

ОЦЕНКА МОЩНОСТИ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ ^{137}Cs И ^{90}Sr ИХТИОФАУНЫ НИЖНЕЙ ОБИ И РЕКИ ПРИПЯТЬ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

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

*Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН,
г. Екатеринбург, Российская Федерация, vgorodetsky@mail.ru*

Введение. Радиозэкологическая ситуация в Нижней Оби, ее пойме определяется в основном процессом выноса радионуклидов с водосборной площади. Поступление радионуклидов на территорию водосборной площади происходило за счет глобальных выпадений из атмосферы и поступления радионуклидов в Обь-Иртышскую речную сеть в результате деятельности предприятий ядерного комплекса в бассейне Обь-Иртышской речной системы на территории Челябинской и Томской областей [1].

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 $76 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ жидких радиоактивных отходов суммарной активностью 10^{17} Бк. Одна часть этой активности транзитом прошла дальше, поступив в гидрографическую систему рек Исеть – Тобол – Иртыш – Обь [2]. Другая часть радионуклидов была депонирована в донных отложениях рек и пойменных почвах.

На Сибирском химическом комбинате до остановки последнего ректора по наработке оружейного плутония в 2008 году жидкие отходы, содержащие радионуклиды, поступали в р. Ромашка, далее в реку Томь, правый приток Оби [3]. Были загрязнены пойменные почвы и донные отложения [1].

В бассейне Нижней Оби ведется промысловый лов рыбы. Мониторинг содержания техногенных радионуклидов в ихтиофауне является крайне актуальной задачей. Важна оценка радиозэкологических 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 [2; 4; 5].

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 реке Припять на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника Республики Беларусь.

Материалы и методы. Для расчета мощностей дозовых нагрузок применялась международная 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. Лабитнанги). 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.

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

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.

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.

Песядь (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 осей эллипсоида определяли 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 ее плотность равна плотности воды. Соотношение долей времени, проводимого рыбами в толще воды и вблизи дна, определялось с учетом образа жизни и питания рыб. Расчеты мощности дозы выполнялись для каждой повторности для всех видов рыб. Выбранные параметры заносились в программу.

Результаты исследования и их обсуждение. В табл. 1 представлены средние за периоды исследований мощности доз облучения за счет ^{90}Sr и ^{137}Cs , находящихся в организме рыб и в окружающей среде, для каждого вида рыб Нижней Оби.

Таблица 1 – Суммарная мощность доз за счет ^{90}Sr и ^{137}Cs , находящихся в организме рыб и в окружающей среде. Доля внутренней мощности дозы

Рыба	ХМАО, 2004–2010 гг.		ЯНАО, 2014–2017 гг.	
	Суммарная доза, нГр/сут	Внутренняя доза, %	Суммарная доза, нГр/сут	Внутренняя доза, %
Карась	130 ± 35	97	-	
Лещ	336 ± 164	99	-	
Налим	64 ± 15	94	-	
Окунь	525 ± 202	100	93 ± 11	0,95
Песядь	-		190 ± 57	0,96
Плотва	90 ± 16	96	63 ± 5	0,86
Пыжьян	-		136 ± 77	0,90
Ряпушка	-		57 ± 6	0,65
Щокур	-		66 ± 9	0,86
Щука	81 ± 18	98	124 ± 25	0,99
Язь	188 ± 63	98	99 ± 23	0,59

Для всех видов рыб Нижней Оби основная дозовая нагрузка формируется за счет радионуклидов в организме. Их доля в общей дозе для рыб в ХМАО превышает 93 %, в ЯНАО – от 59 % до 99 % (табл. 1).

Представляет интерес сравнить полученные оценки мощности дозы облучения от ^{137}Cs и ^{90}Sr ихтиофауны Нижней Оби и реки Припять на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника на территории Республики Беларусь. Большинство радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС выпало на территории водосбора реки Припять [6]. В работе [7] приведены результаты оценки мощности дозы от ^{137}Cs и ^{90}Sr в организме рыб в р. Припять на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника 2019 г.

В табл. 2 представлены для сравнения мощности дозы облучения от радионуклидов в организме рыб Нижней Оби и некоторых видов рыб р. Припять.

Таблица 2 – Мощности доз облучения от радионуклидов в организме рыб

Рыба	р. Обь, ХМАО, 2004–2010 гг., нГр/сут		р. Обь, ЯНАО, 2014–2017 гг., нГр/сут		р. Припять, 2019 г., нГр/сут	
	от ^{90}Sr	от ^{137}Cs	от ^{90}Sr	от ^{137}Cs	от ^{90}Sr	от ^{137}Cs
Карась	102 ± 27	23,6 ± 6,4	-	-	161	21,7
Лещ	331 ± 161	1,88 ± 0,92	-	-	238	254
Налим	57 ± 18	2,74 ± 0,64	-	-	-	-
Окунь	514 ± 198	8,76 ± 3,37	78,5 ± 9,3	10,2 ± 1,21	777	899
Пелядь	-	-	174 ± 58	8,69 ± 2,90	-	-
Плотва	84 ± 15	2,53 ± 0,45	48,7 ± 3,9	5,45 ± 0,43	696	329
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	688	290
Язь	183 ± 61	1,83 ± 0,60	48,5 ± 11,3	9,99 ± 1,86	188	-

Внутренняя мощность дозовой нагрузки для всех рыб р. Припять значительно выше, чем у рыб Нижней Оби одинакового вида. Для плотвы и окуня дозы отличаются в 19 раз.

Во внутренней мощности дозы доля, обусловленная ^{90}Sr , превышает 81 % в ХМАО и более 83 % в ЯНАО (табл. 2). Для рыб р. Припять доля дозы, обусловленная ^{90}Sr , существенно меньше и составляет для: карася – 12 %, леща – 52 %, окуня – 54 %, плотвы – 32 %, щуки – 30 %, язя – 0 %.

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

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

Мощность внутренней дозовой нагрузки от радионуклидов, аккумулированных в исследуемых рыбах р. Припять, выше, чем у рыб Нижней Оби.

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

Литература

1. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома / Фонд экологической безопасности энергетики ; редкол.: И. И. Линге [и др.]. – М. : «САМ полиграфист», 2015. – 296 с.
2. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем : в 4 т. / А. В. Трапезников [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во «АкадемНаука», 2018. – Т. 3. – 304 с.
3. 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) / А. И. Никитин [и др.] // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – № 3. – С. 26–34.
4. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем : в 4 т. / А. В. Трапезников [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во «АкадемНаука», 2014. – Т. 1. – 496 с.
5. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем : в 4 т. / А. В. Трапезников [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во «АкадемНаука», 2016. – Т. 2. – 480 с.
6. Иванцов, Д. Н. Накопление и распределение по органам и тканям долгоживущих радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в организме пресноводных рыб, обитающих в водоемах Полесского государственного радиационно-

- экологического заповедника / Д. Н. Иванцов, А. В. Гулаков // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. Сер.: Естественные науки. – 2018. – № 6 (111). – С. 29–35.
7. Гулаков, А. В. Мощность дозы внутреннего облучения от инкорпорированных ^{137}Cs и ^{90}Sr ихтиофауны водоемов, расположенных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / А. В. Гулаков, Д. Н. Дроздов, Д. Н. Иванцов // Журнал Белорусского государственного университета. Экология = Journal of the Belarusian State University. Ecology. – 2020. – № 3. – С. 60–67.

ВЛИЯНИЕ УФ-С ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОРАЖЕНИЕ ФИТОПАТОГЕНАМИ И СКОРОСТЬ ПРОРАСТАНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

О. А. Гусева, П. Н. Цыгвинцев, А. В. Тихонов, Л. И. Гончарова

*Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
г. Обнинск, Российская Федерация, paul-gomel@mail.ru*

Введение. Картофель (*Solanum tuberosum*) является одной из основных сельскохозяйственных культур, потребляемой во всем мире. Суммарный годовой урожай картофеля в мире на 2017 год составил 388 млн. тонн, из них в России было произведено 21,7 млн. тонн. Средняя урожайность картофеля в России на 2020 год составила около 16,6 т/га, однако расчетная потенциальная продуктивность большинства сортов составляет 50 т/га [1; 2]. Минимально обработанные клубни представляют собой интересный продукт для увеличения продаж сырого предварительно очищенного картофеля на рынке общественного питания и розничной торговли, поскольку потребительский спрос на качественные продукты питания растет [3]. Также клубни используют для приготовления таких продуктов как чипсы, пюре, картофель-фри, крахмал, спирт.

Одной из причин низкой урожайности является широкое распространение болезней, вредителей, сорняков, потери от которых составляют от 10 до 60 %. При этом важной особенностью картофеля является то, что вследствие вегетативного размножения болезни передаются через семенные клубни, которые являются первичным источником инфекции. Применение физических методов обработки в агропромышленном комплексе в последнее время находит все более широкое распространение [4–6]. Среди исследованных нетепловых методов облучение коротковолновым ультрафиолетовым светом (УФ-С) рассматривается как перспективное. Облучение УФ-С в низких дозах приводит к накоплению противогрибковых соединений в тканях, контролирует естественную зараженность и поддерживает общее качество различных фруктов и овощей [7–10]. Также исследования показали, что УФ-С индуцирует антиоксидантную активность, снижает интенсивность дыхательных процессов, контролирует развитие гнили и задерживает преждевременное разрушение тканей свежесрезанных частей у фруктов овощей, грибов, в том числе и картофеля [11–14].

Цель исследования состояла в том, чтобы изучить воздействие различных доз облучения УФ-С на восприимчивость патогенов картофеля, таких как парша обыкновенная, парша серебристая и фитофтороз, и выявить влияние на скорость прорастания клубней после обработки УФ-С при разных температурных условиях.

Материалы и методы. В период 2012–2017 гг. в условиях мелкоделяночного полевого эксперимента на поле ФГБНУ ВНИИРАЭ засевали семенные клубни, со 100 % поражением патогенами, после облучения УФ-С в разных дозах. Клубни сорта «Санте» для полевого эксперимента отбирались согласно ГОСТ 7001-66 по массе от 35 до 100 г (стандарт I класса) и со степенью развития болезней в 80–90 % в Институте картофелеводства им. Лорха.

В лабораторных условиях отдельно определяли скорость прорастания клубней в темноте при двух температурных условиях – 24 °С и 10 °С. В качестве объектов исследования были выбраны два сорта картофеля «Гала» и «Леди Клер».

Облучение клубней проводили в специальной УФ камере. Облучение происходило на расстоянии 0,2 м, при рассчитанной мощности облучения по центру ~ 148 Вт/м², по краю ~ 76 Вт/м². Равномерность облучения всей поверхности клубня обеспечивалась роликовым транспортером, на котором монтировалась УФ камера. Диаметр ролика транспортера – 50 мм, скорость движения – 1–20 см/сек, рабочая площадь стола: длина – 2200 мм, ширина – 1070 мм. В качестве источников бактерицидного ультрафиолетового излучения использовались