

УДК 574.58; 574.2.043; 577.346

Трапезников Александр Викторович,
руководитель подразделения, доктор биологических наук

Трапезникова Вера Николаевна,
канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник,

Коржавин Александр Васильевич,
*заместитель зав. отделом континентальной радиоэкологии,
заведующий отделом и
Биостанцией института экологии растений
и животных УрО РАН, ст. науч. сотрудник, канд. ветер. наук*

Николкин В.Н.,
*вед. науч. сотр. Института экологии
растений и животных УрО РАН*

Городецкий Владислав Геннадьевич,
*вед. науч. сотрудник Института экологии
растений и животных УрО РАН.*

Институт экологии растений и животных Уральское отделение О РАН

ОБЗОР РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Аннотация. Представлен обзор радиоэкологической ситуации в Уральском регионе после радиационных аварий на ПО «Маяк». Показаны результаты работ сотрудников Отдела континентальной радиоэкологии по оценке загрязнений пресноводных экосистем Уральского региона и Западной Сибири. Выполнены прогностические расчеты концентрации радионуклидов в воде и донных отложениях озер в течение 100 лет, начиная с 1957 г.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, Восточно-Уральский радиоактивный след, моделирование, прогноз, Обь, Иртыш, Теча.

УРАЛ РАЙОНУНДАГЫ РАДИАЦИЯЛЫК АБАЛДЫН ОБЗОРУ

Аннотация. Илимий макала ПО «Маякта» радиациондук авариядан кийин радиоэкологиялык айылы боюнча обзор берилген. Урал регионунда жана батыш Сибирде континенталдуу радиоэкология бөлүмүнүн окумуштуулары тарабынан аткарылган илимий иштин жыйынтыгы менен тузсуз суу экосистем абасынын булгануусуна баа берилген. 1957-жылдан тартып сууда жана көлдөрдүн түбүндөгү чөкмө катмарлардын 100 жылдар аралыгындагы радионуклидердин концентрациялык божомол эсеби келтирилди.

Негизги сөздөр: радиоактивдүү булгануу, Чыгыш-Уралда радиоактивдүү из, мезгилдөө, божомол, Обь, Иртыш, Теги.

REVIEW OF THE RADIOECOLOGICAL SITUATION IN THE URAL REGION

Abstract. A review of the radioecological situation in the Ural region after radiation accidents at the Mayak Production Association is presented. The results of the work of the staff of the Department of Continental Radioecology for assessing the pollution of freshwater ecosystems of the Ural region and Western Siberia are shown. The prognostic calculations of the concentration of radionuclides in the water and bottom sediments of lakes for 100 years, starting in 1957, have been performed.

Key words: radioactive contamination, East Ural radioactive trace, modeling, forecast, Ob, Irtysh, Techa.

Уральский регион является высоко-развитым промышленным комплексом. Здесь сосредоточены: мощная энергетика, многоотраслевое машиностроение, металлургическая, химическая, нефтехимическая, лесная, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная промышленность. Велика антропогенная нагрузка на экологию региона.

На фоне химического загрязнения природной среды Уральский регион испытывает на себе самые разнообразные по генезису радиационные воздействия. Северная часть региона находится в зоне влияния Новоземельского полигона ядерных испытаний, средняя и южная часть – ПО МАЯК, где в 1957 году произошла тяжелейшая радиационная катастрофа, оставившая после себя Восточно-Уральский радиоактивный след. На территории региона проводились массовые подземные технологические взрывы, испытания ядерного оружия, сосредоточено производство и хранение ядерных боеприпасов, проводится переработка ядерного горючего, ведется добыча и первичная переработка урана и тория. Кроме того, регион испытывает загрязнение от природных радиоактивных источников.

В настоящее время в регионе функционирует 8 ядерных реакторов, 6 мощных центров по переработке радиоактивных материалов, 6 центров по захоронению ядерных отходов. Только на ПО «Маяк» общая радиоактивность отходов составляет более 37 ЭБк (1 миллиард Ки), что во мно-

го раз превышает выбросы радиоактивных материалов в результате Чернобыльской катастрофы [1]. Кроме того, в пределах Уральского региона было произведено 38 технологических ядерных взрывов, из них 5 с выбросом на поверхность.

Чрезвычайно актуальным представляется исследование миграции, накопления и распределения радионуклидов в крупных водных биогеоценозах, подверженных воздействию предприятий ядерного топливного цикла. Именно поэтому, в качестве типичных образцов таких водных экосистем нами были выбраны как объекты исследования реки Теча и Исеть на Южном Урале, а также Тура, Иртыш и Обь (в первую из них в 1949–1951 гг. с ПО «Маяк» было сброшено более 100 ПБк (2,75 млн. Ки) радиоактивных отходов; озера Тыгиш, Червяное и Большой Сунгуль, расположенные на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) и Белоярское водохранилище – водоем охладитель Белоярской АЭС им. И.В. Курчатова, одной из первых в СССР промышленных атомных электростанций.

Важнейшей задачей радиоэкологии является исследование барьерной роли пресноводных экосистем. Особенно важна количественная оценка барьерной роли крупных открытых водных систем – рек, закрытых – озер и полужакрытых – искусственных проточных водохранилищ. Все перечисленные типы водных биогеоценозов широко представлены в Уральском регионе.

Исследования рек Течи и Исеть



Рис 1. Схема района исследования рек Течи и Исети.

В первые годы работы ПО «Маяк» (1949–1952) жидкие радиоактивные отходы предприятия сбрасывались в р. Течу в 6 км от ее истока. За этот период было сброшено $76 \cdot 10^6$ м³ отходов общей радиоактивностью 10^{17} Бк, среди которых долгоживущие радионуклиды ^{90}Sr и ^{137}Cs составляли, соответственно, 11,6 и 12,2 %. Сейчас, с учетом радиоактивного распада, содержание ^{90}Sr оценивается в 10^{15} Бк, а ^{137}Cs – $4,6 \cdot 10^{15}$ Бк. Среднегодовые концентрации долгоживущих радионуклидов в воде реки Течи со временем уменьшались. Так, начиная с 1949 года концентрация ^{90}Sr в воде в районе села Муслумово уменьшилась в 400 раз, а содержание ^{137}Cs – в 40 000 раз.

В настоящее время концентрация долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в воде р. Течи превышает контрольные уровни на 1–3 порядка величин и уменьшается с расстоянием от места сброса по экспоненциальному закону.

Уровни загрязнения грунтов р. Течи искусственными радионуклидами на 1–4 порядка величин превышают концентрации, обусловленные глобальными выпадениями.

Главным источником радиоактивного загрязнения р. Исети является водный сток р. Течи. Концентрация ^{90}Sr в воде р. Исети после впадения этого притока возрастает более чем в 10 раз. В низовье р. Исети концентрация ^{90}Sr примерно в 5 раз выше, чем до впадения в нее р. Течи. Влияние загрязненных стоков р. Течи на содержание ^{137}Cs в воде р. Исети проявляется в меньших масштабах, чем на концентрацию в ней ^{90}Sr .

Водные растения являются чувствительными биоиндикаторами радиоактивного загрязнения р. Исети. После впадения в нее р. Течи содержание ^{90}Sr в кладофоре возрастает примерно в 15–20 раз. Повышенные концентрации ^{90}Sr обнаружены в водных растениях на всем последующем протяжении р. Исети вплоть до г. Ялуторовска и далее вниз по течению р. Тобола.

Расчет запасов радионуклидов в р. Исети показал, что в воде р. Исети содержится ^{137}Cs примерно в 3 раза меньше, чем в воде р. Течи, а ^{90}Sr – в 3,5 раза больше. В то же время в грунтах р. Исети содержится ^{90}Sr в 2 раза больше, чем в грунтах р. Течи, а ^{137}Cs в – 50 раз меньше [2].

Озера на территории ВУРС в пределах Свердловской области

Радиационная авария в сентябре 1957 г. привела к загрязнению около 30 озер на территории Южного Урала [4].

В Свердловской области таким водоемом оказалось оз. Тыгиш в Каменском районе. Запасы ^{90}Sr в воде, иле и биомассе в нем составили соответственно 2,2 Ки, 20,0 Ки и 0,27 Ки (77,7 ГБк, 790,0 ГБк и 10,0 ГБк).

В после аварийный период радиационная обстановка на озерах изменялась под влиянием ряда факторов, из которых следует отметить сток с территории водосбора, естественный радиоактивный распад поступивших в водоем радионуклидов, перераспределение последних между основными компонентами водоемов, поступление радионуклидов вследствие ветрового подъема и переноса ила с берегов оз. Карачай в 1967 году, а также воздушный перенос радиоактивных веществ из зоны



Рис. 2. Схема исследованных озер Каменского района Свердловской области

аварии на Чернобыльской АЭС 1986 г. В 1993 году Отделом континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных УрО РАН было проведено изучение сложившейся радиоэкологической ситуации на озерах Тыгиш, Червяное и Б. Сунгуль

На основании результатов собственных радиоэкологических исследований озер Тыгиш, Червяное и Б. Сунгуль (территория Восточно-Уральского радиоактивного следа), проведенных в 1993 г., и данных ряда литературных источников, с помощью математического моделирования дана экстраполяция оценка концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в указанных водоемах в начальный период после аварии на ПО «Маяк». По

уравнениям регрессии сделаны прогностические расчеты концентрации радионуклидов в воде и донных отложениях озер в течение 100 лет, начиная с 1957 г.

В 1993 г. концентрация ^{90}Sr в воде оз. Тыгиш составила 0,60 Бк/л, оз. Червяное – 0,36 Бк/л и оз. Б. Сунгуль – 0,32 Бк/л. По расчетам, сделанным с использованием математических моделей, в 1957 г. концентрация ^{90}Sr в воде озер Тыгиш, Червяное и Б. Сунгуль равнялась 12,7 Бк/л, 3,2 Бк/л и 2,8 Бк/л, а концентрация ^{137}Cs в воде этих озер – 55 Бк/л, 0,42 Бк/л и 0,15 Бк/л соответственно. Аналогичные расчеты показали, что к 2000 г. содержание ^{90}Sr в воде изучаемых озер понизится: в оз. Тыгиш – до 4,5 Бк/л, в оз. Червяное – до 0,3 Бк/л и

в оз. Б. Сунгуль до 0,2 Бк/л, а концентрация ^{137}Cs в воде этих озер уменьшится до 0,01–0,02 Бк/л.

По расчетам, в 1993 г. общие запасы ^{90}Sr в воде и донных отложениях оз. Тыгиш равнялись 77,6 ГБк, в оз. Червяное – 31,8 ГБк, в оз. Б. Сунгуль – 249,1 ГБк, а общие запасы ^{137}Cs в этих озерах составили 14,7 ГБк, 24,7 ГБк и 150,5 ГБк соответственно. При этом на долю воды в водоемах приходилось 3,1–13,8% от общего запаса ^{90}Sr и 0,03–21,8% от общего запаса ^{137}Cs . В начале аварии, в 1957 г., суммарное содержание каждого из радионуклидов было значительно выше: по ^{90}Sr в оз. Тыгиш оно составляло 160,1 ГБк, в оз. Червяное – 76,0 ГБк и в оз. Б. Сунгуль – 596,1 ГБк, а ^{137}Cs – 33,5 ГБк, 56,6 ГБк и 344,1 ГБк соответственно.

Оценки запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях исследованных озер, полученные путем прямых измерений содержания нуклидов в пробах донных грунтов, и расчета по математическим моделям, имеют хорошую сходимость.

Обследованные озера различаются характером распределения запасов радионуклидов по слоям донных отложений. В оз. Тыгиш в верхнем 20-см слое содержится 30–35% каждого из радионуклидов, почти столько же накоплено в слое 20–100 см, остальное их количество депонировано в слое 100–350 см. В оз. Червяное в верхнем 20-см слое донных отложений аккумуляровано около 23% ^{90}Sr и 77% ^{137}Cs , остальное количество этих радионуклидов мигрировало в слой 20–105 см. В оз. Б. Сунгуль в слое 0–10 см находится около 47% радионуклидов, 53% их перешло в слой 20–100 см.

Показано, что концентрация трития в воде озер значительно ниже предельных уровней, установленных НРБ-99 для питьевой воды [3].

По имеющимся оценкам в пойме Течи депонировано около 4,6 ПБк ^{137}Cs и 4,3 ПБк ^{90}Sr , представляющих потенциальную радиационную опасность для регионов, расположенных ниже по течению рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь [2].

Исследования системы Обь-Иртыш (2004–2010 гг.)

Объектами исследований 2004–2010 годов являлись вода, донные отложения, пойменные почвы, а также основные виды ихтиофауны, обитающие в данных реках. В исследованных объектах определены содержание техногенных радионуклидов – ^{90}Cs и ^{90}Sr .

В 2010 году продолжилась тенденция стабилизации содержания ^{90}Sr в воде рек Обь и Иртыш на уровне 15–24 Бк/м³. Резкий подъем объемной активности ^{90}Sr в водной среде на входном створе Оби в 2009 году до рекордного за последние годы показателя в 154 Бк/м³ никак не отразился на содержании данного радионуклида в нижележащих участках реки, а в 2010 году объемная активность ^{90}Sr в воде данного створа снизилась до 15,2 Бк/м³.

На входных створах Оби (створ 4 и 5) в 2010 году отмечен рост объемной активности ^{137}Cs в водной среде. В результате этого в пробах воды указанных створов было зарегистрировано самое высокое для данных участков реки содержание ^{137}Cs на уровне 6,1 и 4,4 Бк/м³, соответственно.



Рис. 3. Карта-схема расположения исследованных участков на реках Обь и Иртыш

Выполнена оценка интегральных запасов радионуклидов в пойменных почвах Оби на участке от границы с Томской областью (Соснино) до Ханты-Мансийска и на участке длиной 65 км ниже устья Иртыша, а также на Иртыше от устья р. Демьянки до Ханты-Мансийска. Запасы радионуклидов в пойме рек составили: 5,2 ТБк по ^{137}Cs и 16 ТБк по ^{90}Sr – в пойме Оби, и 1,4 ТБк по ^{137}Cs , а также 5,5 ТБк по Sr – в пойме Иртыша. Оценка запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr по результатам исследований 2010 г. оказалась сопоставимой со средней оценкой значений за годы наблюдений с 2004 по 2009, и в большинстве случаев несколько выше оценок предыдущего 2009 года.

Содержание радионуклидов в рыбе соответствует требованиям санитарных норм. Наиболее высокое содержание ^{90}Sr зафик-

сировано в пробе карася – 9,83 Бк/кг, при допустимом уровне 100 Бк/кг. На том же уровне содержание ^{90}Sr в окуне – 9,06 Бк/кг и щуке – 8,38 Бк/кг. В остальных пробах ихтиофауны содержание ^{90}Sr значительно ниже представленных данных. Максимальное содержание ^{137}Cs зафиксировано также в карасе – 7,17 Бк/кг и несколько ниже в щуке – 4,77 Бк/кг при допустимом уровне 130 Бк/кг [5].

Содержание ^{90}Sr в пойменных почвах Оби почти в три раза больше, чем в пойме Иртыша. Для ^{137}Cs превышение содержания в пойме Оби составило два раза по сравнению с содержанием в пойме Иртыша.

Средние величины плотностей локальных запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs (Бк/м²) в пойменных почвах исследуемых створов Оби и Иртыша за период 2004–2010 гг. представлены в таблице.

Таблица 1. Плотность локальных запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в пойменных почвах (Бк/м²)

	Створы Оби				Створы Иртыша	
	8	1	2	5	3	6
^{137}Cs	474,9	359,8	664,5	626,5	840,5	614,2
^{90}Sr	1451,5	1621,8	1984,2	1790,3	1907,0	1690,2

Коржавин Александр Васильевич, заместитель заведующего отделом континентальной радиозоологии, заведующий отделом и Биостанцией института экологии растений и животных УрО РАН), к.вет.н.

Литература

1. *Уткин В.И.* Радиоактивные беды Урала / В.И. Уткин, М.Я. Чеботина, А.В. Евстигнеев и др. – Екатеринбург, УрО РАН, 2000. 93 стр.

2. *Трапезников А.В.* Исследование радиоэкологической ситуации в реках Теча и Исеть, загрязненных сбросами по «Маяк»/ А.В. Трапезников, В.Н. Позолотина, П.И. Юшков, В.Н. Трапезникова, И.В. Молчанова, Е.Н. Караваева, М.Я. Чеботина, А. Ааркрог, Х. Дальгаард, С.П. Нильсен, К. Чен//.. Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Выпуск 2. – Заречный (Свердловской обл.) 1999 – С. 20–66.

3. *Трапезников А.В.* Распределение радионуклидов по основным компонентам озер на территории Восточно-Уральского

радиоактивного следа в пределах Свердловской области/ А.В. Трапезников, П.И. Юшков, В.Н. Николкин, В.Н. Трапезникова, М.Я. Чеботина, А.А. Екидин// Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Выпуск 3. – Заречный (Свердловской обл.) – 2000 – С.54–94.

4. *Романов Г.Н.* Поведение радиоактивных веществ в окружающей среде/ Г.Н. Романов, Д.А. Спиринов, Р.М. Алексахин // Природа. – 1990. – № 5, С. 53–58.

5. *Трапезников А.В.* Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем. Том II / А.В. Трапезников, В.Н. Трапезникова, А.В. Коржавин, В.Н. Николкин. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2016. – 480 с.