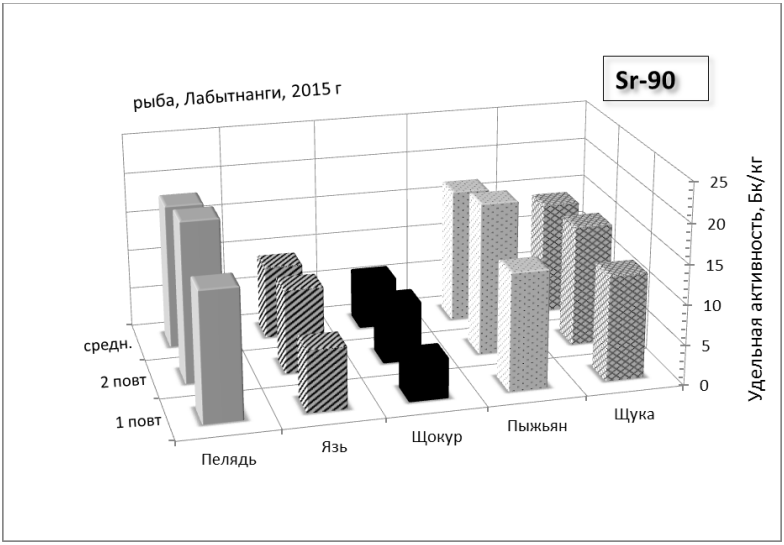


Рисунок 434 (б) – Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби (Лабытнанги) в 2015 г.

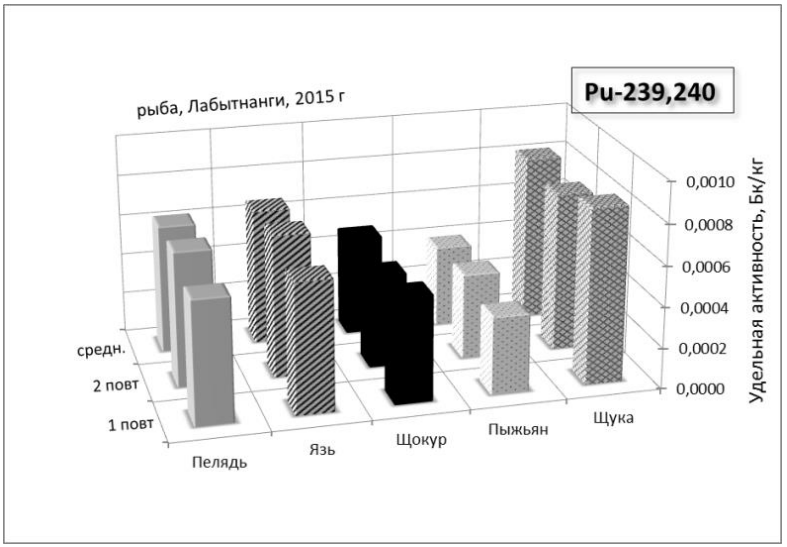


Рисунок 434 (в) – Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби (Лабытнанги) в 2015 г.

где Q - измеренное значение удельной активности радионуклида в пробе;

H - допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте (для ^{90}Sr – 100 Бк/кг, для ^{137}Cs – 130 Бк/кг);

ΔQ - абсолютная расширенная (при коэффициенте охвата k=2) неопределенность измерения удельной активности.

Рыба, как пищевой продукт, признается безусловно соответствующей критерию радиационной безопасности, если $\boldsymbol{B} + \boldsymbol{\Delta B} \leq 1$.

Ниже мы приводим пример определения показателя соответствия для щуки:

$$B = 14{,}5/100 + 4{,}69/130 = 0{,}18; \qquad (25)$$

$$\Delta B = \sqrt{(1{,}3\times2/100)^2 + (0{,}27\times2/130)^2} = 0{,}03 \quad (26)$$

$$B + \Delta B = 0{,}18+0{,}03 = 0{,}21 \quad (27)$$

Подобным образом были выполнены расчеты и по другим видам рыбы, результаты определения показателя соответствия для исследованных видов рыб представлены в таблице 176.

Таблица 176

Результаты определения показателя соответствия в рыбе различных видов в 2015 г.

	Sr-90, Бк/кг сыр.массы	Cs-137, Бк/кг сыр.массы	***B***	***ΔB***	***B +ΔB***
Щука	14,5±1,3	4,69 ±0,27	0,18	0,03	0,21
Пыжьян	16,9±2,2	1,41 ±0,14	0,18	0,04	0,22
Щокур	6,3±1,2	1,49 ±0,25	0,07	0,02	0,10
Язь	9,2±1,4	2,98 ±0,24	0,11	0,03	0,14
Пелядь	18,1±2,0	2,15 ±0,21	0,20	0,04	0,24

Таким образом, во всех исследованных пробах рыбы величина $B + \Delta B$ гораздо меньше 1. Следовательно, содержание радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби не превышает установленных санитарных норм, и данные виды рыбы можно рекомендовать населению использовать в пищу, согласно регламентации по радиационному фактору.

Динамику накопления радионуклидов в различных видах рыб в период 2013-2015 гг. можно проследить по данным, приведенным в таблице 177, сопоставляя их с загрязнением воды, уровни которого приведены на рисунке 435. Видно, что в 2015 г. по сравнению с 2013 г. в большинстве видов рыб зарегистрированы более высокие содержания цезия и стронция, хотя эти уровни значительно ниже нормативных санитарных показателей.

Таблица 177

Содержание радионуклидов в ихтиофауне Оби в створе №5 (р. Обь, 10 км выше Лабытнанги) в 2013-2015 гг, Бк/кг

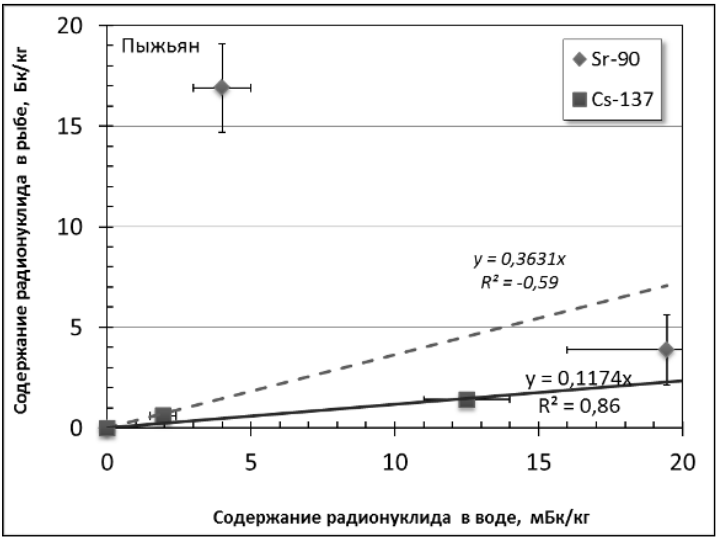
Вид рыбы	**Sr-90**			**Cs-137**		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Пелядь	-	5,4	18,1	-	2,5	2,2
Щокур	-	3,1	6,3	-	1,0	1,5
Пыжьян	3,9	-	16,9	0,6		1,4
Язь	1,9	-	9,2	0,3		3,0
Щука	2,4	-	14,2	0,2		4,7
Плотва	3,1	2,8	-	0,4	1,5	-
Среднее содержание по всем видам рыб	2,8	3,8	12,9	0,4	1,7	2,5
Средняя удельная активность в воде, мБк/кг	19,5	7,0	4,0	2,0	7,3	12,5

Для выявления возможных связей между содержанием радионуклидов в воде и в рыбе различного видового состава был проведен регрессионно-корелляционный анализ, представленный в виде диаграмм на рисунке 435. Мы ввели дополнительные «фиктивные» концентрационные точки на графиках, потребовав, чтобы при отсутствии

радионуклидов в воде (“нулевой” концентрации в воде) их содержание в рыбе также равнялось нулю. Фактически это требование равносильно тому, что все регрессионные кривые должны обязательно проходить через начало координат.

Результаты анализа сведены в таблице 178, где приведены уравнения регрессии и соответствующие значения коэффициента детерминации R^2. При низких значениях коэффициента детерминации или его отрицательных значениях делался вывод об отсутствии корреляции. Поскольку уравнения регрессии связывают содержание радионуклидов в воде и рыбе, соответствующий коэффициент между ними можно интерпретировать как коэффициент накопления.

Из данных, представленных в таблице 178, следует, что для большинства видов рыб корреляция между содержанием Sr-90 в воде и в рыбе либо отсутствует, либо крайне слабая. Для Cs-137, напротив, сильная и средняя корреляция отмечена для всех исследованных видов рыб, причем наибольший коэффициент накопления 369,1 наблюдался для щуки, а наименьший 117,4 – для пыжьяна. Так же для этих видов обнаруживается сильная корреляция между содержанием Pu-239,240 в воде и в рыбе, причем значения коэффициентов накопления по плутонию (9664,1 и 2658,4, соответственно) более чем на порядок величины превышают аналогичный показатель по цезию.



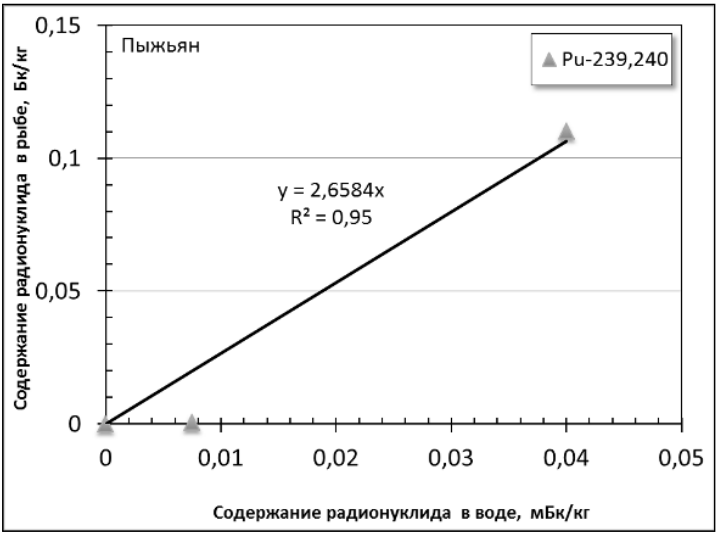
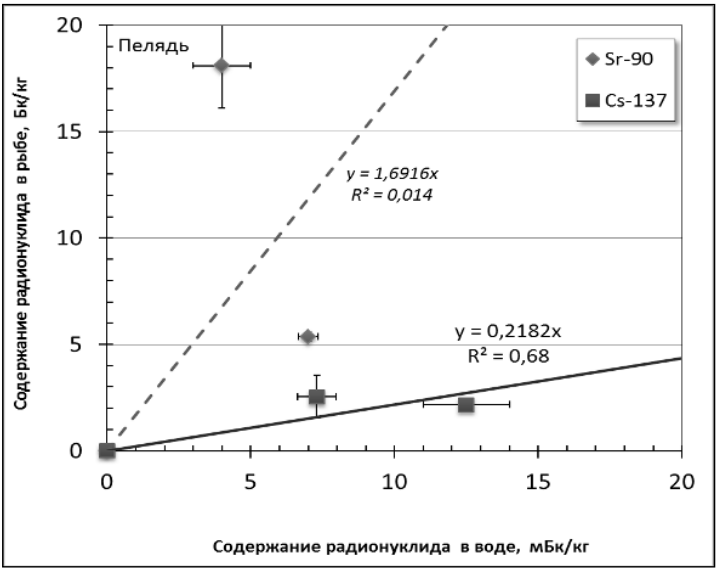
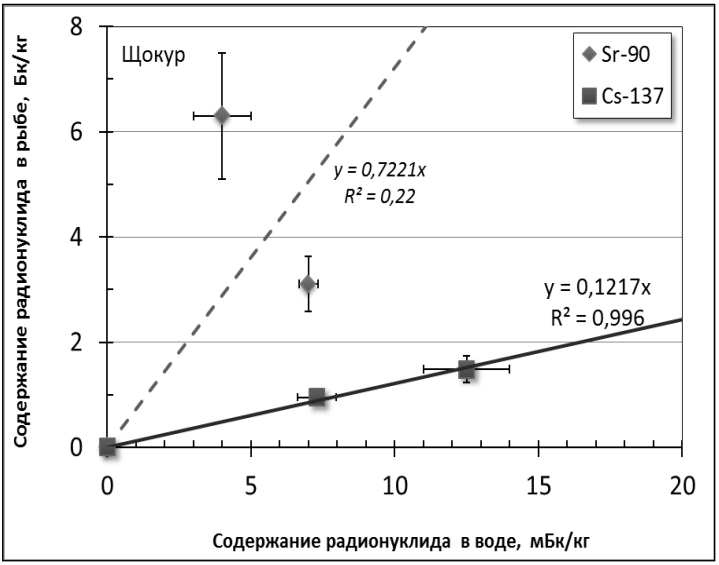
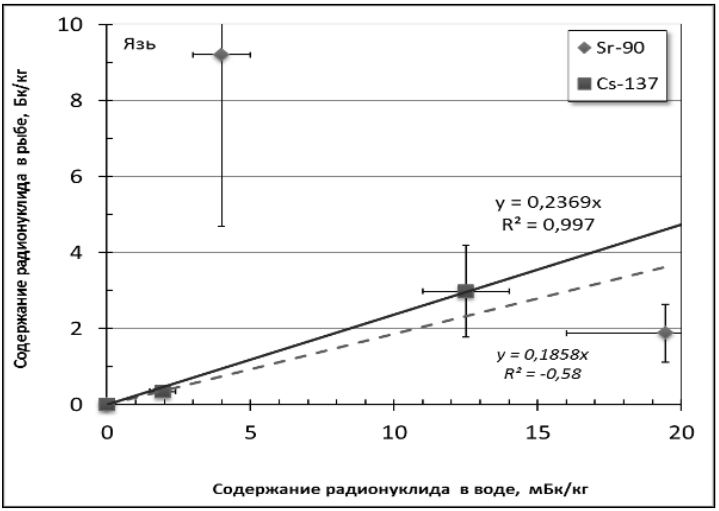


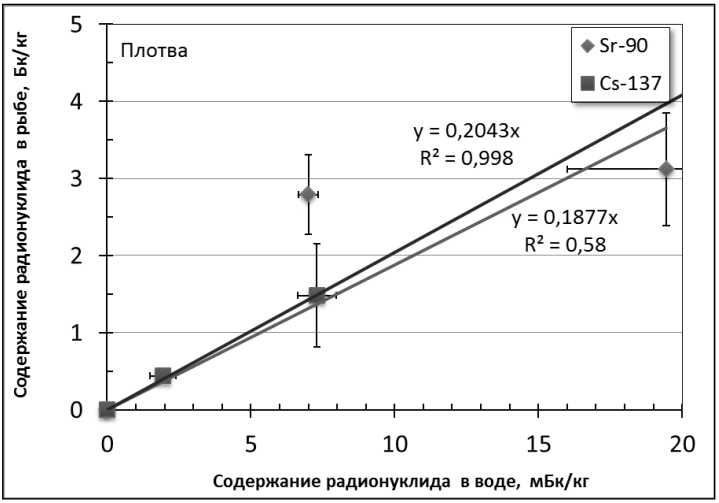
Рисунок 435 – Корреляции между содержанием радионуклидов в воде и в ихтиофауне (курсивом выделено отсутствие корреляций)



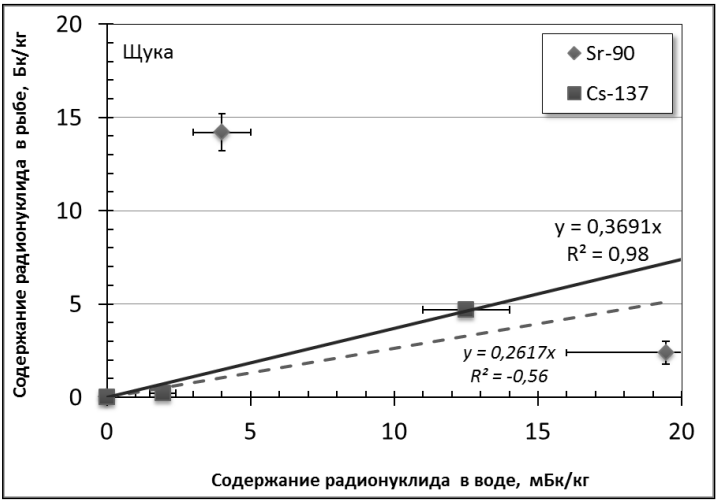


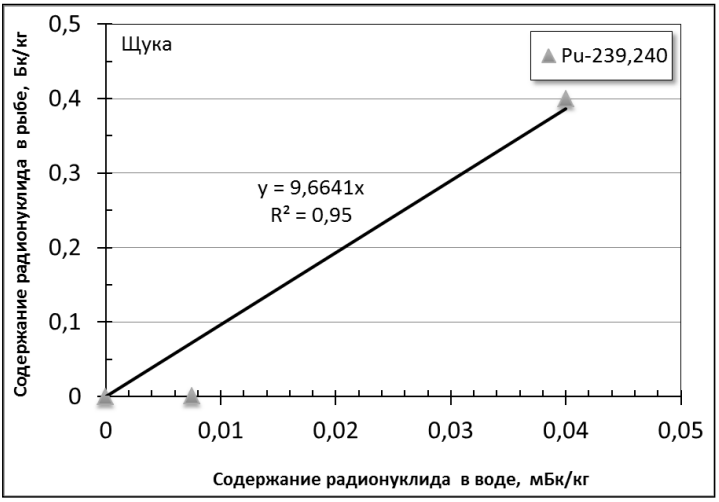
Продолжение рисунка 435



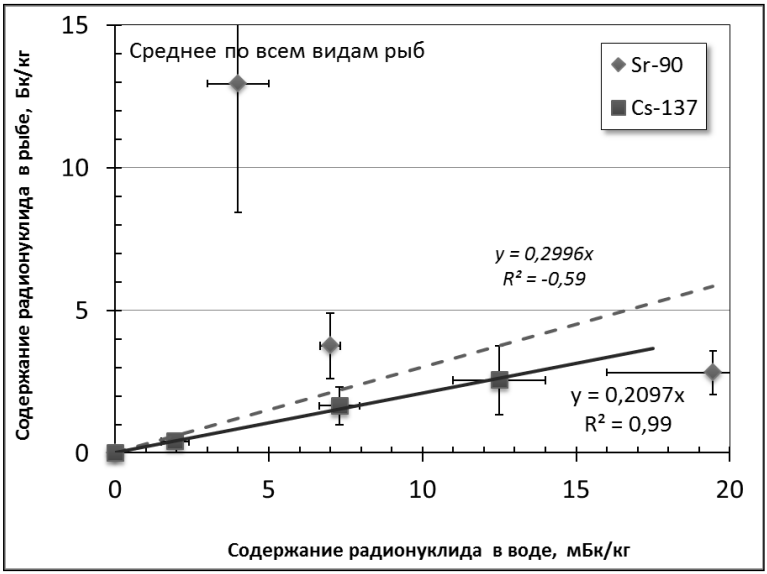


Продолжение рисунка 435





Продолжение рисунка 435



Окончание рисунка 435

Таблица 178

Результаты регрессионно-корреляционного анализа между содержанием радионуклидов воде и в различных видах рыб (р. Обь, Лабытнанги) в 2013-2015 гг.

Вид рыбы	Cs-137	Sr-90	Pu-239,240
Пелядь	y = 218,2x R^2 = 0,68 Средняя корреляция	Корреляция отсутствует	
Щокур	y = 121,7x R^2 = 0,996 Сильная корреляция	Корреляция отсутствует	

Таблица 178 (Окончание)

Вид рыбы	Cs-137	Sr-90	Pu-239,240
Пыжьян	y = 117,4x R^2 = 0,86 Сильная корреляция	Корреляция отсутствует	y = 2658,4x R^2 = 0,95 Сильная корреляция
Язь	y = 236,9x R^2 = 0,997 Сильная корреляция	Корреляция отсутствует	
Щука	y = 369,1x R^2 = 0,98 Сильная корреляция	Корреляция отсутствует	y = 9664,1x R^2 = 0,95 Сильная корреляция
Плотва	y = 204,3x R^2 = 0,998 Сильная корреляция	y = 187,7x R^2 = 0,58 Слабая корреляция	
Среднее по всем видам рыб	y = 209,7x R^2 = 0,995 Сильная корреляция	Корреляция отсутствует	

2.21.5. Итоги мониторинговых исследований. 2015 г.

1. Определены уровни содержания техногенных радионуклидов в воде, донных отложениях, пойменных почвах и ихтиофауне реки Обь в границах ЯНАО (в пяти створах: протоках Мурьинская, Большая Наречинская, Кривая Обь, Орех-Пугор и в 10 км выше г.Лабытнанги).

Приведены математические модели, описывающие изменение содержания радионуклидов в воде, пойменных почвах и донных отложениях, в зависимости от расстояния от створа Лабытнанги.

2. Содержание в воде ^{90}Sr минимально в створе Оби перед г. Лабытнанги, возрастает по течению на участке 50-60 км, достигая максимальных величин, и далее снижается почти до уровней, характерных для створа Лабытнанги. Объемная активность ^{137}Cs также возрастает на средних участках нижней Оби, однако максимум профиля размыт и не так явно локализован. Максимальные уровни содержания ^{90}Sr в воде (0,0415 Бк/кг) зарегистрированы в створе Орех-Пугор, ^{137}Cs (0,008 Бк/кг) - в створе Кривая Обь.

3. Дан сравнительный анализ концентрации ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в воде системы рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь. Приведены математические модели, описывающие изменение концентрации радионуклидов в воде рек с расстоянием от истока Течи. Показано, что содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде уменьшается при удалении от места загрязнения и хорошо описывается степенными уравнениями: ^{90}Sr (Бк/м^3) = $9{,}98\times10^8\times x^{-2{,}02}$, $R^2 = 0{,}96$; ^{137}Cs (Бк/м^3) = $= 6{,}53\times10^5\times x^{-1{,}71}$, $R^2 = 0{,}80$.

4. Проведена оценка годовых стоков радионуклидов в выбранных створах системы рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь. Показано, что годовые стоки радионуклидов увеличиваются по течению, получая подпитку из мест депонирования в пойме. Так, в створе Течи Муслюмово

(78 км от истока Течи) годовые стоки ^{90}Sr и ^{137}Cs оцениваются величинами 8.16×10^{11} и 3.6×10^{10} Бк соответственно, а в створе Иртыша в Ханты-Мансийске (1580 км от истока Течи) – 1.8×10^{12} и 1.1×10^{11} Бк. Годовые стоки радионуклидов в системе рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь удовлетворительно аппроксимируются экспоненциальными зависимостями: ^{90}Sr (Бк/год) = $8{,}36\times10^{11}\times exp(0{,}00076x)$, $R^2 = 0{,}76$; ^{137}Cs (Бк/год) = $2{,}0\times10^{10}\times exp(0{,}0017x)$, $R^2 = 0{,}76$.

5. Используя математические модели горизонтального распределения техногенных радионуклидов вдоль течения Оби, выполнена оценка их запасов в пойменных почвах и донных отложениях нижней Оби. Интегральные запасы ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в пойме на исследованном участке длиной 232 км составили 1.47×10^{13}, 9.4×10^{12} и 2.3×10^{10} Бк соответственно. Интегральные запасы этих радионуклидов в донных отложениях равны 2.3×10^{12}, 2.7×10^{12} и 4.3×10^{9} Бк.

6. В пойменных почвах нижней Оби плотность запасов ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ линейно возрастает по ходу русла, ^{90}Sr – линейно уменьшается. Плотность запасов ^{90}Sr в пойменных почвах имеет максимальное значение 3594 Бк/м^2 в створе протоки Кривая Обь, ^{137}Cs – 3328 Бк/м^2 в створе протоки Мурьинская.

7. В донных отложениях нижней Оби плотность запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr возрастает по ходу русла, $^{239,240}Pu$ – имеет профиль с центральным максимумом и спадом на краях. Плотность запасов ^{90}Sr в донных отложениях имеет максимальное значение 10272 Бк/м^2 в створе протоки Большая Наречинская, ^{137}Cs – 6189 Бк/м^2 в створе протоки Мурьинская, $^{239,240}Pu$ – 11,5 Бк/м^2 в створе протоки Кривая Обь.

8. Содержание радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби (исследовано 5 видов) не превышает установленных санитарных норм, и находится в пределах от 1,4 до

4,7 Бк/кг по Cs-137, от 6,3-18,1 Бк/кг по Sr-90 и (0,4-0,82) $\times 10^{-3}$ Бк/кг по ^{239,240}Pu. Таким образом, можно рекомендовать населению использовать в пищу рыбу различных видов, обитающую в Оби, согласно регламентации по радиационному фактору.

9. Учитывая нестабильную радиоэкологическую обстановку как в системе рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш, так и в реке Обь на границе Томской области и ХМАО, целесообразно проводить ежегодные мониторинговые исследования миграции, накопления и перераспределения основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа.

2.22. Миграция, накопление и перераспределение основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. 2016 г.

2.22.1 Общая характеристика исследуемого участка Оби и точек отбора проб

Расположение исследованных в 2016 г. участков нижней Оби и уровни радиационного фона, зарегистрированные в точках отбора проб, приведены в таблице 179 и на карте-схеме (рисунок 436). На схеме также показаны створы Оби в пределах ЯНАО, исследования которых были проведены в 2013-2016 г. Удаленность исследованных участков относительно створа Лабытнанги, выбранного в качестве нулевой точки отсчета, определялась трассировкой вдоль русла Оби, используя приложение Яндекс-карты и встроенный инструментарий (Яндекс-линейка).

Таблица 179

Характеристика участков отбора проб на р. Обь

Створ	Координаты	Точка	Рад. фон, мЗв/ч
Протока Илюшинская	N: 65°34.832′ E: 064°53.483′	1	0,05
		2	0,06
		3	0,06
Протока Войкаровская, о. Вой-Харас-Пугор	N: 65°51.417′ E: 065°13.795′	1	0,07
		2	0,06
		3	0,06
Протока Римчим, пос. Вандиязы	N: 66°04.528′ E: 065°44.184′	1	0,08
		2	0,06
		3	0,07
Протока Хале-Пугорская	N: 66°13.282′ E: 065°58.324′	1	0,07
		2	0,05
		3	0,08
~10 км выше Лабытнанги, о. Гахморка	N: 66°30.202′ E: 066°24.846′	1	0,07
		2	0,08
		3	0,06

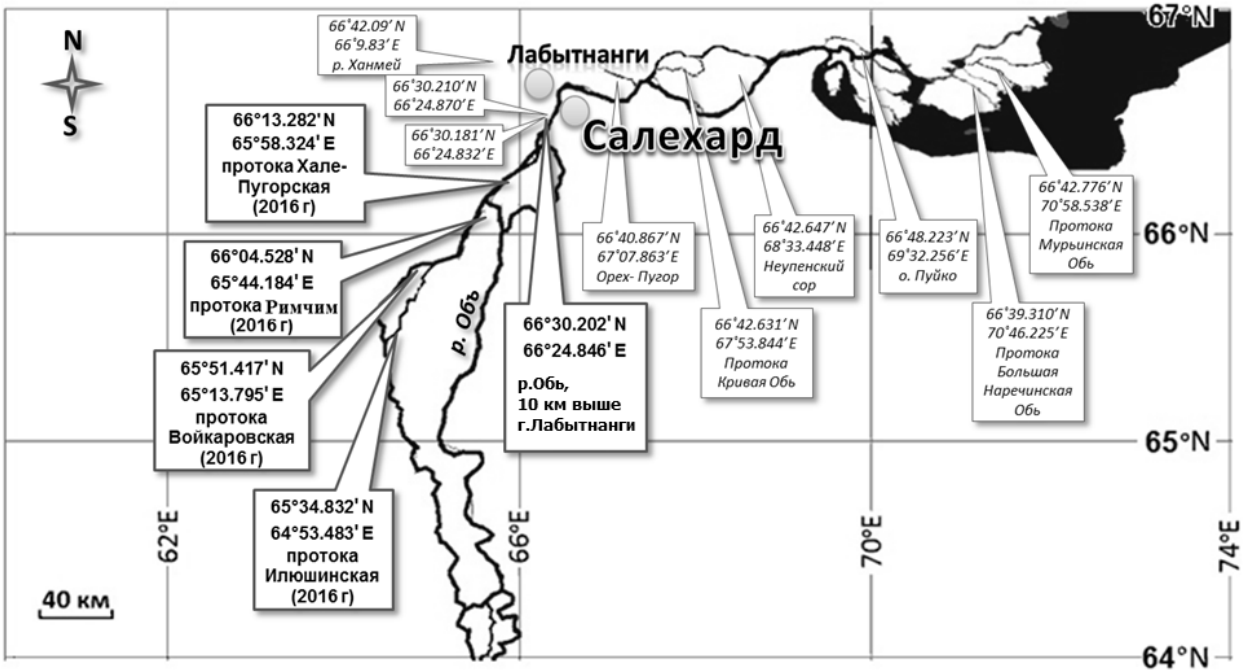


Рисунок 436 - Карта-схема расположения точек отбора проб в исследованных створах Оби

2.22.2 Содержание радионуклидов в воде и оценка годового стока радионуклидов

2.22.2.1 Содержание в воде ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{239,240}Pu

Величины удельной активности ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{239,240}Pu, характеризующие содержание радионуклидов в пробах воды в исследованных створах Оби, приведены в таблице 180 (Трапезников и др., 2018).

Минимальное содержание ^{90}Sr в воде 0,013 Бк/кг зарегистрировано в наиболее удаленном от Лабытнанги створе Илюшинская протока. На участке Оби вверх по течению от створа Илюшинская протока до Лабытнанги удельная активность ^{90}Sr незначительно возрастает до максимальной величины 0,018 Бк/кг в створе Лабытнанги. Удельная активность ^{137}Cs на этом участке Оби практически остается на одном уровне 0,012-0,013 Бк/кг, также немного увеличиваясь непосредственно в створе перед Лабытнанги до значения 0,015 Бк/кг.

Графики, иллюстрирующие изменения средних значений удельной активности радионуклидов в воде створов Оби, исследованных в 2016 г., представлены на рисунке 437.

Таблица 180

Удельная активность радионуклидов в пробах воды в исследованных створах Оби

Створ	Повт.	^{137}Cs, Бк/кг	^{90}Sr, Бк/кг	$^{239,240}Pu$, мкБк/кг
Протока Илюшинская	1	0,014±0,003	0,0127±0,0009	74,4±8,2
	2	0,010±0,002	0,0169±0,0010	80,2±7,5
	Ср.зн.	0,012±0,004	0,0148±0,0042	77,3±2,9
Протока Войкаровская	1	0,012±0,003	0,0134±0,0012	26,3±3,4
	2	0,015±0,004	0,0168±0,0021	30,1±3,9
	Ср.зн.	0,013±0,003	0,0151±0,0034	28,2±1,9
Протока Римчим	1	0,013±0,002	0,0162±0,0027	31,7±2,8
	2	0,011±0,001	0,0184±0,0034	37,5±4,1
	Ср.зн.	0,012±0,002	0,0173±0,0022	34,6±2,9
Протока Хале-Пугорская	1	0,012±0,002	0,0169±0,0018	35,8±3,9
	2	0,013±0,003	0,0147±0,0011	42,4±4,4
	Ср.зн.	0,012±0,001	0,0158±0,0022	39,1±3,3
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	1	0,017±0,005	0,0172±0,0024	32,9±2,7
	2	0,013±0,003	0,0196±0,0037	27,5±3,1
	Ср.зн.	0,015±0,004	0,0184±0,0024	30,2±2,7

С высоким коэффициентом детерминации на участке Оби от створа протока Илюшинская до Лабытнанги, обследованном в 2016 г., профили содержания ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ аппроксимируются кубическими полиномами:

$$^{90}Sr\ (Бк/кг) = 9{,}96E\text{-}09x^3 + 2{,}79E\text{-}06x^2 + 2{,}25E\text{-}04x + 0{,}021;\ R^2 = 0{,}87 \quad (1)$$

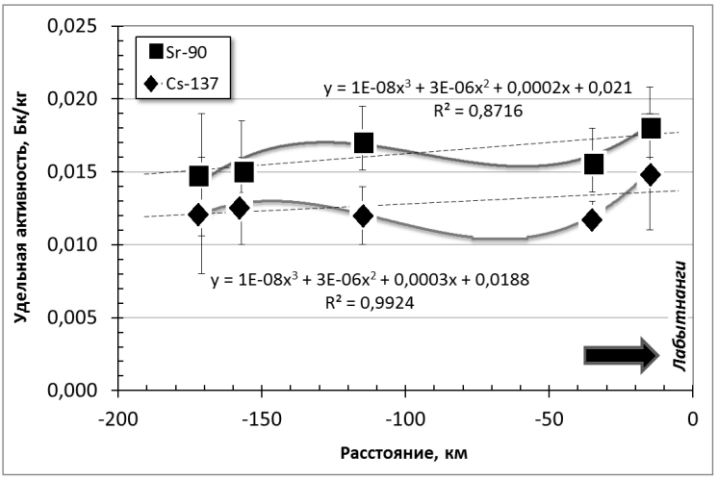
$$^{137}Cs\ (Бк/кг) = 1{,}01E\text{-}08x^3 + 3{,}24E\text{-}06x^2 + 2{,}97E\text{-}04x + 0{,}0188;\ R^2 = 0{,}99 \quad (2)$$

$$^{239,240}Pu(Бк/кг) = 1{,}22E\text{-}10x^3 + 3{,}18E\text{-}08x^2 - 2{,}29E\text{-}06x + 1{,}0\ E\text{-}06;\ R^2 = 0{,}71 \quad (3)$$

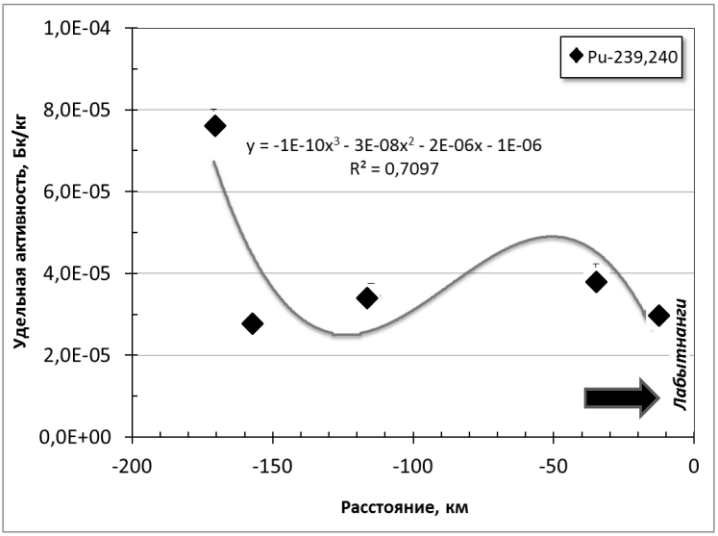
где x – расстояние до створа Лабытнанги в километрах (здесь и далее во всех формулах).

С учетом интервалов неопределенностей измеренных локальных величин распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде по течению Оби до Лабытнанги можно также представить возрастающими линейными трендами (рисунок 437 а, пунктирные линии), но при этом с более низкими значениями коэффициента детерминации R^2.

На рисунке 438 приведены обобщенные графики изменения удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде, построенные как с учетом данных для участка Оби до Лабытнанги, полученных в 2016 г, так и данных, полученных в предшествующих экспедициях в 2013-2015 гг., для проб воды в створах Оби, расположенных по течению ниже Лабытнанги.



а



б

Рисунок 437 – Изменение удельной активности радионуклидов в воде по течению Оби (2016 г.)

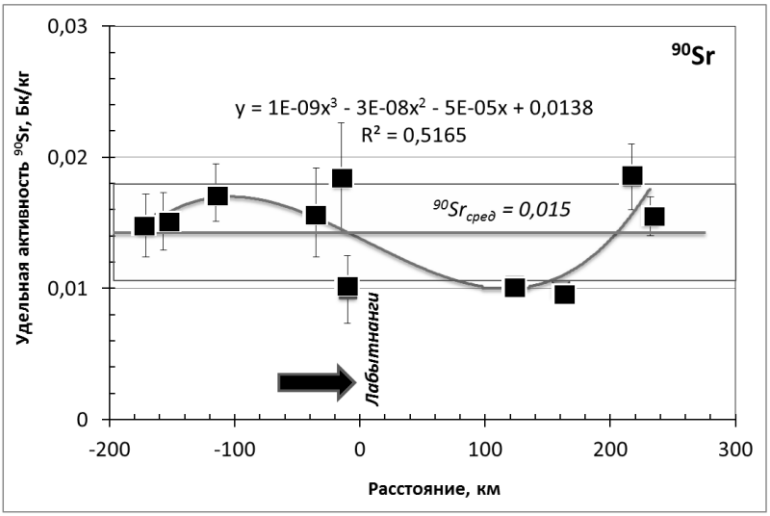


Рисунок 438 (а) – Изменение удельной активности ^{137}Cs, ^{90}Sr и $^{239.240}Pu$ в воде по течению Оби (2013-2016 гг.)

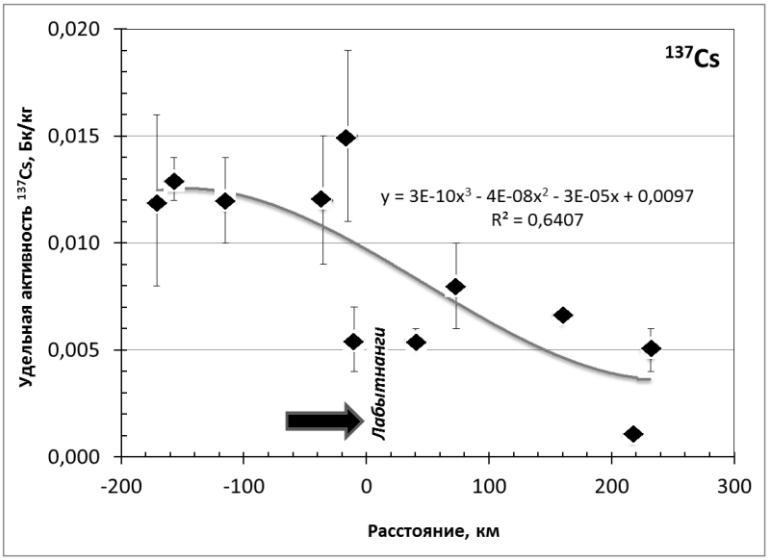


Рисунок 438 (б) – Изменение удельной активности ^{137}Cs, ^{90}Sr и $^{239.240}Pu$ в воде по течению Оби (2013-2016 гг.)

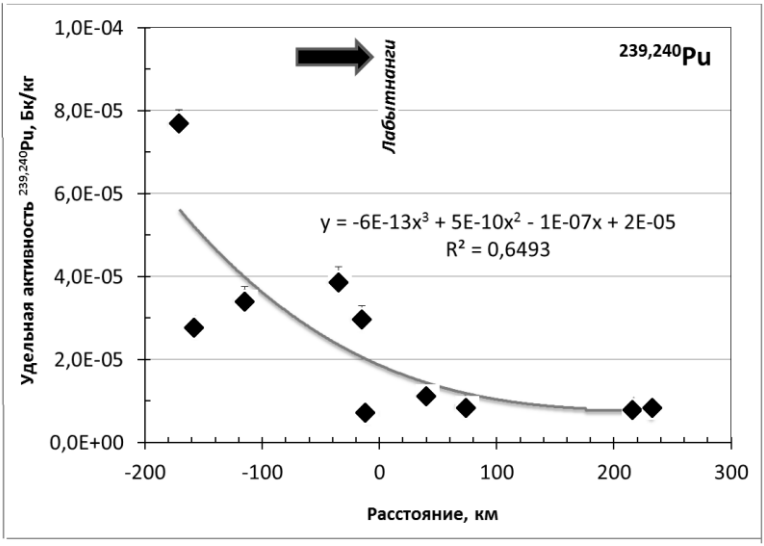


Рисунок 438 (в) – Изменение удельной активности ^{137}Cs, ^{90}Sr и $^{239.240}Pu$ в воде по течению Оби (2013-2016 гг.)

Приведенные результаты указывают на отсутствие явно выраженного тренда продольного распределения ^{90}Sr по течению, удельная активность которого в большинстве створов варьирует в диапазоне 0,01-0,02 Бк/кг (выделенная область на графике, рисунок 438а). Одновременно с этим, для ^{137}Cs отмечается постепенное снижение удельной активности от начальных значений 0,012÷0,013 Бк/кг на входном створе исследуемого участка Оби (пр. Илюшинская) до 0,004÷0,005 Бк/кг в конечных створах, близких к Обской Губе. Аналогично, зарегистрировано уменьшение содержания $^{239,240}Pu$ от 80 мкБк/кг (пр. Илюшинская) до ~ (30÷40) мкБк/кг на остальных створах.

Профили удельной активности радионуклидов на исследуемом участке вдоль течения Оби удовлетворительно аппроксимируется кубическими полиномами:

$$^{90}Sr\ (Бк/кг) = 1{,}30E\text{-}09x^3 - 2{,}71E\text{-}08x^2 - 4{,}73E\text{-}05x + 0{,}0138;\ R^2 = 0{,}52 \quad (4)$$

$$^{137}Cs\ (Бк/кг) = 3{,}07E\text{-}10x^3 - 4{,}40E\text{-}08x^2 - 3{,}25E\text{-}05x + 0{,}0097;\ R^2 = 0{,}64 \quad (5)$$

$$^{239,240}Pu(Бк/кг) = -5{,}84E\text{-}13x^3 + 4{,}65E\text{-}10x^2 - 1{,}23E\text{-}07x + 1{,}87E\text{-}08;\ R^2 = 0{,}71 \quad (6)$$

$$^{137}Cs/^{90}Sr = -0{,}0014x + 0{,}6323;\ R^2 = 0{,}66 \quad (7)$$

Принимая во внимание интервалы стандартных отклонений локальных содержаний (рисунок 438а), удельную активность ^{90}Sr на всем протяжении исследованного участка Оби можно также представить средним значением 0,015 ± 0,006 Бк/кг, где абсолютная расширенная неопределенность получена с коэффициентом охвата 2.

Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ для удельных активностей в воде Оби (рисунок 439) снижается от значений, близких к единице для наиболее удаленных створов, до значений 0,2 (и ниже) для створов, расположенных ближе к Обской Губе, и удовлетворительно аппроксимируется линейным уравнением регрессии y = -0,0014x + 0,63. Такой ниспадающий ход зависимости объясняется более высокой подвижностью ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs, который легко сорбируется и удерживается донными и пойменными грунтами, вследствие чего содержание его в воде по течению реки уменьшается (рисунок 438 б).

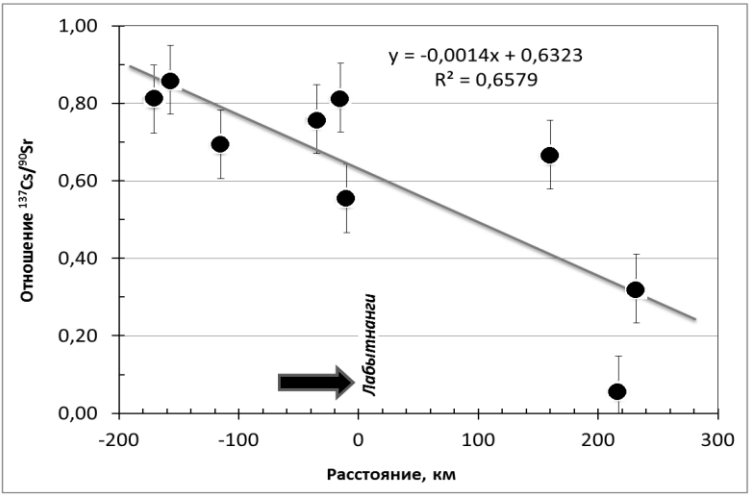


Рисунок 439 (а) – Изменение изотопных отношений удельных активностей радионуклидов в воде по течению Оби

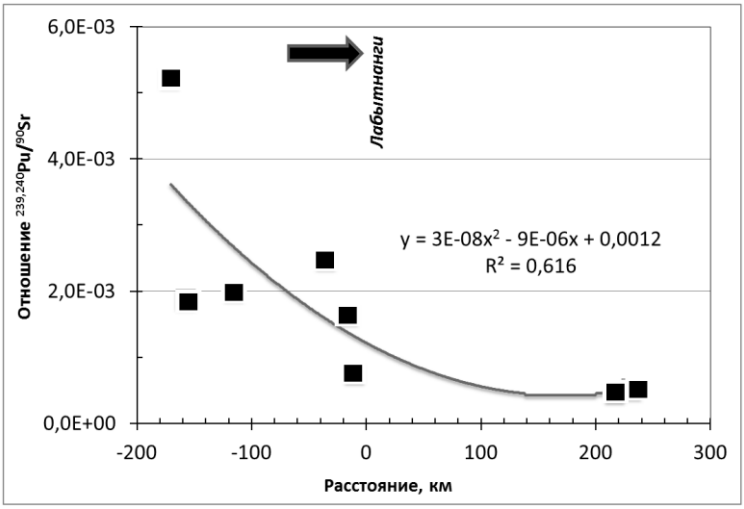


Рисунок 439 (б) – Изменение изотопных отношений удельных активностей радионуклидов в воде по течению Оби

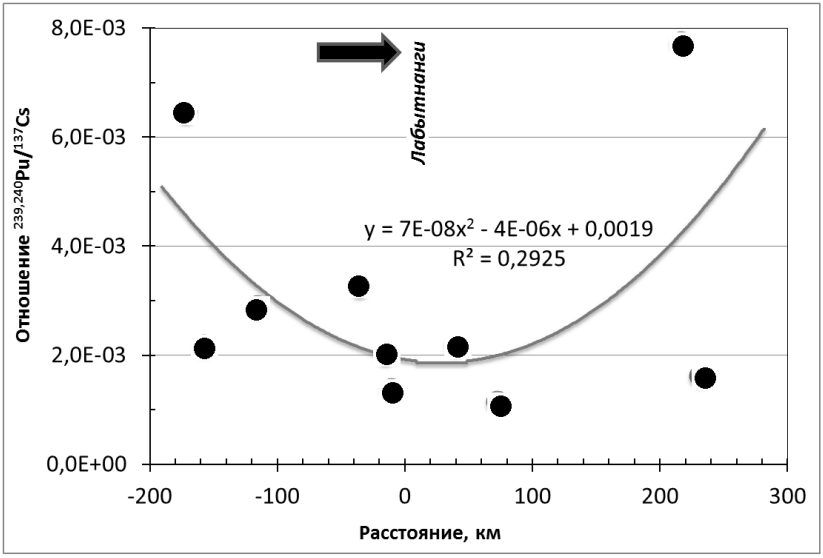


Рисунок 439 (в) – Изменение изотопных отношений удельных активностей радионуклидов в воде по течению Оби

В настоящее время фоновые значения глобального радиоактивного загрязнения по ^{90}Sr и ^{137}Cs составляют соответственно 0,045 и 0,08 Ки/км^2 (или 1665 и 2960 Бк/м^2) (Старков, Мигунов, 2003), что дает отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ = 1,8. Из данных, приведенных на рисунке 439, следует, что глобальное изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$, равное 1.8, не достигается ни в одном из обследованных створов Оби, но наиболее близко к указанной величине (~1) на входе обследованного участка Оби, т.е. в наиболее удаленных от Обской Губы створах.

2.22.2.2 Содержание трития в воде исследованных створов Оби

Величины удельной активности трития в пробах воды, отобранных в 2016 г, приведены в таблице 181. Приведенные в таблице уровни близки к средним значениям, характерным для центральной полосы России. В соответствии с нормативными требованиями («Нормы…»,2009) уровень вмешательства для трития составляет 7600 Бк/кг, т.е. зарегистрированные содержания ^{3}Н намного ниже УВ.

Таблица 181

Удельная активность ^{3}Н в воде в пробах воды в исследованных створах Оби

Створ	Повторность	^{3}Н, Бк/кг
Протока Илюшинская	1	3,5
	2	3,9
	Ср.зн.	**3,7±0,4**
Протока Войкаровская	1	2,5
	2	2,9
	Ср.зн.	**2,7±0,4**
Протока Римчим	1	3
	2	3,4
	Ср.зн.	**3,2±0,4**
Протока Хале-Пугорская	1	3,8
	2	3,2
	Ср.зн.	**3,5±0,6**
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	1	3,5
	2	4,3
	Ср.зн.	**3,9±0,6**

Изменение удельной активности трития в воде по течению Оби иллюстрируется графиками на рисунке 440. Удельная активность трития в воде удовлетворительно описывается полиномами четвертой и третьей степени:

$$^{3}H\ (Бк/кг) = 8E\text{-}08x^{4} + 3E\text{-}05x^{3} + 0{,}0031x^{2} + 0{,}126x + 5{,}18;\ R^{2} = 1 \quad (8)$$

или

$$^{3}H\ (Бк/кг) = -1E\text{-}06x^{3} - 0{,}0002x^{2} - 0{,}0019x + 3{,}81;\ R^{2} = 0{,}56 \quad (9)$$

Принимая во внимание интервалы стандартных отклонений локальных величин (рисунок 440 б), удельную активность трития на всем протяжении исследованного участка Оби можно также представить средним значением 3,4 ± 0,8 Бк/кг, с расширенной неопределенностью, рассчитанной с коэффициентом охвата 2.

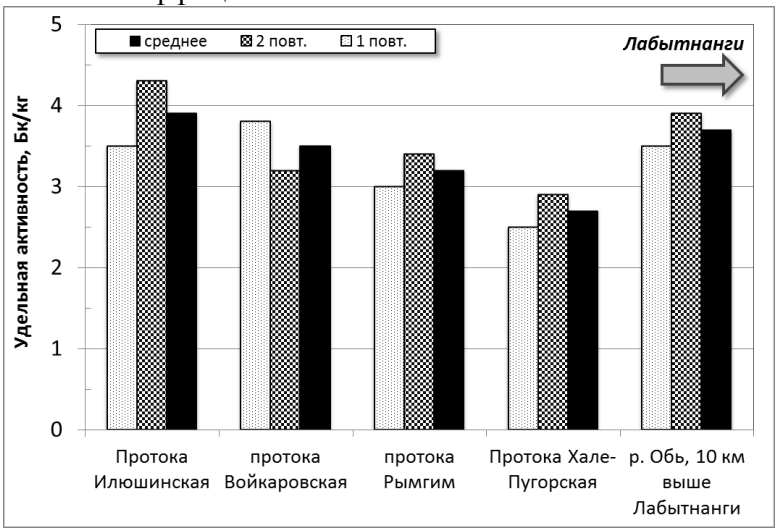


Рисунок 440 (а) – Изменение удельной активности трития в воде исследованных створов по течению Оби (2016 г.)

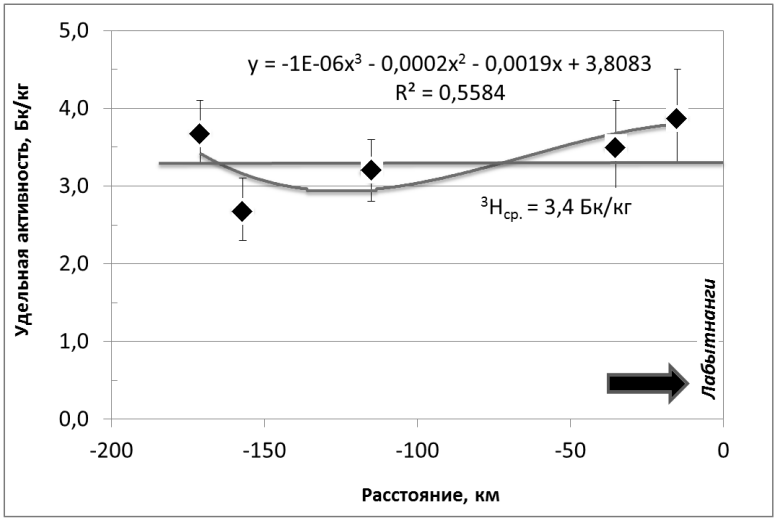


Рисунок 440 (б) – Изменение удельной активности трития в воде исследованных створов по течению Оби (2016 г.)

2.22.2.3 Оценка годовых стоков радионуклидов в нижней Оби

Годовой сток радионуклида определялся произведением удельной активности данного радионуклида на годовой сток воды в створе. Соответствующие расчетные величины годовых стоков радионуклидов для створа Лабытнанги (Салехард) приведены в таблице 182.

Сравним величины рассчитанных годовых стоков радионуклидов с оценками, полученными для Оби в ходе многолетних (2003-2013 гг.) исследований этой речной системы в границах ХМАО. Для реки Обь в месте слияния с Иртышом годовые стоки ^{137}Cs и ^{90}Sr с учетом их средних многолетних концентраций в воде составили $6{,}01\times10^{11}$ и $6{,}97\times10^{12}$ Бк соответственно.

Таблица 182

Оценка годовых стоков радионуклидов в створе Лабытнанги (Салехард)

Пара-метр	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239,240}Pu$	^{3}H	Средний много-летний годовой сток воды, $м^3$
Средняя удельная актив-ность радио-нуклида, $Бк/м^3$	10,3	14,2	0,0051	3900,0	3,94E+11
Годовой сток радио-нуклида, Бк	4,04E+12	5,58E+12	2,01E+09	1,54E+15	

Сопоставление этих величин с данными таблицы 182 показывает, что годовые стоки ^{90}Sr для створов Оби в Лабытнанги и вблизи Ханты-Мансийска близки между собой, в то время, как годовой сток ^{137}Cs в створе Лабытнанги почти на порядок превышает таковой для Оби в месте слияния с Иртышом. Этот факт можно объяснить процессами “подпитки” Оби цезием-137 из мест его депонирования в пойме Нижней Оби, расположенной между Ханты-Мансийском и Лабытнанги.

2.22.3 Содержание радионуклидов в пойменных почвах нижней Оби и оценка интегральных запасов радионуклидов

Определение содержания ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в пойменных почвах реки Обь в 2016г было проведено в пяти створах (по три точки в каждом створе) на глубину до 30 см с шагом пять сантиметров.

Результаты определения послойного содержания радионуклидов в пробах пойменных почв и расчетные величины плотностей запасов радионуклидов в пойменных почвах, полученные суммированием активностей всех слоев, приведены в таблицах 183-188.

На диаграммах (рисунки 441-450) представлены профили вертикального распределения радионуклидов в пойменных почвах исследованных створов Оби.

Общим для всех створов характерным признаком профиля вертикального распределения радионуклидов является более низкое содержание в самом верхнем 5-сантиметровом слое, удельная активность радионуклидов в котором может быть в несколько раз ниже, чем в слоях с максимальным содержанием.

В наиболее удаленных от Лабытнанги створах, расположенных на входе исследованного участка Оби – протоках Илюшинской и Войкаровской – профиль вертикального распределения Cs-137 имеет максимум на средних глубинах 15-25 см (рисунки 441 а, 442 а). Для Sr-90 в этих же створах характерен двугорбый профиль, максимумы которого локализованы в слоях 10-15 и 25-30 см, с «провалом» в слоях, где наблюдался максимум по цезию-137 (рисунки 441 б, 442 б).

Таблица 183

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами в створе протока Илюшинская

Слой, см	Cs-137, Бк/м^2		Sr-90, Бк/м^2	
0-5	32,7±2,9	33,5±1,2	369,4±38,2	373,2±3,9
	35,2±3,2		371,7±36,3	
	32,6±2,7		378,5±39,6	
5-10	99,4±10,2	97,2±1,1	842,3±87,2	846,8±15,0
	96,7±8,5		867,1±83,8	
	97,5±7,9		831,1±85,4	
10-15	172,4±15,9	175,0±2,6	538,4±55,1	549,1±11,9
	178,6±16,4		543,2±52,8	
	174,0±18,2		565,7±59,2	
15-20	387,2±39,6	378,3±9,5	171,3±16,4	180,1±9,4
	382,6±40,1		175,8±18,2	
	365,1±38,4		193,2±21,7	
20-25	266,4±28,5	272,6±6,3	615,8±62,7	622,4±6,4
	270,2±26,9		620,3±59,2	
	281,2±29,3		631,1±65,1	
25-30	145,7±16,3	148,1±2,4	748,8±75,9	757,9±9,9
	151,4±14,2		753,2±73,2	
	147,2±13,9		771,7±80,6	
∑=		**1104,7**		**3329,5**

Таблица 184

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами в створе протока Войкаровская

Слой, см	Cs-137, Бк/м^2		Sr-90, Бк/м^2	
0-5	57,2 ±4,1	59,8 ±1,8	348,2 ±36,4	356,4 ±5,8
	61,4 ±7,2		360,3 ±40,2	
	60,8 ±5,4		360,7 ±41,3	
5-10	69,4 ±7,2	71,2 ±2,1	609,7 ±57,2	618,0 ±5,9
	72,7 ±8,3		622,4 ±68,4	
	71,5 ±6,4		621,9 ±73,5	
10-15	92,2 ±9,4	94,9 ±1,9	304,2 ±32,7	319,5 ±14,3
	95,8 ±10,2		315,7 ± 29,4	
	96,7 ±8,7		338,6 ±37,8	
15-20	70,1 ±6,8	72,0 ±1,7	369,4 ±38,1	348,6 ±15,7
	74,2 ±8,2		345,1 ±32,9	
	71,7 ±8,4		331,3 ±30,6	
20-25	93,4 ±10,6	95,1 ±1,6	627,4 ±64,9	618,9 ±6,3
	94,7 ±9,3		612,3 ±59,7	
	97,2 ±11,2		617,0 ±62,1	
25-30	808 ±7,9	83,0 ±2,1	686,2 ±67,4	694,3 ±7,3
	82,4 ±8,6		692,8 ±71,3	
	85,8 ±9,4		703,9 ±72,1	
∑=		**476,0**		**2955,7**

Таблица 185

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами в створе протока Римчим

Слой, см	Cs-137, Бк/м^2		Sr-90, Бк/м^2	
0-5	66,4±5,8	68,6±1,6	234,5±22,7	241,2±6,1
	69,3±7,2		239,8±24,9	
	70,1±6,7		249,3±25,2	
5-10	462,4±45,2	471,9±10,9	521,7±54,6	513,8±2,4
	487,2±49,7		517,2±52,8	
	466,1±44,3		516,0±49,2	
10-15	184,2±20,6	193,7±7,5	562,4±54,9	576,6±12,4
	194,3±21,3		574,7±59,6	
	202,6±19,8		592,7±60,3	
15-20	112,1±10,4	113,5±1,5	469,2±48,2	485,0±14,6
	115,6±12,7		481,3±50,4	
	112,8±13,1		504,5±49,7	
20-25	498,2±51,3	503,8±5,7	362,4±40,6	371,8±6,9
	511,6±49,2		374,1±39,8	
	501,6±52,4		378,9±36,4	
25-30	168,4±18,3	171,2±3,1	411,2±39,6	413,0±4,4
	169,6±19,2		408,7±42,7	
	175,6±16,8		419,1±43,4	
∑=		**1522,7**		**2601,4**

Таблица 186

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами в створе протока Хале-Пугорская

Слой, см	Cs-137, Бк/м^2		Sr-90, Бк/м^2	
0-5	139,2±12,6	155,0±16,1	603,8±59,6	616,5±13,1
	148,7±15,9		611,2±63,4	
	177,1±16,8		634,5±65,2	
5-10	219,2±23,1	238,7±19,4	5514±57,4	569,2±18,0
	231,7±20,8		562,3±55,8	
	265,2±25,9		593,9±61,3	
10-15	204,3±18,9	218,0±13,7	571,6±59,2	588,0±15,9
	212,9±23,6		582,9±56,7	
	236,8±24,7		609,5±57,3	
15-20	148,7±15,4	163,5±14,2	318,7±30,5	332,9±12,2
	159,2±17,3		331,4±34,7	
	182,6±20,1		348,6±36,2	
20-25	164,2±15,8	173,9±9,4	212,1±19,4	226,6±15,3
	170,8±19,3		247,8±26,7	
	186,7±20,1		219,9±23,1	
25-30	101,2±11,1	113,9±10,8	231,4±26,1	247,9±14,9
	112,8±10,6		244,8±27,3	
	127,7±13,4		267,5±25,4	
∑=		**1063,6**		**2581,1**

Таблица 187

Плотность загрязнения пойменных почв реки Обь техногенными радионуклидами в створе 10 км выше Лабытнанги

Слой, см	Cs-137, Бк/м^2		Sr-90, Бк/м^2	
0-5	202,4 ± 19,7	216,5 ±16,4	519,4± 52,1	537,6 ±14,5
	207, 6±22,3		538,6± 49,8	
	239,5 ±22,4		554,8± 54,6	
5-10	306,7 ±31,8	317,5 ±11,2	661,2 ±68,2	678,8 ±12,9
	332,9 ±35,6		683,5 ±71,4	
	312,9 ±33,2		691,7 ±66,5	
10-15	218,3 ±20,4	234,9 ±16,3	512,9 ±53,2	514,0 ±1,2
	257,0 ±27,2		515,6 ±50,8	
	229,4 ±24,1		513,5 ±52,6	
15-20	204,8 ±22,6	215,6 ±11,5	483,9 ±46,2	475,2 ±11,3
	231,5 ±24,1		459,3 ±47,3	
	210,5 ±19,9		482,4 ±46,4	
20-25	120,8 ±14,2	121,3 ±1,7	315,8 ±30,1	326,9 ±12,0
	119,5 ±12,7		321,4 ±33,2	
	123,6 ±11,4		343,5 ±36,4	
25-30	92,8 ±8,7	105,0 ±11,6	320,7 ±31,7	322,5 ±1,3
	101,6 ±11,4		323,8 ±33,9	
	120,6 ±10,2		323,0 ±30,8	
∑=		**1210,8**		**2855,0**

Таблица 188

Удельная активность ^{239,240}Pu в пробах пойменных почв и расчетная плотность загрязнения в исследованных створах Оби

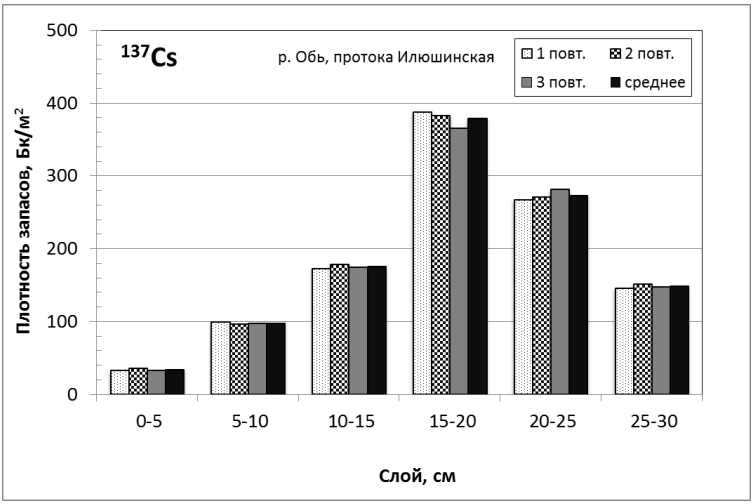
Створ	Слой, см	Точка	Удельная активность ^{239,240}Pu, Бк/кг	Плотность запасов ^{239,240}Pu, Бк/м^2	Плотность запасов ^{239,240}Pu, (среднее), Бк/м^2
Протока Илюшинская	0-5	1	0,11±0,01	1,26±0,13	1,41±0,15
		2	0,15±0,02	1,57±0,16	
	5-10	1	0,30±0,03	3,90±0,42	4,07±0,17
		2	0,34±0,04	4,25±0,38	
	Суммарная плотность (Бк/м^2)				**5,48**
Протока Войкаровская	0-5	1	0,14±0,02	2,16±0,22	2,32±0,16
		2	0,20±0,02	2,49±0,26	
	5-10	1	0,24±0,03	3,82±0,36	3,93±0,11
		2	0,29±0,03	4,04±0,42	
	Суммарная плотность (Бк/м^2)				**6,25**
Протока Римчим	0-5	1	0,09 ±0,01	1,82±0,21	2,10±0,27
		2	0,13 ±0,01	2,37±0,19	
	5-10	1	0,38 ±0,04	5,13±0,62	5,63±0,49
		2	0,43 ±0,05	6,12±0,56	
	Суммарная плотность (Бк/м^2)				**7,73**

Таблица 188 (Окончание)

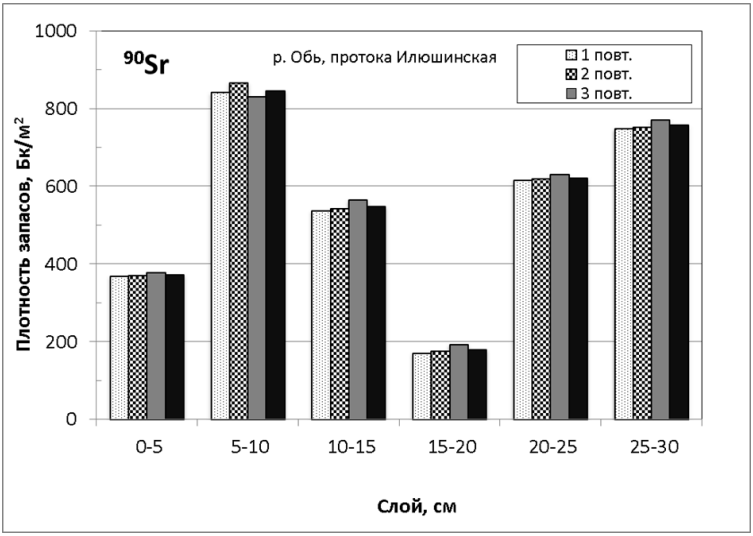
Створ	Слой, см	Точка	Удельная активность 239,240Pu, Бк/кг	Плотность запасов 239,240Pu, Бк/м2	Плотность запасов 239,240Pu, (среднее), Бк/м2
Протока Хале-Пугорская	0-5	1	0,28 ±0,03	3,32±0,39	3,52±0,20
		2	0,32 ±0,03	3,73±0,32	
	5-10	1	0,36 ±0,04	2,44±0,26	2,64±0,20
		2	0,32 ±0,02	2,84±0,31	
	Суммарная плотность (Бк/м^2)				**6,16**
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги	0-5	1	0,12 ±0,01	1,46±0,12	1,65±0,19
		2	0,16 ±0,02	1,84±0,21	
	5- 0	1	0,15 ±0,01	2,18±0,19	2,38±0,20
		2	0,18 ±0,02	2,58±0,21	
	Суммарная плотность (Бк/м^2)				**4,03**

Вертикальное распределение радионуклидов в пойменных почвах в створе протоки Римчим отличается от предыдущих створов – профиль Cs-137 приобретает вид с двумя максимумами в слоях 5-10 и 20-25 см, в то время, как распределение Sr-90 становится унимодальным с максимумом на глубине 10-15 см.

В створах, более близких к Лабытнанги – протоке Хале-Пугорская и на р.Обь в 10 км выше г. Лабытнанги – вертикальное распределение Cs-137 и Sr-90 имеет качественно похожие, спадающие с глубиной пологие профили (рисунки 447, 449).



а



б

Рисунок 441 – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе №1 (р. Обь, протока Илюшинская) в 2016 г.

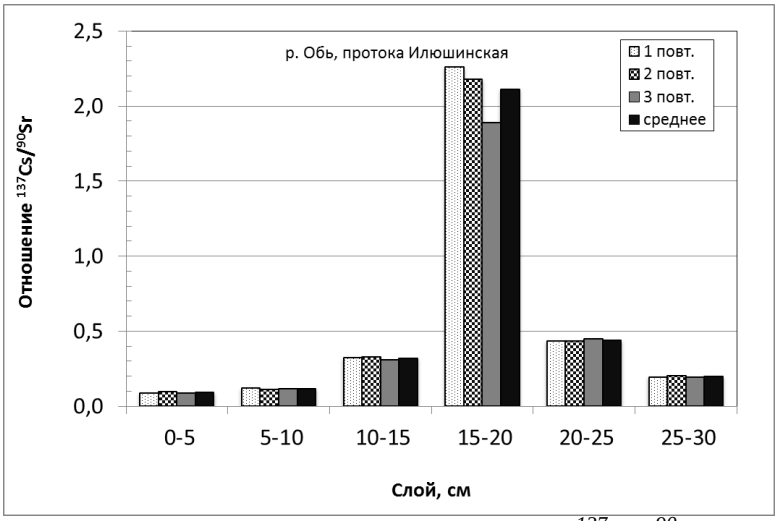


Рисунок 442 – Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в пойменных почвах в створе протока Илюшинская в 2016 г.

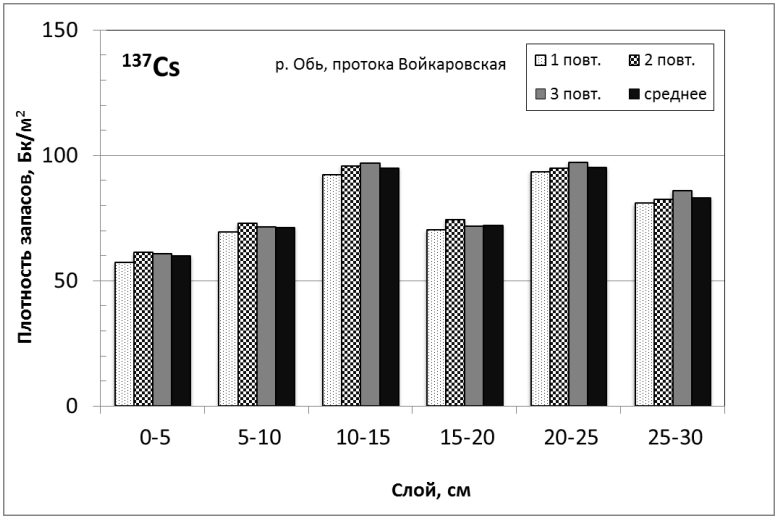


Рисунок 443 (а) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе протока Войкаровская в 2016 г.

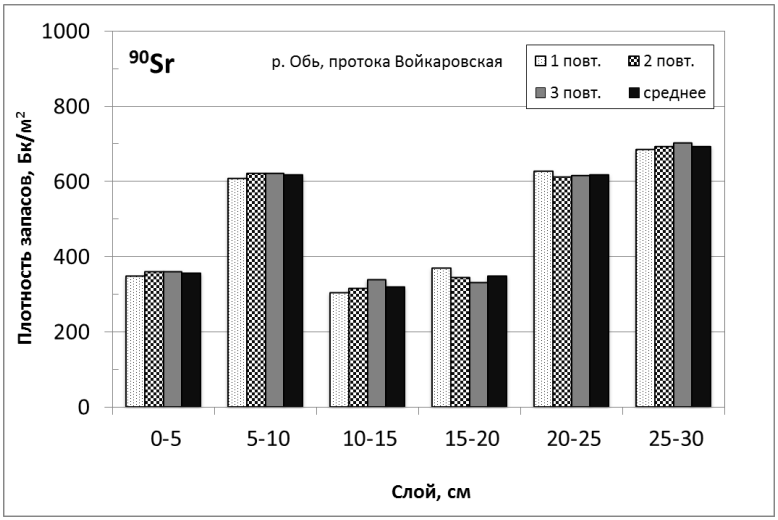


Рисунок 443 (б) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе протока Войкаровская в 2016 г.

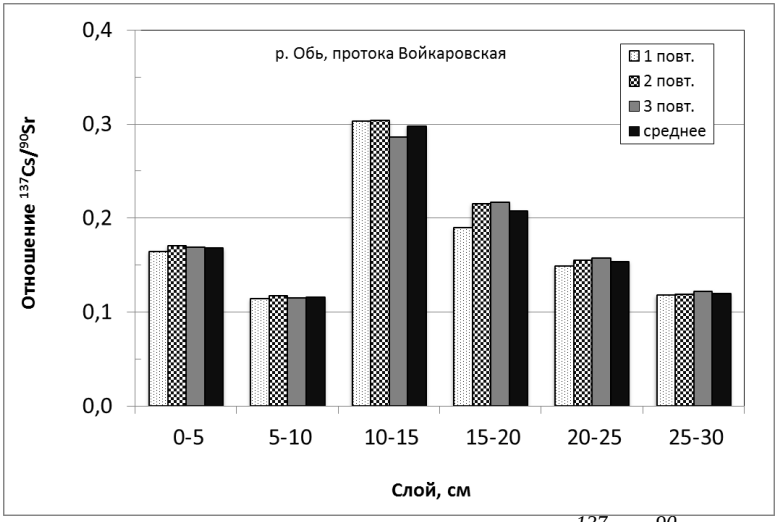
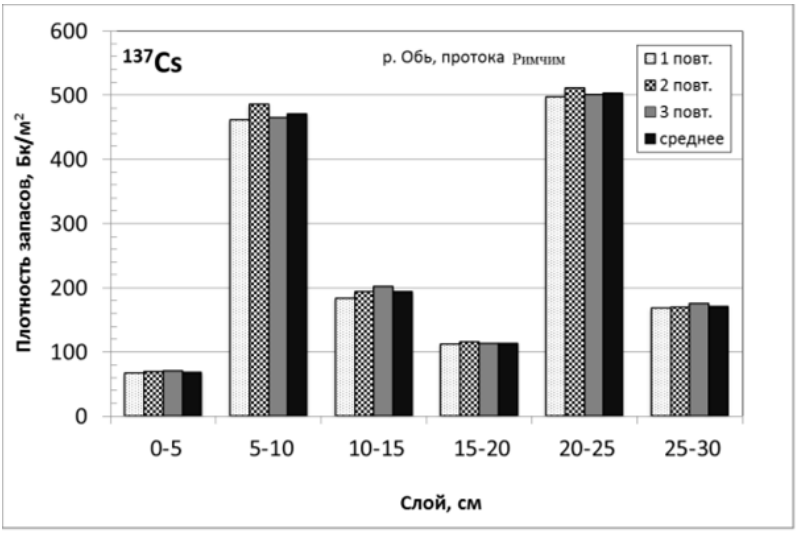
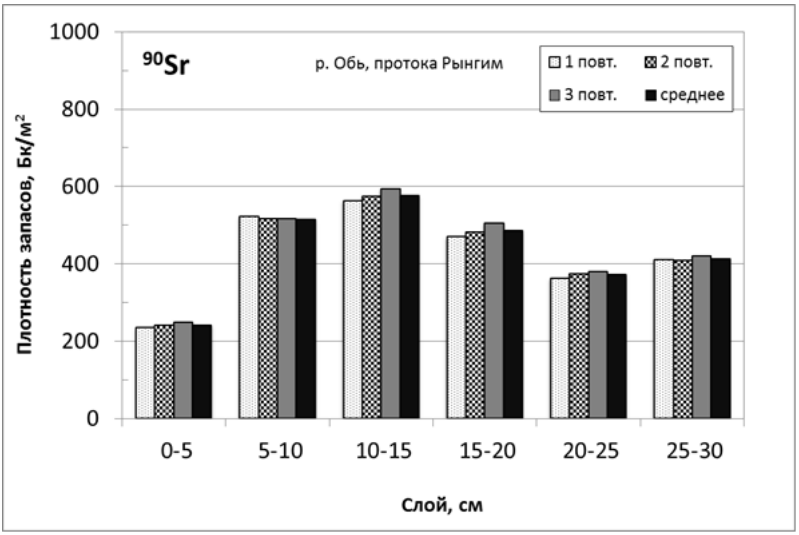


Рисунок 444 – Изотопное отношение ^{137}Cs/^{90}Sr в пойменных почвах в створе протока Войкаровская в 2016 г.



а



б

Рисунок 445 – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе протока Римчим в 2016 г.

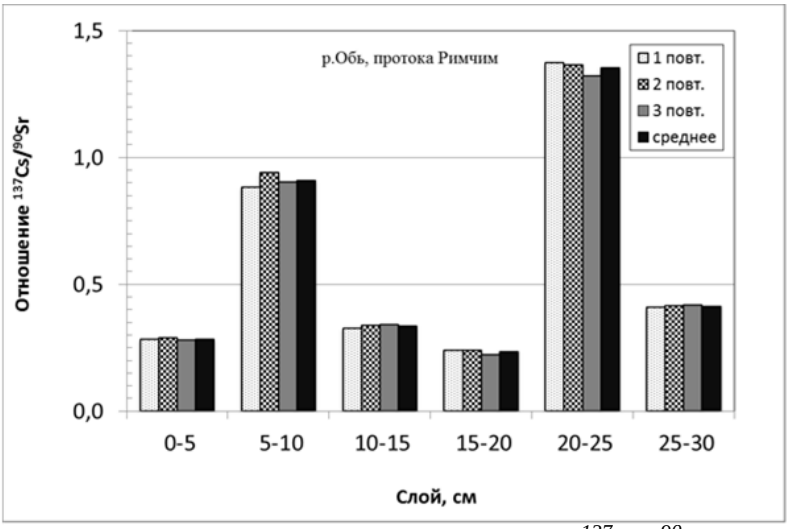


Рисунок 446 – Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в пойменных почвах в створе протока Римчим в 2016 г.

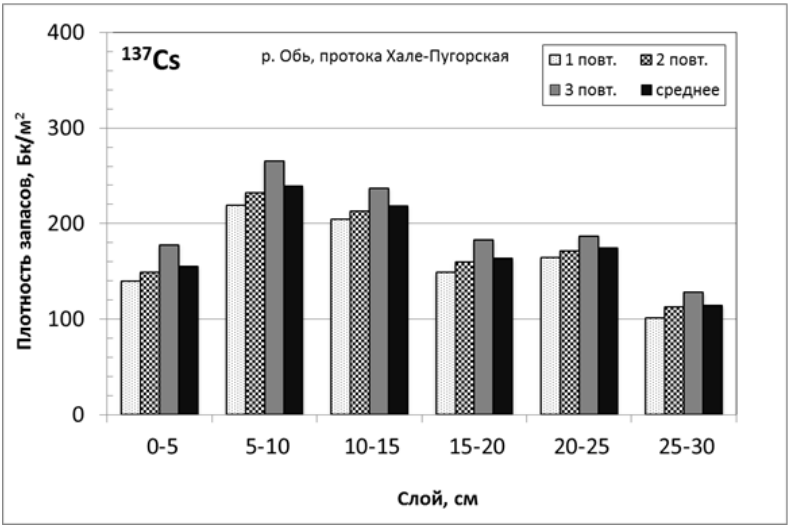


Рисунок 447 (а) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе протока Хале-Пугорская в 2016 г.

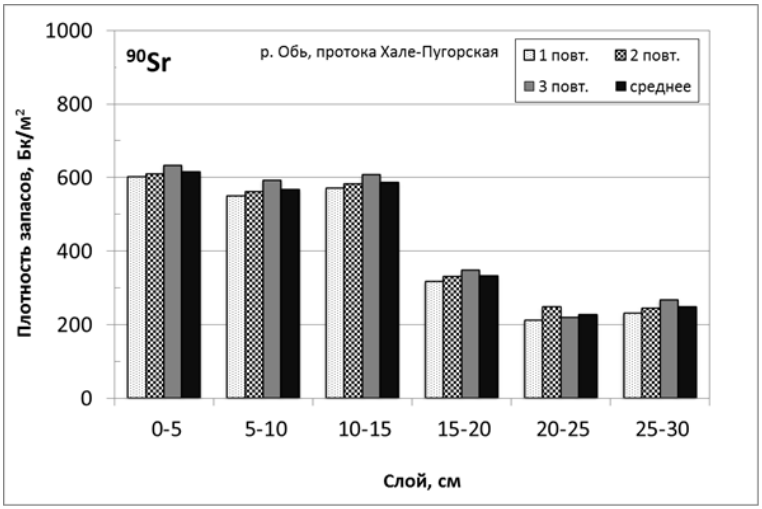


Рисунок 447 (б) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе протока Хале-Пугорская в 2016 г.

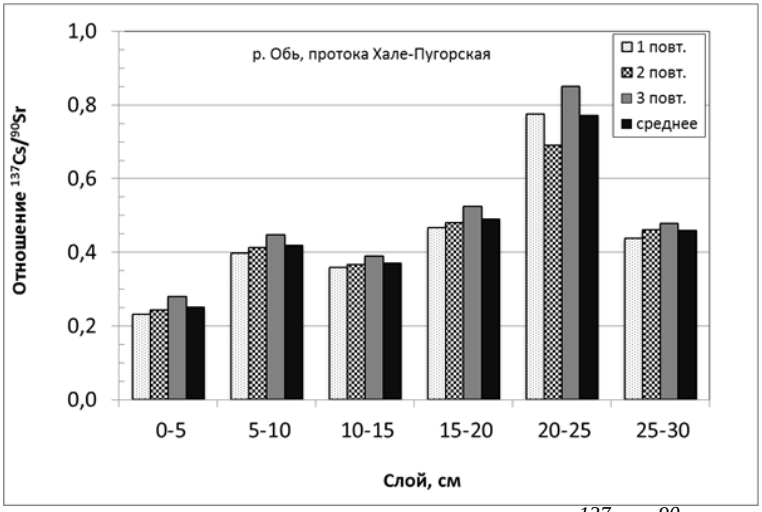
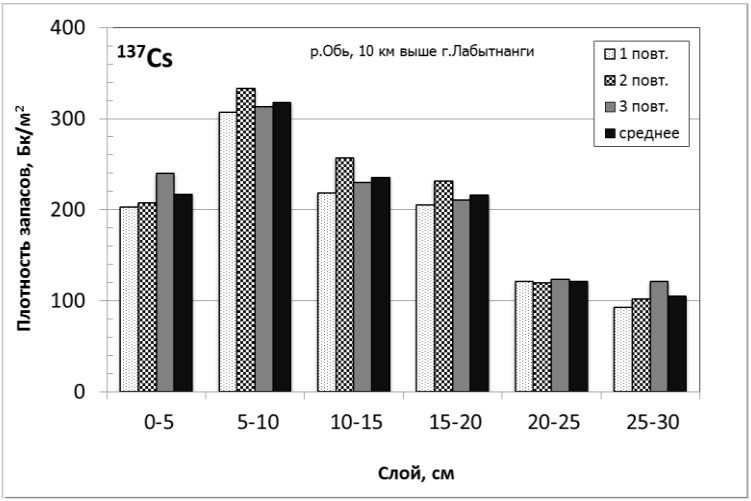
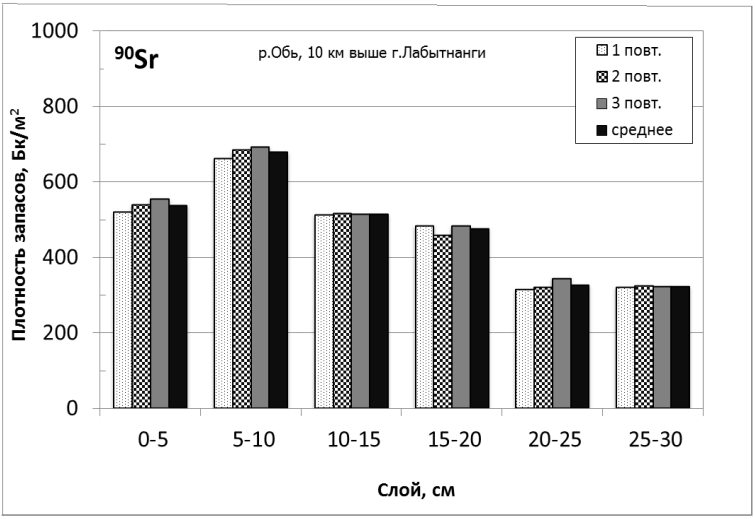


Рисунок 448 – Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в пойменных почвах в створе протока Хале-Пугорская в 2016 г.



а



б

Рисунок 449 – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби в створе р. Обь, 10 км выше Лабытнанги в 2016 г.

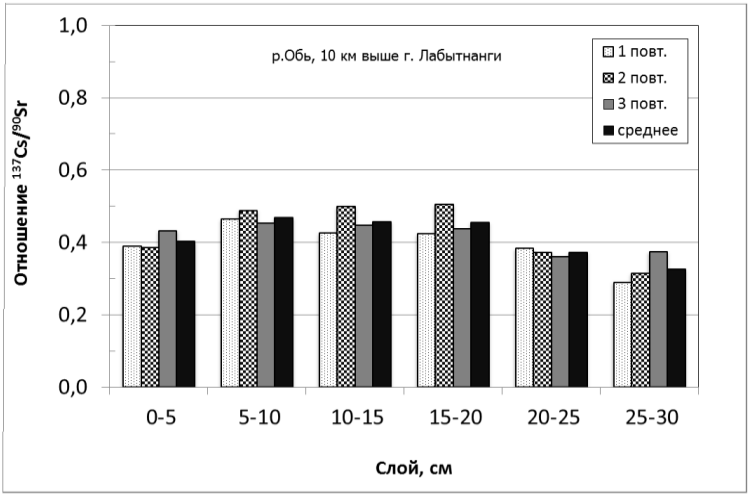


Рисунок 450 – Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в пойменных почвах в створе р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, в 2016

Изотопные отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ значительно изменяются в слоях. Профиль изотопного отношения, как правило, определяется профилем вертикального распределения Cs-137. Максимальные величины $^{137}Cs/^{90}Sr$, близкие к 1,5-2, отмечены в створе Илюшинская в слое 15-20 см и створе Римчим в слое 20-25 см. Во всех остальных случаях это отношение было меньше единицы.

Из приведенных данных следует, что плотность запасов Cs-137 в пойме увеличивается по течению Оби, в то время, как расчетные величины локальных плотностей запасов Sr-90 группируются в пределах прямоугольной области (рисунок 451 а) со средним значением 2953±750 Бк/м^2.

Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ для запасов в пойме Оби возрастает по ходу течения реки (рисунок 452), в противоположность изменения этого параметра в воде

(рисунок 439). Профиль данного отношения практически повторяет профиль распределения в пойме плотности запасов ^{137}Cs (рисунок 451), показывая увеличение в три-четыре раза между входными и выходными створами.

Представленные диаграммы, характеризующие миграцию радионуклидов в пойме Нижней Оби, свидетельствуют о протекании ощутимого накопления ^{137}Cs в пойменных почвах по ходу течения реки. Фактически наблюдаемое увеличение плотности запасов цезия-137 достигает кратности три и более раз, характеризуя аллювиальные процессы, связанные с эрозией пойменных почв, которые сопровождаются взмучиванием почвенных субстратов и переносом с водным потоком большой массы твердых частиц с адсорбированными на них радионуклидами, прежде всего цезием-137. В нижнем течении реки, в ее дельте, скорость потока воды снижается, где и происходит седиментация частиц твердого стока и аккумулирование ^{137}Cs в грунтах. Высокая растворимость ^{90}Sr в воде и низкое связывание его частицами твердого стока препятствуют такой сегрегации, в результате чего объемная активность этого радионуклида (рисунок 438 а) и плотность запасов в пойме (рисунок 451 а) остаются практически постоянными по течению на обследованном участке Оби.

На основании данных о содержании $^{239,240}Pu$ и ^{137}Cs в пойменных почвах Оби (таблицы 183-188) были рассчитаны изотопные отношения $^{239,240}Pu/^{137}Cs$ во всех образцах почв. В протоке Илюшинская изотопные отношения $^{239,240}Pu/^{137}Cs$ (приведенные к 1956 г. – времени наиболее интенсивных испытаний ядерного оружия) варьируют от $1,3 \cdot 10^{-2}$ до $3,3 \cdot 10^{-2}$. В протоке Войкаровская величины изотопных отношений изменяются от $1,9 \cdot 10^{-2}$ до $3,8 \cdot 10^{-2}$. В протоке Хале-Пугорская значения изотопных отношений варьируют от $0,9 \cdot 10^{-2}$ до $1,2 \cdot 10^{-2}$. В протоке Римчим и

в створе на р.Обь в 10 км выше по течению от г.Лабытнанги все величины изотопного отношения меньше $1{,}0 \cdot 10^{-2}$. Следует отметить, что изотопные отношения $^{239,240}Pu/^{137}Cs$, зафиксированные при испытании ядерного оружия являются константной величиной и составляют $3 \cdot 10^{-2}$ («UNSCEAR», 1988), в то время как в радиоактивных сбросах с ПО «Маяк» значения изотопных отношений $^{239,240}Pu/^{137}Cs$ равны $3 \cdot 10^{-3}$. Это позволяет высказать предположение, что значительная часть исследованных пойменных почв в протоках Илюшинская, Войкаровская и Хале-Пугорская загрязнены ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в результате испытаний ядерного оружия, проводившихся в период 1949-1963 гг. Такие почвы служат источником вторичного загрязнения реки Обь техногенными радионуклидами в результате ежегодного вымывания последних из поймы во время паводков.

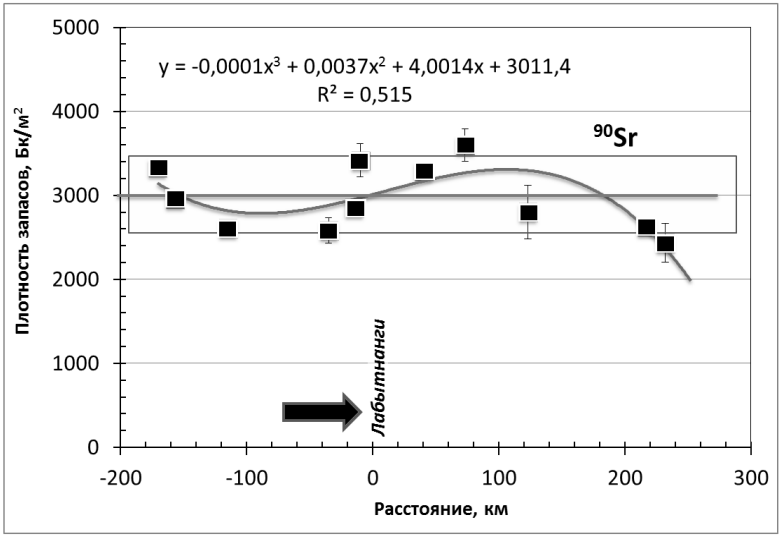


Рисунок 451 (а) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби, исследованных в 2013-2016 г.

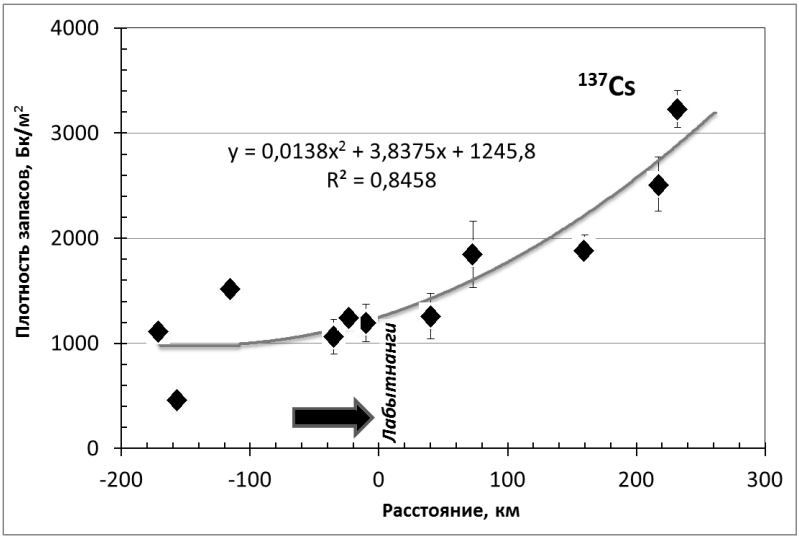


Рисунок 451 (б) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби, исследованных в 2013-2016 г.

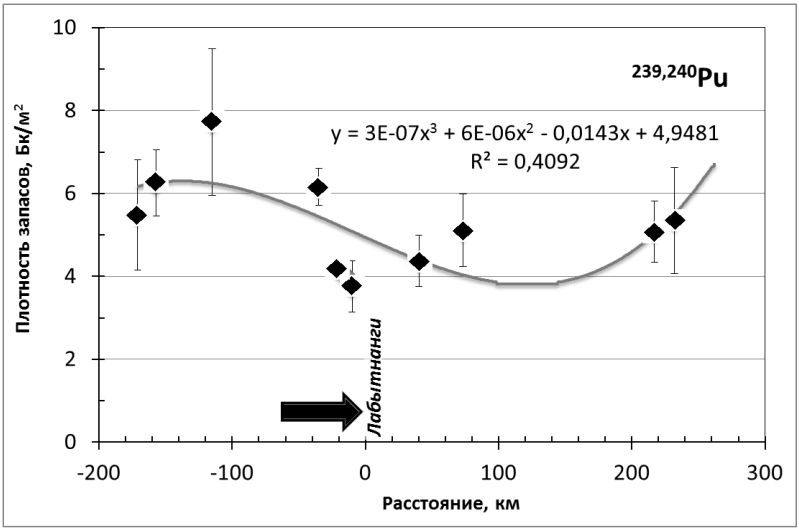


Рисунок 451 (в) – Плотность запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби, исследованных в 2013-2016 г.

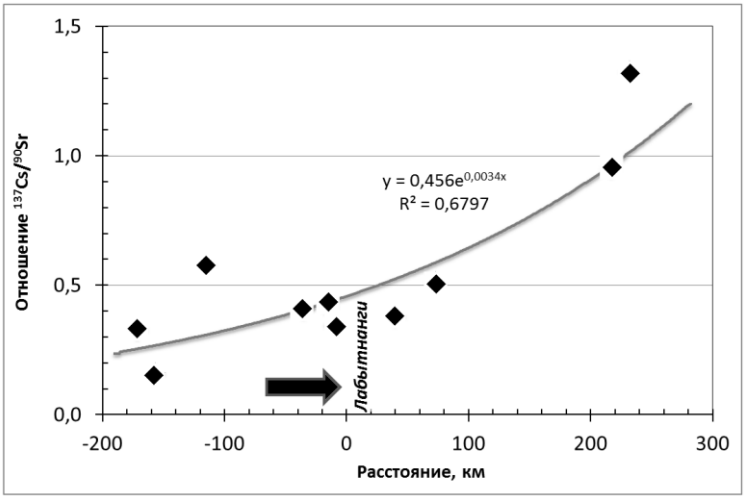


Рисунок 452 (а – $^{137}Cs/^{90}Sr$) – Изменение изотопных отношений удельных активностей радионуклидов в пойменных почвах Нижней Оби (2013-2016 гг.)

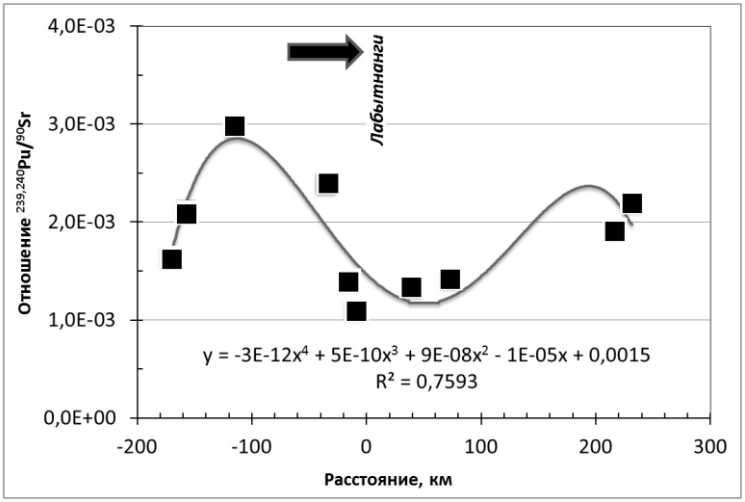


Рисунок 452 (б – $^{239,240}Pu/^{90}Sr$) – Изменение изотопных отношений удельных активностей радионуклидов в пойменных почвах Нижней Оби (2013-2016 гг.)

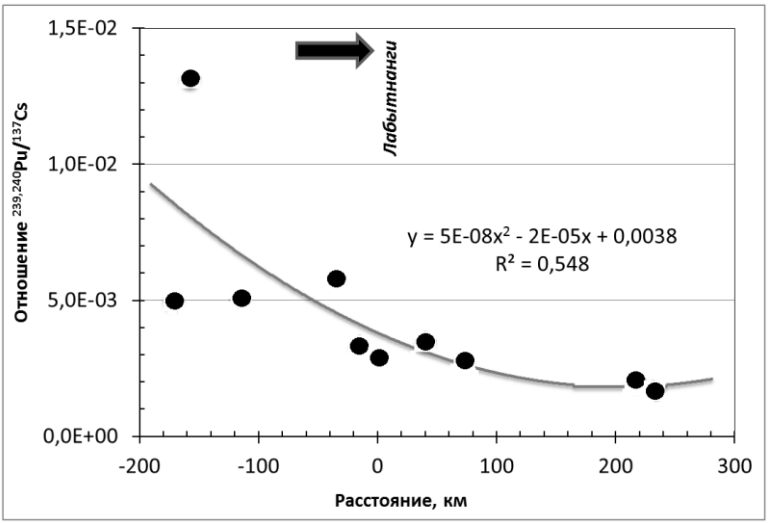


Рисунок 452 (в – $^{239,240}Pu/^{137}Cs$) – Изменение изотопных отношений удельных активностей радионуклидов в пойменных почвах Нижней Оби (2013-2016 гг.)

Косвенно это предположение подтверждается рисунком 451, из которого следует, что содержание ^{137}Cs в пойменных почвах возрастает в 3 раза на протяжении 400 км от протоки Илюшенской до протоки Мурьинской. В случае пространственного переноса техногенных радионуклидов с ПО «Маяк», содержание их неуклонно уменьшается с увеличением расстояния от места сброса радиоактивных веществ.

Оценка интегральных запасов техногенных радионуклидов в двусторонней 10-км пойме нижней Оби дает следующие величины, Бк:

а) На участке от протоки Илюшинская до Лабытнанги (расстояния от -171 км до 0 км, участок обследованный в 2016 г):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{0} \left(-0.00014 \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 0.0037 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 4.0014 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3011.4\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 9.851 \times 10^{12} \quad (10)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{0} \left(0.0138 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 3.8375 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 1245.8\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 3.599 \times 10^{12} \quad (11)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{0} \left(2.84 \cdot 10^{-7} \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 6.24 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 - 0.0143 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4.948\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.01 \times 10^{10} \quad (12)$$

б) На участке от Лабытнанги до Обской Губы (расстояния от -0 км до +260 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-0}^{260} \left(-0.00014 \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 0.0037 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 4.0014 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3011.4\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.56 \times 10^{13} \quad (13)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-0}^{260} \left(0.0138 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 3.8375 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 1245.8\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.069 \times 10^{13} \quad (14)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-0}^{260} \left(2.84 \cdot 10^{-7} \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 6.24 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 - 0.0143 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4.948\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.328 \times 10^{10} \quad (15)$$

в) для участка поймы от протоки Илюшинская до протоки Мурьинская Объ (весь обследованный участок Оби в 2013-2016 гг, расстояния от -171 км до +232 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{232} \left(-0.00014 \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 0.0037 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 4.0014 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3011.4\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.426 \times 10^{13} \quad (16)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{232} \left(0.0138 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 3.8375 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 1245.8\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.259 \times 10^{13} \quad (17)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{232} \left(2.84 \cdot 10^{-7} \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 6.24 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 - 0.0143 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4.948\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 3.999 \times 10^{10} \quad (18)$$

г) На участке от протоки Илюшинская до Обской Губы (расстояния от -171 км до +260 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} \left(-0.00014 \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 0.0037 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 4.0014 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3011.4\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.545 \times 10^{13} \quad (19)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} \left(0.0138 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 3.8375 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 1245.8\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.429 \times 10^{13} \quad (20)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} \left(2.84 \cdot 10^{-7} \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 6.24 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 - 0.0143 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4.948\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 4.338 \times 10^{10} \quad (21)$$

Таким образом, общая оценка запасов радионуклидов в 20-км пойме на участке Нижней Оби от створа протока Илюшинская до Обской Губы составляет $2{,}55\times10^{13}$ Бк для ^{90}Sr , $1{,}43\times10^{13}$ Бк для ^{137}Cs и $4{,}34\times10^{10}$ Бк для $^{239,240}Pu$. Отметим, что полученная оценка запасов для ^{90}Sr и ^{137}Cs примерно в пять раз превышает рассчитанную ранее величину годовых стоков этих радионуклидов ($5{,}58\times10^{12}$ и $4{,}04\times10^{12}$ Бк соответственно, таблица 182) в створе Лабытнанги, и более чем на порядок величин – для $^{239,240}Pu$.

2.22.4 Содержание и расчет интегральных запасов радионуклидов в донных отложениях нижней Оби

Результаты определения ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в донных отложениях реки Обь в 2016 г. приведены в таблицах 189-194.

Вертикальные профили содержания техногенных радионуклидов (плотность запасов) в донных отложениях приведены на рисунках 453-462. Вертикальное распределение Cs-137 в донных отложениях в створе протоки Илюшинская (участок Оби перед створом Лабытнанги, самый удаленный из исследованных створов от г. Лабытнанги) характеризуется высокой плотностью запасов в верхних слоях 0-10 см и резким их снижением на глубине 10-20 см. При этом Sr-90 показывает крайне низкие значения плотности запасов в поверхностных слоях, и лишь на глубине 20-25 см наблюдается почти двухкратное их увеличение. Аналогичным образом наблюдается вертикальное распределение этого радионуклида в створе протоки Римчим.

Таблица 189

Плотность запасов Cs-137 и Sr-90 в донных отложениях в створе протока Илюшинская

Слой, см	Cs-137, Бк/м^2		Sr-90, Бк/м^2	
0-5	729,4 ±74,7	741,6±11,6	512,3±49,7	499,7±14,6
	757,2 ±78,3		507,6±52,4	
	738,2 ±72,6		479,2±46,2	
5-10	614,6 ±63,2	591,4±16,4	349,7±36,8	332,1±13,3
	581,2 ±57,8		329,2±33,1	
	578,4 ±59,1		317,4±29,5	
10-15	262,5 ±28,2	277,1±12,8	396,8±41,2	377,7±13,5
	293,7 ±30,7		367,4±34,3	
	275,1 ±26,4		368,9±35,7	
15-20	180,6 ±17,2	182,2±1,7	454,0±47,2	434,2±14,5
	184,6 ±19,3		428,9±41,4	
	181,4 ±16,9		419,7±43,6	
20-25	411,8 ±43,4	413,5±4,9	788,4±76,0	804,0±16,8
	420,2 ±45,2		796,3±81,5	
	408,5 ±38,7		827,3±80,7	
25-30	260,1 ±24,6	277,6±13,3	266,0±24,9	282,3±13,2
	292,4 ±31,1		282,5±30,6	
	280,3 ±26,8		298,4±28,1	
∑=		**2483,4**		**2730,0**

Таблица 190

Плотность запасов Cs-137 и Sr-90 в донных отложениях в протока Хале-Пугорская

Слой, см	Cs-137, Бк/м^2		Sr-90, Бк/м^2	
0-5	419,6±43,5	427,1±10,8	490,8±51,3	468,8±16,3
	442,4±46,1		464,2±47,6	
	419,3±39,6		451,4±43,8	
5-10	642,4±61,7	653,3±10,7	492,7±47,4	505,4±12,8
	649,7±66,2		500,6±52,7	
	667,8±69,1		522,9±54,2	
10-15	281,7±27,1	296,6±16,5	441,3±46,3	425,3±12,2
	288,5±30,4		421,2±41,8	
	319,6±33,2		412,8±39,6	
15-20	950,2±97,2	968,0±13,1	549,8±52,9	562,6±13,2
	972,5±95,4		557,3±56,2	
	981,3±99,6		580,7±60,4	
20-25	509,3±48,6	523,2±13,6	495,7±51,0	476,6±14,0
	518,6±50,8		471,8±48,3	
	541,7±56,2		462,3±44,8	
25-30	512,2±53,7	528,6±12,1	412,6±40,3	420,8±7,4
	532,4±51,6		419,2±42,2	
	541,2±52,8		430,6±39,1	
∑=		**3396,8**		**2859,5**

Таблица 191

Плотность запасов Cs-137 и Sr-90 в донных отложениях в створе протока Римчим (пос. Вандиязы)

Слой, см	Cs-137, Бк/м^2		Sr-90, Бк/м^2	
0-5	298,7±28,3	315,4±16,7	245,8±22,8	247,9±1,6
	309,2±32,1		248,3±25,4	
	338,3±35,7		249,6±26,2	
5-10	518,9±52,9	495,3±17,0	204,3±19,7	217,7±14,1
	487,4±50,4		211,6±22,6	
	479,6±45,2		237,2±25,1	
10-15	947,7±92,8	967,5±14,3	226,2±20,7	239,5±10,1
	973,6±99,5		250,7±27,8	
	981,2±100,4		241,6±25,4	
15-20	749,3±76,1	734,0±14,7	320,8±30,5	337,818,8
	738,5±74,6		328,6±34,3	
	714,2±69,8		364,0±37,9	
20-25	759,7±76,8	740,8±18,7	571,7±59,4	564,210,3
	747,3±75,2		549,7±56,3	
	715,4±69,9		571,2±55,8	
25-30	310,2±32,6	298,1±13,9	278,3±29,2	266,412,5
	305,4±29,8		271,8±28,6	
	278,7±25,4		249,1±23,4	
∑=		**3551,19**		**1873,45**

Таблица 192

Плотность запасов Cs-137 и Sr-90 в донных отложениях в створе протока Войкаровская (о. Вой-Харас-Пугор)

Слой, см	Cs-137, Бк/м^2		Sr-90, Бк/м^2	
0-5	422,6±40,2	407,1±16,2	391,4±37,9	405,8±15,2
	413,9±39,5		399,2±41,8	
	384,8±35,6		426,8±44,3	
5-10	460,8±45,4	471,9±9,0	478,9±45,6	490,2±10,4
	472,1±49,5		487,7±50,9	
	482,8±50,7		504,0±53,1	
10-15	510,2±50,8	535,5±18,3	326,6±30,7	347,2±14,9
	543,6±56,2		353,8±36,2	
	552,7±58,1		361,2±38,4	
15-20	355,0±38,1	326,2±20,5	331,8±31,8	350,5±13,3
	314,2±33,4		358,4±37,5	
	309,4±29,7		361,3±39,2	
20-25	391,7±42,3	374,4±12,5	425,8±41,3	450,4±18,0
	369,1±38,7		456,9±46,4	
	362,4±34,3		468,5±49,1	
25-30	167,8±17,4	160,2±13,2	287,6±30,4	271,0±17,7
	171,2±19,3		278,9±28,2	
	141,6±12,9		246,5±22,7	
∑=		**2275,4**		**2270,2**

Таблица 193

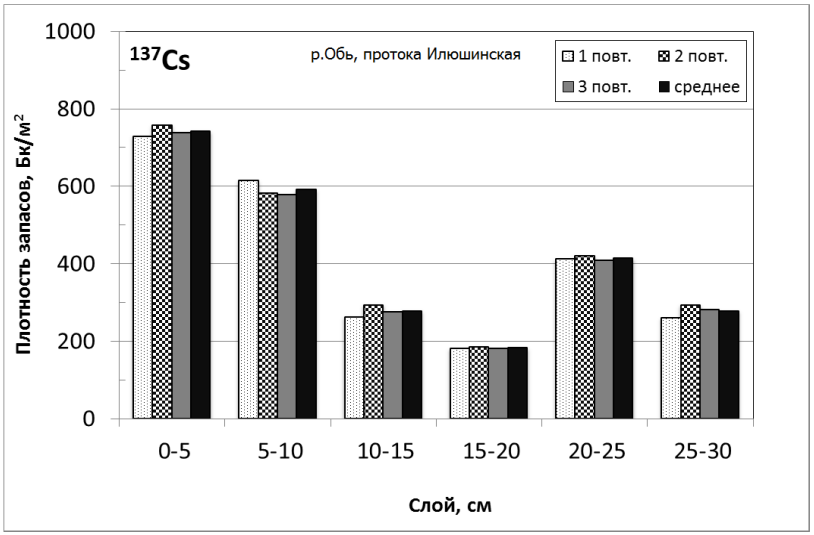
Плотность запасов Cs-137 и Sr-90 в донных отложениях в створе р. Обь, 10 км выше Лабытнанги (о. Гахморка)

Слой, см	Cs-137, Бк/м^2		Sr-90, Бк/м^2	
0-5	132,2±11,2	141,1±8,5	254,8±23,6	240,1±10,8
	138,6±14,1		236,4±25,8	
	152,5±16,8		229,1±20,7	
5-10	411,2±43,4	409,2±1,4	312,7±31,7	329,5±5,3
	408,5±39,6		325,6±34,6	
	407,9±38,2		320,2±33,9	
10-15	638,5±61,2	651,2±10,0	442,5±46,5	419,2±16,9
	652,1±64,3		412,3±43,8	
	663,0±68,7		402,8±38,6	
15-20	1272,6±125,3	1294,5±23,1	449,3±42,9	461,2±9,9
	1284,5±129,6		460,7±48,6	
	1326,4±130,2		473,6±50,1	
20-25	603,4±58,4	617,5±14,2	475,8±49,4	457,1±13,1
	612,1±60,7		447,3±42,7	
	637,0±65,1		448,2±41,3	
25-30	638,8±65,1	650,1±11,0	379,4±36,2	392,7±14,3
	646,5±62,7		386,2±39,1	
	665,0±64,2		412,5±43,4	
∑=		**3763,6**		**2299,8**

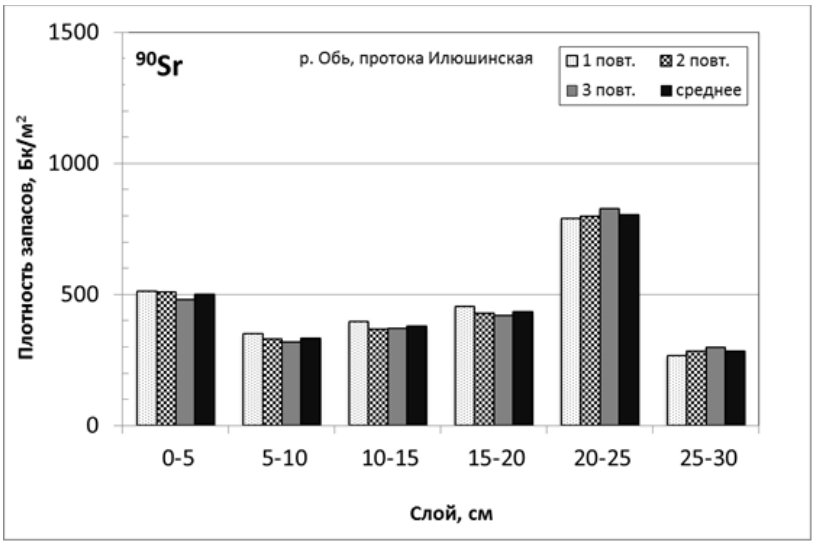
Таблица 194

Удельная активность $^{239,240}Pu$ в пробах донных отложений и плотность запасов в соответствующих створах Оби

Створ	Слой, см	Точка	Удельная активность $^{239,240}Pu$, Бк/кг	Плотность запасов, $^{239,240}Pu$, Бк/м^2	Плотность запасов, $^{239,240}Pu$, (среднее), Бк/м^2
Протока Илюшинская	0-5	1	0,037±0,004	2,62±0,24	2,88±0,26
		2	0,041±0,003	3,14±0,32	
Протока Войкаровская	0-5	1	0,048±0,005	3,62±0,39	3,44±0,17
		2	0,044±0,004	3,27±0,31	
Протока Римчим	0-5	1	0,019±0,006	3,87±0,36	4,03±0,16
		2	0,053±0,005	4,19±0,43	
Протока Хале-Пугорская	0-5	1	0,044±0,004	3,61±0,32	3,78±0,17
		2	0,040±0,005	3,95±0,41	
р. Обь, 10 км выше г. Ла-бытнанги	0-5	1	0,022±0,002	3,87±0,36	2,22±0,16
		2	0,026±0,003	2,39±0,24	



а



б

Рисунок 453 – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе протока Илюшинская в 2016 г.

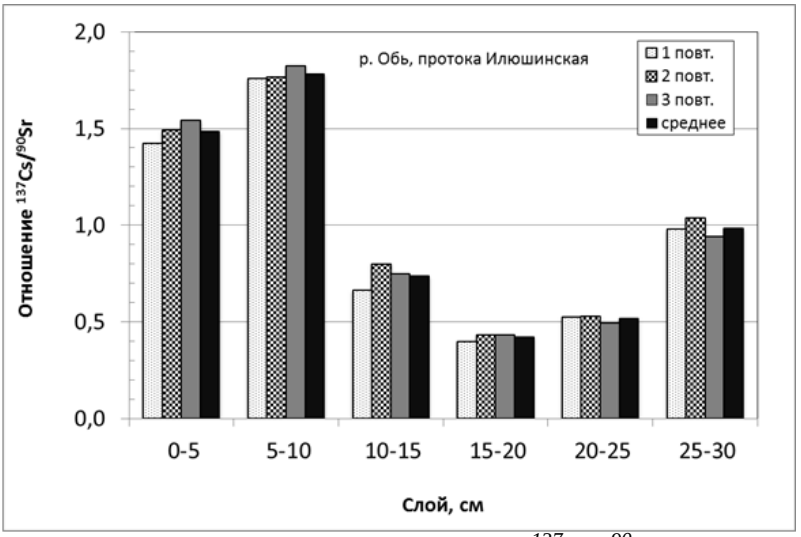


Рисунок 454 – Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях Оби в створе протока Илюшинская в 2016 г.

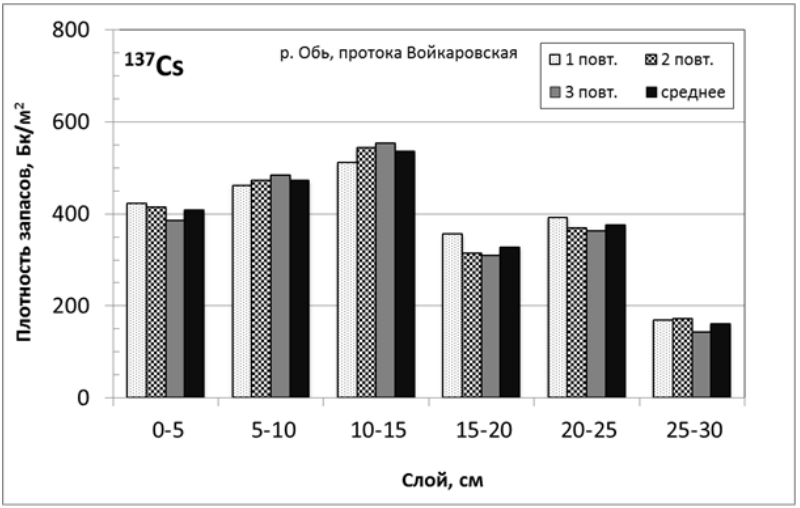


Рисунок 455 (а) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе протока Войкаровская (о. Вой-Харас-Пугор) в 2016 г.

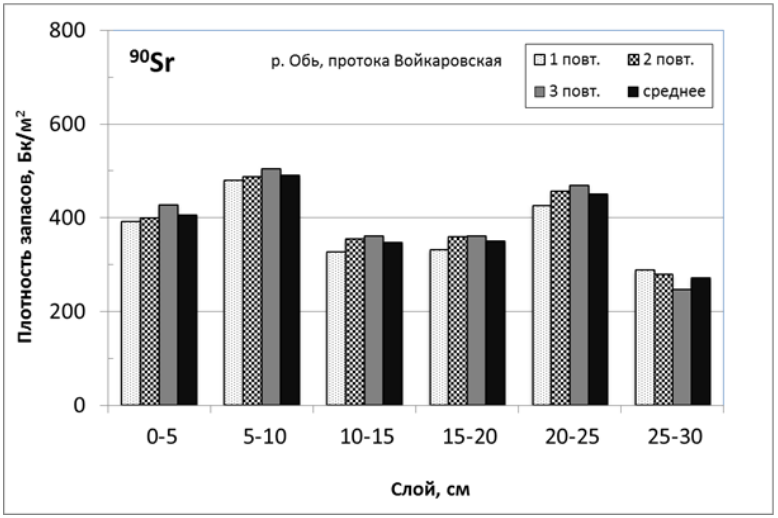


Рисунок 455 (б) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе протока Войкаровская (о. Вой-Харас-Пугор) в 2016 г.

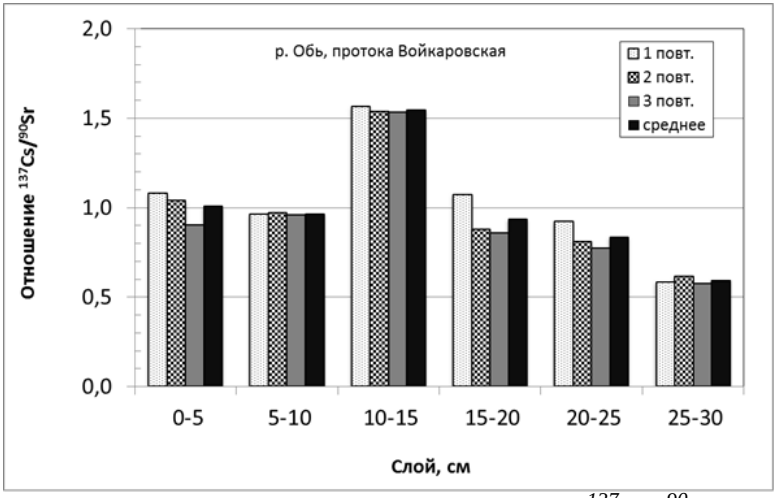
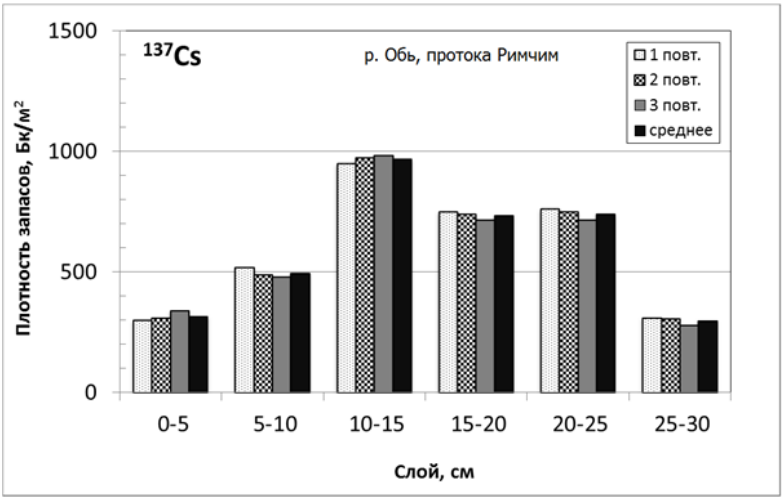
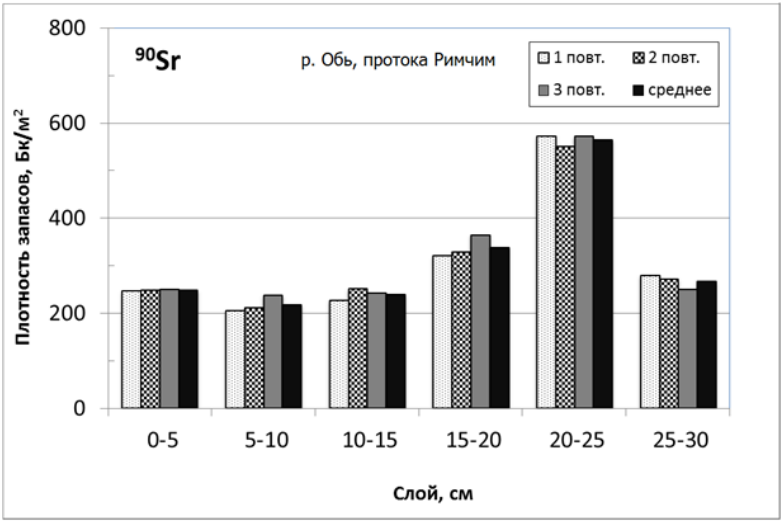


Рисунок 456 – Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях Оби в створе протока Войкаровская (о. Вой-Харас-Пугор) в 2016 г.



а



б

Рисунок 457 – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе протока Римчим (пос. Вандиязы) в 2016 г.

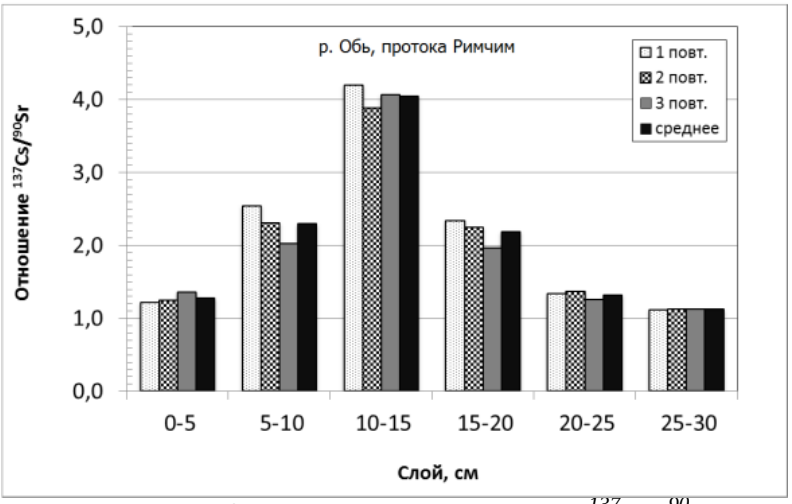


Рисунок 458– Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях Оби в створе протока Римчим (пос. Вандиязы) в 2016 г.

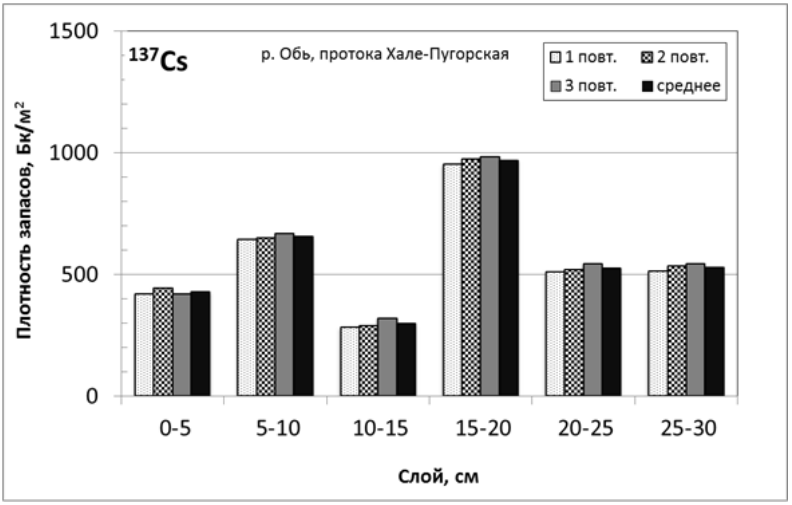


Рисунок 459 – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе протока Хале-Пугорская в 2016 г.

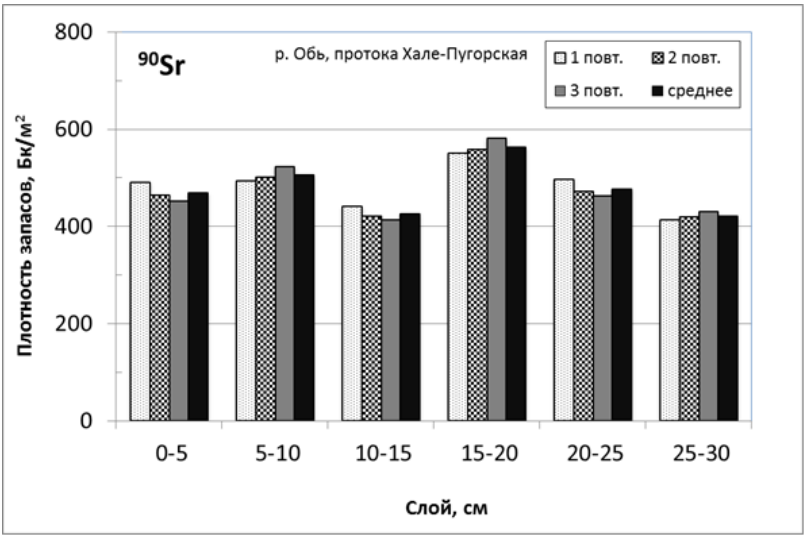


Рисунок 459 (б) – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе протока Хале-Пугорская в 2016 г.

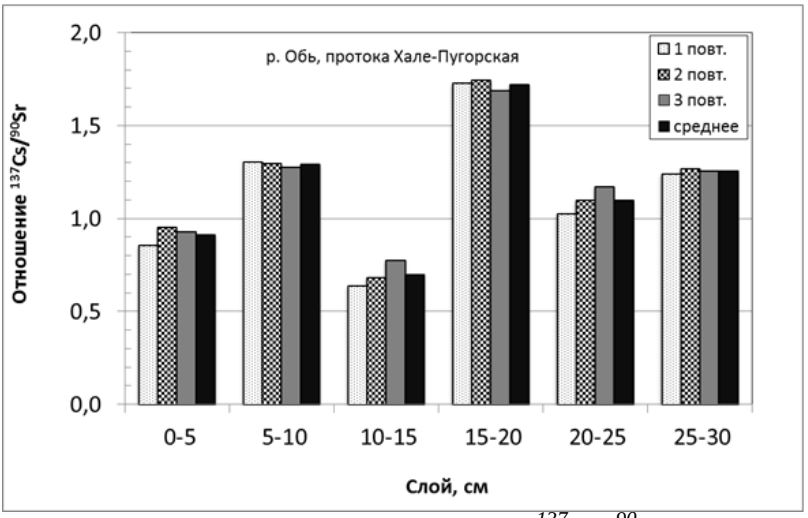
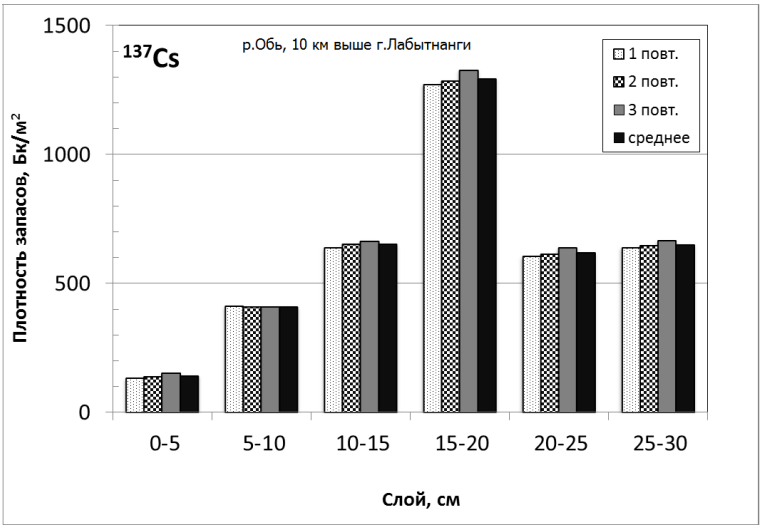
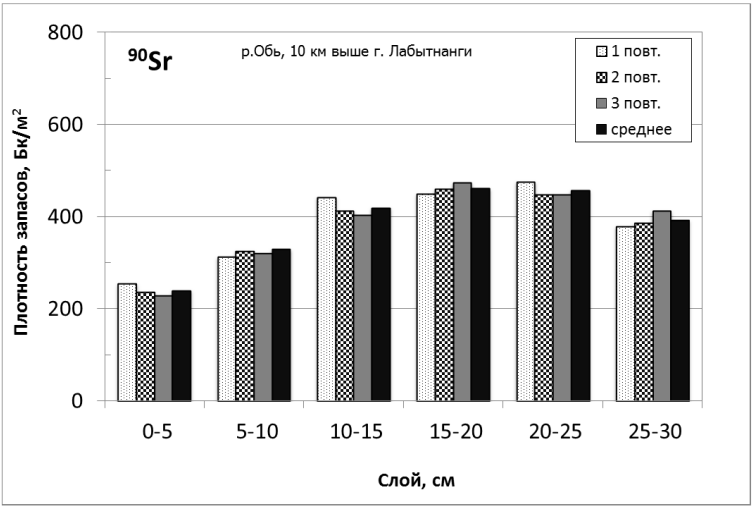


Рисунок 460 – Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях Оби в створе протока Хале-Пугорская в 2016 г.



а



б

Рисунок 461 – Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях Оби в створе р. Оби, ~10 км выше г. Лабытнанги, в 2016 г.

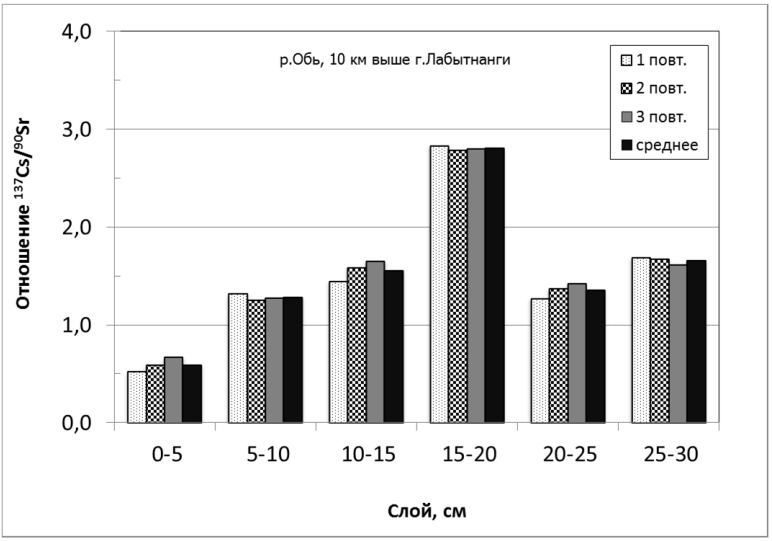


Рисунок 462 – Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях Оби в створе р. Оби, ~10 км выше г. Лабытнанги (о. Гахморка) в 2016 г.

В донных отложениях в протоках Войкаровская и Римчим Cs-137 достигает максимального содержания на глубинах 10-15 см, а в протоках Хале-Пугорская и в створе Оби перед Лабытнанги – на глубине 15-20 см., причем в последнем случае в самых верхних слоях плотность запасов Cs-137, равно как и Sr-90, крайне низка, постепенно увеличиваясь с глубиной.

Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях во многих случаях повторяет профиль вертикального распределения цезия-137, по большей части вследствие того, что его распределение по глубине более неравномерно, чем ^{90}Sr. В большинстве случаев это отношение имеет максимальное значение на глубинах 10-15 или 15-20 см, однако для протоки Илюшинской максимум отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ смещен в более верхний слой 5-10 см.

Изменение по течению средних значений плотности запасов радионуклидов в донных отложениях исследованных створов нижней Оби иллюстрирует диаграмма на рисунке 463. Видно, что плотность запасов в донных отложениях возрастает по течению реки, причем для ^{90}Sr такое возрастание четырехкратно (с 2500 до 10000 Бк/м^2), а для ^{137}Cs – трехкратно (с 2000 до 6000 Бк/м^2). В отдельных случаях (протока Кривая Обь, 2015 г) плотность запасов ^{90}Sr достигала экстремальных значений 15000 Бк/м^2, выпадающих из наблюдаемого тренда.

Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных запасах характеризуется немонотонной волнообразной зависимостью (рисунок 464). При этом в створах до Лабытнанги отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ близко к единице или ниже ее, а после Лабытнанги варьирует в диапазоне 1.5-2.5, т.е. приближается к величине, характерной для глобальных выпадений.

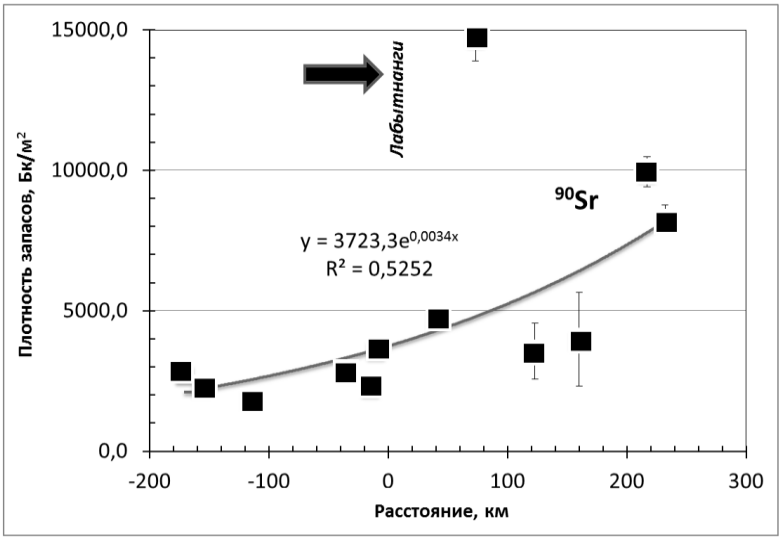


Рисунок 463 (а) – Средние значения плотности запасов Sr-90 в донных отложениях нижней Оби

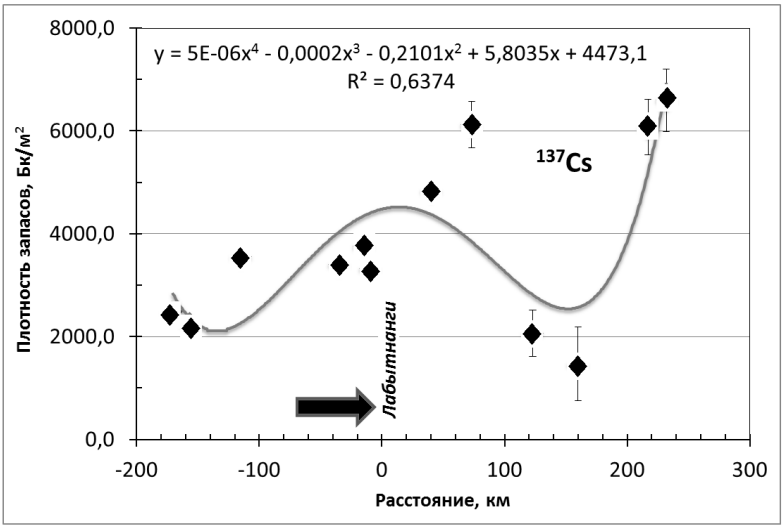


Рисунок 463 (б) – Средние значения плотности запасов Cs-137 в донных отложениях нижней Оби

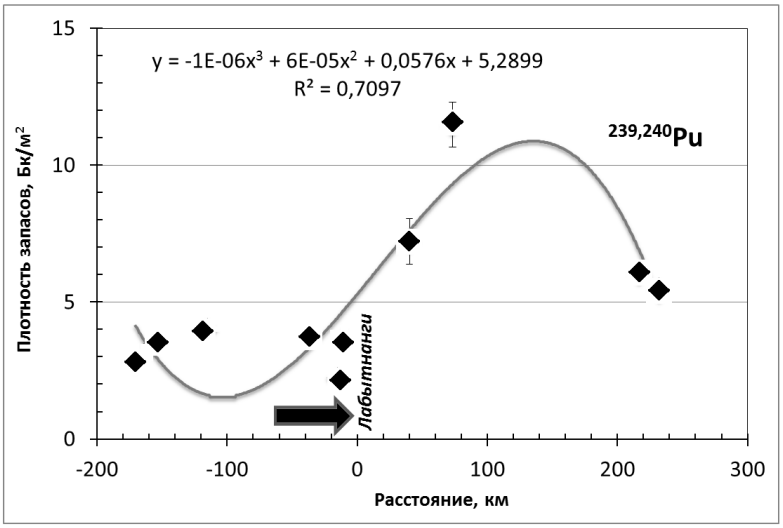


Рисунок 463 (в) – Средние значения плотности запасов Pu-239,240 в донных отложениях нижней Оби

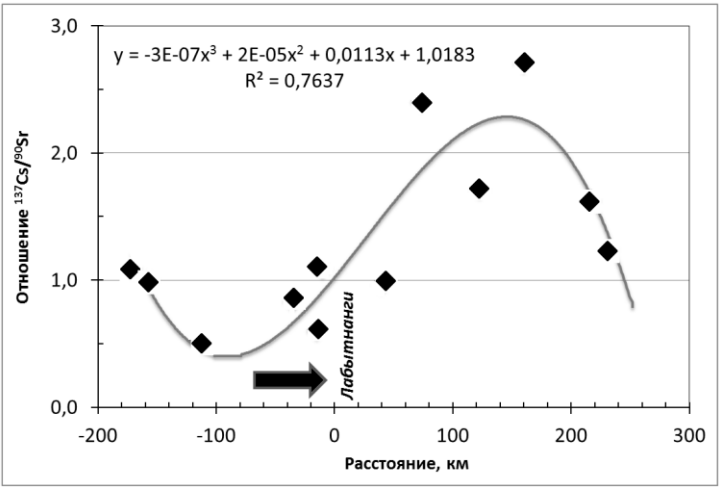


*Рисунок 464 (*а –^{137}Cs/^{90}Sr*) – Изменение изотопных отношений удельных активностей радионуклидов в донных отложениях исследованных створов Оби (2013-2016 гг.)*

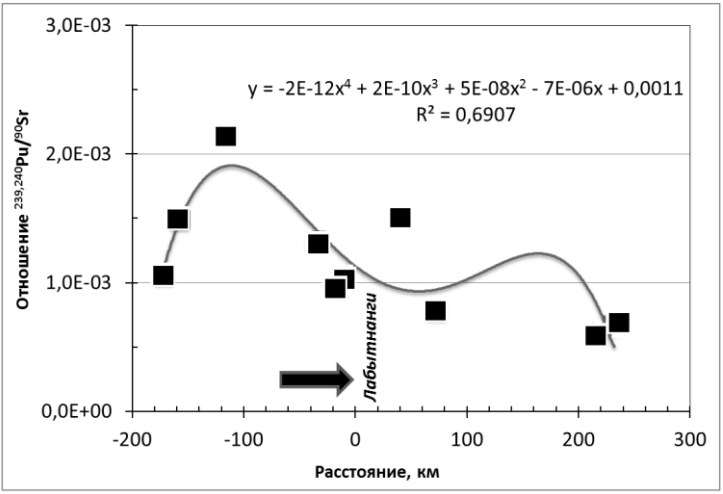


Рисунок 464 (б – ^{239,240}Pu/^{90}Sr) – Изменение изотопных отношений удельных активностей радионуклидов в донных отложениях исследованных створов Оби (2013-2016 гг.)

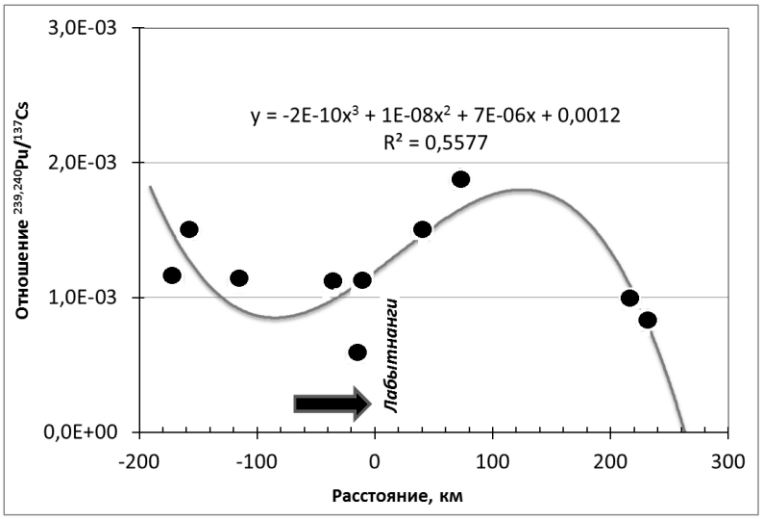


Рисунок 464 (в – $^{239,240}Pu/^{137}Cs$) – Изменение изотопных отношений удельных активностей радионуклидов в донных отложениях исследованных створов Оби (2013-2016 гг.)

Оценка интегральных запасов техногенных радионуклидов в донных отложениях нижней Оби с условной шириной русла реки 3 км дает следующие величины, Бк:

а) На участке от протоки Илюшинская до Лабытнанги (расстояния от -171 км до 0 км, участок обследованный в 2016 г.):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 3 \cdot \int_{-171}^{0} 3723.3 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{0.0034\underline{\mathbf{x}}}\, \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.448 \times 10^{12} \tag{22}$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 3 \cdot \int_{-171}^{0} \left(6.1171 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3653.4\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.606 \times 10^{12} \tag{23}$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{0} \left(-1.37 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 6.45 \cdot 10^{-5} \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 0.0576 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 5.29\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 9.256 \times 10^9 \tag{24}$$

б) На участке от Лабытнанги до Обской Губы (расстояния от -0 км до +260 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = \quad 10^{6} \cdot 3 \cdot \int_{-0}^{260} 3723.3 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{0.0034\underline{\mathbf{x}}}\, \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 4.667 \times 10^{12} \tag{25}$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = \quad 10^{6} \cdot 3 \cdot \int_{-0}^{260} \left(6.1171 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3653.4\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 3.47 \times 10^{12} \tag{26}$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = \quad 10^{6} \cdot 20 \cdot \int_{-0}^{260} \left(-1.37 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^{3} + 6.45 \cdot 10^{-5} \cdot \underline{\mathbf{x}}^{2} + 0.0576 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 5.29\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 4.27 \times 10^{10} \tag{27}$$

в) для участка поймы от протоки Илюшинская до протоки Мурьинская Объ (весь обследованный участок Оби в 2013-2016 гг, расстояния от -171 км до +232 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 3 \cdot \int_{-171}^{232} 3723.3 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{0.0034\underline{\mathbf{x}}}\, \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 5.393 \times 10^{12} \quad (28)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 3 \cdot \int_{-171}^{232} \left(6.1171 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3653.4\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 4.643 \times 10^{12} \quad (29)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{232} \left(-1.37 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 6.45 \cdot 10^{-5} \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 0.0576 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 5.29\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 5.033 \times 10^{10} \quad (30)$$

г) На участке от протоки Илюшинская до Обской Губы (расстояния от -171 км до +260 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 3 \cdot \int_{-171}^{260} 3723.3 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{0.0034\underline{\mathbf{x}}}\, \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 6.115 \times 10^{12} \quad (31)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 3 \cdot \int_{-171}^{260} \left(6.1171 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3653.4\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 5.076 \times 10^{12} \quad (32)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} \left(-1.37 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 6.45 \cdot 10^{-5} \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 0.0576 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 5.29\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 5.196 \times 10^{10} \quad (33)$$

Интегральная оценка запасов радионуклидов в донных отложениях русла с условной трехкилометровой шириной на участке Нижней Оби от створа протока Илюшинская до Обской Губы составляет $6{,}12\times10^{12}$ Бк для ^{90}Sr, $5{,}08\times10^{12}$ Бк для ^{137}Cs и $5{,}2\times10^{10}$ Бк для $^{239,240}Pu$. Полученная оценка донных запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs на исследуемом участке сопоставима с годовым стоком этих радионуклидов в створе Лабытнанги ($5{,}58\times10^{12}$ и $4{,}04\times10^{12}$ Бк соответственно) и примерно в четыре-пять раз меньше приведенной ранее расчетной величины запасов этих радионуклидов в пойме ($2{,}55\times10^{13}$ Бк для ^{90}Sr и $1{,}43\times10^{13}$ Бк для ^{137}Cs). Оценка запасов $^{239,240}Pu$ в донных отложениях близка к запасам в пойме ($4{,}34\times10^{10}$ Бк) и более чем на порядок величин превышает его годовой сток в створе Лабытнанги ($2{,}01\times10^{9}$ Бк).

Сравнительный анализ приведенных оценок с данными, полученными для Оби в границах ХМАО в 2009 г. показывает, что для ^{90}Sr интегральные запасы в пойме Оби в границах ХМАО, равные $2{,}6\cdot10^{13}$ Бк, в пять раз превышали запасы в донных отложениях $3{,}3\cdot10^{12}$ Бк, так же, как и для исследуемого участка нижней Оби. В противоположность этому, для ^{137}Cs величины запасов в пойме $-1{,}4\cdot10^{12}$ Бк были ниже, чем соответствующие запасы в донных отложениях $-2{,}5\cdot10^{12}$ Бк.

2.22.5 Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби

В 2016 г проведено исследование семи видов рыб, характеристика видового состава которых представлена в таблице 195. Результаты определения удельной активности ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в ихтиофауне приведены в таблице 196 и на рисунке 465.

Таблица 195

Характеристика видового состава исследованных видов рыб

Вид рыбы	Количество, кг	Возраст, лет	Муж./жен.
Щука	6 кг	3-4	7/3
Язь	5 кг	3-6	2/1
Окунь	6 кг	4-8	2/3
Щокур	6 кг	3-4	4/1
Налим	10 кг	6-8	1/4
Плотва	4 кг	4-8	19/14
Ряпушка	6 кг	3-4	4/1

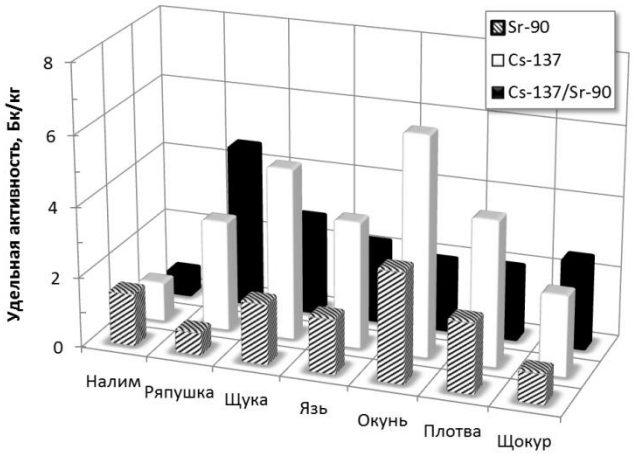


Рисунок 465 – Содержание техногенных радионуклидов и изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в ихтиофауне

Таблица 196

Удельная активность техногенных радионуклидов в ихтиофауне в створе Лабытнанги в 2016 г.

Вид рыбы	Повт.	Sr-90, Бк/кг сыр.массы		Cs-137, Бк/кг сыр.массы		Pu- 239,240 мБк/кг сыр.массы	
Налим	1	0,98	1,09±0,11	1,68	1,52 ±0,155	0,42	0,53±0,11
	2	1,2		1,37		0,64	
Ряпушка	1	2,98	3,10±0,125	0,75	0,67±0,075	0,38	0,45±0,07
	2	3,23		0,6		0,52	
Щука	1	4,61	4,84±0,23	1,82	1,76 ±0,06	0,94	1,06±0,12
	2	5,07		1,7		1,18	
Язь	1	3,36	3,58±0,22	1,46	1,60 ±0,14	0,73	0,84±0,11
	2	3,8		1,74		0,95	
Окунь	1	5,98	6,24±0,26	3,02	3,18±0,16	0,84	0,95±0,11
	2	6,5		3,34		1,06	
Плотва	1	3,92	4,12±0,2	1,92	2,04 ±0,12	0,38	0,49±0,12
	2	4,32		2,16		0,61	
Щокур	1	2,12	2,28±0,16	0,82	0,90 ±0,08	0,61	0,74±0,13
	2	2,44		0,98		0,88	

Содержание радионуклидов в ихтиофауне с учетом действующих нормативных требований незначительно и сопоставимо с аналогичными показателями для рыбы, обитающей в Оби и в Иртыше в границах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Согласно гигиеническим требованиям («Гигиенические…»,2001) содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе ограничивается нормативными показателями 100 и 130 Бк/кг соответственно. Максимальное содержание радионуклидов в 2016 г было зарегистрировано в окуне: ^{90}Sr – 6,5 Бк/кг и ^{137}Cs – 3,34 Бк/кг.

В соответствии с рекомендациями («ГОСТ 32161-2013…»,2013) и («ГОСТ 32163-2013…»,2013) проведено определение соответствия исследованных видов рыб, как пищевых продуктов, критериям радиационной безопасности с использованием показателя соответствия ***B*** и неопределенности его определения ***ΔB***. Значения указанных параметров рассчитывали по результатам измерений удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs по следующим формулам.

$$B = \left(\frac{Q}{H}\right)_{Sr\text{-}90} + \left(\frac{Q}{H}\right)_{Cs\text{-}137}, \qquad (34)$$

$$\Delta B = \sqrt{\left(\frac{\Delta Q}{H}\right)^2_{Sr\text{-}90} + \left(\frac{\Delta Q}{H}\right)^2_{Cs\text{-}137}}, \qquad (35)$$

где Q - измеренное значение удельной активности радионуклида в пробе;

H - допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте (для ^{90}Sr -100 Бк/кг, для ^{137}Cs - 130 Бк/кг);

ΔQ – абсолютная расширенная (при коэффициенте охвата k=2) неопределенность измерения удельной активности.

Рыба, как пищевой продукт, признается безусловно соответствующей критерию радиационной безопасности, если $\boldsymbol{B + \Delta B} \leq 1$.

Ниже приводится пример определения показателя соответствия для окуня, для которого в 2016 г. было зарегистрировано наивысшее из всех исследованных видов рыб содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs:

$$B = 6{,}24/100 + 3{,}18/130 = 0{,}062 + 0{,}025 = 0{,}087; \qquad (36)$$

$$\Delta B = \sqrt{(0{,}26\times2/100)^2 + (0{,}16\times2/130)^2} = 0{,}0058 \qquad (37)$$

$$B + \Delta B = 0{,}087 + 0{,}0058 = 0{,}093 \qquad (38)$$

Следуя описанной методике вычислений, были выполнены расчеты по всем остальным исследованным видам рыбы. Результаты определения показателя соответствия критерию радиационной безопасности для исследованных видов рыб приведены в таблице 197.

Для всех семи исследованных видов рыб сумма показателя соответствия B и неопределенности его определения ΔB оказалась намного меньше 1, на основании чего исследованные виды рыб как пищевые продукты признаны безусловно соответствующими критерию радиационной безопасности, и могут быть рекомендованы для употребления в пищу населением.

Коэффициенты накопления радионуклидов в ихтиофауне, обитающей в нижней Оби, определенные как отношение удельной активности радионуклида в рыбе к удельной активности этого радионуклида в воде, приведены в таблице 198.

Таблица 197

Результаты определения показателя соответствия критерию радиационной безопасности промысловых видов рыб, исследованных в 2016 г.

Вид рыбы	Q_{Sr-90}, Бк/кг сыр.массы	Q_{Cs-137}, Бк/кг сыр.массы	В	ΔВ	В+ΔВ
Налим	1,09	1,525	0,023	0,003	0,026
Ряпушка	3,105	0,675	0,036	0,003	0,039
Щука	4,84	1,76	0,062	0,005	0,067
Язь	3,58	1,6	0,048	0,005	0,053
Окунь	6,24	3,18	0,087	0,006	0,093
Плотва	4,12	2,04	0,057	0,004	0,061
Щокур	2,28	0,9	0,030	0,003	0,033

Таблица 198

Коэффициенты накопления радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби

Вид рыбы	Радионуклид	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Налим	72,7	82,9
Ряпушка	207,0	36,7
Щука	322,7	95,7
Язь	238,7	87,0
Окунь	416,0	172,8
Плотва	274,7	110,9
Щокур	152,0	48,9

Анализ данных таблицы 198 показывает, что наибольшие величины коэффициента накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr имеют окунь, щука и плотва. Наименьший коэффициент накопления ^{137}Cs зарегистрирован у налима, ^{90}Sr – у ряпушки и щокура.

2.22.6 Итоги мониторинговых исследований 2016 года

1. Получены данные по содержанию ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в воде, донных отложениях и пойменных почвах в пяти створах в нижнем течении Оби (протока Римчим, протока Войкаровская, протока Илюшинская, протока Хале-Пугорская и в 10 км выше по течению от г. Лабытнанги (район о. Гахморка). Приведены математические модели, описывающие изменение содержания радионуклидов в воде, пойменных почвах и донных отложениях, в зависимости от расстояния от створа Лабытнанги.

2. Содержание в воде ^{90}Sr, как наиболее подвижного радионуклида, нестабильно, и немонотонно изменяется по течению реки, сначала возрастая на участке перед Лабытнанги, затем уменьшаясь после створа Лабытнанги, и вновь возрастая в выходных створах перед Обской Губой. Изменение удельной активности в воде по течению описывается кубическим полиномом ^{90}Sr (Бк/кг) = $1{,}30E\text{-}09x^3 - 2{,}71E\text{-}08x^2 - 4{,}73E\text{-}05x + 0{,}0138$ (где x расстояние в км от Лабытнанги), и с учетом расширенной неопределенности с коэффициентом охвата 2 на всем протяжении исследованного участка эта характеристика может быть представлена в виде среднего значения ^{90}Sr (Бк/кг) = 0,015 ± 0,006.

3. Удельная активность в воде ^{137}Cs по течению Оби характеризуется трендом с ниспадающей зависимостью, удовлетворительно описываемой кубическим полиномом

^{137}Cs (Бк/кг) = $3{,}07E\text{-}10x^3 - 4{,}40E\text{-}08x^2 - 3{,}25E\text{-}05x + 0{,}0097$ (где x расстояние в км от Лабытнанги). При этом максимальная удельная активность ^{137}Cs в воде 0,015 Бк/кг отмечена в створе Оби перед Лабытнанги (о. Гахморка) в 2016 г., а минимальная – 0,0011 Бк/кг в створе протока Большая Наречинская в 2015 г.

4. Оценка годовых стоков радионуклидов в створе Лабытнанги дала следующие величины: ^{137}Cs – $4{,}0\times10^{12}$ Бк, ^{90}Sr – $5{,}6\times10^{12}$ Бк, $^{239,240}Pu$ – $2{,}0\times10^{9}$ Бк, ^{3}H – $1{,}5\times10^{15}$ Бк.

5. Используя математические модели горизонтального распределения техногенных радионуклидов вдоль течения Оби, выполнена оценка их запасов в пойменных почвах и донных отложениях нижней Оби. Интегральные запасы ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в пойме на исследованном участке длиной 431 км (171 км перед Лабытнанги и 260 км после Лабытнанги) составили $2{,}6\times10^{13}$, 1.4×10^{13} и $4{,}3\times10^{10}$ Бк, соответственно. Интегральные запасы этих радионуклидов в донных отложениях равны $6{,}1\times10^{12}$, 5.1×10^{12} и $5{,}2\times10^{10}$ Бк.

6. В пойменных почвах нижней Оби плотность запасов ^{137}Cs возрастает по течению с 1000 до 3000 Бк/м^2, величина плотности запасов ^{90}Sr варьирует около среднего значения 2953±750 Бк/м^2. Плотность запасов ^{90}Sr в пойменных почвах имеет максимальное значение 3594 Бк/м^2 в створе протоки Кривая Обь, ^{137}Cs – 3231 Бк/м^2 в створе протоки Мурьинская, зарегистрированные в 2015 г.

7. На основании анализа изотопных отношений $^{239,240}Pu/^{137}Cs$ в пойменных почвах высказано предположение, что значительная часть этих почв загрязнена техногенными радионуклидами в результате испытаний ядерного оружия в 1955-1963 гг. Такая пойма служит источником вторичного загрязнения реки Обь радиоактивными веществами в результате ежегодного вымывания последних из почвы во время паводков.

8. Плотность запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях Нижней Оби возрастает по течению. Плотность запасов ^{90}Sr в донных отложениях имеет максимальное значение 9947 Бк/м^2 в створе протоки Большая Наречинская, ^{137}Cs – 6593 Бк/м^2 в створе протоки Мурьинская (2015 г). Величины плотностей запасов в донных отложениях примерно вдвое превышают соответствующие характеристики для пойменных почв.

9. В 2016 г. исследовано семь видов рыб: налим, ряпушка, щука, язь, окунь, плотва, щокур. Содержание радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби не превышает установленных санитарных норм, и находится в пределах (0,7÷3,2) Бк/кг по Cs-137, (1,1÷6,2) Бк/кг по Sr-90 и (0,45÷1,06) мБк/кг по $^{239,240}Pu$. По результатам определения показателя соответствия критерию радиационной безопасности все исследованные виды рыбы как пищевые продукты признаны безусловно соответствующими критерию радиационной безопасности и могут быть рекомендованы для употребления в пищу населением.

10. Учитывая нестабильную радиоэкологическую обстановку как в системе рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш, так и в реке Обь на границе Томской области и ХМАО, целесообразно проводить ежегодные мониторинговые исследования миграции, накопления и перераспределения основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа.

2.23.Миграция, накопление и перераспределение основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. 2017 г.

2.23.1 Общая характеристика исследуемого участка Оби и точек отбора проб

В 2017 г исследовано шесть точек на левобережных притоках нижней Оби, координаты и расположение которых приведены в таблице 199 и на карте-схеме (рисунок 466). Для определения удаленности исследованных участков относительно створа Лабытнанги, выбранного в качестве нулевой точки отсчета, использовали Яндекс-карты и встроенный функциональный инструментарий «Яндекс-линейка». Упрощенная формализованная графическая схема исследованных рек Оби приведена на рисунке 467.

Таблица 199

Характеристика участков отбора проб на исследованных в 2017 г. притоках Оби

Створ	Координаты
устье реки Хадытаяха	N:66^{0}55.178’ E:069^{0}07.267’
Устье реки Щучья	N:66^{0}49.607’ E:068^{0}17.150’
р.Щучья в районе Моста	N:67^{0}29.289’ E:067^{0}25.998’
Устье реки Ланготъеган	N:66^{0}49.523’ E:067^{0}36.524’
р.Ланготъеган в районе Моста	N:67^{0}13.533’ E:067^{0}02.620’
р.Обь в створе 10 км выше г.Лабытнанги	N:66^{0}30.201’ E:066^{0}24.845’

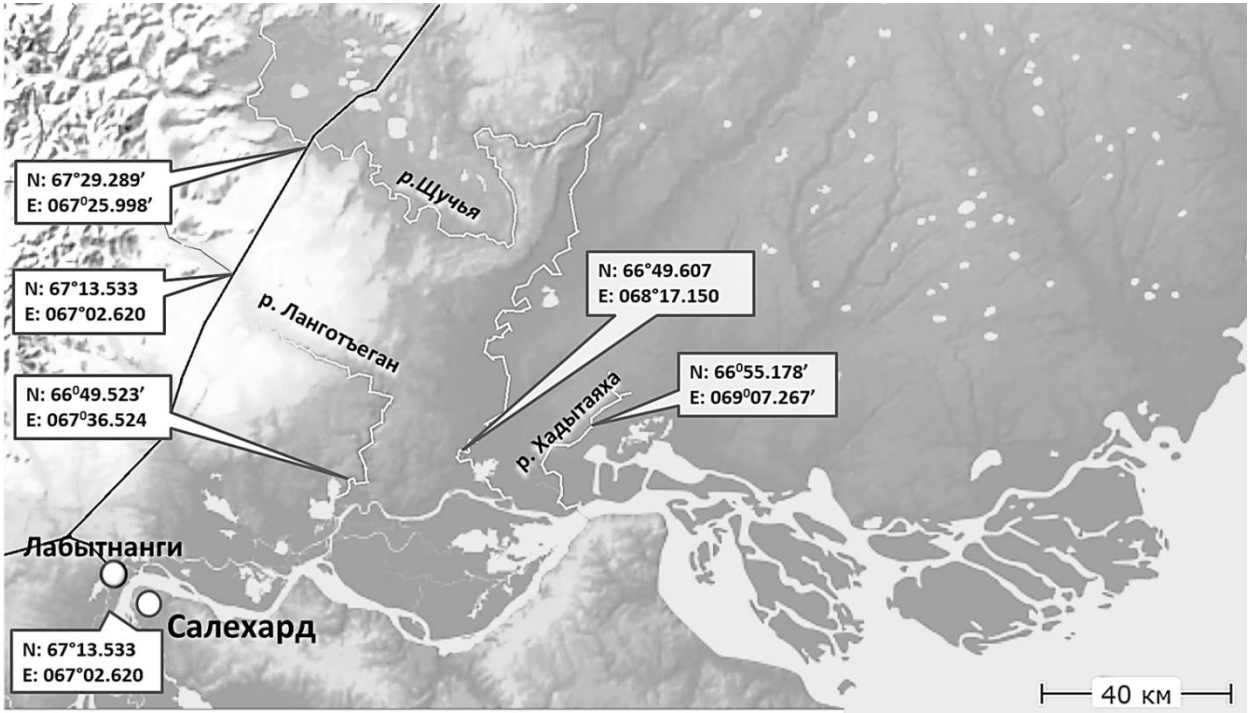


Рисунок 466 – Карта-схема района исследований

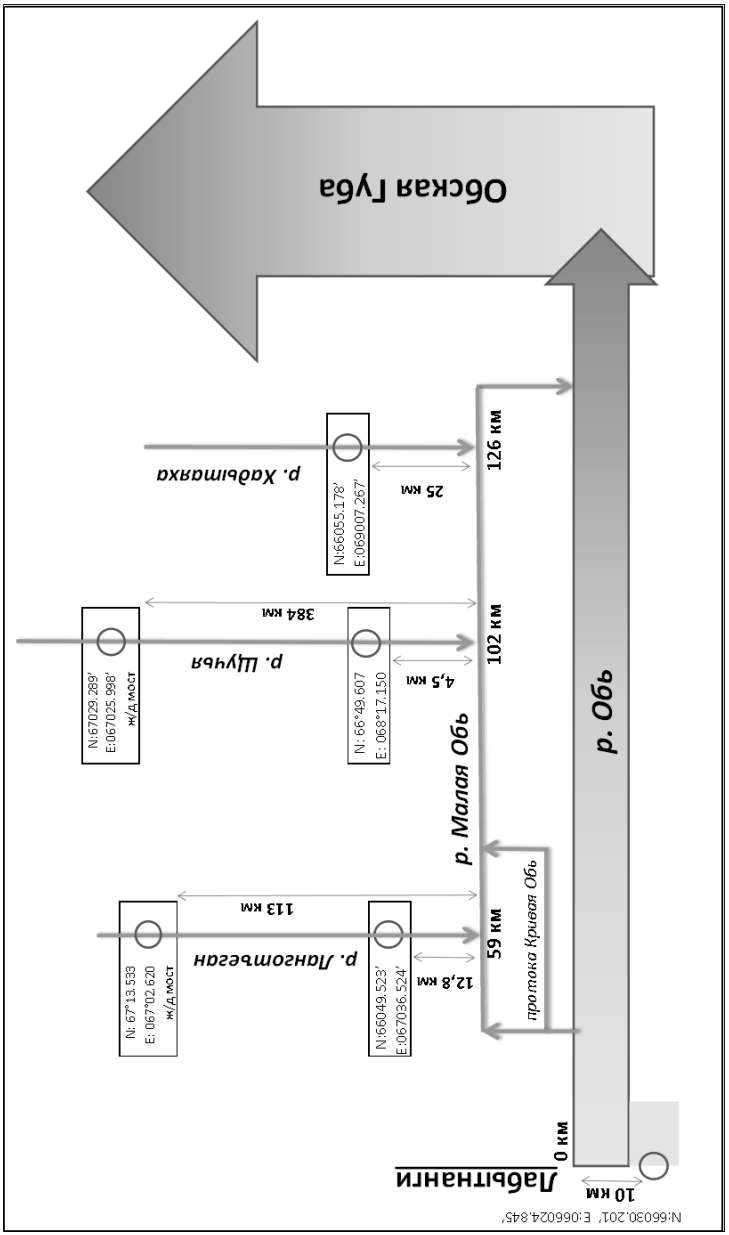


Рисунок 467 – Формализованная графическая схема расположения створов исследованных притоков Оби

2.23.2 Содержание радионуклидов в воде и оценка годового стока радионуклидов

2.23.2.1 Содержание в воде ^{137}Cs, ^{90}Sr и ^{239,240}Pu

В таблице 200 приведены результаты измерения удельной активности ^{137}Cs, ^{90}Sr и ^{239,240}Pu, характеризующие содержание радионуклидов в пробах воды в исследованных створах Оби, графически представленные также диаграммами на рисунке 468.

Минимальные величины удельной активности в воде ^{137}Cs 0,0011±0,0004Бк/кг и ^{90}Sr 0,004±0,001 Бк/кг зарегистрированы в наиболее удаленном от русла Оби створе р. Щучья, расположенного в районе железнодорожного моста, который также является и самой северной точкой отбора проб из всех створов, исследовавшихся как в текущем году, так и в предыдущих экспедициях 2013-2016 гг. В створе р. Щучья вблизи устья (4,5 км от Оби) содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr примерно вдвое выше – 0,0016±0,0004 и 0,0085±0,0005 Бк/кг соответственно, что близко к уровням на входе исследуемого участка нижней Оби в створе вблизи Лабытнанги – 0,0017±0,0002 и 0,009±0,001 Бк/кг. В двух других приустьевых створах рек Ланготъеган и Хадытаяха содержание радионуклидов зарегистрировано на уровне (0,012÷0,013)±0,002 Бк/кг по ^{90}Sr и (0,0022÷0,025)±0,0002 по ^{137}Cs Бк/кг, что в полтора раза выше, чем в створах Лабытнанги и р.Щучья (устье).

Минимальные и близкие по величине удельные активности ^{239,240}Pu 26,4±1,8 и 24,6±2,2 мкБк/кг, отмечены соответственно в воде р. Щучья и р. Ланготъеган в створах в районе железнодорожных мостов, т.е. также в самых удаленных от русла Оби и самых северных исследованных створах рек.

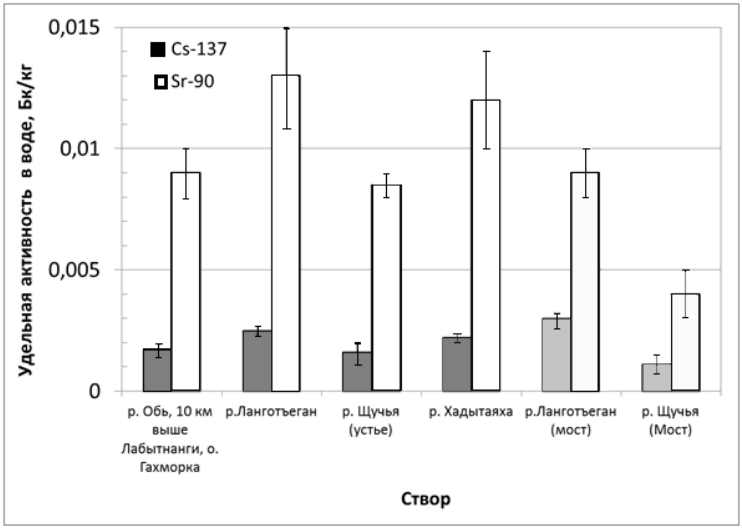
Таблица 200

Удельная активность радионуклидов в пробах воды в исследованных створах Оби

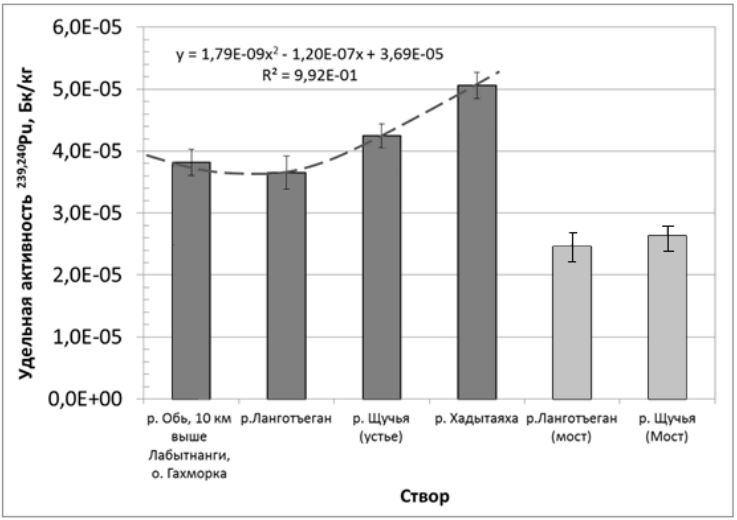
Точка отбора	проба	^{137}Cs,	^{90}Sr	$^{239,240}Pu$
		Бк/кг	Бк/кг	мкБк/кг
р. Обь, 10 км выше Лабытнанги, о. Гахморка	повт №1	0,0019±0,0004	0,010±0,0007	40,3±3,7
	повт №2	0,0015±0,0002	0,008±0,0004	36,1±3,2
	среднее	**0,0017±0,0002**	**0,009±0,001**	**38,2±2,1**
р.Ланготъеган мост	повт №1	0,0028±0,0004	0,008±0,0003	22,4±2,5
	повт №2	0,0032±0,0006	0,010±0,0004	26,8±3,1
	среднее	**0,0030±0,0002**	**0,009±0,001**	**24,6±2,2**
р.Ланготъеган устье	повт №1	0,0027±0,0006	0,015±0,0008	39,2±4,3
	повт №2	0,0023±0,0005	0,011±0,0004	33,8±3,1
	среднее	**0,0025±0,0002**	**0,013±0,002**	**36,5±2,7**

Таблица 200 (Окончание)

Точка отбора	проба	^{137}Cs,	^{90}Sr	$^{239,240}Pu$
		Бк/кг	Бк/кг	мкБк/кг
р. Щучья (Мост)	повт №1	0,0010±0,0002	0,005±0,0003	28,3±3,2
	повт №2	0,0012±0,0003	0,003±0,0001	24,7±2,3
	среднее	**0,0011±0,0004**	**0,004±0,001**	**26,4±1,8**
р. Щучья устье	повт №1	0,0015±0,0003	0,008±0,0006	44,4±3,9
	повт №2	0,0017±0,0004	0,009±0,0004	40,6±2,7
	среднее	**0,0016±0,0004**	**0,0085±0,0005**	**42,5±1,9**
р. Хадытаяха устье	повт №1	0,0024±0,0004	0,014±0,004	52,7±5,4
	повт №2	0,0020±0,0005	0,010±0,003	48,5±4,1
	среднее	**0,0022±0,0002**	**0,012±0,002**	**50,6±2,1**



а



б

Рисунок 468 – Удельные активности ^{137}Cs, ^{90}Sr и $^{239,240}Pu$ в воде исследованных рек

В целом, удельные активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде устьевых створов исследованных рек подвержены немонотонным вариациям вдоль русла Оби с максимальными значениями в устье р. Ланготъеган (рисунок 468 а) – по ^{137}Cs: 0,0025±0,0002 Бк/кг и по ^{90}Sr: 0,013±0,002 Бк/кг, в то время как содержание $^{239,240}Pu$ демонстрирует устойчивый возрастающий тренд по течению Оби с максимумом 50,6±2,1 мкБк/кг в створе р. Хадытаяха – самом последнем на исследуемом участке Оби (рисунок 468 б).

Принимая во внимание данные по удельной активности радионуклидов в створах Оби, исследованных в 2014-2016 гг. (рисунок 469), можно отметить, что результаты определения содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде приустьевых створов левобережных притоков нижней Оби, зарегистрированные в 2017 г, удовлетворительно согласуются с общими трендами, полученными ранее. В то же время удельные активности радионуклидов в исследованных левобережных притоках Оби в 2017 г показали значения немного ниже, чем прогнозируют тренды, основанные на результатах предыдущих исследований.

Удельные активности $^{239,240}Pu$ в воде левобережных притоков Оби, зарегистрированные в 2017 г., напротив, слабо согласуются с общим спадающим трендом. Как уже отмечено выше, содержание $^{239,240}Pu$ в приустьевых створах левобережных притоков нижней Оби демонстрирует при этом тенденцию к возрастанию по течению Оби, что указывает на наличие источника поступления плутония из пойм этих рек.

С учетом данных 2017 г. эмпирические модели, представляющие тренды изменений удельной активности радионуклидов в воде нижней Оби, представлены следующими регрессионными уравнениями:

Рисунок 469 (а) – Удельные активности ^{90}Sr в воде исследованных рек

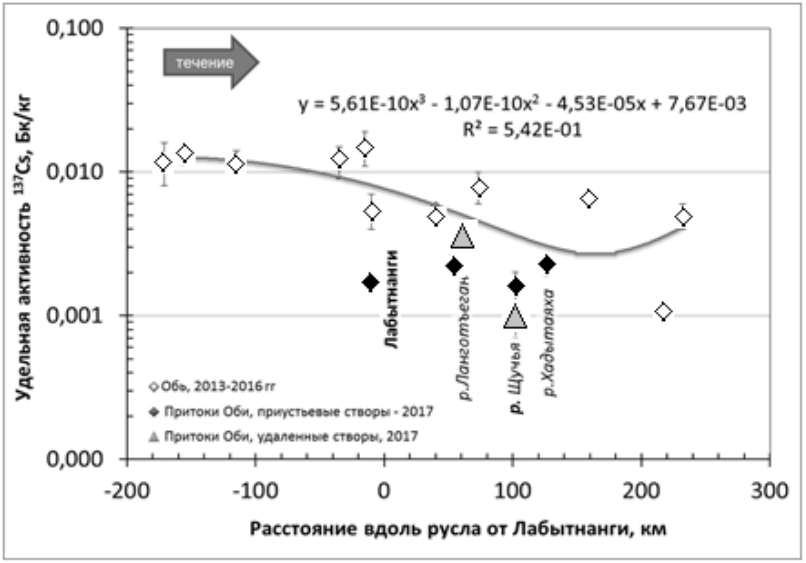


Рисунок 469 (б) – Удельные активности ^{137}Cs в воде исследованных рек

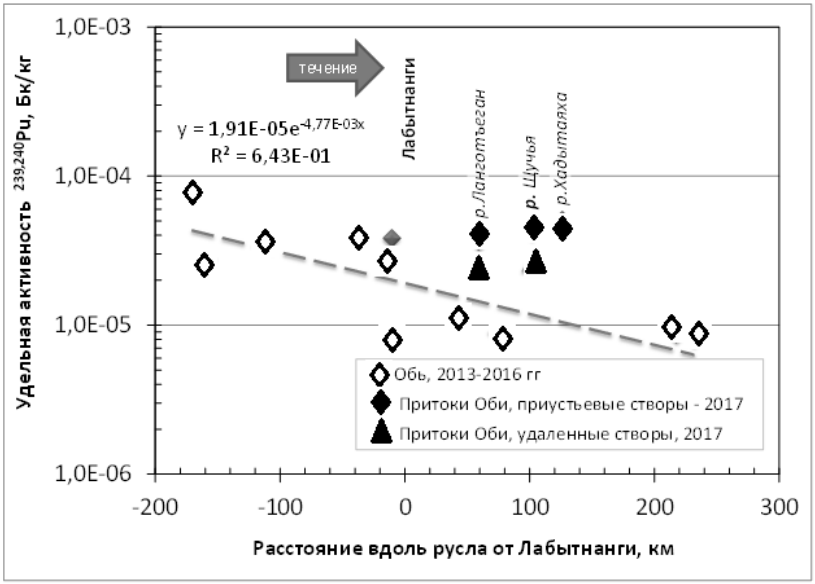


Рисунок 469 (в) – Удельные активности $^{239,240}Pu$ в воде исследованных рек

$$^{90}Sr = 1{,}04\times10^{-9}x^3 + 1{,}36\times10^{-8}x^2 - 3{,}96\times10^{-5}x + 1{,}3\times\times10^{-2};\ R^2 = 0{,}49 \quad (1)$$

$$^{137}Cs = 5{,}61\times10^{-10}x^3 - 1{,}07\times10^{-10}x^2 - 4{,}53\times10^{-5}x + + 7{,}67\times10^{-3};\ R^2 = 0{,}54 \quad (2)$$

$$^{239,240}Pu = 1{,}91\times10^{-5}\exp(-0{,}0048x).;\ R^2 = 0{,}64 \quad (3)$$

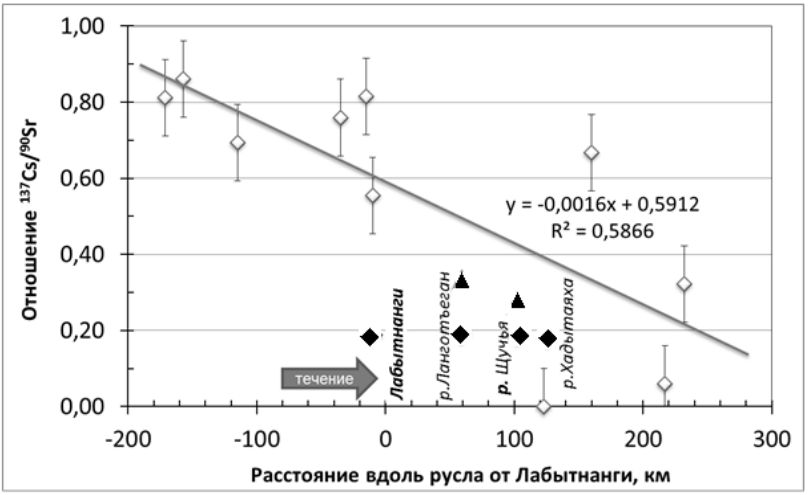
где x – расстояние до створа Лабытнанги в километрах (здесь и далее во всех формулах), а удельные активности радионуклидов выражены в Бк/кг.

Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ удельных активностей в воде Оби (рисунок 470 а) снижается от значений, близких к единице для наиболее удаленных створов, до значений 0,2 (и ниже) для створов, расположенных

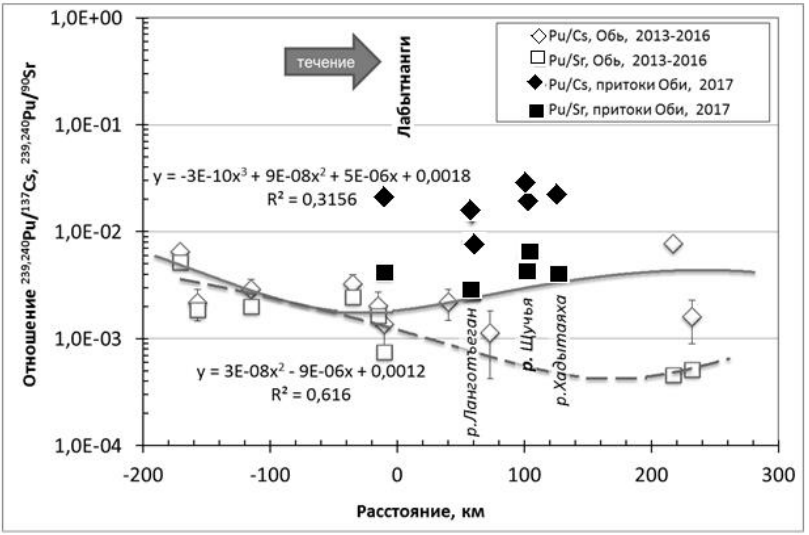
ближе к Обской Губе, и удовлетворительно аппроксимируется линейным уравнением регрессии y = -0,0016x + 0,59 с коэффициентом достоверности аппроксимации R^2=0,59. Такой ниспадающий тренд зависимости объясняется более высокой подвижностью ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs, который легко сорбируется и удерживается донными и пойменными грунтами, вследствие чего содержание его в воде по течению реки уменьшается. Изотопные отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ удельных активностей в воде исследованных в 2017 г. левобережных притоков Оби, лежащие в диапазоне значений 0,2-0,3, хотя и находятся ниже линии общего тренда, однако это удовлетворительно согласуются с общей закономерностью спада отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ по течению нижней Оби.

В настоящее время фоновые значения глобального радиоактивного загрязнения по ^{90}Sr и ^{137}Cs составляют соответственно 0,045 и 0,08 Ки/км^2(или 1665 и 2960 Бк/м^2) («UNSCEAR», 1988), что дает отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ = 1,8. Из данных, приведенных на рисунке 470, следует, что глобальное изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$, равное 1.8, не достигается ни в одном из обследованных створов Оби, но наиболее близко к указанной величине (~1) на входе участка нижней Оби, т.е. в наиболее удаленных от Обской Губы створах.

Изотопные отношения $^{239,240}Pu/^{137}Cs$ и $^{239,240}Pu/^{90}Sr$ для удельных активностей в воде исследованных в 2017 г. левобережных притоков Оби почти на порядок превышают аналогичные отношения в створах Оби (рисунок 470 б). Зарегистрированные данные располагаются существенно выше линий соответствующих трендов, и, по всей видимости, именно поступление плутония из пойм многочисленных малых притоков нижней Оби объясняет возрастающий конечный участок этих трендов.



(а)



(б)

Рисунок 470 – Изотопное отношение удельных активностей в воде $^{137}Cs/^{90}Sr$ (а), $^{239,240}Pu/^{137}Cs$ и $^{239,240}Pu/^{90}Sr$ (б)

2.23.2.2 Содержание трития в воде исследованных створов Оби

Величины удельной активности трития в пробах воды, отобранных в 2017 г, приведены в таблице 201.

Таблица 201

Удельная активность ^{3}H в воде в пробах воды в исследованных створах левобережных притоков Оби

Створ	Повторность	^{3}H, Бк/кг
Устье реки Хадытаяха	1	3,2±0,3
Координаты:	2	3,6±0,4
N:66^{0}55.178’ E:069^{0}07.267’	Ср.зн. **3,4**±0,2	
Устье реки Щучья	1	4,2±0,4
Координаты:	2	3,8±0,3
N:66^{0}49.607’ E:068^{0}17.150’	Ср.зн. **4,0**±0,2	
Река Щучья в районе Моста	1	2,3±0,3
Координаты:	2	2,1±0,2
N:67^{0}29.289’ E:067^{0}25.998’	Ср.зн. **2,2**±0,1	
Устье реки Ланготъеган	1	3,3±0,4
Координаты:	2	2,9±0,3
N:66^{0}49.523’ E:067^{0}36.524’	Ср.зн. **3,1**±0,2	
Река Ланготъеган в районе Моста	1	2,9±0,3
Координаты:	2	2,5±0,2
N:67^{0}13.533’ E:067^{0}02.620’	Ср.зн. **2,7**±0,2	
Река Обь в створе 10 км выше г.Лабытнанги	1	2,6±0,3
	2	2,8±0,3
Координаты: N:66^{0}30.201’ E:066^{0}24.845’	Ср.зн. **2,7**±0,1	

Представленные в таблице уровни близки к средним значениям, характерным для центральной полосы России. В соответствии с нормативными требованиями («Нормы…», 2009) уровень вмешательства (УВ) для трития составляет 7600 Бк/кг, т.е. зарегистрированные содержания ^{3}H намного ниже УВ.

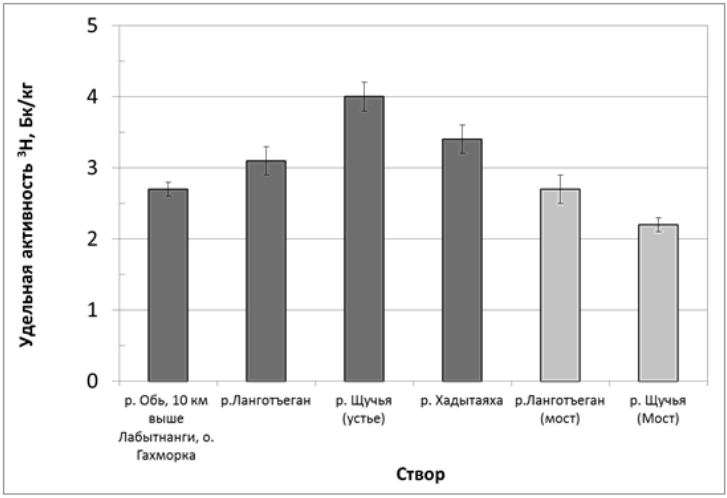
Изменение удельной активности трития в воде по течению Оби иллюстрируется диаграммами на рисунке 471.

Максимальное содержание трития в воде отмечено в устье створа р. Щучьей 4,0±0,2 Бк/кг; минимальные удельные активности зарегистрированы в наиболее удаленных от русла Оби створах рек Щучья в районе Моста 2,2±0,1 Бк/кг и Ланготъеган в районе моста 2,7±0,2 Бк/кг. Интересно отметить, что для р. Щучьей максимальное содержание трития в устье сочетается с минимальным его содержанием на входном створе реки.

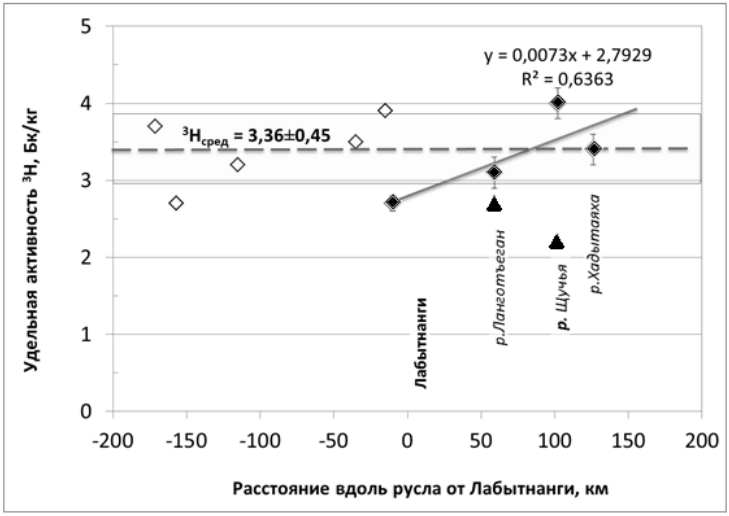
Для левобережных притоков Оби удельная активность трития в воде приустьевых створов удовлетворительно описывается возрастающим линейным трендом:

$$^{3}H\ (Бк/кг) = 0{,}0073x + 2{,}8;\ R^2 = 0{,}64 \qquad (4)$$

Как хорошо видно из графика на рисунке 471, основная часть экспериментальных точек в представленном массиве данных по тритию, охватывающем период 2016-2017 гг, располагается в интервале значений (3 ÷ 4) Бк/кг и удовлетворительно может быть представлена также средним значением $^{3}H_{сред}$ = 3,36±0,45 Бк/кг.



(а)



(б)

Рисунок 471 – Изменение удельной активности трития в воде исследованных створов левобережных притоков Оби в 2017 г (а) и створов Оби по течению (2017 г)

2.23.2.3 Оценка годовых стоков радионуклидов в нижней Оби

Годовой сток радионуклида определялся произведением его удельной активности в воде на годовой сток воды в створе. Для створа Лабытнанги (Салехард) соответствующие расчетные величины годовых стоков радионуклидов приведены в таблице 202. Удельные активности радионуклидов определены уравнениями регрессии, и в створе Лабытнанги (Салехард) вычислены при подстановке в качестве аргумента значения x=0. Для трития при расчетах использовано среднее значение активности на участке Оби, равное 3,36 Бк/л.

Величины рассчитанных годовых стоков радионуклидов наглядно сравнить с оценками, полученными для Оби в ходе многолетних (2003-2013 гг) исследований этой речной системы в границах ХМАО. Для реки Обь в месте слияния с Иртышом годовые стоки ^{137}Cs и ^{90}Sr с учетом их средних многолетних концентраций в воде составили $6{,}01\times10^{11}$ и $6{,}97\times10^{12}$ Бк соответственно.

Сопоставление этих величин с данными таблицы 202 показывает, что годовые стоки ^{90}Sr для створов Оби в Лабытнанги и вблизи Ханты-Мансийска близки между собой, в то время, как годовой сток ^{137}Cs в створе Лабытнанги 4,04E+12 Бк/год почти на порядок величин превышает таковой для Оби в месте слияния с Иртышом. Этот факт можно объяснить поступлением цезия-137 из мест его депонирования в пойме нижней Оби, расположенной между Ханты-Мансийском и Лабытнанги.

Таблица 202

Оценка годовых стоков радионуклидов в створе Лабытнанги (Салехард)

Параметр	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239,240}Pu$	^{3}H	Средний многолетний годовой сток воды, $м^3$
Средняя удельная активность радионуклида, $Бк/м^3$	7,62	12,96	1,91E-02	3360	3,94E+11
Годовой сток радионуклида, Бк	4,04E+12	5,58E+12	2,01E+09	1,54E+15	

2.23.3 Содержание радионуклидов в пойменных почвах нижней Оби и оценка интегральных запасов радионуклидов

Определение содержания ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в пойменных почвах реки Обь и ее притоках в 2017 г. было проведено в шести створах (по две точки в каждом створе) на глубину до 25-30 см с шагом пять сантиметров.

Результаты определения послойного содержания радионуклидов в пробах пойменных почв и расчетные величины плотностей запасов радионуклидов в пойменных почвах, полученные суммированием активностей всех слоев, приведены таблицах 203-214 и на рисунках 472-477.

Как видно из данных таблиц, суммарная плотность всех исследованных слоев пойменных почв цезием-137 варьирует от 619,8 Бк/м^2 (река Щучья, район Моста) до 48057,9 Бк/м^2 (устье реки Щучья). Расстояние между этими створами по реке составляет 382 км, которые активно концентрируют ^{137}Cs с площади водосбора, достигающей 3 км в ширину. В меньшей степени этот тренд характерен для суммарного загрязнения стронцием-90 аналогичных створов на Щучьей. Так, в точке под Мостом, интегральная плотность загрязнения исследованных пойменных слоев составляет 5762,3 Бк/м^2, увеличиваясь примерно в 3 раза. Как и в случае с ^{137}Cs, мы можем отметить эффект вымывания ^{90}Sr из заболоченной поймы реки Щучьей, загрязненной радионуклидами в результате глобальных выпадений радиоактивных веществ при многолетних испытаниях атомного оружия на Новоземельском ядерном полигоне. Река Лаготъеган значительно меньше, и к тому же исток ее берется в горах и она протекает, в основном, по песчано-галечной территории. Река Хадытаяха также значительно уступает р.Щучьей по площади водосбора.

Таблица 203

Плотность загрязнения техногенными радионуклидами пойменных почв реки Обь в створе 10 км выше г.Лабытнанги
Координаты: N:66^{0}30.201’E:066^{0}24.845’

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	301,6±31,7	284,2±18,4	628,3±63,2	617,4±9,7
	292,3±28,4		619,1±60,7	
	258,7±26,2		604,8±59,4	
5-10	372,7±36,2	398,7±18,7	694,5±68,4	708,2±10,3
	407,6±39,6		710,8±69,6	
	415,8±42,8		719,3±72,3	
10-15	325,9±26,1	312,6±13,4	649,2±65,4	636,7±9,0
	317,6±30,8		638,7±62,7	
	294,3±27,4		622,2±60,3	
15-20	254,8±24,1	274,2±14,4	491,2±48,2	511,3±15,2
	278,5±26,5		514,6±50,6	
	289,3±30,4		528,1±54,4	
Сумма всех слоев	1269,7		2473,6	

Таблица 204

Плотность загрязнения техногенными радионуклидами пойменных почв устья реки Хадытаяха
Координаты: N:66^{0}55.178’E:069^{0}07.267’

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	602,4±58,3	612,3±8,7	1534,9±162,7	1526,7±7,6
	610,6±62,8		15286±143,2	
	623,6±64,5		1516,6±154,8	
5-10	511,7±50,3	482,6±27,1	2519,3±262,4	2617,2±86,0
	493,2±48,6		2603,7±256,2	
	442,9±45,1		2728,6±283,9	
10-15	1084,6±118,5	1133,3±34,7	1718,5±164,1	1602,4±109,3
	1162,8±98,9		1632,8±179,5	
	1152,5±103,2		1455,9±134,2	

Таблица 204 (Окончание)

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
15-20	254,6±26,8	248,5±6,7	2581,4±262,3	2479,2±89,6
	251,7±23,5		2492,9±257,6	
	239,2±24,9		2363,3±228,9	
20-25	413,4±42,6	425,9±9,4	942,8±92,7	1021,1±76,0
	436,2±41,3		996,5±97,4	
	428,1±39,9		1124,0±125,9	
25-30	657,4±64,2	632,9±24,1	561,7±57,3	542,2±21,3
	641,2±67,8		552,4±54,4	
	600,1±58,3		512,5±49,6	
Сумма всех слоев	3535,5		9788,8	

Таблица 205

Плотность загрязнения техногенными радионуклидами пойменных почв устья реки Щучья
Координаты: N:66049.607’E:068017.150’ Точка №1

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	1227,6±1057,4	12090,0±1297,8	5288,7±548,3	5380,0±117,5
	13580,3±1129,2		5305,4±521,7	
	10417,1±985,7		5545,9±572,4	
5-10	6074,1±582,4	5922,5±803,7	5087,2±523,9	4932,2±140,2
	6822,2±603,6		4961,8±481,7	
	4871,2±412,9		4747,6±462,4	
Сумма двух слоев	18012,5		10312,2	

Таблица 205 (Окончание)

Точка №2

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	30864,2±3123,2	29333,3±1430,1	9420,3±912,9	10706,7±1349,2
	29712,5±2720,7		10129,5±1115,7	
	27423,2±2581,4		12570,3±1204,2	
5-10	17219,6±1413,1	18724,6±1361,4	6383,1±604,2	6240,4±132,7
	18437,2±1609,3		6274,7±589,9	
	20517,0±2105,2		6063,4±611,8	
Сумма двух слоев	48057,9		16947,1	

Таблица 206

Плотность загрязнения техногенными радионуклидами пойменных почв реки Щучья в районе Моста
Координаты: N:67^{0}29.289’ E:067^{0}25.998’

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	101.3±9.4	98.7±8,5	883,8±85,7	864,2±18,6
	107.6±11.3		869,5±91,2	
	87.2±8.2		839,3±78,5	
5-10	154.6±14.8	169.2±16,1	1004,5±109,2	1184,2±174,6
	161.3±18.2		1127,3±97,4	
	191.7±20.3		1420,8±150,6	
10-15	111.4±12.6	108.7±1,9	862,4±79,2	840,0±24,3
	107.6±9.4		851,3±88,1	
	107.1±8.7		806,3±82,3	

Таблица 206 (Окончание)

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
15-20	108.8±9.1	115,4±8,3	1154,6±108,9	1263,9±99,1
	110.3±12.4		1242,5±131,4	
	127.1±13,7		1394,6±128,2	
20-25	130.6±12.2	127,8±2,5	1724,2±168,9	1610,0±117,34
	128.2±11.7		1657,4±152,6	
	124.6±13.4		1448,7±139,1	
Сумма всех слоев	619,8		5762,3	

Таблица 207

Плотность загрязнения техногенными радионуклидами пойменных почв устья реки Ланготъеган
Координаты: N:66^{0}49.523’E:067^{0}36.524’

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	397,5±41,4	382,8±14,8	428,6±43,6	415,3±11,7
	388,3±37,6		417,2±39,8	
	362,6±35,1		400,1±38,2	
5-10	758,4±76,1	770,6±14,4	83,2±7,9	84,4±1,1
	762,3±73,2		84,1±8,2	
	790,7±81,4		85,9±8,7	
10-15	932,0±92,9	913,9±20,6	164,9±17,2	155,6±9,1
	924,6±94,7		158,6±15,3	
	885,1±83,2		143,3±13,8	
15-20	132,1±14,8	144,7±11,6	179,5±16,1	186,9±7,4
	141,9±15,1		184,1±17,4	
	160,1±15,7		197,1±20,2	
Сумма всех слоев	2212,0		842,2	

Таблица 208

Плотность загрязнения техногенными радионуклидами пойменных почв реки Ланготъеган в районе Моста
Координаты: N:67^{0}13.533’E:067^{0}02.620’

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	451,7±46,4	436,9±14,8	292,4±30,1	287,2±5,6
	442,3±42,7		289,7±27,5	
	416,7±39,5		279,5±26,2	
5-10	474,9±45,9	487,3±9,6	1826,0±172,6	2011,7±140,1
	488,6±46,2		2042,9±194,3	
	498,4±51,3		2164,7±231,7	
10-15	1573,2±144,6	1497,8±68,3	2431,2±251,7	2328,9±90,1
	1512,4±142,1		2343,5±228,4	
	1407,8±156,9		2212,0±217,2	
15-20	831,9±72,8	1005,1±132,7	1095,5±96,3	1252,3±116,5
	1028,9±96,7		1286,3±118,4	
	1154,2±121,2		1374,8±141,9	
Сумма всех слоев	3427,1		5880,1	

Поэтому, в пойменных почвах рек Ланготъеган и Хадытаяха мы не наблюдаем таких высоких величин плотности загрязнения радионуклидами, как в р.Щучьей.

В таблицах 209-214 приведены данные по загрязнению плутонием 239,240 пойменных почв рек Обь, Щучья, Ланготъеган, Хадытаяха. Как видно из этих таблиц, наибольшая плотность загрязнения плутонием приходится на реку Щучья, причем в устье это значение (112,0 Бк/м^2) более чем в 2 раза превышает величину плотности загрязнения данным радионуклидом в районе Моста (60,8 Бк/м^2). В данном случае объяснение будет аналогичным: ^{239,240}Pu вымывается с площади водосбора реки и концентрируется в пойменных почвах устья.

Таблица 209

Плотность загрязнения плутонием-239,240 пойменных почв реки Ланготъеган в районе Моста Координаты: N:67^{0}13.533’E:067^{0}02.620’

Слой, см	Плотность запасов ^{239,240}Pu, Бк/м^2	Среднее
0-5	21,8±2,0	23,2±1,4
	24,6±2,2	
5-10	32,9±3,1	34,6±1,7
	36,3±3,7	
Сумма двух слоев	57,8	

Таблица 210

Плотность загрязнения плутонием- 239,240 пойменных почв реки Обь в створе 10 км выше г.Лабытнанги Координаты: N:66^{0}30.201’E:066^{0}24.845’

Слой, см	Плотность запасов ^{239,240}Pu, Бк/м^2	Среднее
0-5	16,9±1,4	18,2±1,3
	19,5±2,1	
5-10	27,5±2,6	25,6±1,9
	23,7±2,4	
Сумма двух слоев	43,8	

Таблица 211

Плотность загрязнения плутонием- 239,240 пойменных почв устья реки Хадытаяха Координаты: N:66^{0}55.178’E:069^{0}07.267’

Слой, см	Плотность запасов ^{239,240}Pu, Бк/м^2	Среднее
0-5	9,6±0,8	10,7±1,1
	11,8±1,2	
5-10	25,1±2,3	26,3±1,2
	27,5±2,9	
Сумма двух слоев	37,0	

Таблица 212

Плотность загрязнения плутонием- 239,240 пойменных почв устья реки Щучья
Координаты: N:66^{0}49.607’E:068^{0}17.150’

Слой, см	Плотность запасов ^{239,240}Pu, Бк/м^2	Среднее
0-5	47,5 ±4,4	49,7±2,2
	51,9 ±5,4	
5-10	60,7 ±5,8	62,3±1,6
	63,9 ±6,6	
Сумма двух слоев	112,0	

Таблица 213

Плотность загрязнения плутонием- 239,240 пойменных почв отложениях реки Щучья в районе Моста
Координаты: N:67^{0}29.289’ E:067^{0}25.998’

Слой, см	Плотность запасов ^{239,240}Pu, Бк/м^2	Среднее
0-5	26,8 ±2,4	28,7±1,9
	30,6 ±3,2	
5-10	33,8 ±3,5	32,1±1,7
	30,4 ±2,8	
Сумма двух слоев	60,8	

Таблица 214

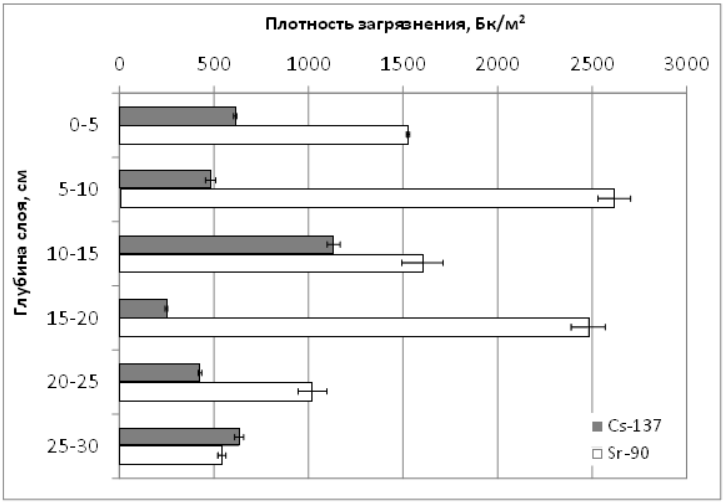
Плотность загрязнения плутонием- 239,240 пойменных почв отложениях устья реки Ланготъеган Координаты: N:66^{0}49.523'E:067^{0}36.524'

Слой, см	Плотность запасов ^{239,240}Pu, Бк/м^2	Среднее
0-5	3,8±0,3	4,0±0,2
	4,2±0,4	
5-10	6,5±0,7	6,3±0,2
	6,1±0,5	
Сумма двух слоев	10,3	

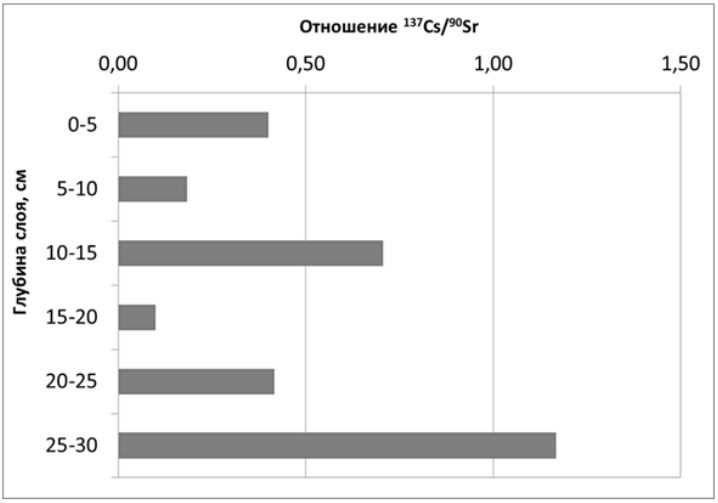
Вертикальное распределение содержания техногенных радионуклидов (плотность запасов) в пойменных почвах приведено на рисунках 472-477.

В устье реки Хадытаяха вертикальное распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в пойменных почвах характеризуются максимальными уровнями в средних слоях 10-20 см и снижением активности в верхнем и более глубоких слоях. При этом в глубоких слоях содержание радионуклидов снижается в пять раз, до величин около 500 Бк/м^2 (рисунок 472 а). Изотопное отношение ^{137}Cs/^{90}Sr достигает максимума, превышающего 1, в самых глубоких слоях поймы (рисунок 472 б).

В пойме в устье реки Щучьей плотность загрязнения ^{137}Cs достигает максимального и экстремально высокого содержания более 20000 Бк/м^2 в самом верхнем 0-5 см слое, снижаясь вдвое на глубине 5-10 см (рисунок 473 а). Плотность загрязнения ^{90}Sr в 2-2,5 раза ниже, и также максимальна в верхнем слое. Изотопное отношение ^{137}Cs/^{90}Sr при этом изменяется с глубиной не столь радикально – с 2,5 до 2 (рисунок 473 б).

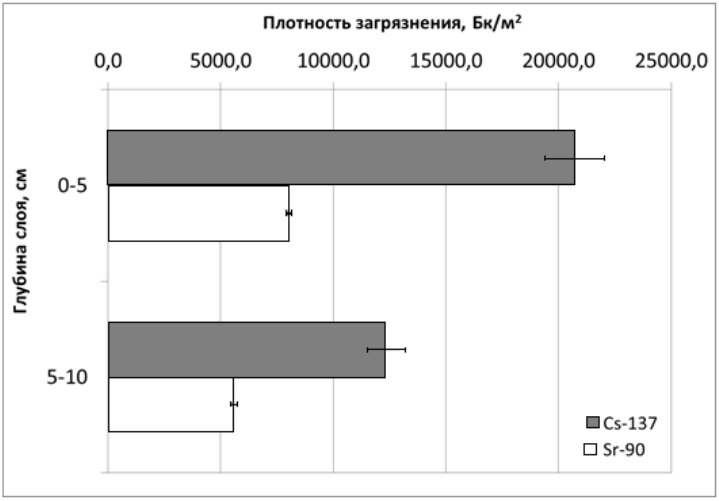


(а)

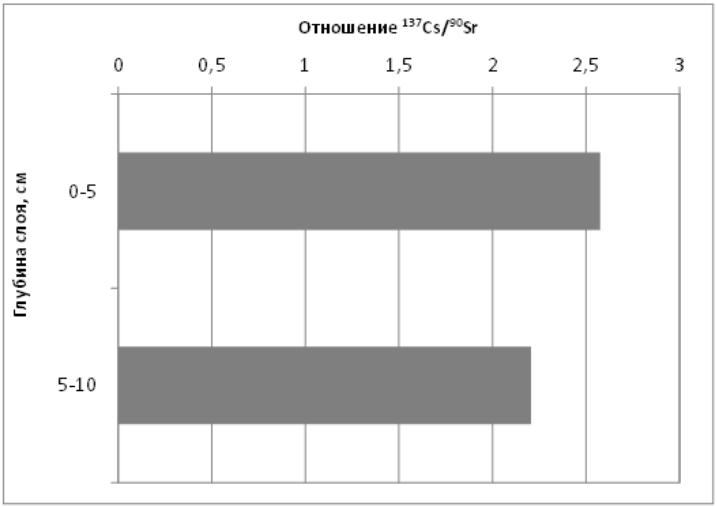


(б)

Рисунок 472 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в пойменных почвах в устье реки Хадытаяха

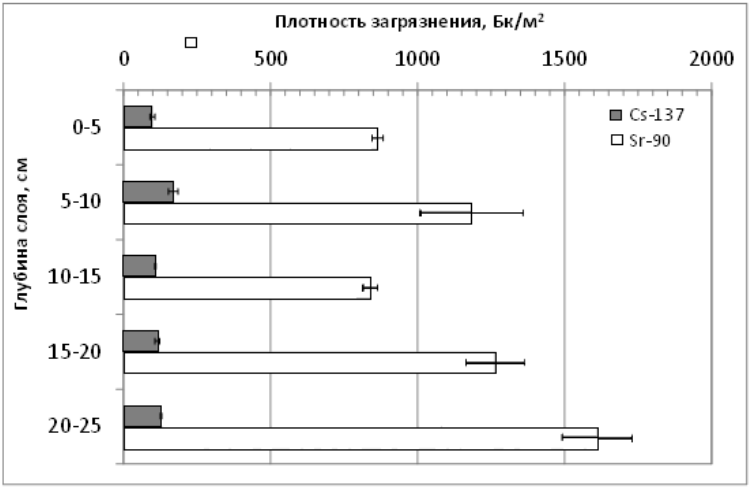


(а)

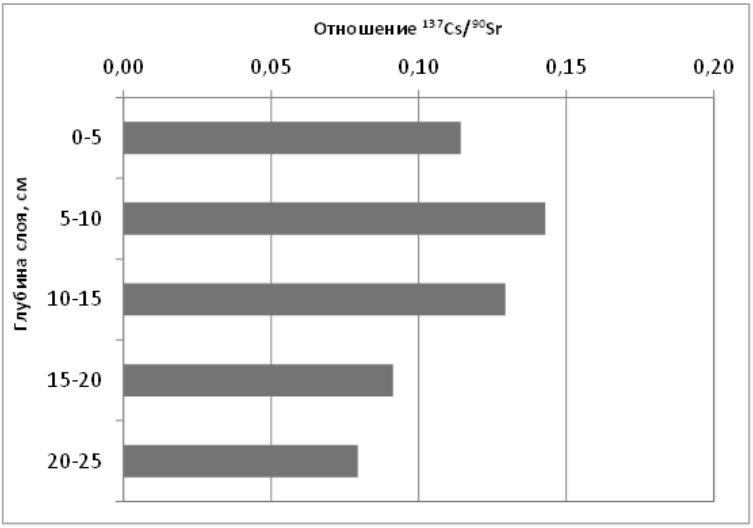


(б)

Рисунок 473 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в пойменных почвах в устье реки Щучья

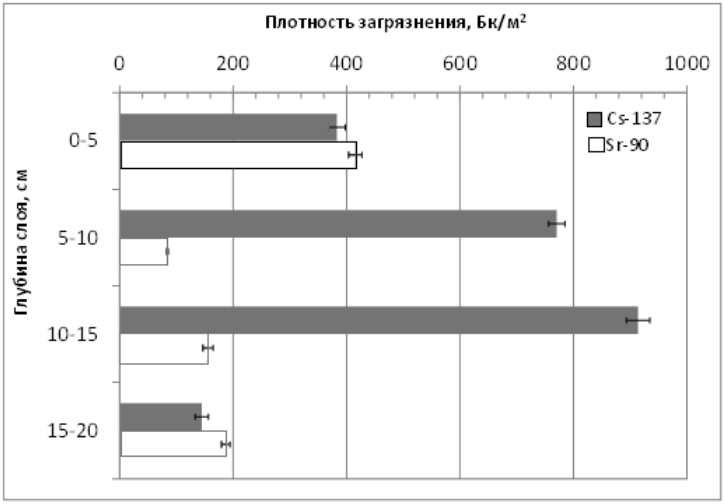


(а)

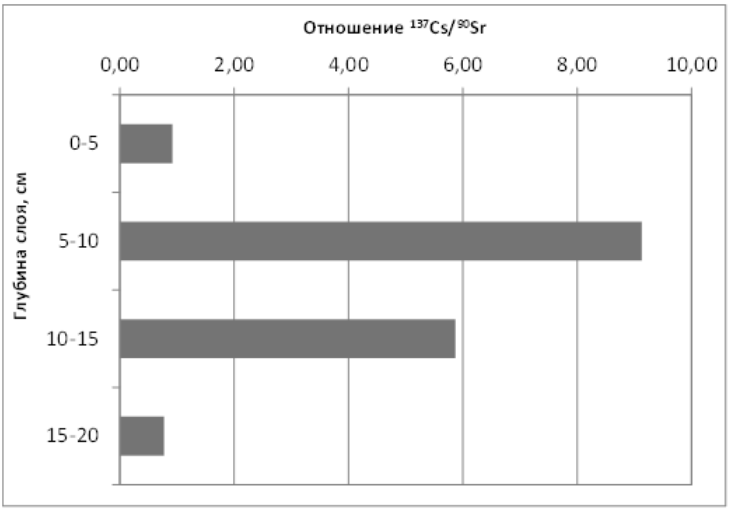


(б)

Рисунок 474 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в пойменных почвах реки Щучья в районе моста

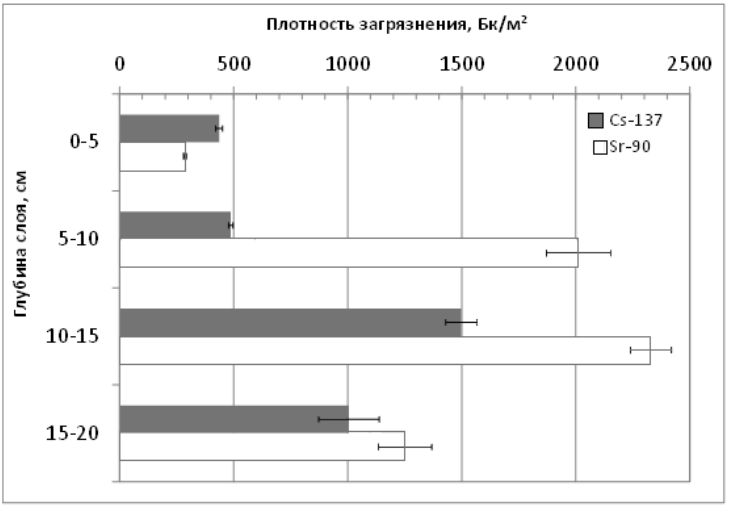


(а)

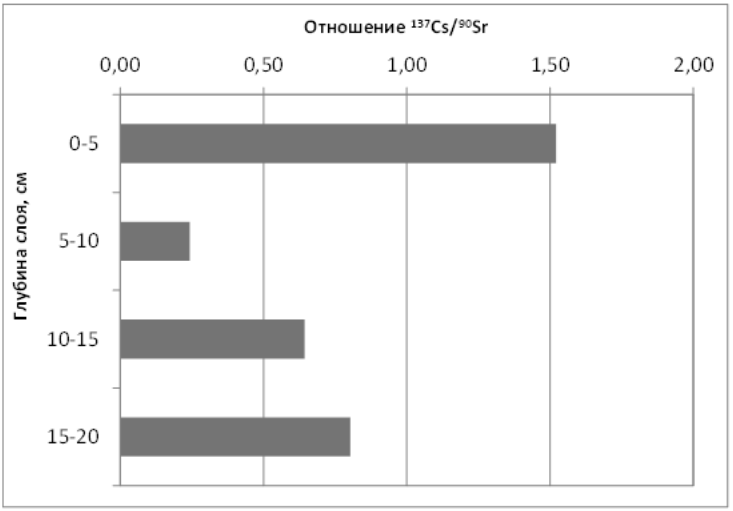


(б)

Рисунок 475 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в пойменных почвах устья реки Ланготъеган

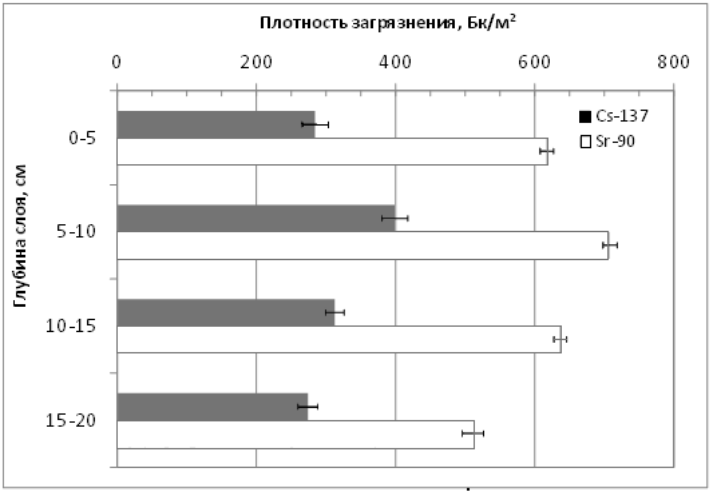


(а)

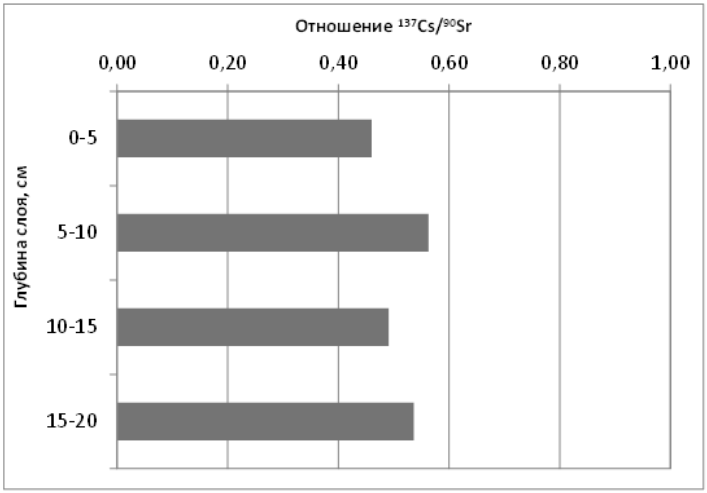


(б)

Рисунок 476 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в пойменных почвах реки Ланготъеган в районе моста



(а)



(б)

Рисунок 477 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в пойменных почвах реки Обь в створе 10 км выше г.Лабытнанги

В створе р. Щучьей в районе моста (рисунок 474 а) плотность загрязнения ^{90}Sr увеличивается с глубиной, достигая 1700 Бк/м^{2}в нижнем слое 20-25 см. Содержание ^{137}Cs при этом очень мало и практически одинаково во всех слоях – 200-350 Бк/м^2.

В пойменных почвах устья реки Ланготъеган (рисунок 475 а) плотность загрязнения радионуклидами невелика – для ^{90}Sr максимальна в верхнем слое 0-5 см, и по величине равна плотности загрязнения ^{137}Cs – около 400 Бк/м^2. Далее с глубиной содержание ^{90}Sr резко уменьшается, и в оставшихся слоях слабо увеличивается от 100 до 200 Бк/м^2, а плотность загрязнения ^{137}Cs последовательно нарастает, достигая максимального уровня 900 Бк/м^2 в слое 10-15 см.

Плотность загрязнения в пойме р. Ланготъеган в районе моста (рисунок 476 а) для обоих радионуклидов послойно увеличивается, достигая максимальных величин по ^{137}Cs 1500 Бк/м^2 и по ^{90}Sr 2328 Бк/м^2 на глубине 10-15 см, и уменьшаясь вдвое в слое 15-20 см.

В створе 10 км выше г. Лабытнанги отмечено постепенное увеличение удельной активности радионуклидов по глубине пойменных почв, при этом максимальное содержание ^{90}Sr 700 Бк/м^2 достигалось на глубине 5-10 см, а ^{137}Cs 400 Бк/м^2 на глубине 5-10 см (рисунок 477 а).

Профили изотопных отношений ^{137}Cs/ ^{90}Sr в поймах рек Щучья (мост) (рисунок 474б) и Ланготъеган (устье и мост) имеют то общее свойство, что демонстрируют максимум в верхних слоях 5-10 см или 0-5 см, причем в первом случае это отношение много меньше единицы и равно 0,14 (рисунок 474 б), а во втором случае – больше единицы (рисунок 476 б), и в устье р. Ланготъеган достигает 9,0 (рисунок 475 б).

В створе Лабытнанги изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ практически не меняется с глубиной и близко к 0,5-0,6 (рисунок 477 б).

Изменение по течению значений плотности запасов радионуклидов в пойме исследованных рек показано на рисунке 478. Плотность запасов в пойме ^{90}Sr почти постоянна, изменяясь в диапазоне 2954 ± 750 Бк/м^2. а ^{137}Cs – трехкратно возрастает по течению Оби (с 1000 до 3000 Бк/м^2). В приустьевых створах рек Щучья и Хадытаяха плотности запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr крайне высоки, превышая уровни 10000 Бк/м^2. Лишь в устье р. Ланготъеган плотности запасов этих радионуклидов в пойме ниже, чем общие тренды, отражающие изменения в пойме нижней Оби, однако в удаленном от Оби створе этой реки около моста величины плотностей запасов выше уровней, задаваемых общими трендами. Отметим также, что в пробах, отобранных в 2017 г в пойме в створе 10 км ниже Лабытнанги, содержание ^{137}Cs зарегистрировано на уровне, в три раза превышающем уровни предыдущих лет.

Эмпирические модели для плотностей запасов радионуклидов в пойме представлены следующими уравнениями регрессии:

$$^{90}Sr = -0{,}00014\times x^3 + 0{,}0037\times x^2 + 4{,}0014\times x + 3011{,}4; \quad R^2=0{,}52 \qquad (5)$$

$$^{137}Cs = 0{,}014\times x^2 + 3{,}84\times x + 1245{,}8\ ;\ R^2=0{,}85 \qquad (6)$$

$$^{239,240}Pu = 0{,}002\times x^2 - 0{,}025\times x + 37{,}19; \quad R^2=0{,}52 \qquad (7)$$

Из приведенных данных следует, что плотность запасов Cs-137 в пойме увеличивается по течению Оби, в то время, как расчетные величины локальных плотностей запасов Sr-90 группируются в пределах прямоугольной

области (рисунок 478а) со средним значением 2954±750 Бк/м^2.

Изотопное отношение ^{137}Cs/ ^{90}Sr для запасов в пойме Оби возрастает по ходу течения реки (рисунок 479 а), в противоположность изменению этого параметра в воде (рисунок 469). Профиль данного отношения практически повторяет профиль распределения в пойме плотности запасов ^{137}Cs (рисунок 478 б), показывая увеличение в три-четыре раза между входными и выходными створами.

Представленные диаграммы, характеризующие миграцию радионуклидов в пойме Нижней Оби, свидетельствуют о протекании ощутимого накопления ^{137}Cs в пойменных почвах по ходу течения реки. Фактически наблюдаемое увеличение плотности запасов цезия-137 достигает кратности три и более раз. Аллювиальные процессы, связанные с эрозией пойменных почв, сопровождаются взмучиванием почвенных субстратов и переносом с водным потоком большой массы твердых частиц с адсорбированными на них радионуклидами, прежде всего, цезием-137. В нижнем течении реки, в ее дельте, скорость потока воды снижается, где и происходит седиментация частиц твердого стока и аккумулирование ^{137}Cs в грунтах. Высокая растворимость ^{90}Sr в воде и низкое связывание его частицами твердого стока препятствуют такой сегрегации, в результате чего объемная активность этого радионуклида и плотность запасов в пойме остаются практически постоянными по течению на обследованном участке Оби.

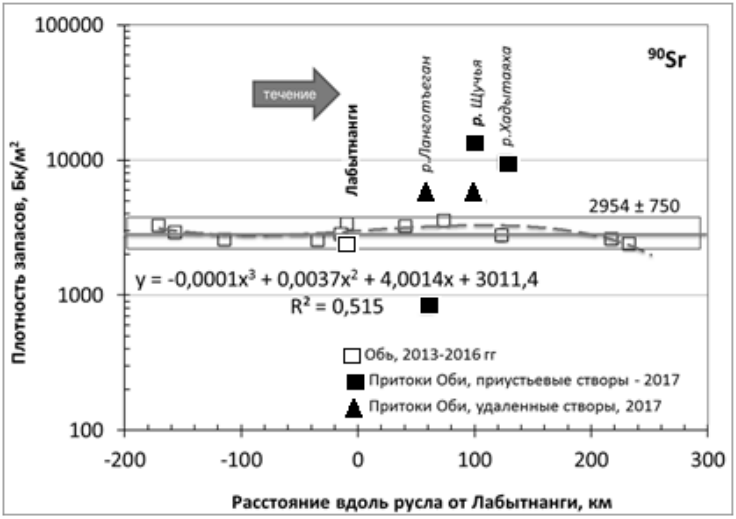


Рисунок 478 (а) – Изменение плотности запасов ^{90}Sr, в пойменных почвах нижней Оби вдоль течения

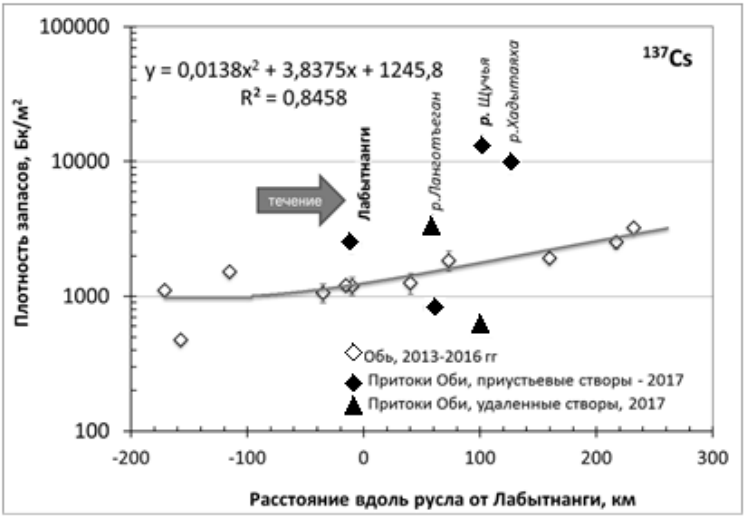


Рисунок 478 (б) – Изменение плотности запасов ^{137}Cs в пойменных почвах нижней Оби вдоль течения

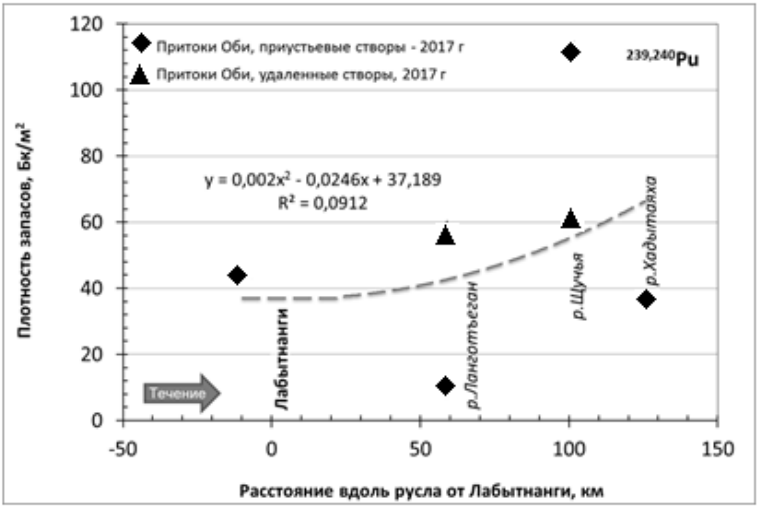


Рисунок 478 (в) – Изменение плотности запасов ^{239,240}Pu в пойменных почвах нижней Оби вдоль течения

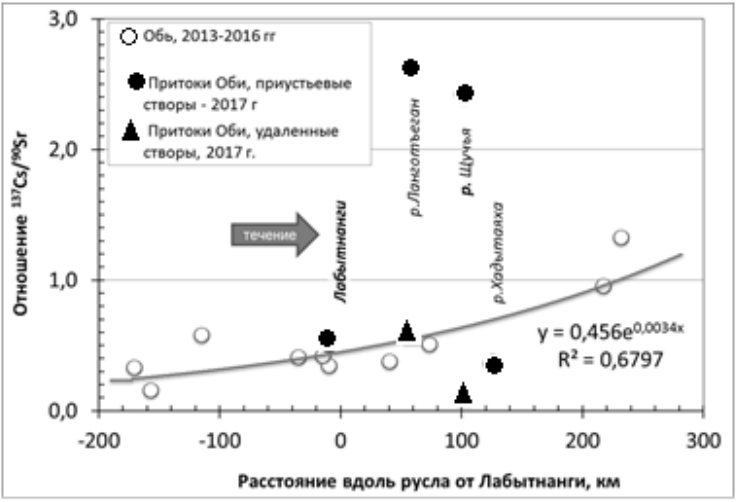


Рисунок 479 (а) – Изменение изотопных отношений ^{137}Cs/ ^{90}Sr в пойменных почвах нижней Оби вдоль течения

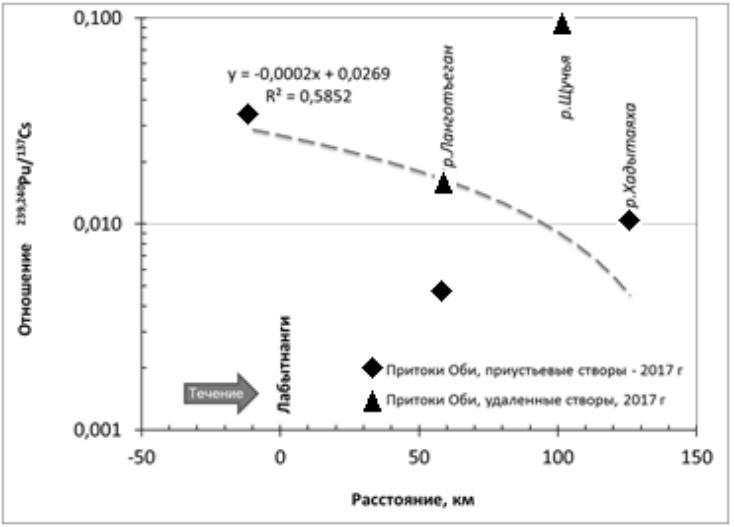


Рисунок 479 (б) – Изменение изотопных $^{239,240}Pu/^{137}Cs$ в пойменных почвах нижней Оби вдоль течения

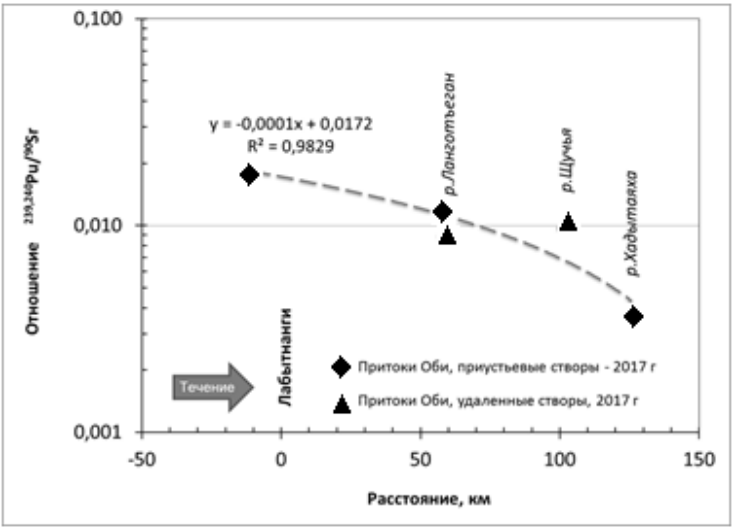


Рисунок 479 (в) – Изменение изотопных $^{239,240}Pu/^{90}Sr$ (в) в пойменных почвах нижней Оби вдоль течения

Оценка интегральных запасов техногенных радионуклидов в двусторонней 10-км пойме нижней Оби дает следующие величины, Бк:

а) На участке от Лабытнанги до Обской Губы (расстояния от -0 км до +260 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-0}^{260} \left(-0.00014 \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 0.0037 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 4.0014 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3011.4\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.56 \times 10^{13} \quad (8)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-0}^{260} \left(0.0138 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 3.8375 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 1245.8\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.069 \times 10^{13} \quad (9)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-0}^{260} \left(0.2052 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 36.567\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 3.289 \times 10^{11} \quad (10)$$

б) На участке от протоки Илюшинская до Обской Губы (расстояния от -171 км до +260 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} \left(-0.00014 \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 0.0037 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 4.0014 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3011.4\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.545 \times 10^{13} \quad (11)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} \left(0.0138 \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 + 3.8375 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 1245.8\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.429 \times 10^{13} \quad (12)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} \left(2.84 \cdot 10^{-7} \cdot \underline{\mathbf{x}}^3 + 6.24 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^2 - 0.0143 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4.948\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 4.338 \times 10^{10} \quad (13)$$

Общая оценка запасов радионуклидов в 20-км пойме на участке Нижней Оби от створа протока Илюшинская до Обской Губы составляет $2{,}55\times10^{13}$ Бк для ^{90}Sr, $1{,}43\times10^{13}$ Бк для ^{137}Cs и $4{,}34\times10^{10}$ Бк для ^{239,240}Pu. Полученная оценка запасов для ^{90}Sr и ^{137}Cs примерно в пять раз превышает рассчитанную ранее величину годовых стоков этих радионуклидов ($5{,}58\times10^{12}$ и $4{,}04\times10^{12}$ Бк соответственно, таблица 202) в створе Лабытнанги, и более чем на порядок – для ^{239,240}Pu.

Для оценки запасов в исследованных левобережных притоках Оби – реках Щучья и Ланготъеган – используем в качестве профиля продольного распределения плотности запасов радионуклидов эмпирические линейные модели, приведенные на рисунке 480. Примем в качестве условной ширины двусторонней поймы в этих реках величину 0,2 км.

Расчетные величины запасов составляют следующие величины Бк:

а) для реки Щучья (длина участка от моста до устья 384 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 0.2 \cdot \int_0^{384} \left(20.487 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 5762.3\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 7.446 \times 10^{11} \quad (14)$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 0.2 \cdot \int_0^{384} \left(84.415 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 619.8\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.292 \times 10^{12} \quad (15)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 0.2 \cdot \int_0^{384} \left(0.1333 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 60.8\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 6.635 \times 10^{9} \quad (16)$$

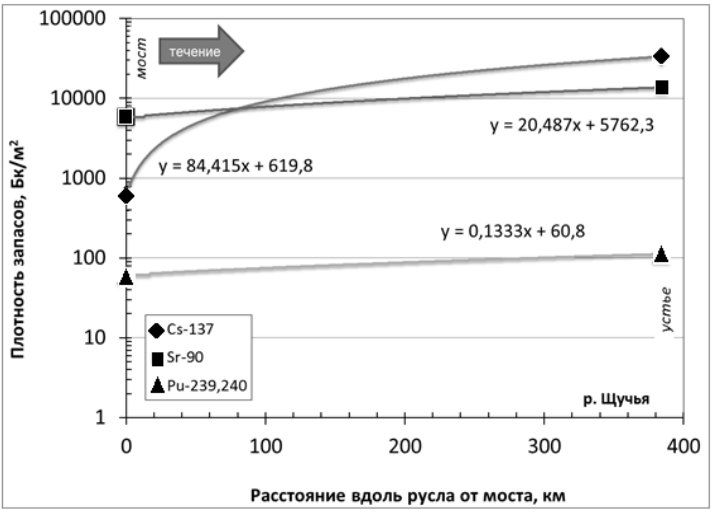
а) для реки Ланготъеган (длина участка от моста до устья 113 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^6 \cdot 0.2 \cdot \int_0^{113} \left(-44.583 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 5880.1\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 7.596 \times 10^{10} \quad (17)$$

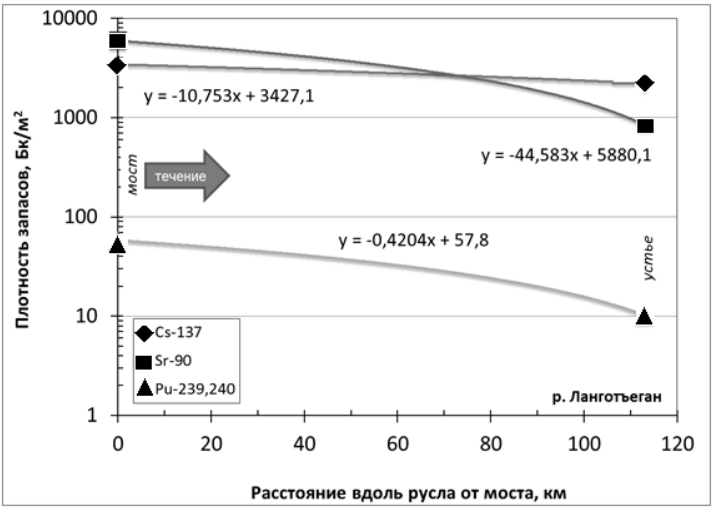
$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^6 \cdot 0.2 \cdot \int_0^{113} \left(-10.753 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 3427.1\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 6.372 \times 10^{10} \quad (18)$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^6 \cdot 0.2 \cdot \int_0^{113} \left(-0.4204 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 57.8\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 7.695 \times 10^{8} \quad (19)$$

Таким образом, оценки запасов в пойме реки Ланготъеган на участке от моста до устья дали величины ^{90}Sr – 7,6×10^{10} Бк, ^{137}Cs – 6,4×10^{10} Бк, ^{239,240}Pu – 7,7×10^{8} Бк, что примерно на три порядка (для ^{90}Sr и ^{137}Cs) и на два порядка (для ^{239,240}Pu) меньшие, чем соответствующие запасы на участке поймы нижней Оби (^{90}Sr – 2,6×10^{13}Бк, ^{137}Cs – 1,4×10^{13} Бк, и ^{239,240}Pu – 4,3×10^{10} Бк). Для поймы реки Щучья оценки запасов радионуклидов дали величины ^{90}Sr – 7,5×10^{11} Бк, ^{137}Cs – 1,3×10^{12} Бк, ^{239,240}Pu – 6,6×10^{9} Бк, что примерно на порядок величин больше соответствующих запасов в пойме р. Ланготъеган, но меньше, чем в пойме нижней Оби – на порядок по ^{137}Cs и ^{239,240}Pu, и в 30 раз меньше по ^{90}Sr.



(а)



(б)

Рисунок 480 – Линейные модели изменения плотности запасов радионуклидов в пойменных почвах рек Щучья (а) и Ланготъеган (б)

2.23.4 Содержание и расчет интегральных запасов радионуклидов в донных отложениях нижней Оби

Результаты определения ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в донных отложениях реки Обь в 2017 г. приведены в таблицах 215-220.

Таблица 215

Плотность запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных отложениях в устье реки Хадытаяха

Координаты: N:66^{0}55.178’E:069^{0}07.267’

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	757,2 ±78,3	737,7±14,5	1679,8 ±154,6	1670 ±78,8
	722,4 ±70,6		1761,3 ±172,4	
	733,5 ±69,2		1568,9 ±161,3	
5-10	863,9 ±84,9	895,4±23,3	810,9 ±79,6	808,3 ±17,1
	919,7 ±92,7		785,7 ±74,8	
	902,6 ±89,2		827,4 ±83,2	
10-15	731,2 ±74,8	715,6±18,7	836,2 ±81,0	859,4 ±17,7
	689,3 ±66,3		879,3 ±85,2	
	726,3 ±69,7		861,5 ±84,6	
15-20	878,8 ±84,5	910,0±22,8	899,2 ±86,4	906,1 ±16,3
	932,5 ±95,4		890,5 ±88,7	
	918,7 ±89,6		928,6 ±93,2	
Сумма всех слоев	3258,7		4243,8	

Таблица 216

Плотность запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных отложениях реки Щучья в районе Моста
Координаты: N:67^{0}29.289’ E:067^{0}25.998’

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	1131,9±108,2	1365,0±	1921,5±203,4	1791,1±152,1
	1507,1±154,6		1577,8±146,1	
	1456,0±128,4		1874,0±162,8	
5-10	999,3±98,7	1110,4±	2408,9±260,3	2338,3±135,4
	1352,3±144,3		2148,8±215,4	
	979,6±95,1		2457,2±220,8	
10-15	657,9±64,2	663,0±	680,9±66,4	675,3±15,77
	681,3±70,9		653,8±64,5	
	649,8±62,7		691,2±71,9	
15-20	1011,0±98,4	1103,1±	862,8±84,8	918,3±65,1
	982,5±96,1		882,4±87,3	
	1241,1±134,6		1009,7±113,6	
20-25	497,3±47,8	512,8±	473,6±45,3	495,8±17,6
	531,4±54,2		516,7±52,6	
	509,7±49,5		497,1±47,2	
Сумма всех слоев	5762,2		6218,8	

Таблица 217

Плотность запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных отложениях устья реки Ланготъеган
Координаты: N:66^{0}49.523’E:067^{0}36.524’

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	649,4±66,2	638,2±10,0	932,9±91,8	946,7±16,4
	640,1±63,4		969,8±93,5	
	625,1±61,7		937,4±92,2	
5-10	704,5±68,9	717,8±10,2	1141,7±98,3	1187,5±34,4
	719,6±70,6		1224,8±106,9	
	729,3±73,1		1196,0±112,7	
10-15	488,6±50,1	472,9±13,4	657,3±62,5	680,8 ±16,9
	474,2±46,3		688,6±65,6	
	455,9±42,9		696,5±67,2	
15-20	350,6±33,8	371,2±15,9	652,6±63,7	671,7±17,3
	373,6±36,5		694,5±67,3	
	389,4±40,1		668,0±64,5	
Сумма всех слоев	2200,1		3486,7	

Таблица 218

Плотность запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных отложениях реки Ланготъеган в районе Моста Координаты: N:67^{0}13.533’E:067^{0}02.620’

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	969,0 ±94,9	971,1 ±16,8	1459,8 ±147,4	1289,4 ±165,5
	951,6 ±92,7		1065,3 ±98,7	
	992,7 ±103,4		1343,1 ±122,3	
5-10	930,0 ±941,4	931,2 ±17,2	2323,1 ±212,3	2400,6 ±167,3
	952,9 ±97,3		2632,9 ±27,1	
	910,7 ±89,6		2245,8 ±211,6	
10-15	987,6 ±96,1	1093,8 ±125,0	1528,2 ±164,2	1405,6 ±167,3
	1269,3 ±133,5		1169,1 ±99,2	
	1024,5 ±98,7		1519,5 ±173,7	
15-20	1411,6 ±153,5	1201,4 ±154,1	1623,3 ±151,3	1548,6 ±108,1
	1146,1 ±98,4		1395,7 ±112,6	
	1046,5 ±97,2		1626, 8 ±174,8	
Сумма всех слоев	4197,5		6644,2	

Таблица 219

Плотность запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных отложениях реки Обь в створе 10 км выше г.Лабытнанги Координаты: N:66^{0}30.201’E:066^{0}24.845’

Слой, см	^{137}Cs, Бк/м^2		^{90}Sr, Бк/м^2	
0-5	127,5 ±13,2	143,3 ±15,1	971,0 ±95,1	949,2 ±16,3
	163,7 ±14,9		944,7 ±89,9	
	138,7 ±11,7		931,9 ±91,2	
5-10	322,6 ±29,8	338,7 ±14,1	453,0 ±42,5	437,4 ±11,04
	356,9 ±31,1		428,9 ±39,4	
	336,6 ±30,2		430,3 ±41,8	
10-15	629,5 ±63,1	638,0 ±8,6	643,9 ±65,1	634,7 ±6,6
	649,7 ±65,3		629,1 ±59,8	
	634,8 ±61,8		631,1 ±62,7	
15-20	1352,8 ±120,1	1255,0 ±83,6	832,1 ±81,5	850,6 ±18,7
	1148,5 ±99,5		843,5 ±79,8	
	1263,7 ±106,7		876,2 ±84,3	
20-25	199,4 ±20,5	210,6 ±10,6	1434,8 ±140,1	1521,0 ±110,7
	224,9 ±22,3		1450,9 ±130,6	
	207,5 ±20,1		1677,3 ±157,8	
Сумма всех слоев	2585,6		4392,9	

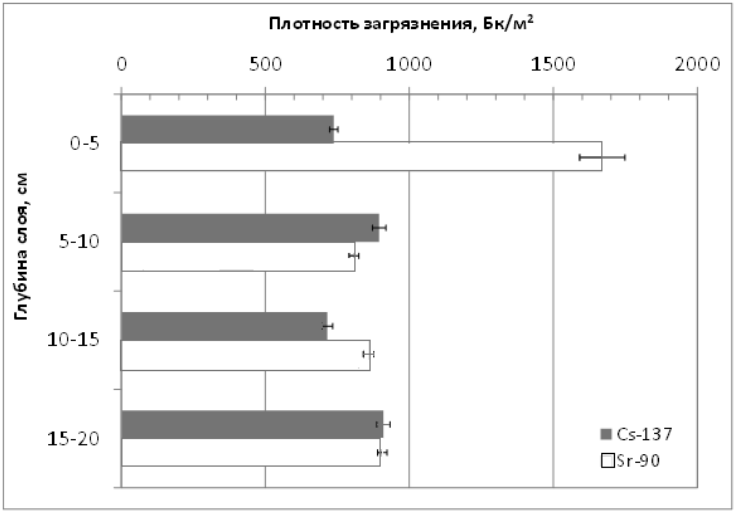
Таблица 220

Плотность загрязнения плутонием - 239,240 донных отложений

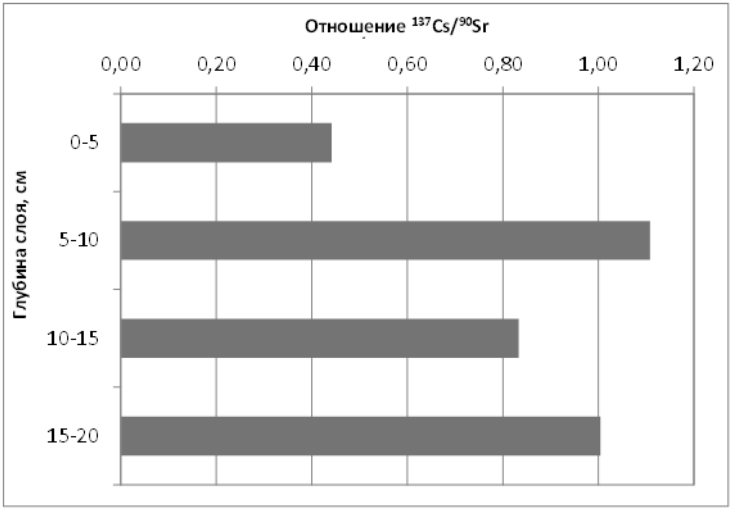
Створ	Слой, см	Плотность запасов $^{239,240}Pu$, Бк/м^2	Среднее
Устье реки Хадытаяха Координаты: N:66^{0}55.178’ E:069^{0}07.267’	0-5	8,7±0,7	9,4±0,7
		10,1±1,1	
Река Щучья в районе Моста Координаты: N:67^{0}29.289’ E:067^{0}25.998’	0-5	19,31±2,1	17,7±1,6
		16,1±1,4	
Р. Ланготъеган Координаты: N:66^{0}49.523’ E:067^{0}36.524’	0-5	9,8±0,8	11,3±1,5
		12,8±1,4	
Р. Ланготъеган в районе Моста Координаты: N:67^{0}13.533’ E:067^{0}02.620’	0-5	8,1±0,9	7,9±0,2
		7,7±0,6	
Река Обь в створе 10 км выше г.Лабытнанги Координаты: N:66^{0}30.201’ E:066^{0}24.845’	0-5	13,2±1,1	14,5±1,3
		15,8±1,7	

Вертикальные профили содержания техногенных радионуклидов (плотность запасов) в донных отложениях приведены на рисунках 481-485.

Вертикальное распределение Sr-90 в донных отложениях в устье реки Хадытаяха характеризуются высоким содержанием в верхних слоях 0-5 см и снижением содержания вдвое во всех остальных слоях. При этом Cs-137 показывает почти равномерное распределение по всей высоте керна до 20 см (рисунок481 а).

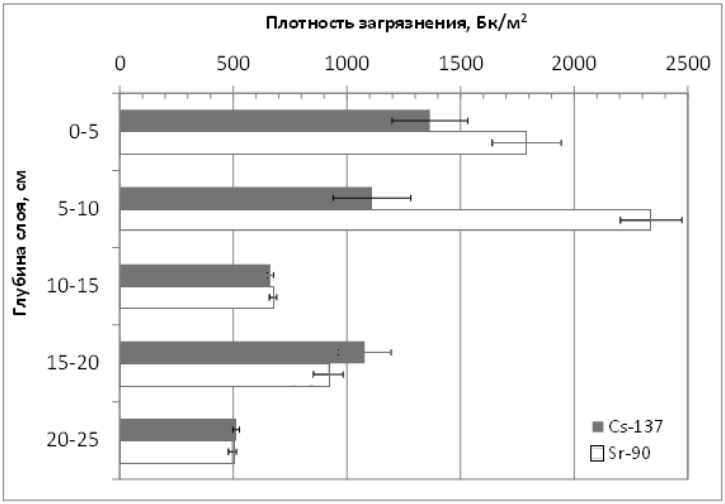


(а)

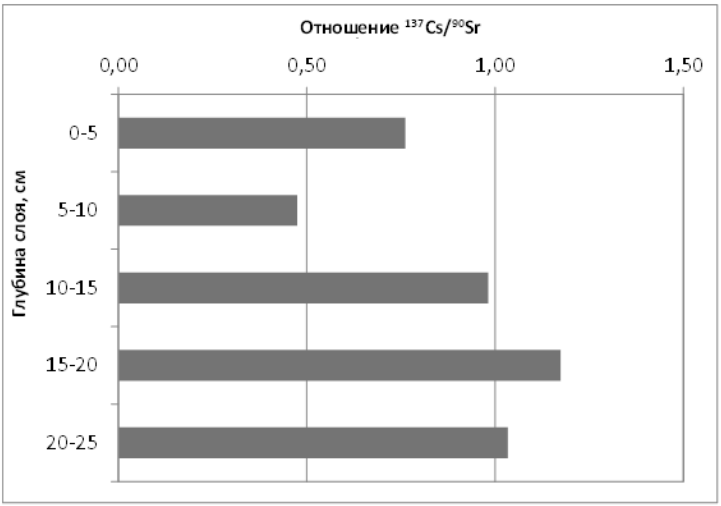


(б)

Рисунок 481 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях в устье реки Хадытаяха

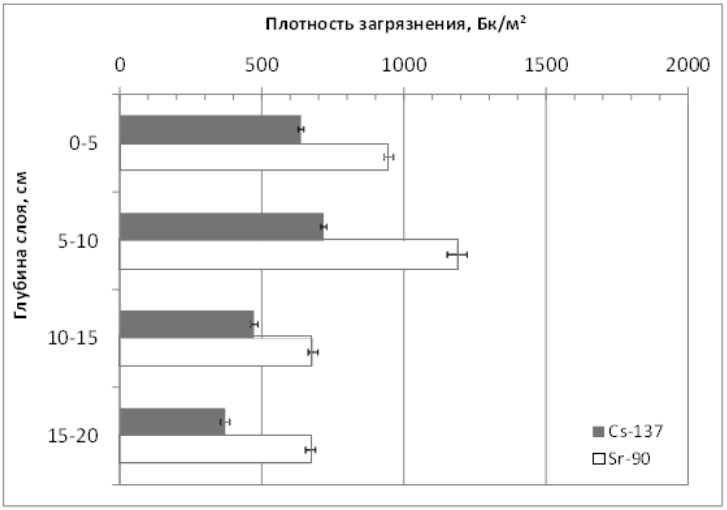


(а)

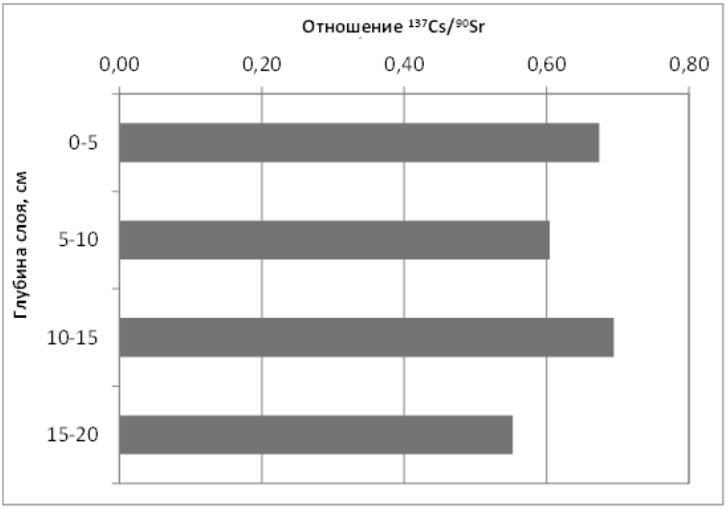


(б)

Рисунок 482 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях реки Щучья в районе моста

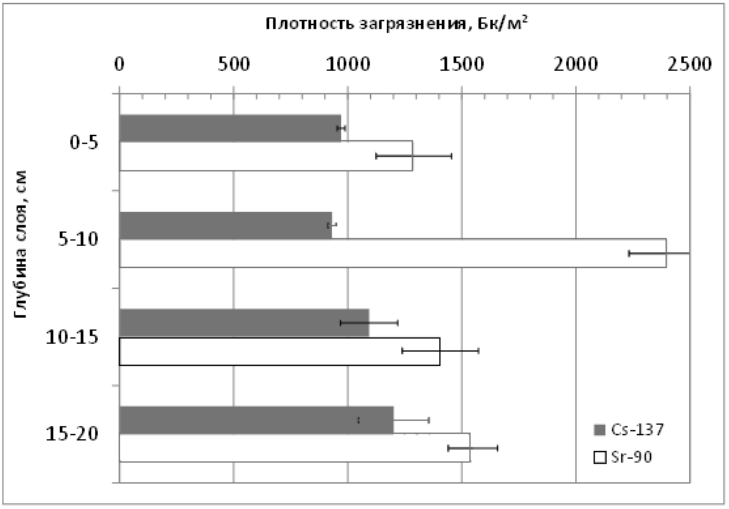


(а)

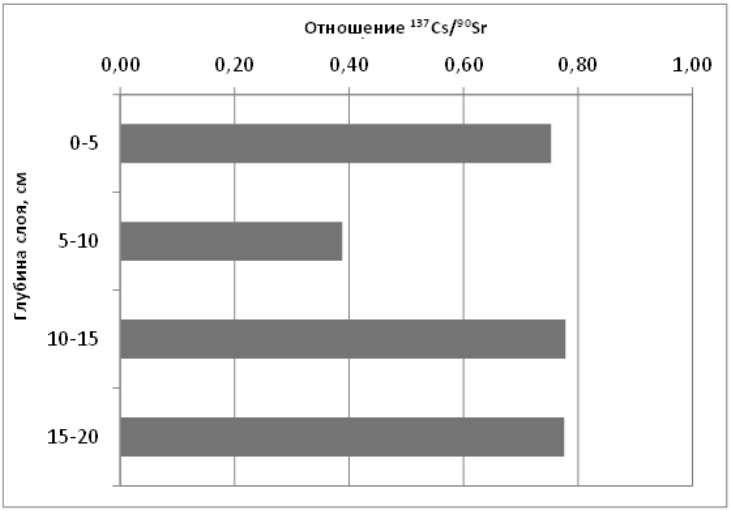


(б)

Рисунок 483 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях устья реки Ланготъеган

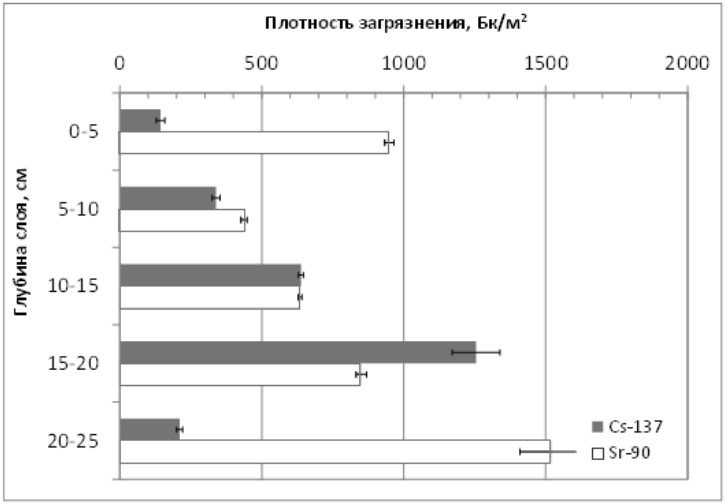


(а)

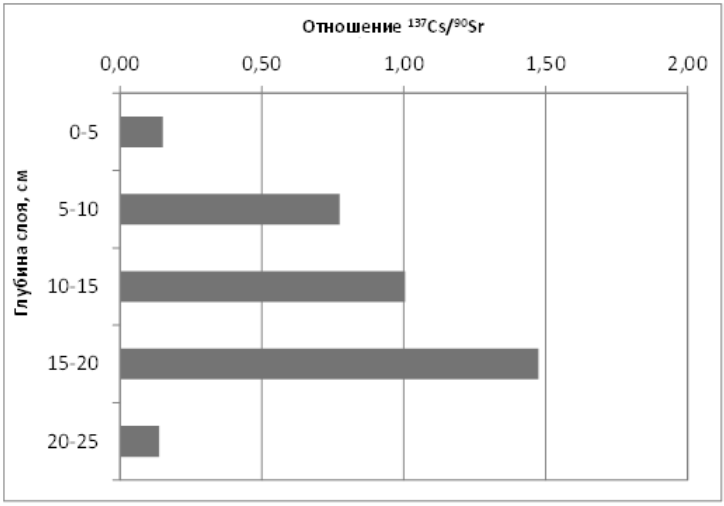


(б)

Рисунок 484 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях реки Ланготъеган в районе моста



(а)



(б)

Рисунок 485 – Вертикальный профиль плотности загрязнения и изотопного отношения $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных отложениях реки Обь в створе 10 км выше г.Лабытнанги

В донных отложениях реки Щучьей в районе моста ^{90}Sr достигает максимального содержания 2338 Бк/м^2 на глубинах 5-10 см, в 3-4 раза снижаясь на глубинах (рисунок 482 а). В устье реки Ланготъеган содержание обоих радионуклидов в донных отложениях заметно ниже, даже в верхних слоях, не превышая уровней 1200 Бк/м^2 по ^{90}Sr и 700 Бк/м^2 по ^{137}Cs (рисунок 483 а). В то же время для этой реки в районе моста удельная активность радионуклидов в донных отложениях зарегистрирована на более высоком уровне: по ^{90}Sr - 2400 Бк/м^2 на глубине 5-10 см и до 1548 Бк/м^2 на глубинах до 20 см, тогда как содержание ^{137}Cs было достаточно равномерным, изменяясь в пределах 1000-1200 Бк/м^2 (рисунок 484а). В створе 10 км выше г. Лабытнанги отмечено постепенное увеличение удельной активности радионуклидов по глубине, при этом максимальное содержание ^{90}Sr – 1500 Бк/м^2 достигалось на глубине 20-25 см, а ^{137}Cs – 1250 Бк/м^2 на глубине 15-20 см (рисунок 485а).

Изотопное отношение $^{137}Cs/\ ^{90}Sr$ в донных отложениях в устье рек Хадытаяха и Щучья немонотонно увеличивается с глубиной с 0,4-0,5 до 1 (рисунки 481 б, 482 б). В донных отложениях реки Ланготъеган это отношение незначительно уменьшается с 0,7 до 0,5 в районе устья (рисунок 483 б). или почти остается неизменным на уровне 0,8 в районе моста, показывая снижение до 0,4 только в слое 5-10 см (рисунок 484 б). В створе Лабытнанги изотопное отношение $^{137}Cs/\ ^{90}Sr$ практически повторяет профиль изменения с глубиной содержания ^{137}Cs, испытывая устойчивое увеличение с 0,2 до 1,5 до глубины с 0 до 20 см, и снова принимая значение приграничного уровня 0,2 в слое 20-25 см (рисунок 485 б).

Изменение по течению средних значений плотности запасов радионуклидов в донных отложениях исследован-

ных створов нижней Оби иллюстрирует диаграмма на рисунке 486. Видно, что плотность запасов в донных отложениях возрастает по течению реки, причем для ^{90}Sr такое возрастание пятикратно (с 2000 до 10000 Бк/м^2), а для ^{137}Cs – трехкратно (с 2000 до 6000 Бк/м^2). В промежуточных створах нижней Оби, расположенных ниже по течению от Лабытнанги, характеризующейся наличием многочисленных речных притоков и обилием рукавов и проток, наблюдается заметная неоднородность распределения плотности запасов, отражающая влияние этих рек. На графиках (рисунок 486) эти области неоднородности выделены в виде трапецеидальных фигур.

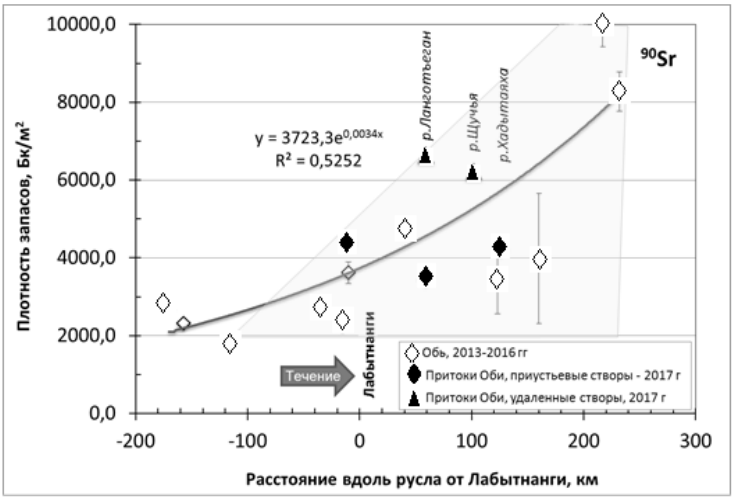


Рисунок 486 (а) – Плотность запасов ^{90}Sr в донных отложениях исследованных створов по течению нижней Оби (2013-2017 гг.)

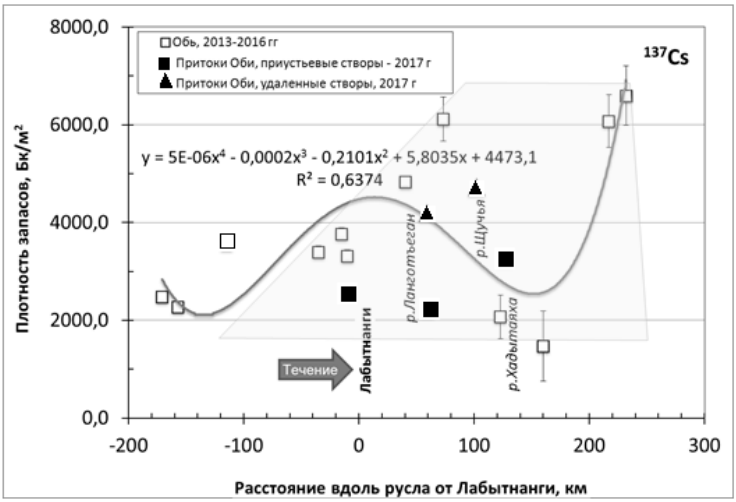


Рисунок 486 (б) – Плотность запасов ^{137}Cs в донных отложениях исследованных створов по течению нижней Оби (2013-2017 гг.)

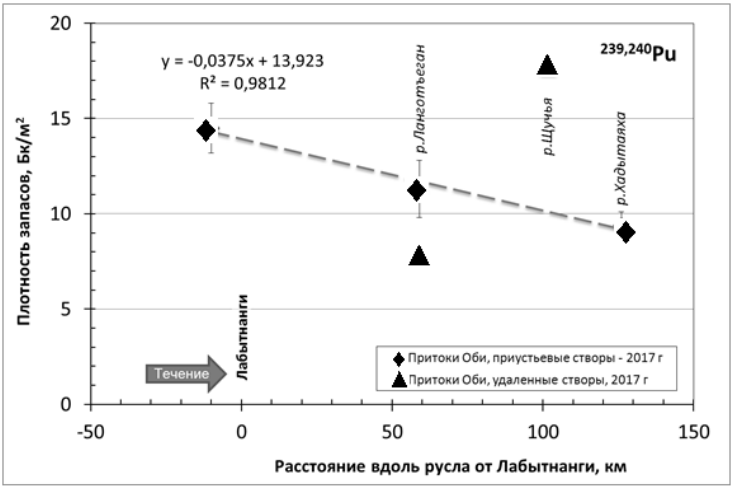


Рисунок 486 (в) – Плотность запасов $^{239,240}Pu$ в донных отложениях исследованных створов по течению нижней Оби (2013-2017 гг.)

Изотопное отношение $^{137}Cs/^{90}Sr$ в донных запасах вдоль русла нижней Оби характеризуется немонотонной волнообразной зависимостью (рисунок 487 а), подобный профилю . При этом в створах до Лабытнанги это отношение близко к единице или ниже ее, а после Лабытнанги варьирует в диапазоне 1.5-2.5, т.е. приближается к величине, характерной для глобальных выпадений. Для изотопных отношений $^{239,240}Pu/\ ^{137}Cs$ и $^{239,240}Pu/\ ^{90}Sr$ наблюдается зависимость с максимумом 0,005 посередине исследуемого участка нижней Оби (устье р. Ланготъеган).

Изменение плотности запасов радионуклидов в донных отложениях вдоль русла нижней Оби представлено следующими регрессионными уравнениями:

$$^{90}Sr = 3723{,}3e^{0{,}0034x}; \qquad R^2 = 0{,}53 \qquad (20)$$

$$^{137}Cs = 5{,}2\times10^{-6}x^4 - 2{,}12\times10^{-4}x^3 - 2{,}1\times10^{-1}x^2 + 5{,}8x + 4470; \qquad R^2 = 0{,}64 \qquad (21)$$

$$^{239,240}Pu = -0{,}0375x + 13{,}923; \qquad R^2 = 0{,}98 \qquad (22)$$

Оценка интегральных запасов техногенных радионуклидов в донных отложениях нижней Оби с условной шириной русла реки 3 км дает следующие величины, Бк:

а) На участке от Лабытнанги до Обской Губы (расстояния от -0 км до +260 км):

$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^{6} \cdot 20 \cdot \int_{-0}^{260} 3723.3 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{0.0034\underline{\mathbf{x}}}\, \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 3.111 \times 10^{13} \tag{23}$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^{6} \cdot 20 \cdot \int_{-0}^{260} \left(5.2 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^{4} - 2.12 \cdot 10^{-4} \cdot \underline{\mathbf{x}}^{3} - 2.1 \cdot 10^{-1} \cdot \underline{\mathbf{x}}^{2} + 5.8 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4470\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 2.243 \times 10^{13} \tag{24}$$

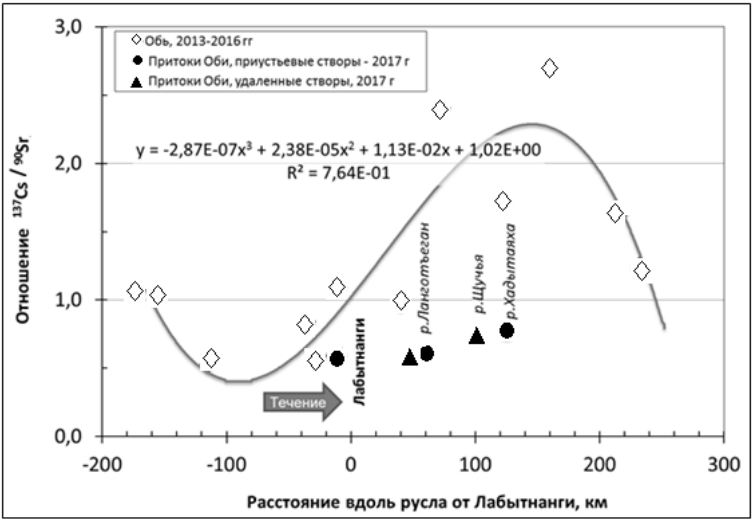
$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^{6} \cdot 20 \cdot \int_{-0}^{260} \left(-0.0375 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 13.923\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 4.705 \times 10^{10} \tag{25}$$

б) На участке от протоки Илюшинская до Обской Губы (расстояния от -171 км до +260 км):

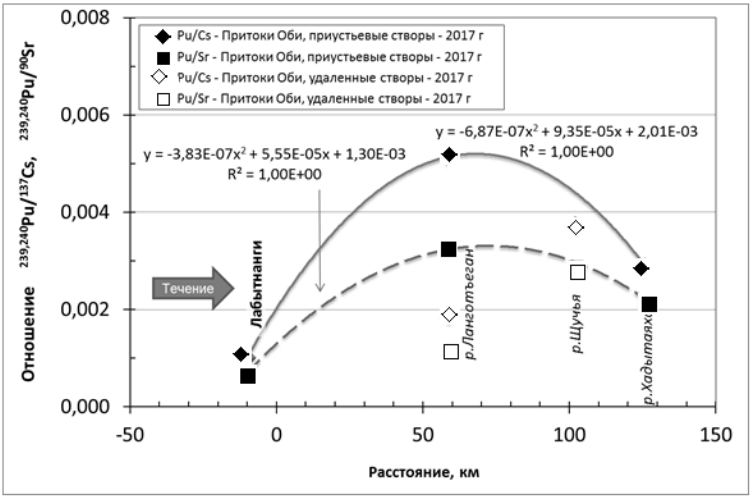
$$^{90}\mathrm{Sr} = 10^{6} \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} 3723.3 \cdot \underline{\mathbf{e}}^{0.0034\underline{\mathbf{x}}}\, \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 4.077 \times 10^{13} \tag{26}$$

$$^{137}\mathrm{Cs} = 10^{6} \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} \left(5.2 \cdot 10^{-6} \cdot \underline{\mathbf{x}}^{4} - 2.12 \cdot 10^{-4} \cdot \underline{\mathbf{x}}^{3} - 2.1 \cdot 10^{-1} \cdot \underline{\mathbf{x}}^{2} + 5.8 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 4470\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 3.297 \times 10^{13} \tag{27}$$

$$^{239,240}\mathrm{Pu} = 10^{6} \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} \left(-0.0375 \cdot \underline{\mathbf{x}} + 13.923\right) \mathbf{d}\underline{\mathbf{x}} = 1.056 \times 10^{11} \tag{28}$$



а



б

Рисунок 487 – Изменение изотопных отношений $^{137}Cs/^{90}Sr$ (а) и $^{239,240}Pu/^{90}Sr$ (б) в донных отложениях исследованных створов нижней Оби и ее притоков

Оценка интегральных запасов радионуклидов в донных отложениях русла с условной трехкилометровой шириной на участке Нижней Оби от створа протока Илюшинская до Обской Губы составляет $4{,}1\times10^{13}$ Бк для ^{90}Sr, $3{,}3\times10^{13}$ Бк для ^{137}Cs и $1{,}1\times10^{11}$ Бк для $^{239,240}Pu$. Полученная оценка донных запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs на исследуемом участке примерно на порядок величин больше годового стока ^{90}Sr и ^{137}Cs в створе Лабытнанги ($5{,}58\times10^{12}$ и $4{,}04\times10^{12}$ Бк соответственно, таблица 202) и на два порядка больше годового стока $^{239,240}Pu$ ($2{,}01\times10^{9}$ Бк , таблица 202). Отметим также, что полученные оценки примерно в два раза больше приведенной ранее расчетной величины запасов этих радионуклидов в пойме ($2{,}55\times10^{13}$ Бк для ^{90}Sr, $1{,}43\times10^{13}$ Бк для ^{137}Cs и $4{,}34\times10^{10}$ Бк для $^{239,240}Pu$).

Сравнительный анализ приведенных оценок с данными, полученными для Оби в границах ХМАО в 2009 г, показывает, что для ^{90}Sr интегральные запасы в пойме Оби в границах ХМАО, равные $2{,}6\cdot10^{13}$ Бк, в пять раз превышали запасы в донных отложениях $3{,}3\cdot10^{12}$ Бк, а для ^{137}Cs величины запасов в пойме $1{,}4\cdot10^{12}$ Бк были ниже, чем соответствующие запасы в донных отложениях $2{,}5\cdot10^{12}$ Бк. Данные исследований нижней Оби, проведенные в предыдущие годы, также давали более низкие оценки запасов радионуклидов в донных отложениях по сравнению с запасами в пойменных почвах. По результатам исследований, проведенных в 2017 г, с учетом результатов исследований нижней Оби 2014-2016 гг, получены более высокие оценки запасов радионуклидов в донных отложениях, сопоставимые по порядку, но превышающие вдвое величины запасов в пойме нижней Оби.

2.23.5 Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби

В 2017 г. проведено исследование семи видов рыб. Результаты определения удельной активности ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в ихтиофауне приведены в таблице 221.

Содержание радионуклидов в ихтиофауне с учетом действующих нормативных требований незначительно и сопоставимо с аналогичными показателями для рыбы, обитающей в Оби и в Иртыше в границах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Согласно гигиеническим требованиям («Гигиенические…»,2001), содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе ограничивается нормативными показателями 100 и 130 Бк/кг соответственно. Максимальное содержание радионуклидов в 2017 г зарегистрировано в окуне, в том числе ^{90}Sr - 4,56 ±0,18 Бк/кг и ^{137}Cs - 2,12±0,14 Бк/кг. Максимальное содержание $^{239,240}Pu$ установлено в щуке 0,94±0,05 Бк/кг.

В соответствии с рекомендациями («ГОСТ 32161-2013…»; и «ГОСТ 32163-2013…», 2013) проведено определение соответствия исследованных видов рыб, как пищевых продуктов, критериям радиационной безопасности с использованием показателя соответствия ***B*** и неопределенности его определения ***ΔB***. Значения указанных параметров рассчитывали по результатам измерений удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs по следующим формулам:

$$B = \left(\frac{Q}{H}\right)_{Sr\text{-}90} + \left(\frac{Q}{H}\right)_{Cs\text{-}137}, \qquad (29)$$

$$\Delta B = \sqrt{\left(\frac{\Delta Q}{H}\right)^2_{Sr\text{-}90} + \left(\frac{\Delta Q}{H}\right)^2_{Cs\text{-}137}}, \qquad (30)$$

Таблица 221

Удельная активность техногенных радионуклидов в ихтиофауне реки Обь в створе г.Лабытнанги в 2017 г.

Вид рыбы	Повт.	^{90}Sr, Бк/кг сыр.массы		^{137}Cs, Бк/кг сыр.массы		$^{239,240}Pu$, мБк/кг сыр.массы	
Пыжьян	1	0,97	1,11 ±0,14	0,37	0,34±0,03	0,33	0,36±0,03
	2	1,25		0,31		0,39	
Ряпушка	1	1,86	1,71 ±0,12	0,41	0,46±0,05	0,46	0,42±0,04
	2	1,62		0,51		0,38	
Щука	1	3,84	3,71 ±0,13	1,13	1,24±0,11	0,89	0,94±0,05
	2	3,58		1,35		0,99	
Язь	1	2,94	2,86 ±0,08	0,90	0,84±0,06	0,72	0,76±0,04
	2	2,78		0,78		0,80	
Окунь	1	4,38	4,56 ±0,18	2,26	2,12±0,14	0,82	0,88±0,06
	2	4,74		1,98		0,94	
Плотва	1	3,39	3,24 ±0,15	0,87	0,92±0,05	0,64	0,58±0,06
	2	3,09		0,97		0,52	
Щокур	1	2,14	2,28 ±0,14	0,77	0,68±0,09	0,68	0,64±0,04
	2	2,42		0,59		0,60	

где Q - измеренное значение удельной активности радионуклида в пробе;

H - допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте (для ^{90}Sr -100 Бк/кг, для ^{137}Cs - 130 Бк/кг);

ΔQ - абсолютная расширенная (при коэффициенте охвата k=2) неопределенность измерения удельной активности.

Рыба, как пищевой продукт, признается безусловно соответствующей критерию радиационной безопасности, если $\boldsymbol{B} + \boldsymbol{\Delta B} \leq 1$.

Ниже приводится пример определения показателя соответствия для окуня, для которого в 2017 г. было зарегистрировано наивысшее из всех исследованных видов рыб содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs:

$$B = 4{,}56/100 + 2{,}12/130 = 0{,}046 + 0{,}016 = 0{,}062; \quad (31)$$

$$\boldsymbol{\Delta B} = \sqrt{(0{,}18\times2/100)^2 + (0{,}14\times2/130)^2} = 0{,}014 \quad (32)$$

$$\boldsymbol{B} + \boldsymbol{\Delta B} = 0{,}062 + 0{,}014 = 0{,}076 \quad (33)$$

Следуя описанной методике вычислений, были выполнены расчеты по всем остальным исследованным видам рыбы. Результаты определения показателя соответствия критерию радиационной безопасности для исследованных видов рыб приведены в таблице 222.

Для всех семи исследованных видов рыб сумма показателя соответствия B и неопределенности его определения ΔB оказалась намного меньше 1, на основании чего исследованные виды рыб как пищевые продукты признаны безусловно соответствующими критерию радиационной безопасности, и могут быть рекомендованы для употребления в пищу населением.

Таблица 222

Результаты определения показателя соответствия критерию радиационной безопасности промысловых видов рыб, исследованных в 2017 г.

Вид рыбы	Q_{Sr-90}, Бк/кг сыр.массы	Q_{Cs-137}, Бк/кг сыр.массы	B	ΔB	B+ΔB
Пыжьян	1,11	0,34	0,014	0,006	0,020
Ряпушка	1,74	0,46	0,021	0,007	0,028
Щука	3,71	1,24	0,047	0,015	0,061
Язь	2,86	0,84	0,035	0,012	0,047
Окунь	4,56	2,12	0,062	0,014	0,076
Плотва	3,24	0,92	0,039	0,009	0,049
Щокур	2,28	0,68	0,028	0,010	0,038

2.23.6 Итоги мониторинговых исследований 2017 года

1. Получены данные по содержанию ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ в воде, донных отложениях и пойменных почвах в шести створах левобережных притоков в нижнем течении Оби – рек Ланготъеган и Щучья в районе моста и устья, р. Хадытаяха в районе устья, в створе р. Обь в 10 км выше г. Лабытнанги. Приведены математические модели, описывающие изменение содержания радионуклидов в воде, пойменных почвах и донных отложениях, в зависимости от расстояния от створа Лабытнанги.

2. Содержание в воде ^{90}Sr, как наиболее подвижного радионуклида, нестабильно, и немонотонно изменяется по течению реки, сначала возрастая на участке перед Лабытнанги, затем уменьшаясь после створа Лабытнанги,

и вновь возрастая в выходных створах перед Обской Губой. Изменение удельной активности в воде по течению описывается полиномом ^{90}Sr (Бк/кг) = $1{,}04\times10^{-9}x^3$ + + $1{,}36\times10^{-8}x^2$ - $3{,}96\times10^{-5}x$ + $1{,}3\times10^{-2}$ (где x расстояние в км от Лабытнанги), и на всем протяжении нижней Оби эта характеристика может быть представлена в виде среднего значения ^{90}Sr (Бк/кг) = 0,013 ± 0,003. Экспериментальные величины удельных активностей ^{90}Sr в устьях рек Ланготъеган, Щучья и Хадытаяха удовлетворительно вписываются в общий тренд, представленный эмпирической полиномиальной моделью. Содержание ^{90}Sr в удаленных створах этих рек (в районе моста) в несколько раз ниже.

3. Удельная активность в воде ^{137}Cs по течению Оби характеризуется трендом с ниспадающей зависимостью, удовлетворительно описываемой кубическим полиномом ^{137}Cs (Бк/кг) = $5{,}61\times10^{-10}x^3$ – $1{,}07\times10^{-10}x^2$ - $4{,}53\times10^{-5}x$ + + $7{,}67\times10^{-3}$ (где x расстояние в км от Лабытнанги). При этом максимальная удельная активность ^{137}Cs в воде 0,015 Бк/кг отмечена в створе Оби перед Лабытнанги (о. Гахморка) в 2016 г., а минимальная – 0,0011 Бк/кг в створе протоки Большая Наречинская в 2015 г. Зарегистрированные величины удельных активностей ^{137}Cs в устьях рек Ланготъеган, Щучья и Хадытаяха удовлетворительно согласуются с общим трендом, однако располагаются ниже линии тренда.

4. Оценка годовых стоков радионуклидов в створе Лабытнанги дала следующие величины: ^{137}Cs – 4×10^{12} Бк, ^{90}Sr – $5{,}6\times10^{12}$ Бк, $^{239,240}Pu$ – 2×10^{9} Бк, ^{3}H – $1{,}5\times10^{15}$ Бк.

5. Используя уточненные (с учетом данных 2017 г.) математические модели горизонтального распределения техногенных радионуклидов вдоль течения Оби, выполнена оценка их запасов в пойменных почвах и донных отложениях нижней Оби. Интегральные запасы ^{90}Sr, ^{137}Cs и

$^{239,240}Pu$ в пойме на участке длиной 431 км (171 км перед Лабытнанги и 260 км после Лабытнанги) составили $2,6\times10^{13}$, 1.4×10^{13}и $4,3\times10^{10}$ Бк, соответственно. Интегральные запасы этих радионуклидов в донных отложениях равны $4,1\times10^{13}$ Бк, $3,3\times10^{13}$ Бк и $1,1\times10^{11}$ Бк, соответственно.

6. В пойменных почвах нижней Оби плотность запасов ^{137}Cs возрастает по течению с 1000 до 3000 Бк/м^2, величина плотности запасов ^{90}Sr варьирует около среднего значения 2953±750 Бк/м^2. Плотность запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в пойменных почвах рек Щучья и Хадытаяха в приустьевых створах чрезвычайно высока – более 10000 Бк/м^2, и существенно выше значений тренда, аппроксимирующего изменение плотности запасов этих радионуклидов в пойме нижней Оби. Предполагается, что поступление ^{90}Sr и ^{137}Cs в приустьевые поймы этих рек осуществляется из заболоченных пойм, расположенных в более северных широтах, подверженных загрязнению с Новоземельского полигона.

7. Плотность запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях Нижней Оби возрастает по течению, испытывая локальные вариации, и удовлетворительно описывается полиномиальными моделями $^{90}Sr = 3723,3e^{0,0034x}$ и $^{137}Cs=5,2\times10^{-6}x^4 - 2,12\times10^{-4}x^3 - 2,1\times10^{-1}x^2 + 5,8x + 4470$. Плотность запасов $^{239,240}Pu$ представлена спадающей линейной зависимостью $y = -0,0375x + 13,923$. Величины плотностей запасов в донных отложениях Оби примерно вдвое превышают соответствующие характеристики для пойменных почв, однако для исследованных левобережных притоков Оби р.Щучья и Хадытаяха плотности загрязнения пойменных почв в устье оказались выше, чем плотности запасов радионуклидов в донных отложениях.

8. В 2017 г. исследовано семь видов рыб: пыжьян, ряпушка, щука, язь, окунь, плотва, щокур. Содержание радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби не превышает

установленных санитарных норм, и находится в пределах (0,3÷2,1) Бк/кг по Cs-137, (1,1÷4,6) Бк/кг по Sr-90 и (0,4÷0,9) мБк/кг по ^{239,240}Pu. По результатам определения показателя соответствия критерию радиационной безопасности все исследованные виды рыбы как пищевые продукты признаны безусловно соответствующими критерию радиационной безопасности и могут быть рекомендованы для употребления в пищу населением.

9. Учитывая нестабильную радиоэкологическую обстановку как в системе рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш, так и в реке Обь на границе Томской области и ХМАО, целесообразно проводить ежегодные мониторинговые исследования миграции, накопления и перераспределения основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К III ТОМУ

1. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов//Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078 – 01. М. 2009, С.13-35.
2. ГОСТ 32161-2013. Продукты пищевые. Метод определения содержания цезия Cs-137. М.: Стандартинформ, 2013. – 6 с.
3. ГОСТ 32163-2013. Продукты пищевые. Метод определения содержания стронция Sr-90. М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.
4. Марей А.Н., Бархударов Р.М., Книжников В.А., и др. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека/Ред. А.Н. Марей. М.: Атомиздат, 1980. 250 с.
5. Нормы Радиационной Безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. М.- Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы. Минздрав России. 1999. 116с.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.- М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. - 100 с.
7. Старков В.Д., Мигунов В.И. Радиационная экология. Тюмень: ФГУ ИПП «Тюмень». – 2003. – 304 с.
8. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Радиоэкология пресноводных экосистем Екатеринбург: Изд-во УрГСХА, 2006. 390 с.

9. Трапезников А.В., Молчанова И. В., Караваева Е. Н., В.Н. Трапезникова. Миграция радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах. Том II. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007.- 400 с.

10. Трапезников А.В. ^{60}Co,^{90}Sr,^{137}Cs и ^{239,240}Pu в пресноводных экосистемах. Екатеринбург, Изд-во «Академ-Наука», 2010. 510 с.

11. Трапезников А.В., Николкин В.Н., Коржавин А.В., Трапезникова В.Н. Распределение радионуклидов в воде, донных отложениях и пойменных почвах нижней Оби в границах Ямало-Ненецкого автономного округа // Радиационная биология. Радиоэкология.2018. том 58 № 4. С.406-414.

12. UNSCEAR. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York: United Nations, 1988. 428 p.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

2.20. Миграция, накопление и перераспределение основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. 2013-2014 гг. 4

2.20.1. Содержание ^{90}Sr, ^{137}Cs, и $^{239,240}Pu$ в воде рек Обь, Иртыш и оценка их годовых стоков. 2013-2014 гг. 4

2.20.2. Содержание техногенных радионуклидов в пойменных почвах и оценка их интегральных запасов в пойме реки Обь.2013-2014 гг. 18

2.20.3. Содержание техногенных радионуклидов в донных отложениях реки Обь.2013-2014 гг. 33

2.20.4. Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне реки Обь. 2013-2014 гг. 45

2.20.5. Итоги мониторинговых исследований 2013-2014 гг. 48

2.21. Миграция, накопление и перераспределение основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. 2015 г. 50

2.21.1. Содержание радионуклидов в воде рек Обь- Иртышской речной системы и оценка их годовых стоков. 2015 г. 52

2.21.2. Содержание радионуклидов в пойменных почвах нижней Оби и оценка интегральных запасов радионуклидов. 2015 г. 67

2.21.3. Содержание и расчет интегральных запасов радионуклидов в донных отложениях нижней Оби. 2015 г. 97
2.21.4. Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби 119
2.21.5. Итоги мониторинговых исследований. 2015 г. 132
2.22. Миграция, накопление и перераспределение основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. 2016 г. 135
2.22.1. Общая характеристика исследуемого участка Оби и точек отбора проб 135
2.22.2. Содержание радионуклидов в воде и оценка годового стока радионуклидов 137
2.22.2.1 Содержание в воде ^{90}Sr, ^{137}Cs и $^{239,240}Pu$ 137
2.22.2.2 Содержание трития в воде исследованных створов Оби 146
2.22.2.3 *Оценка годовых стоков радионуклидов в нижней Оби* 148
2.22.3. Содержание радионуклидов в пойменных почвах нижней Оби и оценка интегральных запасов радионуклидов 150
2.22.4. Содержание и расчет интегральных запасов радионуклидов в донных отложениях нижней Оби 173
2.22.5. Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби 196
2.22.6. Итоги мониторинговых исследований 2016 года 202

2.23. Миграция, накопление и перераспределение основных техногенных радионуклидов в реке Обь (включая пойму) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. 2017 г. 205
2.23.1. Общая характеристика исследуемого участка Оби и точек отбора проб 205
2.23.2. Содержание радионуклидов в воде и оценка годового стока радионуклидов 208
2.23.2.1 Содержание в воде ^{137}Cs, ^{90}Sr и $^{239,240}Pu$ 208
2.23.2.2 Содержание трития в воде исследованных створов Оби 217
2.23.2.3 Оценка годовых стоков радионуклидов в нижней Оби 220
2.23.3. Содержание радионуклидов в пойменных почвах нижней Оби и оценка интегральных запасов радионуклидов 222
2.23.4. Содержание и расчет интегральных запасов радионуклидов в донных отложениях нижней Оби 252
2.23.5. Содержание техногенных радионуклидов в ихтиофауне нижней Оби 270
2.23.6. Итоги мониторинговых исследований 2017 года 273
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К III ТОМУ 277

ПРИЛОЖЕНИЯ 282

ПРИЛОЖЕНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ

РАЗРЕШЕНИЕ

Регистрационный номер Р-УО-01-501- 8853 от 19 декабря 2016 г.

Выдано **Трапезникову Александру Викторовичу**

на право ведения работ в области использования атомной энергии в должности заведующего лабораторией общей радиоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук

(Российская Федерация, 620144, г.Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202)

в соответствии со статьей 27 Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ "Об использовании атомной энергии"

Разрешение выдано на основании заявления № 16353-9311/662 от 28.10.2016

Срок действия разрешения: с 23 декабря 2016 г. до 23 декабря 2021 г.

Руководитель Уральского МТУ по надзору за ЯРБ Ростехнадзора **А.П. Хомяков**

М.П.

Разрешение действует при соблюдении условий действия разрешения, являющихся его неотъемлемой частью

Серия А В №454856

УСЛОВИЯ ДЕЙСТВИЯ РАЗРЕШЕНИЯ

Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
№ Р-УО-01-501- 8853 от 19.12.2016, выданного Трапезникову Александру Викторовичу
(далее – владелец разрешения)
на право ведения работ в области использования атомной энергии в должности
заведующего лабораторией общей радиоэкологии Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Института экологии растений и животных
Уральского отделения Российской академии наук

1. Общие требования.

1.1. Владельцу разрешения предоставлено право: руководство при безопасной эксплуатации радиационного источника, учет и контроль радиоактивных веществ.

1.2. Действие разрешения распространяется только на указанную(ые) в нем должность(ти).

1.3. Разрешение не может быть передано другому лицу или распространено на деятельность другого физического лица.

1.4. Владелец разрешения при выполнении должностных обязанностей должен соблюдать требования действующих норм и правил по безопасности в области использования атомной энергии, производственных инструкций и настоящих Условий действия разрешения.

1.5. Владелец разрешения должен периодически в установленные сроки проходить медицинские освидетельствования и психофизиологические обследования.

1.6. Перерыв в выполнении владельцем разрешения должностных обязанностей не должен превышать 6 месяцев.

1.7. Владелец разрешения должен непрерывно поддерживать, повышать и ежегодно подтверждать уровень квалификации.

1.8. Владелец разрешения должен проходить проверку знаний правил и норм в области использования атомной энергии в соответствии с должностной инструкцией, сроки и объем которой установлены нормативными документами.

2. Специальные требования.

2.1. При введении новых норм и правил в области использования атомной энергии и/или изменения порядка выдачи разрешений на право ведения работ, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору имеет право изменить настоящие Условия действия разрешения.

2.2 Копия разрешения, заверенная администрацией организации, должна находиться на рабочем месте владельца разрешения и предъявляться представителям Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по их требованию.

2.3. В случае досрочного прекращения действия разрешения, оригинал разрешения подлежит возврату в Уральское межрегиональное территориальное управление по надзору за ядерной и радиационной безопасностью Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

3. Осуществление надзора за соблюдением Условий действия разрешения.

3.1. Надзор за соблюдением Условий действия разрешения осуществляет Отдел по надзору за РОО Уральского межрегионального территориального управления по надзору за ядерной и радиационной безопасностью Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
«РОСАТОМ»

ДЕПАРТАМЕНТ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ОРГАНИЗАЦИИ ЛИЦЕНЗИОННОЙ И РАЗРЕШИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об участии в отраслевой интеркалибрации аппаратуры и методов радиационного контроля в 2008 - 2009 годах.

Регистрационный номер: ОИ-2-16 от 1 декабря 2009 года

Настоящее Свидетельство выдано:

ГУ «Институт экологии растений и животных УрО РАН»,
Отделу континентальной радиоэкологии

ОИ-1

ОИ-2

Директор
Департамента

А.М.Агапов

0056

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
«РОСАТОМ»

ДЕПАРТАМЕНТ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ОРГАНИЗАЦИИ ЛИЦЕНЗИОННОЙ И РАЗРЕШИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об участии в отраслевой интеркалибрации аппаратуры и методов радиационного контроля в 2009 - 2010 годах.

Регистрационный номер: ОИ-3-13 от 20 октября 2010 года

Настоящее Свидетельство выдано:

ГУ «Институт экологии растений и животных УрО РАН»,
Отделу континентальной радиоэкологии

ОИ-1

ОИ-2

ОИ-3

Директор
Департамента

А.М.Агапов

0105

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ

ЛИЦЕНЗИЯ

Регистрационный номер УО-09-501-1792 от 31.08.2010

Лицензия выдана Учреждению Российской академии наук Институту экологии растений и животных Уральского отделения РАН

Место нахождения лицензиата: Российская Федерация, 620144, г.Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Лицензия дает право на использование радиоактивных веществ при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Объекты деятельности: радиоактивные вещества

Основание для выдачи лицензии: заявление Лицензиата от 08.04.2010 № 16353-9311/250 и решение Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23.08.2010 № 01-18/01-1448-128

Срок действия лицензии до 31.08.2020

Лицензия действует при соблюдении прилагаемых условий действия лицензии, являющихся ее неотъемлемой частью

м.п. ***Руководитель органа лицензирования*** **А.П. Хомяков**

Серия АВ № 278459

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ
В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА

Управление Федеральной службы по защите прав потребителей и благополучия человека по Свердловской области

(наименование территориального органа)

САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

№ 66.01.32.000.М.001930.11.16 от 29.11.2016 г.

Настоящим санитарно-эпидемиологическим заключением удостоверяется, что производство (заявленный вид деятельности, работы, услуги) (перечислить виды деятельности (работ, услуг), для производства — виды выпускаемой продукции; наименование объекта, фактический адрес):

Условия работы с источниками физических факторов воздействия на человека (ионизирующее излучение) смотри приложение.

ИЭРИЖ УрО РАН; 624250, Свердловская область, г. Заречный, а/я 18 (Российская Федерация)

Заявитель (наименование организации-заявителя, юридический адрес)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук; 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202 (Российская Федерация)

СООТВЕТСТВУЕТ (НЕ СООТВЕТСТВУЕТ) государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам (ненужное зачеркнуть, указать полное наименование санитарных правил)

СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности" (НРБ-99/2009); СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) с изменениями № 1 от 16.09.2013 года.

Основанием для признания условий производства (вида деятельности, работ, услуг) соответствующими (не соответствующими) государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам являются (перечислить рассмотренные документы):

Экспертное заключение № 02-01-16-13-05/1971 от 26.05.2016 года и протокол лабораторных испытаний № 633 от 09.03.2016 года ФБУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области", аттестат "Системы" № РОСС.RU.0001.510116 от 17 мая 2013 года, действителен до 17 мая 2018 года.

Заключение действительно до 30.11.2021 г.

Главный государственный санитарный врач
(заместитель главного государственного санитарного врача) Д.Н. Козловских
Ф.И.О. (подпись, печать)

№2711062

© ООО «Первый печатный двор», г. Москва, 2015 г., уровень «В».

Номер листа: 1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ
В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА

Управление Федеральной службы по защите прав потребителей и благополучия человека по Свердловской области

(наименование территориального органа)

ПРИЛОЖЕНИЕ К САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОМУ ЗАКЛЮЧЕНИЮ

№ 66.01.32.000.М.001930.11.16 от 29.11.2016 г.

Условия работы с источниками физических факторов воздействия на человека (ионизирующее излучение).

Вид деятельности: Научно-исследовательские работы с использованием закрытых и открытых ИИИ, хранение ИИИ.

Характеристика закрытых источников ионизирующего излучения:

1. Комплект ОСАИ, № заводской: 3459/1, дата изготовления: 26.03.2010, срок службы: 10, наименование: Ra-226, начальная активность: 3,04*04 Бк
2. Комплект ОСАИ, № заводской: 3459/2, дата изготовления: 26.03.2010, срок службы: 10, наименование: Pu-238, начальная активность: 3,80*04 Бк
3. Комплект ОСАИ, № заводской: 3459/3, дата изготовления: 26.03.2010, срок службы: 10, наименование: Pu-239, начальная активность: 3,27*04 Бк
4. Комплект ОСАИ, № заводской: 3459/4, дата изготовления: 26.03.2010, срок службы: 10, наименование: Cm-244, начальная активность: 2.16*04 Бк

Место хранения: свинцовый контейнер в сейфе лаборатории общей радиологии, биофизической станции, по адресу: г. Заречный, а/я 18.

Характеристика открытых источников ионизирующего излучения:

1. Наименование: Pu-242, дата изготовления: 19.12.2011, номер паспорта: 1794/1, начальная активность: 2,22*02 Бк, кол-во: 1 ампула, место хранения: комната № 108, сейф № 62, ячейка № 8
2. Наименование: H-3, дата изготовления: 20.04.2014, номер паспорта: 45540.4Г293, начальная активность: 9,94*05 Бк, кол-во: 1 ампула, место хранения: комната № 108, сейф № 62, ячейка № 4
3. Наименование: Th-232, дата изготовления: 29.07.1983, номер паспорта: 4669, начальная активность: 2,76*02 Бк, кол-во: 1 кг, место хранения: комната № 108, сейф № 62, ячейка № 5
4. Наименование: U-238, дата изготовления: 24.11.1982, номер паспорта: 1248, начальная активность: 3,15*02 Бк, кол-во: 0,98 кг, место хранения: комната № 108, сейф № 62, ячейка № 9
5. Наименование: Cs-137, дата изготовления: 03.01.1980, начальная активность: 3,46*09 Бк, подготовлен к утилизации, место хранения: комната № 108, сейф № 62, ячейка № 6,7.
6. Наименование: Sr-90, дата изготовления: 03.01.1980, начальная активность: 2,03*09 Бк, подготовлен к утилизации, место хранения: комната № 108, сейф № 62, ячейка № 1,2.
7. Наименование: Pu-242, дата изготовления: 01.08.2002, начальная активность: 3,12*02 Бк, место хранения: бетонный бункер временного хранения.
8. Наименование: Sr-90, дата изготовления: 15.07.2005, номер паспорта: U 454, начальная активность: 5,28 Бк, подготовлен к утилизации, место хранения: бетонный бункер временного хранения цокольный этаж.
9. Наименование: Sr-90, дата изготовления: 15.07.2005, номер паспорта: U 455, начальная активность: 1,15*02 Бк, подготовлен к утилизации, место хранения: бетонный бункер временного хранения цокольный этаж.
10. Наименование: Cs-137, дата изготовления: 02.08.1989, номер паспорта: 1/89, начальная активность: 5,07*05 Бк, подготовлен к утилизации, место хранения: бетонный бункер временного хранения цокольный этаж.
11. Наименование: Sr-90, дата изготовления: 30.05.1990, номер паспорта: 390, начальная активность: 3,86*05 Бк, подготовлен к утилизации, место хранения: бетонный бункер временного хранения цокольный этаж.
12. Наименование: Pu-242, дата изготовления: 28.11.1986, номер паспорта: A-872/4, начальная активность: 1,46*07 Бк, подготовлен к утилизации, место хранения: бетонный бункер временного хранения цокольный этаж.

Главный государственный санитарный врач
(заместитель главного государственного санитарного врача) Д.Н. Козловских

(подпись, печать)

© ООО «Первый печатный двор», г. Москва, 2015 г.

000393

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

Государственный научный метрологический центр

ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии»

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о состоянии измерений в лаборатории

№ 014-24-2015

Настоящее свидетельство удостоверяет наличие в

Лаборатории общей радиоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, г. Заречный, Свердловская область

условий, необходимых для выполнения измерений в закрепленной области деятельности

Приложение:

Перечень объектов и контролируемых в них показателей на 2 листах

Директор **С.В. Медведевских**

Зав. лабораторией **И.В. Шишова**

Дата выдачи: 28.09.2015 г.

Срок действия: до 28.09.2020 г.

М.П.

Россия, 620000, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская,4
Тел.: (343) 350-26-18, факс: (343) 350-20-39. E-mail: uniim@uniim.ru

МЕТРОН

Приложение к свидетельству о состоянии измерений
№ 014-24-2015 от 28.09.2015 г.
(на 2 листах, лист 1)

Перечень объектов и показателей, закрепленных за Лабораторией общей радиоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук

№ п/п	Объект измерений	Контролируемый показатель
1	2	3
1	Вода природная (поверхностная и подземная), производственная вода, вода технологическая, вода сточная, вода дренажная, питьевая вода, атмосферные осадки	Отбор проб
2	Почва	
3	Донные отложения	
4	Пищевые продукты	
5	Вода природная (поверхностная и подземная)	Объемная активность Cs-137
		Объемная активность Cs-137
		Объемная активность Pu-238
		Объемная активность Pu-239+240
		Объемная активность Pu-242
		Объемная активность Sr-90
		Объемная активность Co-60
6	Вода дренажная и вода природная (поверхностная и подземная)	Объемная альфа- и бета активность
7	Вода природная (поверхностная и подземная), производственная вода, питьевая вода, атмосферные осадки	Объемная активность трития
8	Почвы, грунты, донные отложения, растения, сухие остатки водных проб, препараты после радиохимического выделения или технологической переработки	Удельная активность K-40
		Удельная активность Cs-137
		Удельная активность Ra-226
		Удельная активность Co-60
		Удельная активность Cs-134
		Удельная активность Eu- 152
		Удельная активность Ra-224
		Удельная активность Ra-228
		Удельная активность Am-241
9	Почвы, грунты, донные отложения, горные породы	Удельная активность Pu-238, Pu-(239+240), Pu-242
		Удельная активность Sr-90
		Удельная активность U-234
		Удельная активность U -235
		Удельная активность U -238
		Удельная альфа- и бета активность

Директор С.В. Медведевских

Приложение к свидетельству о состоянии измерений
№ 014-24-2015 от 28.09.2015 г.
(на 2 листах, лист 2)

1	2	3
10	Производственные и служебные помещения Территория промышленной зоны, жилой зоны, участков застройки	Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма- излучения.
		Плотность потока альфа-частиц
		Плотность потока бета-частиц
11	Объекты контроля поверхностного радиоактивного загрязнения: рабочие поверхности, кожа, спецодежда, средства индивидуальной защиты, транспортные средства	Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма- излучения.
		Плотность потока бета-частиц
12	Почвы, грунты, донные отложения, растения, сухие остатки водных проб, препараты после радиохимического выделения или технологической обработки, продовольственное сырье, рыба, пищевые продукты и др.	Удельная активность K-40
		Удельная активность Cs-137
		Удельная активность Ra-226
		Удельная активность Th-232
13	Препараты после электролитического осаждения	Активность Pu-238
		Удельная активность Pu-(239+240)
		Удельная активность Pu-242
		Удельная активность U-234
		Удельная активность U -235
		Удельная активность U -238
14	Вода питьевая	Объемная активность Rn-222
15	Атмосферный воздух.	Объемная активность Rn -222
	Воздух жилых и общественных зданий, воздух рабочей зоны	Количество распадов 216Po (ThA)
16	Территория промышленной зоны, жилой зоны, участков застройки	Плотность потока радона-222
17	Воздух жилых и общественных зданий, воздух рабочей зоны	Эквивалентная равновесная объемная активность Rn-222
		Эквивалентная равновесная объемная активность торона-220

Директор С.В. Медведевских

Федеральное государственное унитарное предприятие
"Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского" (ФГУП "ВИМС")

Федеральный научно - методический Центр лабораторных исследований и сертификации минерального сырья ВИМС

ЛАБОРАТОРИЯ ИЗОТОПНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{224}Ra, ^{40}K, ^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{60}Co, ^{241}Am, ^{152}Eu В ТВЕРДЫХ СЫПУЧИХ ПРОБАХ ГАММА - СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Москва,
ФГУП "ВИМС",
2013

"Методика измерений удельной активности естественных и техногенных радионуклидов ^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{224}Ra, ^{40}K, ^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{60}Co, ^{241}Am, ^{152}Eu в твердых сыпучих пробах гамма-спектрометрическим методом с использованием полупроводниковых детекторов"

РАЗРАБОТАНА: **Лабораторией изотопных методов анализа ФГУП "ВИМС"**
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 31
т/ф: (495) 959-34-33; 950-34-21
e-mail: lab@u238.ru

ЛИМА АСИЦ ФГУП "ВИМС"

Analytical Certificating Testing Center Federal State Unitary Enterprise «VIMS»

АВТОРЫ: **Бахур А.Е.** _____
научный руководитель разработки

Гулынин А.В.
Стародубов А.В.

АТТЕСТОВАНА: **ФГУП "ВНИИФТРИ"** **СВИДЕТЕЛЬСТВО №**

40181.3Г192 / 01.00294-2010

От "22" апреля 2013 г.

Номер в Федеральном Реестре Росстандарта: **ФР.1.40.2013.15401**

Регистрационный номер разработчика: **№ _____/13-3Г192**

Принадлежит:

_____

_____

_____

м.п.

Методика измерений разработана и аттестована в соответствии с ГОСТ Р 8.594-2002; МИ 2453-2000; ОСТ 41-08-205-04

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ
И МЕТРОЛОГИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

ВНИИФТРИ

ФГУП ВНИИФТРИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

**Об аттестации методики радиационного контроля
№ 40181.3Г192/01.00294-2010**

Методика измерений удельной активности естественных и техногенных радионуклидов ^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{224}Ra, ^{40}K, ^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{60}Co, ^{241}Am, ^{152}Eu в твердых сыпучих пробах гамма-спектрометрическим методом с использованием полупроводниковых детекторов, разработанная специалистами ФГУП «ВИМС» и изложенная в одноименном документе, аттестована в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.594.

Методика основана на применении для измерений принадлежащего ФГУП «ВИМС» гамма-спектрометра «Ortec 65195-P/DSPec Plus» с программным обеспечением «Gamma-Vision», градуируемого для измерений счетных образцов в геометриях «Петри 40 и 60 мм.» и «Маринелли 1 л» с помощью эталонных источников гамма-излучения ИМН-Г-3.

Методика устанавливает процедуры градуировки гамма-спектрометра, подготовки счетных образцов, выполнения измерений и обработки результатов с введением необходимых поправок и оценки неопределенности измерений.

Диапазон измерений удельной активности радионуклидов по данной методике составляет от 10 до 10^5 Бк/кг. Неопределенность измерений (P=0,95) оценивается для каждого конкретного измерения и не превышает 30%.

Аттестация проведена по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке и экспериментальной проверке методики.

Методика используется в ФГУП «ВИМС» при радиогеохимических, радиоэкологических и технологических исследованиях, при радиационном контроле и сертификации минерального сырья.

Дата аттестации: 22 апреля 2013

Руководитель экспертного органа
доктор технических наук В.П. Ярына

С N0001433

Федеральное государственное унитарное предприятие
"Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского" (ФГУП "ВИМС")

Федеральный научно - методический Центр лабораторных исследований и сертификации минерального сырья ВИМС

ЛАБОРАТОРИЯ ИЗОТОПНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ СТРОНЦИЯ-90 (^{90}Sr) В ПРОБАХ ПРИРОДНЫХ ВОД (ПРЕСНЫХ И МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ), БЕТА - РАДИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ

Москва
ФГУП "ВИМС"
2014

"Методика измерений объемной активности стронция-90 (^{90}Sr) в пробах природных вод (пресных и минерализованных) бета - радиометрическим методом с радиохимической подготовкой"

РАЗРАБОТАНА: **Лабораторией изотопных методов анализа ФГУП "ВИМС"**
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 31
т/ф: (495) 959-34-33; 950-34-21
e-mail: lab@u238.ru

ЛИМА АСИЦ
ФГУП "ВИМС"

Analytical Certificating Testing Center
Federal State Unitary Enterprise «VIMS»

АВТОРЫ: **Бахур А.Е.** _____
научный руководитель разработки

Манулова Л.И.
Зуев Д.М.
Овсянникова Т.М.
Трухина Т.П.

АТТЕСТОВАНА: **ФГУП "ВНИИФТРИ"** **СВИДЕТЕЛЬСТВО № 40074.4Ж212 / 01.00294-2010**

От "30" июня 2014 г.

Номер в Федеральном Реестре Росстандарта: ФР.1.40.2014.18554

Методика измерений разработана и аттестована в соответствии с ГОСТ Р 8.594-2002; МИ 2453-2000; ОСТ 41-08-205-04

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ
И МЕТРОЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ФГУП ВНИИФТРИ

ВНИИФТРИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об аттестации методики радиационного контроля
№ 40074.4Ж212/01.00294-2010

Методика измерений объемной активности стронция-90 (Sr^{90}) в пробах природных вод (пресных и минерализованных) бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой, разработанная ФГУП «ВИМС» и изложенная в одноименном документе, аттестована в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.594.

Методика основывается на приготовлении из пробы воды счетного образца, содержащего дочерний продукт распада стронция-90 (иттрий-90), последовательным химическим концентрированием его из пробы и хроматографическим отделением с помощью анионообменной смолы с последующим измерением активности иттрия в счетном образце на низкофоновом бета-радиометре, предварительно аттестованном по чувствительности с помощью эталонного источника, идентичного счетному образцу. Методика регламентирует процедуры приготовления счетного образца, подготовки и выполнения измерений, а также оценки неопределенности измерений.

Диапазон измерений объемной активности стронция-90 в пробах вод составляет от 0,3 до 50 Бк/дм^3. Неопределенности измерений оценивается в каждом конкретном измерении, но не превышает 30% (при Р=0,95).

Аттестация методики проведена по результатам метрологической экспертизы материалов по ее разработке и испытаниям.

Дата аттестации: 30 июня 2014 г.

Руководитель экспертного органа В. П. Ярына

С N0003721

Федеральное государственное унитарное предприятие
"Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского" (ФГУП "ВИМС")

Федеральный научно - методический Центр лабораторных исследований и сертификации минерального сырья ВИМС

ЛАБОРАТОРИЯ ИЗОТОПНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ЦЕЗИЯ - 137 (^{137}Cs) В ПРОБАХ ПРИРОДНЫХ (ПРЕСНЫХ И МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ), ГАММА - СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ

Москва,
ФГУП "ВИМС",
2013

стр-2 (2480x3507x24b jpeg)

"Методика измерений объемной активности цезия - 137 (^{137}Cs) в пробах природных (пресных и минерализованных) вод гамма - спектрометрическим методом с предварительным концентрированием"

РАЗРАБОТАНА: **Лабораторией изотопных методов анализа ФГУП "ВИМС"**
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 31
т/ф: (495) 959-34-33; 950-34-21
e-mail: lab@u238.ru

АИМА АСИЦ
ФГУП "ВИМС"

Analytical Certificating
Testing Center
Federal State Unitary
Enterprise «VIMS»

АВТОРЫ: **Бахур А.Е.**
научный руководитель разработки

Манулова Л.И.
Зуев Д.М.
Овсянникова Т.М.
Трухина Т.П.

АТТЕСТОВАНА: **ФГУП "ВНИИФТРИ"** **СВИДЕТЕЛЬСТВО №**
40073.3Г189 / 01.00294-2010
От "22" апреля 2013 г.

Номер в Федеральном Реестре Росстандарта: **ФР.1.40.2013.15398**

Регистрационный номер разработчика: 5 /13-3Г189

Принадлежит:
ИЭРиЖ УрО РАН
г. Екатеринбург

М.П.

Методика измерений разработана и аттестована в соответствии с ГОСТ Р 8.594-2002; МИ 2453-2000; ОСТ 41-08-205-04

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ
И МЕТРОЛОГИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ФГУП ВНИИФТРИ

ВНИИФТРИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

Об аттестации методики радиационного контроля

№ 40073.3Г189/01.00294-2010

Методика измерений объемной активности цезия-137 (^{137}Cs) в пробах природных вод (пресных и минерализованных) гамма-спектрометрическим методом с предварительным концентрированием, разработанная специалистами ФГУП «ВИМС» и изложенная в одноименном документе, аттестована в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.594.

Методика основана на измерении гамма-спектра счетного образца, содержащего ^{137}Cs, количественно выделенный из пробы воды с использованием радиохимических приемов, и расчете его объемной активности в пробе.

Диапазон измеряемой объемной активности по данной методике составляет 0,05-10^3 Бк/дм^3. Неопределенность измерений (P=0,95) оценивается при каждом конкретном измерении и не превышает 30%.

Аттестация методики выполнена по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке и экспериментальной проверке методики.

Методика предназначена для использования при радиоэкологических, геолого-геохимических и технологических исследованиях, а также для радиационного контроля в области природопользования и охраны окружающей среды, в том числе при радиационном контроле питьевых вод, производственном радиационном контроле на нефтегазодобывающих предприятиях.

Дата аттестации: 22 апреля 2011 г.

Руководитель экспертного органа,
доктор технических наук В.П. Ярына

Копия верна

С N0001432

Федеральное государственное унитарное предприятие
"Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского" (ФГУП "ВИМС")

Федеральный научно - методический Центр лабораторных исследований и сертификации минерального сырья ВИМС

ЛАБОРАТОРИЯ ИЗОТОПНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

СУММАРНОЙ АКТИВНОСТИ АЛЬФА- И БЕТА- ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОБАХ ДРЕНАЖНЫХ И СКВАЖИННЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬФА-БЕТА-РАДИОМЕТРА УМФ-2000

Москва
ФГУП "ВИМС"
2013

"Методика измерений суммарной активности альфа- и бета- излучающих радионуклидов в пробах дренажных и скважинных вод с использованием альфа-бета-радиометра УМФ-2000"

РАЗРАБОТАНА: **Лабораторией изотопных методов анализа ФГУП "ВИМС"**
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 31
т/ф: (495) 959-34-33; 950-34-21
e-mail: lab@u238.ru

ЛИМА АСИЦ
ФГУП "ВИМС"

Analytical Certification
Testing Center
Federal State Unitary
Enterprise "VIMS"

АВТОРЫ: **Бахур А.Е.** _____
научный руководитель разработки

Мануилова Л.И.
Зуев Д.М.
Овсянникова Т.М.
Романов А.В. (ОАО "МСЗ")
Семина О.В. (ОАО "МСЗ")
Колотилкина Н.И. (ОАО "МСЗ")

АТТЕСТОВАНА: **ФГУП "ВНИИФТРИ"**

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 40073.3Г176 / 01.00294-2010

От "22" апреля 2013 г.

Номер в Федеральном Реестре Росстандарта: ФР.1.40.2013.15384

Регистрационный номер разработчика: _____/13-3Г176

Принадлежит:

_____

_____

_____

м.п.

Методика измерений разработана и аттестована в соответствии с ГОСТ Р 8.594-2002; МИ 2453-2000; ОСТ 41-08-205-04

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ
И МЕТРОЛОГИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

**ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

ВНИИФТРИ

ФГУП ВНИИФТРИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

Об аттестации методики радиационного контроля

№40073.3Г176/01.00294-2010

Методика измерений суммарной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов в пробах дренажных и скважинных вод с использованием альфа-бета-радиометра УФМ-2000,разработанная специалистами ФГУП «ВИМС» и изложенная в одноименном документе, аттестована в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.594.

Методика основана на приготовлении счетного образца из водной пробы упариванием до сухого остатка с сульфатацией и последующем измерении его активности с использованием низкофонового радиометра УМФ-2000, эффективность регистрации альфа- и бета-излучения которого определена с помощью эталонного радионуклиидного источника КП/У-АБ.

Диапазон измеряемых значений суммарной объемной (удельной) активности по данной методике составляет от 0,1 до 10^3 Бк/дм^3.Неопределенность измерений (Р=0,95) оценивается при каждом конкретном измерении и не превышает 50%.

Аттестация методики проведена по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке и исследованию методики.

Методика предназначена для применения на предприятиях ЯТЦ.

Дата аттестации: 22 апреля 2013г.

Руководитель экспертного органа,
доктор технических наук В.П. Ярына

С N0001457

Научное издание

Александр Викторович Трапезников
Вера Николаевна Трапезникова
Александр Васильевич Коржавин
Виктор Николаевич Николкин

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

ТОМ III

Ответственный редактор
академик РАН,
доктор биологических наук, профессор **И.М. Донник**

Фото на обложке: А.Б. Сунгуров

Подписано в печать: 26.11.2018 г. Формат 60x84 1/16
Усл. печ. л. 19. Тираж 350 экз.
Бумага «Гознак»

Издательство «АкадемНаука»
624250, Свердловская обл., г. Заречный,
ул. Ленинградская, 24 Б
Тел.: (34377) 7-11-53

Переплет выполнен в ГУП СО «Режевская типография»
623750, Свердловская обл., г. Реж,
Ул. Красноармейская, 22
Тел.: (34364) 2-25-03, 2-15-32

Трапезников Александр Викторович

доктор биологических наук,
Заслуженный эколог РФ,
Зав. Отделом континентальной радиоэкологии и Биофизической станцией Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН.
Автор 420 научных трудов, включая 13 монографий.
Лауреат премии имени Н.В.Тимофеева-Ресовского Уральского отделения РАН и Международного конкурса научных работ в области радиоэкологии имени В.М. Клечковского.
Действительный член Международного союза радиоэкологии и Международного союза экоэтики.

Трапезникова Вера Николаевна

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник лаборатории общей радиоэкологии Отдела континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН.
Автор 275 научных трудов, включая 9 монографий.
Лауреат премии Международного конкурса научных работ в области радиоэкологии
имени В.М. Клечковского.
Действительный член Международного союза радиоэкологии.

Коржавин Александр Васильевич

кандидат ветеринарных наук,
Зам. зав. Отделом континентальной радиоэкологии и Биофизической станцией Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН.
Автор 118 научных трудов, включая 3 монографии.

Николкин Виктор Николаевич

Главный специалист Отделения реакторного материаловедения
АО «Институт реакторных материалов» Росатома
Автор 108 научных трудов, включая 3 монографии.