

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

На правах рукописи

УДК 574 : 574.58 : 577.346

ТРАПЕЗНИКОВА  
ВЕРА НИКОЛАЕВНА

НАКОПЛЕНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ  $^{137}\text{Cs}$   
В КОМПОНЕНТАХ БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

03.00.16 - экология

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Екатеринбург - 1994

Работа выполнена в Отделе континентальной радиэкологии  
Института экологии растений и животных  
Уральского отделения РАН

Научный руководитель: доктор биологических наук,  
профессор Н.В.Куликов

Официальные оппоненты: доктор биологических наук  
старший научный сотрудник,  
В.С.Безель  
кандидат биологических наук  
старший научный сотрудник,  
А.П.Васильчикова

Ведущее учреждение: Естественно-научный институт  
при Пермском государственном  
университете им.А.М.Горького

Защита состоится "26" апреля 1994 г. в 10 часов  
на заседании специализированного совета Д 002.06.01 по защите  
диссертаций на соискание ученой степени доктора наук в  
Институте экологии растений и животных Уральского отделения  
РАН по адресу: 620229, Екатеринбург, ГСП - 511 8 Марта, 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института  
экологии растений и животных . Уральского отделения РАН.

Автореферат разослан "25" марта 1994 г.

Ученый секретарь специализированного  
совета, кандидат биологических наук



М.Г.Нифонтова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В связи с развитием атомной энергетики и рядом аварий на атомных электростанциях в последние годы особое значение приобретают вопросы, связанные с воздействием АЭС на окружающую природную среду. Дополнительное поступление радионуклидов в экосистемы, расположенные в непосредственной близости от АЭС, при нарушении технологических режимов может приводить к формированию зон с повышенным содержанием в них радионуклидов. Поэтому такие зоны становятся объектом радиэкологического мониторинга.

Особый интерес представляют водоемы-охладители, используемые для удаления избытка тепла и, частично, технологических стоков при работе АЭС. С такими стоками в водоемы может поступать целый ряд радионуклидов, которые поглощаются гидробионтами и донными отложениями, создавая потенциальную опасность для человека. В зонах поступления радиоактивных веществ в водоемы-охладители действие радиационного фактора часто проявляется на фоне подогрева воды, что способствует увеличению накопления радионуклидов гидробионтами и грунтами. Наряду с радиационным воздействием, большое влияние на экологию водоемов оказывают сами тепловые сбросы, которые могут в значительной степени изменять термический и гидробиологический режим водоема и тем самым воздействовать на ее гидрофауну и гидрофлору. Выявление особенностей функционирования водных экосистем, находящихся под воздействием АЭС, включая исследование накопления, распределения и миграции радионуклидов в основных компонентах этих биогеоценозов, является одной из важнейших задач современной радиэкологии.

Цезий-137 является одним из основных загрязнителей водоемов-охладителей атомных электростанций. Он обладает большим периодом полураспада (30 лет) и представляет интерес не только как излучатель, аккумулирующийся в организме, но и как внешний источник  $\gamma$ -излучения. Миграционная способность этого радионуклида в водных экосистемах достаточно высока. Попадая в водохранилище вместе с дренажными и поверхностными водами с территории АЭС, он аккумулируется гидробионтами и донными отложениями. В настоящее время информация о его поведении в водоемах-охладителях недостаточна.

Цели и задачи исследования. Целью настоящей работы является изучение экологических особенностей накопления, распределения и миграции  $^{137}\text{Cs}$  в компонентах пресноводной экосистемы на примере Белоярского водохранилища, используемого в качестве водоема-охладителя Белоярской АЭС. Для достижения этой цели последовательно были решены следующие задачи:

1. Изучена динамика содержания  $^{137}\text{Cs}$  в основных компонентах Белоярского водохранилища в разные годы наблюдений; 2. Исследовано вертикальное распределение радионуклида в воде водохранилища; 3. Проведено сравнение накопления  $^{137}\text{Cs}$  макрофитами в условиях эксперимента и естественного водоема; Оценены уровни накопления радионуклида растениями и грунтами в зависимости от температуры водной среды; 4. Изучено распределение  $^{137}\text{Cs}$  в воде, грунтах и водных растениях различных зон водоема-охладителя АЭС; 5. Определены коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  у основных представителей иктиофауны водоема-охладителя, а также оценена возможность поступления радионуклида с рыбой, в том числе с садковым карпом, в пищевую рацион человека; 6. Рассчитаны запасы  $^{137}\text{Cs}$  в Белоярском водохранилище и изучено распределение радионуклида по основным компонентам водоема-охладителя.

Научная новизна. В результате многолетних исследований количественно оценено содержание  $^{137}\text{Cs}$  в воде, растениях, иктиофауне и донных отложениях водоема-охладителя Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова. Выявлена роль температурного фактора в процессе накопления радионуклида различными компонентами водной экосистемы. Получены оригинальные данные о динамике накопления  $^{137}\text{Cs}$  растениями и рыбами, обитающими в водоеме-охладителе атомной электростанции. Впервые произведена оценка запасов  $^{137}\text{Cs}$  в пресноводном водохранилище и изучено распределение радионуклида по основным его компонентам.

Практическая значимость. Результаты исследований используются службой внешней дозиметрии и руководством Белоярской АЭС для периодического контроля и разработки мероприятий по улучшению экологической обстановки на водоеме-охладителе БАЭС. На основании полученных данных сотрудниками Отдела континентальной радиоэкологии совместно с Всесоюзным научно-исследовательским институтом атомных электростанций разработаны норма-

тивы допустимых и рабочих сбросов  $^{137}\text{Cs}$  в Белоярское водохранилище. Эти нормативы внедрены в практику работы Белоярской АЭС в виде документа "Допустимые и рабочие сбросы радионуклидов в Белоярское водохранилище и Ольховское болото". Результаты изучения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в икhtiофауне Белоярского водохранилища используются в практике работы Свердловского рыбокомбината, которому переданы материалы в виде отчета по теме: "Радиоэкологическое обоснование использования подогретых вод Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова для рыбохозяйственных целей". Результаты количественной оценки распределения  $^{137}\text{Cs}$  по основным компонентам водоема-охладителя Белоярской АЭС могут быть также использованы для прогнозирования уровней загрязнения воды, гидробионтов и донных отложений при возникновении аварийных выбросов радионуклидов в водохранилище.

#### Основные положения, выносимые на защиту:

1. Исследованные закономерности распределения  $^{137}\text{Cs}$  в воде, растениях, икhtiофауне, грунтах водоема-охладителя, позволяют вычленить вклад АЭС в загрязнение водоема радионуклидом.

2. Увеличение температуры водной среды приводит к возрастанию накопления  $^{137}\text{Cs}$  гидробионтами, как в экспериментальных, так и природных условиях.

3. Результаты исследования экологических особенностей накопления  $^{137}\text{Cs}$  садковой и свободноживущей рыбой, свидетельствуют о перспективности разведения садкового карпа на подогретых водах водоема-охладителя АЭС.

4. Результаты количественной оценки запасов  $^{137}\text{Cs}$  в водоеме-охладителе приводят к выводу, что основным депо радионуклида в пресноводном водохранилище являются донные отложения.

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены на расширенном лабораторном семинаре по экологическим аспектам атомной энергетики (Свердловск, 1980), на Всесоюзной конференции "Радиационная безопасность населения и защита окружающей среды в связи с эксплуатацией атомных электростанций" (Дмитровград, 1981), на Научно-технической конференции "Применение радионуклидов и ионизирующих излучений в научных исследованиях и народном хозяйстве" (Свердловск, 1983), на Всесоюзном совещании "Радиоэкологические исследования в зоне АЭС" (Свердловск, 1985), на Всесоюзном совещании "Экологические механизмы transforma-

ния популяций животных при антропогенных воздействиях" (Свердловск, 1987), на II Всесоюзном координационном совещании "Экологогенетические последствия воздействия на окружающую среду антропогенных факторов" (Сыктывкар, 1989), на I Всесоюзной конференции ядерного общества СССР (Обнинск, 1990), на Уральском семинаре "Экологические проблемы загрязненных радионуклидами территорий Уральского региона" (Екатеринбург, 1992), на I Международном симпозиуме "Физические проблемы экологии, природопользования и ресурсосбережения" (Ижевск, 1992), на Радиобиологическом съезде (Киев, 1993).

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из "Введения и краткого обзора основных литературных источников", 6 глав, заключения, выводов, списка литературы и Приложения". Работа содержит **139** страниц машинописного текста, **27** таблиц и **21** рисунок. Список литературы составляет **115** источников, из них **95** на русском языке.

#### ВВЕДЕНИЕ И КРАТКИЙ ОБЗОР ОСНОВНЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Обосновывается актуальность темы диссертации, дается краткий анализ основных публикаций, формируются цель и задачи исследования, новизна, практическое значение работы.

#### ГЛАВА I. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Дается эколого-географическая и гидрохимическая характеристика Белоярского водохранилища, описываются материал и методика экспериментов. Исследования проводили на водоеме-охладителе Белоярской АЭС им. И.В. Курчатова, расположенном на Среднем Урале, в 50 км к востоку от г. Екатеринбурга. Водохранилище образовано в 1959-1963 гг. в результате зарегулирования русла р. Пышмы. Протяженность водоема 20 км, ширина напротив БАЭС - 3 км, глубина по фарватеру р. Пышмы - 15-20 м, площадь акватории - 47 км<sup>2</sup>. Водоем гидрокарбонатно-кальциевый со средней степенью минерализации и слабощелочной реакцией среды.

Исследовано накопление, распределение и миграция <sup>137</sup>Cs в основных компонентах (вода, водные растения, ихтиофауна и грунты) Белоярского водохранилища. Флора представлена 14 видами макрофитов, из них один относится к водорослям и 13 - к

высшим растениям. Ихтиофауна представлена семью наиболее распространенными видами рыб: плотва (*Rutilus rutilus*), лещ (*Abramis brama*), щука (*Esox lucius*), линь (*Tinca tinca*), карась (*Carassius auratus gibelio*), карп (*Cyprinus carpio*), окунь (*Perca fluviatilis*). Донные отложения включают четыре основных типа: песчаный грунт, затопленная почва, песчано-илистый грунт, илистый сапропель.

Лабораторные опыты проводили в стеклянных аквариумах в диапазоне температур от 12° до 28°C. Радионуклид вносили в виде хлористой соли в количестве 1 - 2 МБк/л. Пробы воды, гидробионтов и донных отложений отбирали через 4, 8, 16, 32 суток с момента начала опыта в 3-х повторностях, затем высушивали в сушильном шкафу, а образцы гидробионтов и грунтов растирали в ступке до однородной массы. В природных условиях воду, гидробионты и грунты отбирали в 3-х и более повторностях на каждую точку (на одну повторность приходится 200 литров воды, 2-3 кг сырой массы растений, рыбы и грунта). Пробы воды подкисляли, упаривали и озоляли в муфельной печи. Водные растения и тушки рыб также подсушивали до воздушно-сухого состояния и озоляли при температуре 450°C. Донные отложения высушивали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Измерение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в пробах производили гамма-спектрометрическим методом на многоканальном амплитудном анализаторе АМ-256-6 со сцинтилляционным Na I (Tl)-детектором типа "Лимон". Погрешность измерений не превышала 10%.

Весь материал подвергнут статистической обработке. Доверительные интервалы средних арифметических величин рассчитаны для уровня значимости 5%.

## ГЛАВА 2. СОДЕРЖАНИЕ $^{137}\text{Cs}$ В ВОДЕ БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Приводятся данные, характеризующие динамику содержания радионуклида в различных частях акватории водоема-охладителя в период с 1976 по 1987гг. В районе сброса подогретых вод концентрация  $^{137}\text{Cs}$  за рассматриваемый промежуток времени варьировала от 0,04 до 2,0 Бк/л. До 1981г. наблюдались, по крайней мере, два пика повышенной концентрации радионуклида в воде Теплового залива (июль 1976г. - февраль 1977г. и октябрь 1979г. - февраль 1980г.). С 1982г. содержание  $^{137}\text{Cs}$  в воде неско-

лько снизилось и приобрело более стабильный характер. В районе Биофизической станции концентрация радионуклида изменялась в пределах нескольких порядков величин (0,01–10 Бк/л). Зафиксировано неоднократное резкое возрастание его содержания в воде этого региона. Такие колебания концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в воде можно связать с нарушениями технологического режима АЭС.

Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в Щучьем заливе за период наблюдений варьировала от 0,04 до 0,5 Бк/л. В целом, она значительно ниже, чем в районе Биофизической станции и Теплому заливе и более стабильна во времени. Содержание радионуклида в воде верховья характеризуется более низкими показателями по сравнению с указанными выше акваториями и не превышает 0,1 Бк/л. Усредненные концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в воде Белоярского и Рефтинского водохранилищ (последнее взято в качестве контрольного водоема) за весь период исследований приведены в таблице I.

Установлены пути поступления  $^{137}\text{Cs}$  от АЭС в водоем-охладитель. Ими являются проливной и обводной каналы; концентрация радионуклида в них оказалась выше, чем в канале сброса подогретых вод и водозаборном, а также значительно выше по сравнению со средними показателями в наблюдаемой зоне водоема.

Для Белоярского водохранилища характерно явление температурной стратификации. В июле 1988г. была измерена концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в воде водоема выше и ниже термоклина. Для этой цели пробы отбирали в трех точках по оси водохранилища. Установлено, что содержание нуклида в слое воды над термоклином в среднем в 1,5 раза ниже, чем в придонном слое. Одной из причин такого различия может быть поступление  $^{137}\text{Cs}$  в придонный слой воды из грунта, являющегося своеобразным депо радионуклида в водоеме.

В условиях Белоярского водохранилища оценен природный механизм очистки воды путем вымораживания. Для этой цели был проведен эксперимент, в котором промораживали природную воду в специальных полиэтиленовых сосудах, размещенных во льду водоема. Получены достаточно высокие коэффициенты очистки (от 60 до 800 единиц) при различных соотношениях льда и воды. Наибольшая очистка льда от  $^{137}\text{Cs}$  достигается в среднем слое, по направлению к периферии она снижается. Практический смысл полученных данных заключается в том, что в случае загрязнения воды цезием-137 следует использовать воду из растаявшего льда,



Таблица I  
Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в воде Белоярского и Рефтинского  
водохранилищ за период с 1976 по 1987 гг.

Место отбора	количество повторностей	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/л
Белоярское водохранилище		
район биостанции	47	$0,810 \pm 0,260$
Теплый залив	49	$0,310 \pm 0,060$
Щучий залив	21	$0,107 \pm 0,029$
Верховье	22	$0,042 \pm 0,009$
Рефтинское водохранилище	9	$0,011 \pm 0,003$

а не подледную воду.

### ГЛАВА 3. НАКОПЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ ПРЕСНОВОДНЫМИ РАСТЕНИЯМИ

Приводятся результаты лабораторных и натуральных исследований, характеризующие роль фитобионтов Белоярского водохранилища в процессах поглощения  $^{137}\text{Cs}$ . Первый этап работы включал инвентаризацию водных растений. На 1986г. в водоеме зарегистрировано 29 видов макрофитов, относящихся к 18 родам и 16 семействам. Среди них преобладают высшие растения (25 видов), остальные 4 вида составляют зеленые водоросли.

В связи со сбросом в Белоярское водохранилище подогретых вод АЭС важное значение приобретает вопрос о влиянии температурного фактора на накопление  $^{137}\text{Cs}$  макрофитами. Лабораторные опыты с шестью типичными представителями водных растений (элодеей, роголистником темнозеленым, рдестами гребенчатым и пронзеннолистным, ряской малой, кладофорой плавающей) показали, что для большинства видов растений коэффициенты накопления существенно зависят от температуры. В частности, при повышении температуры воды от 12 до 28°C на 16 сутки эксперимента коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  достоверно увеличиваются у роголистника в 3 раза, элодеи и ряски малой - в 2 раза, кладофоры и рдеста пронзеннолистного в 1,5 раза. В случае рдеста гребенчатого различия между указанными вариантами опыта незначительны (1,2 раза), тем не менее, они достоверны. Таким образом, в лабораторных опытах пресноводные

растения по степени воздействия на них температурного фактора характеризуются определенной видоспецифичностью.

Проведено сравнение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в слое из зоны подогрева с аналогичными показателями контрольного региона (Щучий залив), где влияние температурного фактора отсутствует. В среднем растения Тёплого залива накапливают  $^{137}\text{Cs}$  больше, чем растения Щучьего залива. По абсолютным данным это различие невелико (соответственно,  $186 \pm 6$  и  $138 \pm 5$  Бк/кг сухой массы), однако оно статистически достоверно. Повышенное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в слое Тёплого залива может быть обусловлено, с одной стороны, влиянием повышенных температур в этом районе, а с другой – дополнительным поступлением нуклида в Тёплый залив от АЭС через сбросные каналы, расположенные выше по течению.

Для оценки влияния атомной станции на содержание  $^{137}\text{Cs}$  в водной растительности наблюдаемой зоны водоема-охладителя была определена концентрация радионуклида в семи наиболее распространенных видах растений. Для этой цели водоем в пределах наблюдаемой зоны условно разделили на четыре подзоны, каждая протяженностью около 4 км. Кроме того, отдельно выделена часть водохранилища, не входящая в наблюдаемую зону (верховье водоема). В табл.2 приведено содержание  $^{137}\text{Cs}$  в исследуемых видах растений, усредненное по каждой подзоне. Приведенные данные свидетельствуют о том, что в пределах наблюдаемой зоны концентрация радионуклида в макрофитах каждого вида примерно одинакова. В районе верховья удалось отобрать лишь три из семи изученных видов растений, при этом оказалось, что концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в них достоверно ниже, чем в среднем по наблюдаемой зоне АЭС.

В некоторых случаях для оценки реальной радиэкологической ситуации в природном водоеме приходится использовать результаты исследований, полученные в лабораторных условиях. Поэтому важно знать, насколько данные, полученные в этих различных условиях, соответствуют друг другу. Для сравнения определены коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  у шести видов растений в условиях лабораторного эксперимента и естественного водоема (рис.1). Показано, что для большинства из них (слоея, кладофора, роголистник, рдесты гребенчатый и пронзеннолистный) коэффициенты накопления в природе выше, чем в эксперименте. Лишь для ряски малой они не различаются. Аналогичные

Таблица 2.  
**КОНЦЕНТРАЦИЯ  $^{137}\text{Cs}$  В РАСТЕНИЯХ БЕЛОРУССКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА,**  
 (Бк/кг сухой массы)

Вид растений	зона 3			4	Верхнее водохранилище
	1	Наблюдаемая 2	3		
Рдест гребенчатый	22 ± 3 ( 8 + 36)	38 ± 5 (27 + 49)	33 ± 10 ( 7 + 58)	29 ± 1 (25 + 33)	18 ± 1 (14 + 22)
Рдест пронзеннолистный	25 ± 2 (20 + 30)	34 ± 3 (27 + 42)	40 ± 6 ( 24 + 56)	31 ± 5 (19 + 43)	нет растений
Рдест блестящий	нет рас- тений	20 ± 2 (13 + 26)	40 ± 6 ( 14 + 65)	44 ± 10 (13 + 74)	нет растений
Рдест сплюснутый	45 ± 7 (17 + 73)	37 ± 1 (32 + 41)	нет растений	нет растений	нет растений
Злодея канадская	59 ± 11 (33 + 85)	112 ± 21 (61 + 163)	114 ± 28 ( 76 +151)	113 ± 19 (72 +194)	нет растений
Кладифора плавающая	165 ± 21 (115 +215)	116 ± 10 ( 95 +137)	129 ± 17 ( 94 +165)	62 ± 7 (45 + 79)	21 ± 2 (15 + 27)
Тростник обыкновенный	нет рас- тений	10 ± 0,5 ( 9 + 11)	10 ± 0,5 ( 9 + 11)	11 ± 0,7 ( 9 + 12)	4 ± 0,5 ( 3 + 6)

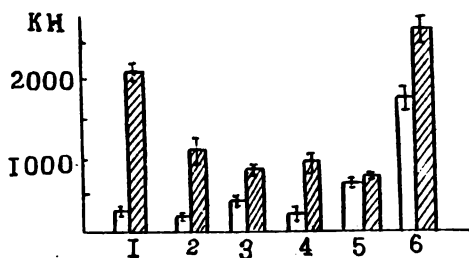


рис.1. Коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  растениями  
Белоярского водохранилища в лабораторном эксперименте и  
природных условиях (заштриховано)

1-алоэ; 2-роголистник; 3-рдест гребенчатый; 4-рдест пронзеннолистный; 5-ряска малая; 6-клатофора.

результаты получены другими авторами на харовых водорослях и ряде иных водных растений (Куликов и др., 1971, 1977). Разницу в коэффициентах накопления  $^{137}\text{Cs}$  авторы объясняют неоднозначностью условий, складывающихся в лабораторном аквариуме и природном водоеме, а также различным временем пребывания растений в воде, содержащей радионуклид. Это обстоятельство следует учитывать в тех случаях, когда приходится переносить результаты лабораторных экспериментов на природные водоемы.

Оценено накопление  $^{137}\text{Cs}$  представителями гидрофлоры в зависимости от экологической группы, к которой относится данный вид растений. Наиболее высокие коэффициенты накопления (более 2000 единиц) оказались у трех видов погруженных растений - алоэ, лугика и клатофоры. В целом, погруженные в воду растения накапливают радионуклид больше, чем плавающие на поверхности (ряска малая) и прибрежноводные растения (рогоз, белокрыльник, камыш). Очевидно, это связано с тем, что погруженные растения поглощают нуклид всей поверхностью, а плавающие и прибрежноводные - только ее часть, так как значительная доля поверхности этих макрофитов находится в воздушной среде.

Показано, что алоэ из обводного канала содержит примерно на два порядка величин больше  $^{137}\text{Cs}$ , чем растения наблюдаемой зоны (соответственно,  $9324 \pm 50$  и  $99 \pm 10$  Бк/кг). Рдест гребенчатый, произрастающий в промливновом канале, также накапливает радионуклид в значительно больших количествах, чем аналогичные растения наблюдаемой зоны (соответственно,  $144740 \pm$

28790 и  $30 \pm 5$  Бк/кг). Эти данные подтверждают наше заключение о том, что  $^{137}\text{Cs}$  поступает с территории АЭС в водоем через указанные выше каналы.

#### ГЛАВА 4. НАКОПЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ В РЫБАХ

Приводятся данные, характеризующие особенности накопления радионуклида рыбами Белоярского водохранилища. В лабораторных условиях оценено влияние температурного фактора на величину коэффициентов накопления  $^{137}\text{Cs}$  мальками карася. При повышении температурной среды на  $10^\circ\text{C}$  коэффициенты накопления нуклида возрастает примерно в 2 раза. Эти данные свидетельствуют о потенциальной возможности влияния теплового загрязнения водоема на уровни накопления нуклида представителями ихтиофауны.

С 1976 по 1982гг. проводили сравнительное изучение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в свободноживущих рыбах Белоярского водохранилища (плотве, леще, карпе и щуке), а также садковом карпе, выращиваемом на подогретых водах АЭС. Рыбу отлавливали на разных участках водоема, а также на Рефтинском водохранилище, который использовали в качестве контрольного. Содержание радионуклида в плотве из зоны подогрева в разные годы изменялось от 40 до 210, района Биофизической станции - от 20 до 130, верховья - от 10 до 70 Бк/кг сырой массы. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в садковом карпе Теплового залива варьировало от 4 до 20 Бк/кг. Анализ полученных данных позволяет заключить, что в отдельные периоды наблюдений содержание нуклида в тканях рыб резко возрастает, а затем снижается. При этом прослеживается связь содержания  $^{137}\text{Cs}$  в рыбе и воде: вслед за повышением концентрации радионуклида в воде возрастает его содержание в рыбе, и наоборот - по мере снижения концентрации нуклида в воде отмечается постепенное снижение его содержания в рыбе. Это хорошо прослеживается как на плотве, так и на садковом карпе более чем за 10-летний период наблюдений в различных заливах водоема, подверженных влиянию АЭС. Для примера такие данные приведены для Теплового залива (рис.2). В течение указанного времени здесь отмечается три пика изменения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в плотве: март 1977г., август 1980г. и октябрь 1986г. Каждому из них предшествовало некоторое увеличение концентрации радионуклида в водной среде. Аналогичная зависимость между содержанием  $^{137}\text{Cs}$  в воде и

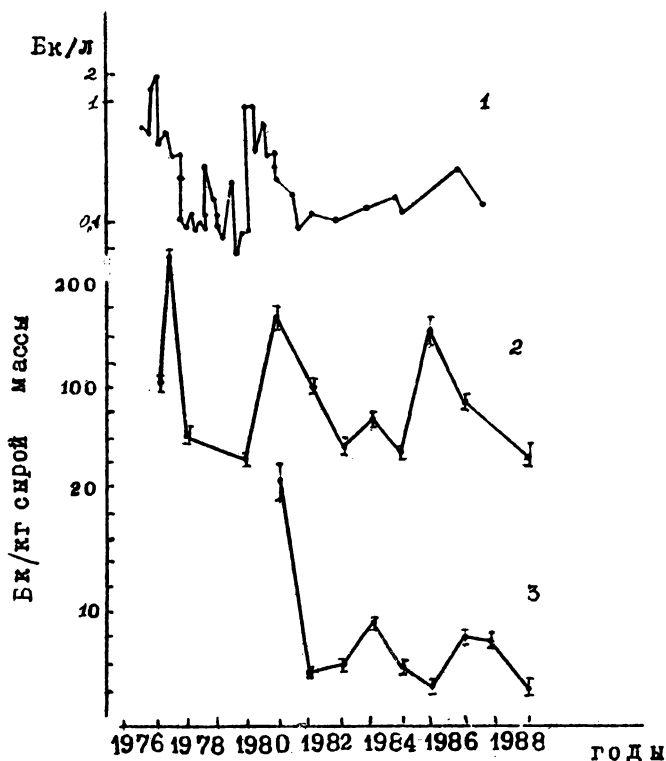


Рис.2. Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в воде (1), плотве (2) и садковом карпе (3) Теплового залива Белоярского водохранилища

плотве проявляется и в районе Биофизической станции. В период с 1983 по 1988гг. в этом регионе наблюдалось пять наиболее заметных пиков, отражающих повышение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в рыбе, и каждый из них следовал после соответствующего возрастания концентрации радионуклида в воде. Следует заметить, что максимальная концентрация радионуклида в рыбе наступает, как правило, с некоторым запозданием (через 1-4 месяца после наибольшего его содержания в воде), что, по всей вероятности, связано с перераспределением нуклида в пищевых цепях до поступления в организм рыб.

Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в садковом карпе, выращиваемом на подогретых водах с использованием искусственного корма, значительно ниже, чем в плотве. С одной стороны, это обусловлено

видовыми особенностями рыб, а с другой - способом их питания. Садковый карп питается радиоактивно чистым искусственным кормом, в то время как плотва, свободно обитающая в водоеме, использует корм, обогащенный радионуклидом. О преимущественном вкладе пищевого канала в накопление  $^{137}\text{Cs}$  рыбами известно из публикаций (Флейшман, 1971; Буянов, 1981).

Из приведенных ниже данных видно, что концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в плотве Теплового залива и района Биофизической станции в 2-2,5 раза выше, чем в верховье, и в 15-20 раз выше, чем в Рефтинском водохранилище, где содержание радионуклида обусловлено только глобальными выпадениями.

Белоярское водохранилище

Бк/кг сух.м.

Теплый залив	90,0 $\pm$ 1,7
Район Биофизической станции	62,7 $\pm$ 3,7
Верховье	36,8 $\pm$ 2,9

Рефтинское водохранилище

3,8  $\pm$  0,8

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в садковом карпе Белоярского водохранилища (7,9  $\pm$  0,2 Бк/кг) примерно в три раза превосходит аналогичные данные по Рефтинскому водоему (2,5  $\pm$  0,4 Бк/кг), что можно связать с дополнительным поступлением этого радионуклида в Белоярское водохранилище в результате работы АЭС. Вместе с тем, садковый карп Белоярского водохранилища содержит  $^{137}\text{Cs}$  примерно в три раза меньше, чем свободноживущий карп, отловленный в этом же районе (26,7  $\pm$  6,9 Бк/кг). Помимо искусственного корма, на уменьшение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в садковом карпе может сказаться и менее длительное его пребывание в водоеме. Садковую рыбу отлавливали на анализ в возрасте до года, а свободноживущая имела возраст 2 - 3 года.

Для сравнительной оценки накопления радионуклида различными представителями иктиофауны Белоярского водохранилища в августе 1977г. был произведен однократный отбор шести видов рыб в Теплом заливе водоема. Наиболее высокие коэффициенты накопления характерны для щуки (1180  $\pm$  70), а наиболее низкие - для карпа (330  $\pm$  40). Различия объясняются видовыми особенностями рыб, свойствами подаваемого корма и возрастом исследованных особей (табл.3).

Приводятся данные о прочности закрепления  $^{137}\text{Cs}$  в

Таблица 3

Концентрация и коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  в свободноживущей рыбе Теплового залива Белоярского водохранилища

Вид	возраст, лет	концентрация $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг сырой массы	КН
Щука	4	113 ± 29	1180 ± 70
Линь	2	84 ± 14	830 ± 40
Карась	1	70 ± 9	720 ± 90
Плотва	3	62 ± 5	630 ± 50
Лещ	2	50 ± 3	520 ± 30
Карп	2-3	32 ± 4	330 ± 40

организме рыбок гупши и плотвы. Радионуклид значительно прочнее удерживается в тканях живых рыбок, чем мертвых. Промораживание тканей и присутствие поваренной соли в растворе усиливает выведение радионуклида из них в водную среду. Отмечено выделение  $^{137}\text{Cs}$  из организма рыб при вымачивании замороженных тушек в проточной воде.

#### ГЛАВА 5. НАКОПЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ ГРУНТАМИ

Приводятся данные о количественном содержании радионуклида в преобладающих типах грунтов Белоярского водохранилища. Результаты исследования показали, что концентрация  $^{137}\text{Cs}$  зависит от типа донных отложений и места их отбора. Песчаный грунт, отобранный в зоне подогрева и наблюдаемой зоне, содержит меньше  $^{137}\text{Cs}$ , чем затопленная почва или илистый сапропель. В контрольном районе статистически значимых различий между исследованными типами донных отложений обнаружить не удалось. Наиболее низкие концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в затопленной почве и илистом сапропеле отмечены в верховье водоема, расположенном на значительном расстоянии от АЭС. В наблюдаемой зоне и Теплом заливе концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в них достоверно выше. (табл.4).

Поскольку протяженность наблюдаемой зоны водоема составляет примерно 16 км, было проведено более детальное изучение накопления  $^{137}\text{Cs}$  грунтами в пределах этой зоны. С этой целью наблюдаемая зона была разбита на 4 подзоны как указано выше.



Таблица 4  
Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в грунтах Белоярского водохранилища  
(Бк/кг сухой массы)

Тип грунта	Теплый залив	Наблюдаемая зона	Контрольный район
Песчаный	260 ± 95	126 ± 22	35 ± 8
Затопленная почва	3520 ± 110	520 ± 74	34 ± 5
Илистый с/пропель	1790 ± 480	853 ± 74	54 ± 5

Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в каждом определенном типе грунта всех четырех подзон оказалась примерно одинаковой. Последнее можно объяснить хорошим перемешиванием воды с содержащимися в ней радиоактивными примесями в пределах данной акватории.

#### ГЛАВА 6. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ ПО ОСНОВНЫМ КОМПОНЕНТАМ ВОДОХРАНИЛИЩА

Рассчитан запас радионуклида в отдельных компонентах водохранилища и водоеме в целом. В основу расчета положены полученные нами данные о концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в воде, растениях и грунтах. Основное количество нуклида обнаружено в донных отложениях водохранилища (656 ГБк, или 98,2%). Значительно меньше его находится в водной среде (12 ГБк, или 2%). В растениях найдено лишь ~2,8 МБк или 0,0004% от общего содержания радионуклида в водоеме.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изложенных в диссертационной работе данных описаны особенности накопления, распределения и миграции  $^{137}\text{Cs}$  в основных компонентах Белоярского водохранилища.

#### ВЫВОДЫ

И.С 1976 по 1988 гг. проводили систематические исследования содержания  $^{137}\text{Cs}$  в воде разных зон Белоярского водохранилища. В результате поступления радионуклида в водоем, в танже тепловых сбросов, в прилегающей к АЭС части водохранилища формируется зона, наиболее подверженная влиянию атомной станции по сравнению с остальной частью водоема-охладителя, что выражается в повышенном содержании  $^{137}\text{Cs}$  во всех исследованных компонентах

2. Определены величины коэффициентов накопления  $^{137}\text{Cs}$  у 14 видов пресноводных растений в условиях естественного водоема, которые составляют от 200 до 2500 единиц. Установлено, что погруженные в воду макрофиты накапливают радионуклид в большей степени, чем плавающие на поверхности и прибрежноводные растения.

3. Показано, что в условиях естественного водоема коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  у растений, как правило, выше, чем в условиях аквариумной модели водоема.

4. В лабораторном эксперименте оценена роль температурного фактора в процессах накопления  $^{137}\text{Cs}$  разными видами гидробионтов и донными отложениями. Установлено, что повышение температуры водной среды приводит к увеличению коэффициентов накопления  $^{137}\text{Cs}$  у всех исследованных видов растений и мальков карася.

5. Проведена сравнительная оценка накопления  $^{137}\text{Cs}$  шестью различными видами рыб водоема-охладителя. Наиболее высокие коэффициенты накопления отмечены у щуки.

6. Показано, что в садковом карпе, выращиваемом на подогретых водах с использованием искусственного корма, концентрация  $^{137}\text{Cs}$  значительно ниже, чем в свободноживущем карпе и плотве. Последнее объясняется способом питания рыб. Делается вывод о перспективности садкового разведения рыб на подогретых водах АЭС с использованием искусственных кормосмесей.

7. Оценены уровни содержания и коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  разными типами грунтов Белоярского водохранилища. Показано, что содержание радионуклида в донных отложениях зависит от типа грунта и места отбора. Максимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  характерно для донных отложений, богатых органическими соединениями.

8. Рассчитаны запасы  $^{137}\text{Cs}$  в основных компонентах Белоярского водохранилища - грунтах, воде и растениях. Они составляют, 656000 МБк, 12000 МБк и 2,8 МБк, соответственно.

По материалам диссертации опубликовано 26 работ в том числе основные:

1. Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. Влияние подогрева воды на накопление  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  пресноводными растениями // Экология. - 1983. - №1. - С. - 63-70

2. Куликов Н.В., Трапезникова В.Н., Трапезников А.В., Содержа-

ние  $^{137}\text{Cs}$  в садковой и свободноживущей рыбе Белоярского водохранилища //Поведение радионуклидов в водоемах и почвах: Науч. докл. Ин-та экологии раст. и животных УНЦ АН СССР.- Свердловск, 1983.- С.27 - 30.

3.Трапезникова В.Н.,Трапезников А.В.,Куликова В.Г. Исследования прочности фиксации радиоцезия в организме рыб //Поведение радионуклидов в водоемах и почвах:Науч.докл. Ин-та экологии раст. и животных УНЦ АН СССР.-Свердловск,1983.-С.31-34.

4.Куликов Н.В.,Трапезников А.В.,Трапезникова В.Н. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в компонентах водоема-охладителя Белоярской АЭС //Радиационная безопасность и защита АЭС.-М.,1984.-Вып.8.-С.131-134.

5.Трапезникова В.Н., Трапезников А.В., Куликов Н.В. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в промысловых рыбах водоема-охладителя Белоярской АЭС //Экология.- 1984.- №.- С. 36 - 40.

6.Гусева В.П.,Трапезников А.В.,Трапезникова В.Н., Чеботина М.Я. Влияние подогрева воды на поступление некоторых радиоактивных и стабильных нуклидов в растения Белоярского водохранилища //Радиационная безопасность и защита АЭС.- М., 1985.- Вып. 9.- С. 177 - 178.

7.Чеботина М.Я.,Трапезников А.В.,Трапезникова В.Н. Влияние подогрева воды на накопление радионуклидов грунтами Белоярского водохранилища //Экология.- 1986.- №.- С. 75 - 77.

8.Чеботина М.Я.; Трапезников А.В.,Трапезникова В.Н., Гусева В.П. Накопление радиоактивных и стабильных нуклидов водорослей в зависимости от сезона года //Экология.-1986.-№.-С. 72 - 74.

9. Любимова С.А., Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Растительность Белоярского водохранилища и влияние на нее подогретых вод АЭС //Экология.-1989.-С.73 - 75.

10. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В.  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в воде Белоярского водохранилища //Экология.- 1992.- № 4.- С.78 - 81.

11. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. Радиозоологические исследования Белоярского водохранилища.- Свердловск: УрО АН СССР 1992.- 80с.

12. Трапезникова В.Н., Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Куликов Н.В.  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в микрофиттах водоема-охладителя Белоярской АЭС //Экология.-1983.-№.- С.86 - 88.

*В.К.*