

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

На правах рукописи

ТРАПЕЗНИКОВ
Александр Викторович

НАКОПЛЕНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ⁶⁰Со
В КОМПОНЕНТАХ ПРЭСНОВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

03.00.16 - экология

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

Трапезников

С в е р д л о в с к - 1990

Работа выполнена в Отделе континентальной радиоэкологии
Института экологии растений и животных Уральского отделения
АН СССР

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

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
старший научный сотрудник
Любашевский Н.М.
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Васильчикова А.П.


Ведущее учреждение: Институт биологии южных морей
им.А.О.Ковалевского АН УССР

Защита состоится "14" _____ 199_ г. в 14 часов на
заседании специализированного совета Д 002.05.01 по защите
диссертации на соискание степени доктора наук при
Институте экологии растений и животных Уральского отделения
АН СССР по адресу: 62022 Свердловск, ул. 8 Марта, 202.

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

Автореферат разослан "14" _____ 199_ г.

Ученый секретарь специализированного
совета, кандидат биологических наук

 М.Г. Нифонтова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Превращение ионизирующей радиации в постоянно усиливающийся фактор внешней среды, воздействующий на все живое, привело к формированию и развитию радиэкологии - новой области экологии, призванной изучать процессы взаимодействия живых организмов друг с другом и со средой их обитания в условиях радиоактивного загрязнения и повышенного фона ионизирующих излучений /Кузин, Передельский, 1956; Одум, 1958; Поликарпов, 1964; Алексахин и др., 1970; Верховская, 1971; Куликов, 1971/. В связи с развитием в последние десятилетия ядерной энергетики особую актуальность приобретают радиэкологические исследования в зонах размещения промышленных АЭС /Куликов, 1974, 1977, 1981, 1986; Воробьев и др., 1977, 1979; Алексахин, Поликарпов, 1981; Алексахин, 1982; Грачев и др., 1984; Дибобес и др., 1985; Егоров, Казаков, 1985/.

подавляющее большинство радиэкологических исследований до настоящего времени проводится с долгоживущими осколочными радионуклидами и лишь небольшая часть работ - с коррозионными нуклидами, среди которых одним из важнейших является ^{60}Co . Этот радионуклид обладает значительным периодом полураспада /5,26 года/ и представляет интерес не только как излучатель, аккумулирующийся в организме, но и как внешний источник гамма-излучения. Попадая в водоемы-охладители вместе с дренажными и поверхностными водами с территории АЭС или в результате аварийных ситуаций, ^{60}Co аккумулируется гидробионтами и грунтами водохранилищ. Информация по накоплению этого радионуклида представителями пресноводной флоры, фауны и донными отложениями крайне мала и отрывочна.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является изучение некоторых экологических особенностей миграции и распределения ^{60}Co в компонентах пресноводной экосистемы /вода, грунт, водные растения, ихтиофауна/ на примере Белоярского водохранилища, используемого в качестве водоема-охладителя Белоярской АЭС. Для достижения этой цели последовательно были решены следующие основные задачи: 1. Изучена динамика уровней концентрации ^{60}Co в воде водоема-охладителя в разные годы и по сезонам года, а также исследовано вертикальное распределение ^{60}Co в воде водохранилища; 2. Проведено сравнение накопления ^{60}Co растениями в условиях эксперимента и естественного водоема. Оценены уровни накопления ^{60}Co пресноводными растениями в зависимости от температуры водной среды и сезона года; 3. Исследовано влияние температурного фактора на накопление ^{60}Co донными отложениями; 4. Изучено распределение ^{60}Co в грунтах и водных растениях различных зон водоема-охладителя АЭС; 5. Определены уровни содержания и коэффициенты накопления ^{60}Co в ихтиофауне водоема-охладителя, а также рассчитано поступление радионуклида с рыбой в пищевой рацион человека; 6. Проведена количественная оценка распределения ^{60}Co по основным компонентам водоема-охладителя.

Научная новизна. Впервые в природных условиях изучена сезонная динамика накопления кобальта-60 представителями высших водных растений, а также влияние температурного фактора на накопление радионуклида макрофитами и грунтами. Получены оригинальные данные по накоплению ^{60}Co и стабильного изотопа ^{59}Co водными растениями, рыбами и донными отложениями. Исследовано вертикальное распределение ^{60}Co в воде пресноводного водохранилища в условиях летней температурной стратификации. Впервые

проведена количественная оценка распределения радионуклида по основным компонентам пресноводного водоема.

Основные результаты и положения, выносимые на защиту.

1. Накопление ^{60}Co пресноводными растениями подвержено сезонным колебаниям, что проявляется в значительных изменениях величин коэффициентов накопления радионуклида в течение года.

2. Увеличение температуры водной среды приводит к возрастанию накопления ^{60}Co гидробионтами и грунтами как в экспериментальных, так и в природных условиях.

3. Основным депо ^{60}Co в пресноводном водохранилище являются донные отложения.

4. Распределение ^{60}Co в грунтах водоема-охладителя обусловлено особенностями миграции радионуклида в водной фазе водохранилища.

Практическое значение. На основании полученных данных совместно с ВНИИАЭС разработаны нормативы допустимых и рабочих сбросов ^{60}Co и ряда других радионуклидов в Белоярское водохранилище. Эти нормативы внедрены в практику работы Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова в виде документа "Допустимые и рабочие сбросы радионуклидов в Белоярское водохранилище и Ольховское болото".

Результаты исследования по определению уровней содержания ^{60}Co в представителях ихтиофауны Белоярского водохранилища используются в практике Свердловского рыбокомбината, которому переданы материалы в виде отчета по теме "Радиоэкологическое обоснование использования подогретых вод Белоярской АЭС для рыбохозяйственных целей".

Материалы диссертации использованы при составлении прог-

ноза воздействия IV энергоблока Белоярской АЭС на окружающую среду и при подготовке материала для Главной государственной экологической экспертизы Госкомприроды СССР.

Коэффициенты накопления стабильного изотопа кобальта, определенные для ряда представителей ихтиофауны и водной растительности, могут считаться предельными и, поэтому, представляют практический интерес при оценке максимально возможного накопления гидробионтами радиоактивного ^{60}Co . Результаты количественной оценки распределения кобальта-60 по основным компонентам водоема-охладителя Белоярской АЭС могут быть использованы для прогнозирования уровней загрязнения воды, гидробионтов и донных отложений при возникновении аварийных выбросов радионуклидов в водохранилище.

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены на расширенном лабораторном семинаре по экологии водоемов-охладителей атомных электростанций /Свердловск, 1975/, на X Совещании по координации научно-исследовательских работ, выполняемых с использованием исследовательских ядерных реакторов /Свердловск, 1978/, на I Совещании гидробиологов Урала /Свердловск, 1979/, на I и II Всесоюзных совещаниях "Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды" /Ташкент, 1979; Рига, 1982/ на расширенном лабораторном семинаре по экологическим аспектам атомной электроэнергетики /Свердловск, 1980/, на Всесоюзной конференции "Радиационная безопасность населения и защита окружающей среды в связи с эксплуатацией атомных электростанций" /Дмитровград, 1981/, на Всесоюзном совещании по ядерно-физическим методам элементного анализа /Москва, 1983/, на II Всесоюзной конференции по сельскохозяйственной радиологии /Обнинск, 1984/, на Всесоюзном совещании "Радиэкологические исследования в зоне

АЭС" /Свердловск,1985/,на II Всесоюзном координационном совещании "Эколого-генетические последствия воздействия на окружающую среду антропогенных факторов" /Сыктывкар,1989/,на I Всесоюзном радиобиологическом съезде /Пушино,1989/,на I Всесоюзной конференции Ядерного общества СССР /Обнинск,1990/.

Публикации. По материалам диссертации опубликована 21 печатная работа.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения,6 глав,заключения,выводов,списка литературы и приложения. Работа содержит 141страниц машинописного текста,33 таблицы и 23 рисунка;приведено 198 литературных источников,из них 164 на русском языке.

ВВЕДЕНИЕ.

Рассмотрены некоторые общие вопросы пресноводной радиоэкологии,отмечено,что концентрация большинства радионуклидов в организме пресноводных гидробионтов может в сотни и тысячи раз превышать их содержание в водной среде.Ряд видов пресноводных растений и животных обладает способностью накапливать определенные радионуклиды с особенно высокими значениями коэффициентов накопления /КН/,отражающих величину отношения концентраций нуклида в организме и в воде.Такие организмы используются в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения водоемов.Отмечена различная способность к накоплению радионуклидов представителями пресноводной флоры в зависимости от экологических особенностей.

Представляет большой интерес,наряду с оценкой коэффициентов накопления радионуклидов гидробионтами и грунтами исследование накопления стабильных изотопов этих же элементов в водо-

лише проводили по методике, предложенной в работе /Катанская, 1956/.

Тушки рыб /без внутренних органов/ высушивали при 105°C и озоляли при 450°C в муфельной печи.

Лабораторные опыты по изучению влияния температурного фактора на накопление ^{60}Co пресноводными гидробионтами и грунтами проводили в стеклянных аквариумах емкостью 1-7 литров в диапазоне температур от 10° до 38°C. Радионуклид вносили в виде хлорида. Концентрация экспериментальных растворов составляла: при проведении опытов с водными растениями - $1,8 \cdot 10^4$ Бк/л; с рыбами - $1,8 \cdot 10^5$ Бк/л и с грунтами - $1,8 \cdot 10^6$ Бк/л. Пробны воды, гидробионтов и донных отложений отбирали через 4, 8, 16 и 32 суток с момента начала опыта в трех повторностях, затем высушивали в сушильном шкафу при 105°C, а образцы гидробионтов и грунтов растирали в ступке до гомогенной массы.

^{60}Co в сухих и зольных остатках воды, грунтов, водных растений и рыбы определяли методом гамма-спектрометрии по аналитической линии 1333 кэВ с использованием многоканального амплитудного анализатора АИ-256-6 со сцинтилляционным Na I (Tl) -детектором типа "Лимон" с рабочим объемом 150 x 100 мм. Измерение содержания ^{60}Co проводили по методу Ковелла (Covell, 1959) путем сравнения величин полезной площади фотопика образца и эталона. Погрешность измерения не превышала 10%.

Определение ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} и перманганатной окисляемости в воде Белоярского водохранилища проводили по методикам, рекомендованным в руководстве /Аринушкина, 1970/. Определение стабильного изотопа ^{59}Co проводили с использованием нейтронно-активационного анализа по методике, описанной в работе /Мoiseev, Трапезников и др., 1981/.

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

Глава II. СОДЕРЖАНИЕ ^{60}Co В ВОДЕ БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.

Водная среда является основным компонентом в системе водохранилища. ^{60}Co , попадающий в водоем, прежде всего поступает в воду, переносится с ней по всему водохранилищу и аккумулируется из нее грунтами и гидробионтами.

В 1976—1988 гг. исследована динамика концентрации радионуклида в воде четырех наиболее важных зон Белоярского водохранилища. Установлено, что максимальные концентрации ^{60}Co в воде отмечены в районах сброса подогретых вод АЭС /Теплый залив/ и Биофизической станции, расположенных в непосредственной близости от Белоярской АЭС /см. схему водоема/.



По мере удаления от этих зон наблюдения в сторону верховья водохранилища /Цычмий залив, верховья/ концентрация радионуклида заметно снижается /табл. I/.

На примере Теплого залива проанализирована динамика концентрации ^{60}Co в воде по сезонам года.

Таблица 1.
Усредненная среднемесячная концентрация ^{60}Co в воде
Белоярского водохранилища. 1976 - 1987гг.

Место отбора	Число проанализированных проб	Содержание ^{60}Co $\text{п} \cdot 10^{-1} \text{ Бк/л}$
Район биофизической станции	47	7,3 4,4 ± 10,2
Теплый залив	55	2,6 1,1 ± 4,1
Щучий залив	21	0,9 0,5 ± 1,3
Верховье водоема	22	0,4 0,2 ± 0,6

Как видно из рис.1, выраженных различий в содержании радионуклида для какого-либо сезона не наблюдается.

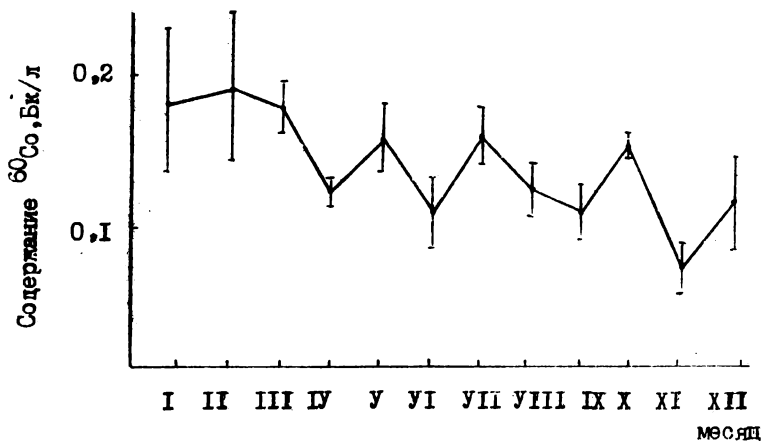


Рис.1. Содержание ^{60}Co в воде Теплого залива,
январь-декабрь 1978г.

Определены уровни содержания ^{60}Co по оси водохранилища: в нижней части водоема, районе АЭС, зоне Щучьего залива и вблизи высоковольтной линии. Показано, что нуклид достаточно равномерно распределяется по центральной части водоема на протяжении

нии от плотины до высоковольтной линии. Полученные результаты положены в основу модели распределения ^{60}Co в воде Белоярского водохранилища для расчета нормативов допустимых сбросов радионуклидов в водоем-охладитель Белоярской АЭС.

Проведено исследование вертикального распределения ^{60}Co в воде водоема-охладителя. Для всех исследованных точек показано, что концентрация радионуклида в слое воды, расположенном над термоклином, статистически достоверно ниже, чем в придонном слое в 1,3-1,5 раза. Эти различия могут быть объяснены тем, что в глубоководной зоне водоема идет обмен радионуклидами между донными отложениями и водной средой, а в силу того, что в период температурной стратификации обмен между поверхностными и глубоководными слоями затруднен, в придонной части водоема и наблюдается повышенное содержание ^{60}Co .

Расчитано общее содержание ^{60}Co в воде Белоярского водохранилища, которое составляет $6,6 \cdot 10^9$ Бк при годовом выносе радионуклида за пределы водоема-охладителя около $5,0 \cdot 10^9$ Бк.

Проведено экспериментальное исследование распределения ^{60}Co в системе вода-лед в специальных сосудах, помещенных в траншеи, прорубленные в толще льда водоема. В результате процесса вымораживания лед оказывается обедненным радионуклидом по сравнению с подледной водой и коэффициенты его очистки составляют от 24 до 76.

Глава III. НАКОПЛЕНИЕ ^{60}Co ПРЕСНОВОДНЫМИ РАСТЕНИЯМИ.

Определены коэффициенты накопления ^{60}Co у четырнадцати видов пресноводных растений в природных и экспериментальных условиях и отмечена близость этих значений в целом. Это говорит о сравнительно большой подвижности кобальта в системе вода-водные растения и о том, что равновесие в этой системе может быть

достигнуто за период времени, близкий времени проведения эксперимента. Коэффициенты накопления ^{60}Co , рассчитанные на сухую массу, достигают значительных величин — от сотен единиц до нескольких десятков тысяч. Типичные водные растения накапливают радионуклид в гораздо большей степени, чем прибрежно-водные. Это можно объяснить тем, что первые целиком или основными своими частями постоянно находятся в воде и обладают поэтому гораздо большей поглощающей поверхностью, чем вторые, значительная часть которых находится в воздушной среде. Из сравнения коэффициентов накопления радиоактивного и стабильного изотопов кобальта видно, что последние величины выше, но различия эти не всегда достоверны.

Исследована сезонная динамика накопления ^{60}Co элодеи и роголистником темнозеленым в условиях водоема-охладителя АЭС. У обоих видов растений в течение двух лет четко прослеживаются максимумы накопления радионуклида в июле /рис.2/. Эти пики можно объяснить увеличением биологической активности растений в летние месяцы. Видимо, эти процессы связаны с подогревом воды, поскольку в июле ее температура достигает наивысших значений. Величины коэффициентов накопления ^{60}Co у элодеи и роголистника в природных условиях могут изменяться в зависимости от сезона года в 5 - 6 раз.

Проведено исследование влияния температурного фактора на накопление ^{60}Co элодеи в природных условиях и в эксперименте. Значение коэффициентов накопления ^{60}Co у элодеи, отобранной в районе сброса подогретых вод АЭС, в среднем в 4,9 раза выше, чем у растений с контрольного /по температурному фактору/ участка водоема-охладителя. В лабораторных условиях изучено накопление радионуклида шестью видами водных растений при разной температуре воды /рис.3/. Показано, что увеличение температуры воды с

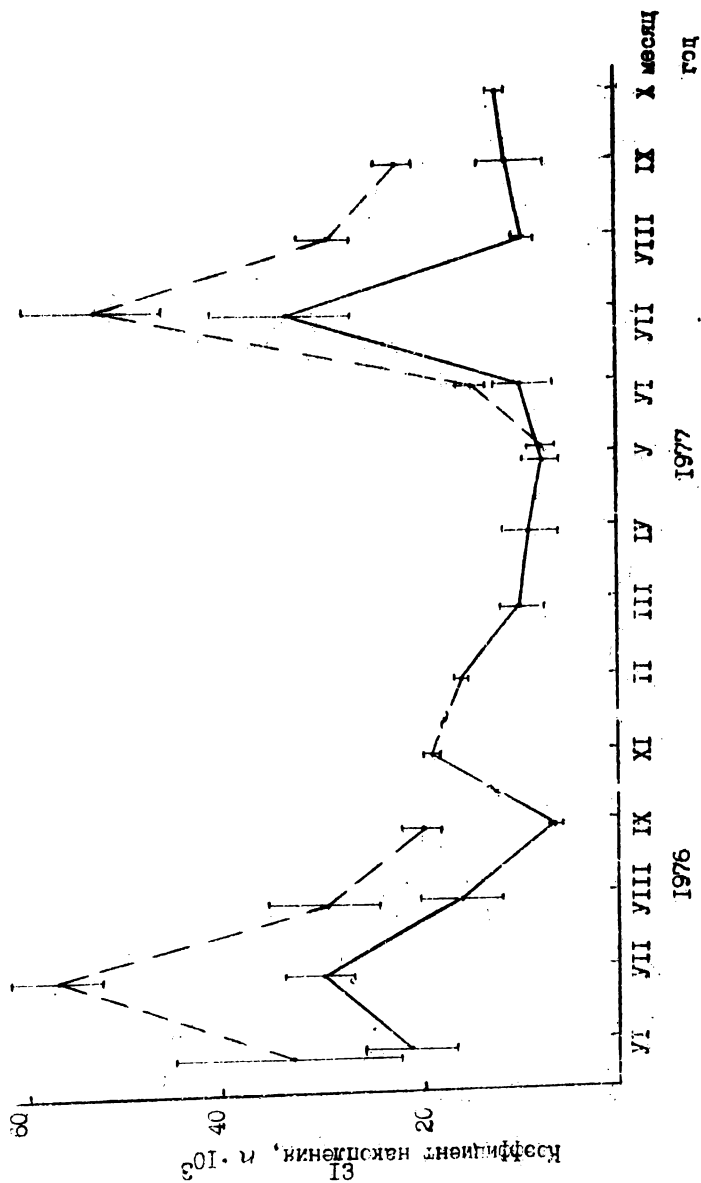


Рис. 2. Накопление ^{60}Co элюдей и роголистником темнозеленым (Теплый залив)
 — — — элюдея, — — — роголистник темнозеленый

12° до 28°С вызывает возрастание накопления ^{60}Co макрофитами в 1,7 - 4,7 раза.

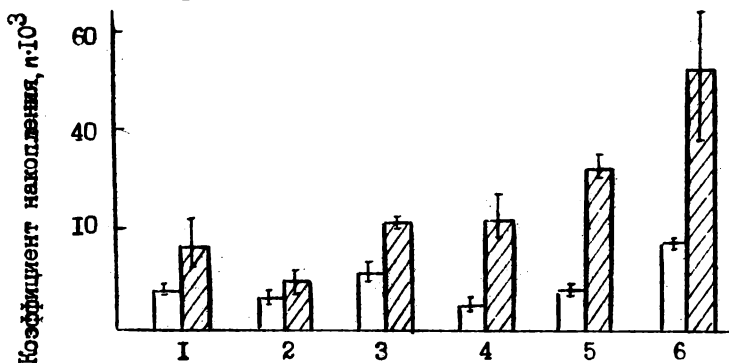


Рис.3. Накопление ^{60}Co пресноводными растениями при разной температуре воды: □ -12°С ; ▨ - 28°С
 1-кладифора; 2-рдест гребенчатый; 3-рдест пронзеннолистный; 4-роголистник темнозеленый; 5-элодея; 6-ряска малая.

Для оценки степени влияния АЭС на уровни содержания ^{60}Co в водной растительности водоема-охладителя проведено определение концентрации радионуклида в шести видах пресноводных растений, отобранных в разных зонах Белоярского водохранилища. Установлено, что уровни содержания ^{60}Co в растениях одного и того же вида статистически не отличаются в пределах наблюдаемой зоны водохранилища и достоверно превышают концентрацию радионуклида в растениях из контрольного района.

Использован метод изотопных отношений для решения вопроса о путях поступления кобальта в пресноводные растения. Показано, что этот элемент поступает в организм водных растений преимущественно из водной среды, а не из грунта.

Глава IV. НАКОПЛЕНИЕ ^{60}Co И СТАБИЛЬНОГО ИЗОТОПА ^{59}Co

ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ ПРЕСНОВОДНОЙ ИХТИОФАУНЫ.

Определены уровни содержания и коэффициенты накопления ^{60}Co в свободноживущих рыбах Белоярского водохранилища/табл.2/.
 Наименьшее содержание радионуклида зарегистрировано в плотве /6,7 Бк/кг/, а наибольшее - у линя /21,7 Бк/кг сырой массы/.
 Концентрация ^{60}Co в плотве, отловленной в Теплом заливе в 1,5 - 1,9 раза выше, чем в рыбе из верховья водохранилища, но различия эти не во всех случаях статистически достоверны. Коэффициенты накопления радионуклида минимальны у плотвы /28/ и максимальны - у линя /90/.

Таблица 2.

Концентрация и коэффициенты накопления ^{60}Co в рыбах.

Теплый залив, август 1977г.

ВИД	Концентрация, Бк/кг		Коэффициент накопления	
	на сырую массу	на сухую массу	на сырую массу	на сухую массу
Плотва	6,7	31,7	28	132
	5,2 + 8,2	24,8 + 38,6	21 + 35	103 + 161
Лещ	14,4	68,1	60	283
	6,0 + 22,8	28,5 + 107,7	22 + 96	119 + 447
Карась	11,8	55,8	49	232
	5,7 + 17,9	26,9 + 84,7	26 + 72	114 + 350
Линь	21,7	102,6	90	427
	14,9 + 28,5	70,3 + 134,9	63 + 117	294 + 560

Расчитано количество рыбы, которое должен съесть человек за один год для того, чтобы был достигнут предел годового поступления ^{60}Co с пищей согласно "Норм радиационной безопасности НРБ-76/87". Эта величина составляет примерно 48 тыс. кг. Следовательно имеется 1200-кратный запас в поступлении радионуклида с рыбой из Белоярского водохранилища в пищевой рацион человека.

Определены уровни содержания и коэффициенты накопления стабильного изотопа Со в ряде представителей ихтиофауны водоема-охладителя АЭС. Концентрация микроэлемента в рыбах находится в пределах от $4,4 \cdot 10^{-8}$ до $6,7 \cdot 10^{-8}$ г/г сырой массы. Отмечено, что коэффициенты накопления $^{60}\text{Со}$ у изучавшихся видов рыб в 6-16 раз меньше, чем коэффициенты накопления кобальта.

Проведено лабораторное исследование уровней накопления $^{60}\text{Со}$ карасем при температуре воды: 22° и 32°C . Показано, что величины коэффициентов накопления радионуклида у особей этого вида при 32° в 2 раза выше, чем при 22°C .

Глава V. НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $^{60}\text{Со}$ В ГРУНТАХ ПРЭСНОВОДНОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.

Определено содержание $^{60}\text{Со}$ в основных типах грунтов Белоярского водохранилища, отобранных в наблюдаемой зоне АЭС и на контрольном участке, расположенном на расстоянии более 10 км от атомной станции в верховье водохранилища. Проанализировано 118 проб донных отложений. В преобладающем большинстве образцов из наблюдаемой зоны водохранилища содержание радионуклида выше, чем в контрольном участке. Вместе с тем в грунтах непосредственно наблюдаемой зоны водоема-охладителя концентрация $^{60}\text{Со}$ практически постоянна и отличается только в зависимости от типа донных отложений, что обусловлено равномерным распределением радионуклида в водной фазе в пределах наблюдаемой зоны/табл. 3/.

Установлены коэффициенты накопления исследуемого радионуклида для наиболее типичных донных отложений Белоярского водохранилища. Максимальные значения отмечены для илистого сапропеля, наиболее богатого органическими соединениями, а минимальные — для песка, в котором содержание органики является наименьшим.

Исследовано влияние температурного фактора на накопление

^{60}Co сo разными типами грунтов в лабораторных опытах и в условиях водоема-охладителя. В эксперименте показано, что увеличение температуры водной среды с 10° до 38°C приводит к возрастанию коэффициентов накопления радионуклида у песчано-илистого грунта в 5,1 раза и у илистого сапропеля - в 7,9 раза. Отмечено, что в природных условиях повышение температуры водной среды также приводит к увеличению накопления ^{60}Co у всех исследованных типов грунтов/песок, затопленная почва, песчано-илистый грунт, илистый сапропель/.

Таблица 3.

Концентрация ^{60}Co в воде/ $\mu \cdot 10^{-2}$ Бк/л/ и грунтах/Бк/кг сух. в-ва/ в разных зонах Белоярского водохранилища.

Объект исследования	Зона водохранилища			
	I	II	III	IV
Вода	2,6	2,5	2,8	2,3
	2,0 + 3,2	2,1 + 2,9	1,5 + 4,1	1,9 + 2,7
Песчаный грунт	20,8	31,2	23,7	24,0
	13,7 + 27,9	24,6 + 37,8	19,1 + 28,3	14,4 + 33,6
Затопленная почва	149,6	156,9	100,1	нет
	85,4 + 213,8	61,2 + 252,6	45,7 + 154,5	
Илистый сапропель	339,8	нет	259,0	нет
	201,0 + 478,6		215,2 + 302,8	

Проведено сравнение коэффициентов накопления ^{60}Co и стабильного изотопа ^{59}Co в затопленной почве водохранилища. Отмечено, что коэффициенты накопления стабильного изотопа кобальта превышают аналогичные величины для радионуклида в 3,6 раза. Более высокие значения коэффициентов накопления первого можно объяснить тем, что они являются предельными, то есть теми величинами, к которым в равновесных условиях должны приближаться значения коэффициентов накопления ^{60}Co .

Глава VI. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ^{60}Co ПО ОСНОВНЫМ КОМПОНЕНТАМ ПРЭСНОВОДНОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.

Проведена количественная оценка распределения ^{60}Co по основным компонентам Белоярского водохранилища /грунт, вода и вышние водные растения/.

В воде основные запасы радионуклида содержатся в нижней части водоема /район плотины/ $\sim 3700 \cdot 10^6 \text{Бк}$, что составляет 56% от общего количества нуклида в водной фазе водохранилища, далее следует центральная часть водоема $\sim 2900 \cdot 10^6 \text{Бк}$ /43% и, наконец, верховье $\sim 21 \cdot 10^6 \text{Бк}$ /0,3%. Суммарные запасы ^{60}Co в воде составляют $\sim 6600 \cdot 10^6 \text{Бк}$.

Оценку общего количества радионуклида, содержащегося в грунтах водохранилища проводили по десятисантиметровому слою донных отложений, в котором наблюдается максимальное содержание ^{60}Co . Большая часть ^{60}Co , депонированного в грунтах, находится также в районе плотины $\sim 94 \cdot 10^9 \text{Бк}$, что составляет 40% от общего количества нуклида в грунтах, далее следует центральная часть водохранилища $\sim 81 \cdot 10^9 \text{Бк}$ /34%, Теплый залив $\sim 60 \cdot 10^9 \text{Бк}$ /25% и верховье $\sim 3 \cdot 10^9 \text{Бк}$ /1%. Суммарные запасы ^{60}Co в десятисантиметровом слое донных отложений Белоярского водохранилища составляют $\sim 238 \cdot 10^9 \text{Бк}$.

Общее содержание радионуклида в водных растениях водоема равно $\sim 12 \cdot 10^6 \text{Бк}$.

Суммарное количество ^{60}Co в основных компонентах Белоярского водохранилища равно $\sim 245 \cdot 10^9 \text{Бк}$, в том числе на долю грунтов приходится $\sim 97,3\%$, воды $\sim 2,7\%$ и водных растений $\sim 0,005\%$.

ВЫВОДЫ.

I. Определены коэффициенты накопления ^{60}Co у четырнадцати видов пресноводных растений в природных и экспериментальных ус-

ловиях и отмечена близость этих значений. Последнее говорит о сравнительно большой подвижности кобальта в системе вода-растения и о том, что равновесие в такой системе может быть достигнуто за период времени, близкий по продолжительности проведению эксперимента. Типичные водные растения накапливают радионуклид в гораздо большей степени, чем прибрежно-водные. Это можно объяснить тем, что первые целиком или основными своими частями постоянно находятся в воде и обладают поэтому гораздо большей поглощающей поверхностью, чем вторые.

2. Показано, что значения коэффициентов накопления ^{60}Co у макрофитов в природных условиях могут изменяться в зависимости от сезона года в 5-6 раз, достигая максимальных величин в летние месяцы. При этом коэффициенты накопления нуклида у элодей, отобранной в районе сброса подогретых вод АЭС в среднем в 4,9 раза превышают аналогичные значения у растений с контрольного /по температурному фактору/ участка водохранилища, что можно объяснить общей активизацией обменных процессов у макрофитов при возрастании температуры водной среды.

3. Установлено, что коэффициенты накопления ^{60}Co у изучавшихся видов рыб в 6-16 раз меньше, чем коэффициенты накопления стабильного изотопа кобальта. Это различие связано с тем, что значения коэффициентов накопления стабильного кобальта могут считаться предельными, поскольку они определены в природной экосистеме, где химические элементы находятся в условиях установившегося равновесия.

4. В природных условиях установлено, что максимальные значения коэффициентов накопления ^{60}Co достигаются для илистого сапропеля, а минимальные - для песка. Это объясняется тем, что радионуклид в значительно большей степени накапливается донными от-

ложениями, богатыми органическими соединениями.

5. Показано, что коэффициенты накопления стабильного изотопа кобальта для затопленной почвы в среднем в 3,6 раза выше, чем аналогичные значения для радиоактивного ^{60}Co . Как и в случае с повышенным накоплением кобальта по сравнению с ^{60}Co представителями ихтиофауны, этот эффект обусловлен тем, что коэффициенты накопления стабильного изотопа ^{59}Co пресноводными грунтами являются предельными.

6. Установлено, что повышение температуры водной среды приводит к увеличению коэффициентов накопления ^{60}Co у всех изученных типов грунтов в несколько раз, как в лабораторных, так и в природных условиях.

7. Проведено исследование вертикального распределения ^{60}Co в воде водоема-охладителя Белоярской АЭС. Для всех исследованных точек показано, что концентрация радионуклида в слое воды, расположенном над термоклином, статистически достоверно ниже, чем в придонном слое в 1,3 - 1,5 раза. Эти различия могут быть объяснены тем, что в глубоководной зоне водоема идет обмен радионуклидами между донными отложениями и водной средой, а в силу того, что в период температурной стратификации обмен между поверхностными и глубинными слоями затрудняется, в придонной части водоема отмечается повышенное содержание ^{60}Co .

8. В результате поступления в водоем ^{60}Co , а также 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 радионуклида во всех исследованных компонентах.

9. Показано, что поступающий в водоем ^{60}Co преимущественно

накапливается в грунтах /~97,3% от общего содержания радионуклида в водохранилище/, на долю воды приходится ~2,7% и водных растений ~0,005%.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. О накоплении ^{60}Co пресноводными растениями в природных условиях //Экология.- 1979.-№2.-С.104-106.
2. Трапезников А.В., Мисеев В.Е., Панков Е.Н., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. Накопление стабильного кобальта и ^{60}Co водными растениями и грунтами в пресноводном водоеме //Структура и функции водных биоценозов, их рациональное использование и охрана на Урале: Материалы I Совещ. гидробиологов Урала.- Свердловск, 1979.-С.93-94.
3. Панков Е.Н., Мисеев В.Е., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Применение нейтронно-активационного анализа для исследования изотопного равновесия $^{60}\text{Co}/\text{Co}$ в пресноводном водоеме //Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды: Материалы I Всесоюз. совещ.: Ташкент, 1979.-С.74.
4. Мисеев В.Е., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. Применение нейтронно-активационного метода к анализу некоторых компонентов пресноводного водоема //Радиоактивные изотопы в почвенных и пресноводных системах: Науч. докл. Ин-та экологии раст. и животных УНЦ АН СССР.- Свердловск, 1981.-С.53-66.
5. Куликов Н.В., Трапезников А.В., Мисеев В.Е., Панков Е.Н., Трапезникова В.Н. Опыт применения нейтронно-активационного анализа в изучении экологии водоема-охладителя АЭС //Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды: Материалы II Всесоюз. совещ.: Рига, 1982.-С.121-122.
6. Трапезников А.В., Любимова С.А. Влияние температуры на

накопление ^{60}Co элодеей в природных условиях //Применение радионуклидов и ионизирующих излучений в научных исследованиях и народном хозяйстве:Тез. докл. науч.-тех. конф.-Свердловск, 1983.- С.133.

7. Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. Влияние подогрева воды на накопление ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs и К пресноводными растениями //Экология.-1983.-№4.-С.68-70.

8. Трапезников А.В. Исследование сезонной динамики накопления кобальта- 60 элодеей и роголистником темнозеленым в природных условиях //Поведение радионуклидов в водоемах и почвах: Науч. докл. Ин-та экологии раст. и животных УНЦ АН СССР.-Свердловск, 1983.-С.35-40.

9. Любимова С.А., Карачун И.А., Трапезников А.В. Некоторые особенности гидрохимического режима Белоярского водохранилища //Поведение радионуклидов в водоемах и почвах: Науч. докл. Ин-та экологии раст. и животных УНЦ АН СССР.-Свердловск, 1983.-С.22-26.

10. Любимова С.А., Трапезников А.В. Растительность Белоярского водохранилища и влияние на нее сброса теплых вод //ПВСесоюз. конф. по сельскохоз. радиологии: Тез. докл.-Обнинск, 1984.-т. I.- С.42.

11. Куликов Н.В., Трапезников А.В. Сезонная динамика накопления ^{60}Co пресноводными растениями в природных условиях //Радиационная безопасность и защита АЭС.-1985.-Вып.9.- С.177-178.

12. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Гусева В.П. Накопление радиоактивных и стабильных нуклидов элодеей в зависимости от сезона года //Экология.-1986.-№6.- С.72-74.

13. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Влия-

ние подогрева воды на накопление радионуклидов грунтами Белоярского водохранилища //Экология.-1986.-№2.-С.75-77.

14. Любимова С.А., Ситникова О.Ф., Трапезников А.В. Некоторые вопросы гидрохимии Белоярского водохранилища //Радиоэкологические исследования в зоне АЭС.-Свердловск, 1988.-С.60-62.

15. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Гусева В.П., Куликов Н.В. ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в грунтах водоема-охладителя АЭС //Экология.-1988.-№2.-С.70-73.

16. Кононович А.Д., Молчанова И.В., Трапезников А.В., Каравеева Е.Н., Куликов Н.В. К проблеме нормирования радиоактивного загрязнения водных экосистем в зоне АЭС //Экология.-1988.-№4.-С.29-34.

17. Куликов Н.В., Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Реч Т.А., Гусева В.П. Радиоэкологические исследования водоема-охладителя Белоярской АЭС //Эколого-генетические последствия воздействия на окружающую среду антропогенных факторов: Тез. II Всесоюз. координац. совещ. : Сыктывкар, 1989.-С.117.

18. Бетенеков Н.Д., Берзон Б.Б., Иванов В.Г., Оленичева Г.Г., Пузако В.Д., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Чеботина М.Я. Сравнение различных методов концентрирования радионуклидов из пресных вод //Теория и практика селективного концентрирования при элементном и радиохимическом анализе объектов окружающей среды: Тез. докл. науч. тех. семинара.-Свердловск, 1989.-С.32.

19. Куликов Н.В., Чеботина М.Я., Трапезников А.В. Некоторые вопросы радиоэкологии водоемов-охладителей АЭС //Тез. докл. I Всесоюз. радиобиологического съезда.-Пушино, 1989.-том II.-С.468.

20. Любимова С.А., Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Растительность Белоярского водохранилища и влияние на нее подогретых вод АЭС //Экология.-1989.-№1.-С.73-75.

21. Куликов Н.В., Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Реч Т.А. Радиозкология водоема-охладителя АЭС //Ядерная энергия в СССР: проблемы и перспективы /экология, экономика, право/:Тез. докл. I Всесоюз. конф. ,Обнинск, 26-29 июня 1990г. -М., 1990. - С. 68-69.

А.В. Трапезников