

ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ НА ИХТИОФАУНУ НИЖНЕЙ ОБИ И РЕК В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РОСАТОМА

В. Г. Городецкий, А. В. Трапезников, В. Н. Трапезникова, А. В. Коржавин

*Институт экологии растений и животных УрО РАН
vgorodetsky@mail.ru*

RADIATION EXPOSURES ON THE FISH FAUNA OF THE LOWER OB AND RIVERS IN ZONES OF IMPACT OF ROSATOM ENTERPRISES

V. G. Gorodetsky, A. V. Trapeznikov, V. N. Trapeznikova, A. V. Korzhavin

*Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch
vgorodetsky@mail.ru*

The paper presents the assessment of the radiation exposure due to ^{90}Sr and ^{137}Cs for 7 fish species in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug, 8 species in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. The calculations were carried out taking into account the size and weight characteristics of the studied fish. The main contribution to the formation of the radiation exposure power for all studied fish is made by ^{90}Sr accumulated in the fish organisms. The comparison of the radiation exposure power of fish in the Lower Ob and fish in the rivers Techa (NPO MAYAK), Romashka and Tom (Siberian Chemical Combine) has been carried out.

Введение

Радиоэкологическая ситуация в Нижней Оби и её пойме определяется в основном процессом выноса радионуклидов с водосборной площади. Поступление радионуклидов на территорию водосборной площади происходило за счет глобальных выпадений из атмосферы и поступлением радионуклидов в Обь-Иртышскую речную сеть в результате деятельности предприятий ядерного комплекса в бассейне Обь-Иртышской речной системы на территории Челябинской и Томской областей [5].

В реку Теча, относящуюся к бассейну Обь-Иртышской речной системы, в период 1949–1951 гг. с завода по переработке оружейного плутония (ПО «Маяк») в открытую гидрографическую сеть было сброшено $76 \cdot 10^6$ м³ жидких радиоактивных отходов суммарной активностью 10^{17} Бк. Одна часть этой активности транзитом прошла дальше, поступив в гидрографическую систему рек Исеть – Тобол – Иртыш – Обь [9]. Другая часть радионуклидов была депонирована в донных отложениях рек и пойменных почвах. 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 [6].

В результате аварии на Сибирском химкомбинате в 1993 году в окружающую среду было выброшено 30,9 ТБк, включая активность ^{239}Pu – 6,3 ГБк. На поверхности земли сформировался радиоактивный след длиной более 7 км [1]. До остановки последнего ректора в 2008 году жидкие отходы, содержащие радионуклиды, поступали в р. Ромашка, далее в реку Томь, правый приток Оби [4]. Были загрязнены пойменные почвы и донные отложения [5].

Немалую роль в переносе радионуклидов играет вторичное загрязнение речных систем через пойменные участки в периоды весенних паводков и затяжных дождей летом и осенью.

В бассейне Нижней Оби ведётся промышленный лов рыбы. Мониторинг содержания техногенных радионуклидов в ихтиофауне является крайне актуальной задачей.

С другой стороны, важна оценка радиоэкологических рисков для самой рыбы, как за счет внутренних дозовых нагрузок от содержания радионуклидов в ихтиофауне, так и за счет излучателей, содержащихся в окружающей среде (вода и донные отложения).

Результаты исследований охватывают период с 2004 по 2010 гг. в ХМАО и с 2014 по 2017 гг. в ЯНАО. За это время было накоплено большое количество материала о содержании долгоживущих радионуклидов в воде, донных отложениях, пойменных почвах и ихтиофауне Нижней Оби. Результаты этих исследований обобщены в работах [7, 8, 9]. На их основании проведена оценка доз, получаемых от радиоактивного загрязнения ихтиофауны Нижней Оби в границах ХМАО и ЯНАО и сравнение с дозовыми нагрузками на рыб в реках, протекающих в зонах воздействия предприятий Росатома: ПО «Маяк», Сибирский химический комбинат.

Материалы и методы

Для расчета мощностей дозовых нагрузок применялась программа ERICA Tool 1.3.1.49 (Tier 2) с учетом размерно-весовых характеристик исследованных видов рыб. В качестве исходных данных для программы были использованы результаты работ, связанные с отбором проб на Оби в двух створах ниже по течению от места слияния Оби и Иртыша:

20 км (ХМАО) и порядка 1000 км (ЯНАО, 10 км выше г. Лабытнанги). Работы были выполнены в рамках мониторинговых исследований Обь-Иртышского бассейна в период 2004–2010 гг. границах ХМАО [7, 8] и в период 2014–2017 гг. границах ЯНАО [9]. Отбор проб воды, донных отложений и отлов рыб проводили в летний период.

Для исследований отбирали, как правило, по три повторности каждого вида рыбы, масса каждой составляла около 3 кг.

Достоверность результатов достигалась параллельным исследованием всех образцов отобранного материала в трех повторностях, а также представительно большой массой проб, набираемой из отдельных экземпляров каждого вида рыб.

При оценке дозовых нагрузок в программе ERICA Tool 1.3.1.49 (Tier 2) использовали активности верхнего слоя донных отложений толщиной 10 см. В программу закладывалось следующее допущение: сухой вес донных отложений равняется 70 % от «мокрого».

Материал для исследований представлен следующими видами ихтиофауны:

Карась золотой или обыкновенный, – *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758), возраст от 2 до 3 лет, ведет придонный образ жизни. Питание: организмы зоопланктона и зообентоса (личинки хирономид и других насекомых, моллюски, олигохеты), а также организмы нектобентоса (бокоплавы), водоросли, гидрофиты и детрит. Тело короткое и высокое, сжатое с боков.

Лещ – *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), возраст от 3 до 5 лет, ведет придонный образ жизни, питание: зообентос. Сравнительно крупная рыба с высоким телом, сжатым с боков.

Налим – *Lota lota* (Linnaeus, 1758), возраст от 3 до 5 лет, ведет придонный образ жизни. Питается

рыбой и мелкими беспозвоночными. Тело удлиненное, округлое в передней части и сильно сжатое с боков – в задней.

Окунь речной – *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758), возраст от 2 до 3 лет, питание: рыба, беспозвоночные. Тело сжато с боков.

Пелядь (Сырок) – *Coregonus peled* (Gmelin, 1789), возраст от 2 до 3 лет, питание состоит из широкого спектра организмов: зоо- и фитопланктона, зообентоса и нектобентоса. Тело высокое не круглое, а сжатое с боков. Полупроходная рыба.

Сиг обыкновенный (Пыжьян) – *Coregonus lavaretus* (Linne, 1758), возраст от до 6 лет. Питается организмами бентоса и нектобентоса. Имеет удлиненное, уплощенное с боков тело. Полупроходная рыба.

Плотва – *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), возраст от 3 до 5 лет. Питается организмами зоопланктона, зообентоса, водорослями и гидрофитами. Тело несколько сжато с боков.

Ряпушка сибирская – *Coregonus sardinella* (Valenciennes, 1848), возраст от 4 до 6 лет. Питается преимущественно организмами зоопланктона. Тело вытянутое, сельдеобразное.

Чир (Щокур) – *Coregonus nasus* (Pallas, 1776), возраст от 5 до 7 лет. Типичный бентофаг. Тело высокое и уплощенное с боков. Полупроходная рыба.

Щука обыкновенная – *Esox lucius* (Linnaeus, 1758), возраст от 3 до 6 лет. Питание: рыба. Тело удлиненное, торпедообразное, несколько сжатое с боков.

Язь – *Leuciscus idus* (Linnaeus, 1758), возраст от 5 до 7 лет. Питание: преобладают организмы зообентоса. Тело умеренно удлиненное, овальное.

При оценке дозовых нагрузок для каждого вида рыб рассчитывались параметры эллипсоида, аппроксимирующего форму рыбы и выбирался вес, преобладающий в уловах. Соотношения между размерами

Таблица 1. Параметры эллипсоидов, аппроксимирующих форму рыб Нижней Оби

| Название | Вес, кг | Размеры аппроксимирующего эллипсоида | | | Доля времени |
|----------|---------|--------------------------------------|-----------|----------|--------------|
| | | Высота, м | Ширина, м | Длина, м | |
| Карась | 0,200 | 0,074 | 0,037 | 0,143 | 0,2/0,8 |
| Лещ | 0,500 | 0,12 | 0,03 | 0,265 | 0,2/0,8 |
| Налим | 0,500 | 0,06 | 0,043 | 0,37 | 0,2/0,8 |
| Окунь | 0,100 | 0,048 | 0,0265 | 0,15 | 0,8/0,2 |
| Пелядь | 0,400 | 0,08 | 0,0328 | 0,29 | 0,5/0,5 |
| Плотва | 0,060 | 0,045 | 0,023 | 0,11 | 0,5/0,5 |
| Пыжьян | 0,300 | 0,062 | 0,04 | 0,23 | 0,5/0,5 |
| Ряпушка | 0,150 | 0,048 | 0,026 | 0,23 | 0,5/0,5 |
| Щокур | 1,100 | 0,10 | 0,055 | 0,38 | 0,2/0,8 |
| Щука | 1,500 | 0,08 | 0,07 | 0,51 | 0,8/0,2 |
| Язь | 0,950 | 0,09 | 0,065 | 0,31 | 0,2/0,8 |

осей эллипсоида выбирали с учетом основных размерно-весовых характеристик тела выбранного вида рыбы (масса, длина, высота, ширина). Размеры осей аппроксимирующего эллипсоида подбирали таким образом, чтобы объем эллипсоида был равен объему рыбы, при условии, что её плотность равна плотности воды. Расчеты мощности дозы выполнялись для каждой повторности для всех видов рыб.

Результаты и их обсуждение

Параметры аппроксимирующих эллипсоидов.

В таблице 1 представлены рассчитанные параметры эллипсоидов, аппроксимирующих форму каждого вида рыбы, выбранная масса и соотношение долей времени, проводимого рыбами в толще воды и вблизи дна, с учетом образа жизни и питания. Выбранные параметры заносились в программу.

Ихтиофауна Нижней Оби. В таблице 2 представлены средние мощности доз для каждого вида рыб суммарно за счет ^{90}Sr и ^{137}Cs , находящихся в организме рыб и в окружающей среде.

Таблица 2. Средние суммарные мощности доз от ^{90}Sr и ^{137}Cs в организме рыб Нижней Оби

| Рыба | ХМАО, 2004–2010 г., нГр/сут | ЯНАО, 2014–2017 г., нГр/сут |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|
| Карась | 130 ± 35 | – |
| Лещ | 336 ± 164 | – |
| Налим | 64 ± 15 | – |
| Окунь | 525 ± 202 | 93 ± 11 |
| Пелядь | – | 190 ± 57 |
| Плотва | 90 ± 16 | 63 ± 5 |
| Пыжьян | – | 136 ± 77 |
| Ряпушка | – | 57 ± 6 |
| Щокур | – | 66 ± 9 |
| Щука | 81 ± 18 | 124 ± 25 |
| Язь | 188 ± 63 | 99 ± 23 |

Для всех видов рыб Нижней Оби основная дозовая нагрузка формируется за счет внутренней мощности дозы, а основным дозообразующим радионуклидом является ^{90}Sr (таблица 3).

Мощности суммарных дозовых нагрузок от ^{90}Sr и ^{137}Cs для всех видов исследуемых рыб существенно ниже безопасных уровней, рекомендуемых как в проекте ERICA project – 10 мкГр/ч [2], так и в МКРЗ – 1 мГр/сутки [13].

Сравнение общих средних мощностей доз рыб одного вида, исследованных в 2 точках Нижней Оби, показывает, что мощности доз для окуня, плотвы и язя выше в ХМАО. Для щуки средняя мощность дозы выше в ЯНАО (таблица 2).

Внутренняя доза. Доля мощности доз от радионуклидов в организме всех рыб в общей дозе для рыб в ХМАО превышает 94 %, в ЯНАО – от 59 % до 99 % (таблицы 2, 3). Во внутренней мощности дозы доля, обусловленная ^{90}Sr , превышает 81 % в ХМАО и более 83 % в ЯНАО (таблица 3).

Радиоактивные загрязнения в Нижнюю Обь поступают со стороны наиболее загрязненных территорий Обь-Иртышского бассейна: вблизи ПО «Маяк» и Сибирского химического комбината. Со стороны ПО «Маяк» по речной системе: Теча – Исеть – Тобол – Иртыш – Обь. Со стороны Сибирского химического комбината по речной системе: Ромашка – Томь – Обь.

Целесообразно сравнить мощность дозовой нагрузки на рыб в реках на этих территориях.

ПО «Маяк». В летне-весенний период 2012–2013 годов общая дозовая нагрузка на рыбу, обусловленная ^{90}Sr и ^{137}Cs , в р. Теча уменьшается вниз по течению реки на отрезке 33–184 км от места выпуска ЖРО ПО «Маяк» [11]. Для окуня – со 124 до 4 мкГр/сут, плотвы – со 108 до 9 мкГр/сут, для щуки – со 150 до 3 мкГр/сут. Мощность внутренней дозы для плотвы уменьшалась на этом отрезке от 19 до 8 мкГр/сут.

В Нижней Оби на расстоянии порядка 1500 км (створ в ХМАО) и 2500 км (створ в ЯНАО) от ПО «Маяк» усредненные мощности дозы для окуня, плотвы, щуки (таблица 2) были на 3 порядка величины меньше, чем в реке Теча на расстоянии 33 км от точки сброса ЖРО и на 1–2 порядка меньше на расстоянии 184 км.

По мере удаления от точки сброса ЖРО в реку Теча доля мощности внутреннего облучения в общей мощности облучения увеличивалась с 17,6 % до 89 % и становится сопоставимой для плотвы ХМАО – 99 % и плотвы ЯНАО – 95 %.

Сибирский химический комбинат. В период с 2000 по 2008 годы до остановки последнего реактора мощность общей дозы облучения придонной рыбы в реке Ромашка была 200 мкГр/сут [5]. При этом доля мощности внутреннего облучения была выше 97 %. В это же время в Чернильщиковской протоке мощность общей дозы облучения была 42 мкГр/сут. В обоих случаях внутренне облучение было преобладающим. Основной вклад в мощность дозовой нагрузки вносил фосфор – 32 порядка 90 %.

После остановки последнего реактора мощность усредненной дозы за 2009–2014 на придонную рыбу снизились на 2–3 порядка. В реке Ромашка, в которую непосредственно сливались отходы, содержащие радионуклиды, до 880 нГр/сут и в Чернильщиковской протоке на реке Томь до 140 нГр/сут. Основной вклад в суммарную мощность дозы облучения вносило внешнее облучение, обусловленное ^{60}Co , ^{137}Cs и ^{152}Eu в донных отложениях.

Для Нижней Оби в качестве придонных рыб, можно рассматривать карася и леща. Усредненные мощности доз облучения за 2004–2010 годы были

Таблица 3. Средние мощности внутренних доз для рыб Нижней Оби

| | ХМАО, 2004–2010 г., нГр/сут | | ЯНАО, 2014–2017 г., нГр/сут | |
|---------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| | от ^{90}Sr | от ^{137}Cs | от ^{90}Sr | от ^{137}Cs |
| Карась | 102 ± 27 | 23,6 ± 6,4 | – | – |
| Лещ | 331 ± 161 | 1,88 ± 0,92 | – | – |
| Налим | 57 ± 18 | 2,74 ± 0,64 | – | – |
| Окунь | 514 ± 198 | 8,76 ± 3,37 | 78,5 ± 9,3 | 10,2 ± 1,21 |
| Пелядь | – | – | 174 ± 58 | 8,69 ± 2,90 |
| Плотва | 84 ± 15 | 2,53 ± 0,45 | 48,7 ± 3,9 | 5,45 ± 0,43 |
| Пыжьян | – | – | 119 ± 67 | 3,27 ± 2,02 |
| Ряпушка | – | – | 35,0 ± 3,7 | 2,21 ± 0,23 |
| Щокур | – | – | 52,3 ± 7,1 | 4,49 ± 0,61 |
| Щука | 71 ± 16 | 8,57 ± 1,91 | 112 ± 22 | 10,9 ± 2,2 |
| Язь | 183 ± 61 | 1,83 ± 0,60 | 48,5 ± 11,3 | 9,99 ± 1,86 |

130 и 336 нГр/сутки, что в несколько раз меньше чем в реке Ромашка и сравнимо с оценками доз по придонным рыбам в Черныльчиковской протоке на реке Точь [5].

Как и в случае с ПО «Маяк» мощность дозы облучения рыбы на расстоянии порядка 100 км по течению от точки сброса ЖРО уменьшается более чем на порядок величин. Оценки мощности усредненной дозы облучения рыб за 2012–2013 годы в р. Теча выше, чем для рыбы в р. Ромашка в 2009–2014 годы. Необходимо учесть, что для рыб в этих реках разный состав дозообразующих элементов.

Заключение

1. Мощность дозовой нагрузки на все виды исследуемых рыб не превышают рекомендованные МКРЗ уровни консервативного экологически безопасного уровня облучения – 1 мГр/сутки.

2. Мощность внутренней дозовой нагрузки от радионуклидов аккумулированных в исследуемых

рыбах Нижней Оби и плотвы в реки Течи, на расстоянии более 100 км ниже по течению от точки сброса ЖРО, выше мощности внешней дозовой нагрузки от радионуклидов в окружающей среде. В реке Ромашка основной вклад в суммарную мощность дозы облучения после остановки реакторов вносит внешнее облучение от радионуклидов, аккумулированных в донных отложениях.

3. Основной вклад в формирование мощностей дозовых нагрузок для всех исследуемых рыб Нижней Оби и плотвы в реке Теча вносит ^{90}Sr , аккумулированный в организме рыб.

4. Мощности дозы для окуня, плотвы и щуки Нижней Оби (ХМАО) на 1–3 порядка величин ниже, чем в реке Теча вблизи ПО «Маяк». Дозы для придонной рыбы (карась, лещ) Нижней Оби в несколько раз ниже, чем в реке Ромашка вблизи Сибирского химического комбината.

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

Литература

- Алексахин Р. М., Булдаков И. А., Губанов В. А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. Под общей ред. И. А. Ильина и В. А. Губанова / – М., ИздАТ, 2001. – 752 с.
- Лаврентьева Г. В., Сынзыныс Б. И. Современные тенденции оценки радиационного экологического риска. Обзор // Радиация и риск., 2020. Том 29. – № 2. – С. 128–138.
- Лунёва К. В., Крышев А. И. Анализ радиоэкологического воздействия Красноярского горно-химического комбината на объекты речной биоты в 2000–2012 гг. // Радиация и риск, 2014. – Т. 23. – № 1. – С. 89–96.
- Никитин А. И., Чумичев В. Б., Валетова Н. К., и др. Современное содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ и трития в воде речной системы Тобол-Иртыш (от устья р. Исеть до слияния с р. Обь) // Известия вузов. Ядерная энергетика, 2005. – № 3. – С. 26–34
- Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома. // Под общей редакцией И. И. Линге и И. И. Крышева. – М.: «САМ полиграфист», 2015. – 296 с.
- Трапезников А. В. ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в пресноводных экосистемах. Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2010. – 510 с.
- Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Коржавин А. В., Николкин В. Н. Радиоэкологический

- мониторинг пресно водных экосистем. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2014. – Т. I. – 496 с.
8. Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Коржавин А. В., Николкин В. Н. Радиоэкологический мониторинг пресно водных экосистем. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2016. – Т. II. – 480 с.
 9. Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Коржавин А. В., Николкин В. Н. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2018. – Т. III. – 304 с.
 10. Тряпицына Г. А., Осипов Д. И., Егорейченков Е. А., и др. Оценка состояния эритропоза у плотвы (*rutilus rutilus*) радиоактивно загрязненной реки Теча 2017 г. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2017. – Т. 57. – № 1. – С. 98–107.
 11. Тряпицына Г. А., Пряхин Е. А., Осипов Д. И., и др. Реакция эритропоза на трипаносомную инвазию у рыб, обитающих в радиоактивно загрязненной реке Теча // Радиационная биология. Радиоэкология, 2019. – Т. 59. – № 1. – С. 82–93.
 12. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. – 596 с.
 13. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants // Ann. ICRP, 2008. – V. 38. – № 4–6. – 251 p.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВЫ ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЯ КАК ИНДИКАТОРЫ ВЛИЯНИЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Л. А. Дорохова¹, Д. В. Юсупов^{2,3}, Л. М. Павлова¹

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН
Благовещенск, Россия, liubov.ad@yandex.ru, pav@ascnet.ru

²Амурский государственный университет

Благовещенск, Россия, yusupovd@mail.ru

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Томск

ELEMENTAL AND MINERAL COMPOSITION OF POPLAR LEAVES AS INDICATORS OF THE INFLUENCE OF THE MINING INDUSTRY

L. A. Dorokhova¹, D. V. Yusupov^{2,3}, L. M. Pavlova¹

¹Institute of Geology & Nature Management FEB RAS
Blagoveshchensk, Russia, liubov.ad@yandex.ru, pav@ascnet.ru

²Amur State University

Blagoveshchensk, Russia, yusupovd@mail.ru

³Tomsk Polytechnic University

Tomsk, Russia,

The paper presents the biogeochemical monitoring studies using a set of methods, which allowed obtaining data on the distribution of chemical elements in the leaves of poplar (*P. balsamifera* L.) in areas with mining industry. It has been established that the elemental and mineral composition of poplar leaves characterizes the presence of operating enterprises in the territories. Indicator elements and their forms of occurrence on poplar leaves in the zone of influence of the mining industry are: for Krasnokamensk U, the "Vesely" mine – Au, Cu and Ag, Sorsk – Mo.

Введение

Одним из наиболее значимых факторов техногенного преобразования природной среды является горнодобывающая промышленность. Особенностью такого негативного влияния является сочетание и значительное усиление друг друга двух факторов: техногенеза и природных геохимических аномалий.

В карьерах ведется добыча руды, вследствие чего наблюдаются такие проблемы, как вскрытие горизонта подземных вод и формирование депрессионной воронки, загрязнение подземных и поверх-

ностных вод различными элементами, разрушение уступов карьера, увеличение его площади, значительные выбросы пыли в атмосферу за счет развития ветровой эрозии.

Загрязнение горнорудных районов и прилегающих к ним территорий, интенсивность и формы его проявления зависят от многих геолого-геохимических факторов, обусловленных, прежде всего, геологическим строением района месторождения, минеральным и химическим составом руд, способом их извлечения и механическим преобразованием,