

**ГУСЕВА ВАЛЕНТИНА ПЕТРОВНА**

На правах рукописи

УДК 574:574.582 : 504.455.05

**ПЛАНКТОН И ЕГО РОЛЬ В МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ  
В ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС**

03.00.16 – экология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата

биологических наук



Екатеринбург

2000

Работа выполнена в Отделе континентальной радиэкологии Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: докт. техн. наук, ст. науч. сотр.  
Чеботина М.Я.

Официальные оппоненты: докт. биол. наук, ст. науч. сотр.  
Любашевский Н.М.

канд. биол. наук, ст. науч. сотр.  
Васильчикова А.П.

Ведущая организация: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Защита состоится «14» XII 2000 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 002.05.01 в Институте экологии растений и животных УрО РАН по адресу: 620144 г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института экологии растений и животных УрО РАН

Авторсфрат разослан «8» XI 2000 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



Нифонтова М.Г.

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность темы.** В связи с развитием атомной энергетики некоторые континентальные водоемы используются в качестве водоемов-охладителей атомных электростанций. В такие водоемы поступает избыточное тепло из систем охлаждения и, как правило, слаборадиоактивные стоки АЭС.

Установлено, что в результате более чем 35-летнего периода эксплуатации Белоярской АЭС в прилегающей к ней акватории водоема сформировалась зона с повышенным содержанием радионуклидов во всех компонентах водного биогеоценоза – воде, растениях, рыбах, грунтах (Куликов и др., 1983, 1984; Трапезников, 1983; Трапезников и др., 1983, 1992, 1993; Трапезникова и др., 1983, 1984, 1993; Чеботина и др., 1980, 1983, 1984, 1986, 1988, 1992, 1996).

Планктон Белоярского водохранилища является практически неизученным компонентом водоема как в плане его качественного и количественного состава (видовое разнообразие, численность, биомасса), так и с точки зрения роли этих организмов в миграции радионуклидов. Для восполнения этого пробела и выполнялась данная работа.

**Цель исследования:** изучение качественных и количественных показателей (видового состава, численности, биомассы, накопительной способности в отношении радионуклидов и химических элементов) планктонных организмов в водоеме-охладителе Белоярской атомной электростанции.

### **Основные задачи исследования:**

1. Изучение видового состава, численности и биомассы фито- и зоопланктона Белоярского водохранилища;
2. Изучение влияния системы охлаждения БАЭС на состояние планктонных организмов;
3. Исследование роли планктона в накоплении и перераспределении радионуклидов в водоеме-охладителе.

**Научная новизна.** Нами впервые исследована роль планктона в процессах миграции радионуклидов в водоеме-охладителе Белоярской АЭС. Также впервые получены данные о влиянии системы охлаждения на качественные и количественные показатели планктона.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Влияние Белоярской АЭС на численность и биомассу фитопланктона водоема-охладителя проявляется преимущественно в пределах охлаждающей системы. В самом водоеме достоверного влияния станции на фитопланктон не выявлено.
2. Влияние АЭС на численность и биомассу зоопланктона проявляется как в пределах охлаждающей системы, так и в зоне сброса подогретой воды.
3. Планктонный комплекс зоны подогрева характеризуется повышенным содержанием радионуклидов  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  по сравнению с контрольной акваторией водоема-охладителя.
4. Выявлены масштабы накопления и миграции  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  с фито- и зоопланктоном в периоды функционирования второго и третьего энергоблоков Белоярской АЭС.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** На примере Белоярского водохранилища оценена роль планктона в миграции радионуклидов в водной экосистеме. Установлены повышенные концентрации радиоактивных загрязнителей в зоне сброса подогретых вод. Рассчитано их суммарное количество в планктоне водоема-охладителя. Оценены параметры гибели фито- и зоопланктона при прохождении его через систему охлаждения Белоярской АЭС. Установлена роль планктонной биоты в загрязнении конденсаторных трубок охлаждающей системы. Обнаружено отсутствие дополнительного поступления  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  из охлаждающей системы в зону подогрева водоема и снижение их концентрации в планктоне зоны сброса подогретых вод после вывода из эксплуатации второго энергоблока Белоярской АЭС. Полученные данные о численности, биомассе и накопительной

способности планктона могут быть использованы для балансовых расчетов и моделирования процессов миграции радионуклидов в водоёмах-охладителях Белоярской и других атомных электростанций.

**Апробация работы.** Материалы диссертации доложены на научных семинарах Отдела континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных УрО РАН (Заречный, 1987, 1988, 1990, 1993, 2000), на VIII Международном экологическом симпозиуме «Урал атомный, Урал промышленный - 2000» (Екатеринбург, 2000), на совещании «Экологические проблемы промышленных регионов» (Екатеринбург, 2000), на конференции «Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и эволюции» (Дубна, 2000).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 7 работ.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения и обзора основной литературы, 7 глав, заключения и выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 222 страницах машинописного текста, включает 16 рисунков и 20 таблиц. Список литературы состоит из 147 источников, в том числе 22 работы иностранных авторов, приложения 95с.

### **Содержание работы**

#### **Введение и обзор основной литературы**

Обосновывается актуальность темы диссертации, дается анализ публикаций по данной проблеме, формулируются цель и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, новизна, теоретическое и практическое значение работы.

#### **Глава 1. Физико - географическая характеристика Белоярского водохранилища.**

Приводится описание местоположения и размеров водоема-охладителя, дается историческая справка о времени его формирования, краткое описание растительности, ихтиофауны, донных отложений, химического состава воды.

## Глава 2. Характеристика Белоярской АЭС как источника поступления радионуклидов в водоём.

Описано расположение Белоярской АЭС и её коммуникаций, даётся перечень основных радиоактивных загрязнителей, поступающих от АЭС в исследуемую водную экосистему.

## Глава 3. Материал и методика

Описываются объекты исследования, которыми служили фито- и зоопланктон Белоярского водохранилища, методики определения видового состава, численности, биомассы планктона, методы определения содержания отдельных радиоактивных и стабильных изотопов в нем, методы статистической обработки материала.

## Глава 4. Видовой состав, численность и биомасса фитопланктона в Белоярском водохранилище.

Приводятся результаты исследований динамики фитопланктона в летний период 1988 года по десяти ключевым точкам наблюдений, которые, с одной стороны, охватывают весь водоём, а с другой – включают те регионы водохранилища, которые в наибольшей степени испытывают на себе влияние атомной электростанции.

В период исследований в водоёме зарегистрировано 121 вид планктонных водорослей, относящихся к семи типам. Средняя численность фитопланктона по водохранилищу составила примерно 184 млн. кл./л, а биомасса – 20 г/м<sup>3</sup>.

Рассматривается видовой состав, динамика изменения численности и биомассы различных типов фитопланктонных водорослей в зависимости от сроков и места наблюдений. Выявлены доминирующие виды водорослей в водоеме в целом и отдельных его акваториях. В водоеме в целом за 1986 и 1988 г.г. они включали 7 видов (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Coelastrum microporum*, *Pediastrum duplex*, *Ceratium hirundinella*, *Cryptomonas Marssonii*, *Stephanodiscus sp.*), тогда как в Теплом заливе –

лишь 4 вида (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Cryptomonas Marssonii*, *Stephanodiscus sp.*). Ведущий комплекс в разные сроки наблюдений насчитывал от 1 до 3 видов микроводорослей как в Теплом заливе, так и в остальной акватории водоема. Анализ данных как по численности, так и по биомассе фитопланктона не выявил существенных различий между зоной подогрева и акваторией водоёма от плотины до Щучьего залива. В то же время отмечено достоверное увеличение численности и биомассы фитопланктонных водорослей в верхней части водохранилища, что обусловлено сильным влиянием стока р. Пышмы в этой части водоёма.

#### **Глава 5. Видовой состав, численность и биомасса зоопланктона в Белоярском водохранилище.**

Произведена количественная оценка зоопланктона водоема-охладителя по нескольким точкам наблюдений, расположенным в зоне Теплого, Щучьего заливов и центральной акватории водоема. Всего в обследованных акваториях зарегистрировано 25 видов зоопланктонных организмов, относящихся к двум классам – ракообразных (ветвистоусых – 12, веслоногих – 4 вида) и коловраток (9 видов). Как по численности, так и по биомассе в составе зоопланктона в целом преобладают ракообразные. Ведущими формами зоопланктона в водосме в разное время были *Bosmina kessleri*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia cristata*, *D. pulex* и *Diaptomus graciloides*.

В течение всего периода исследований зона сброса подогретых вод (Теплый залив) отличалась от контрольного региона (Щучий залив) по составу доминирующего комплекса, а также по численности и биомассе зоопланктона. Средняя численность зоопланктонных организмов в зоне подогрева была примерно в 4 раза, а биомасса - в 7 раз ниже, чем в контрольном регионе.

Исследования, проведённые в центральной акватории водоёма, позволили установить, что наиболее высокая численность и биомасса зоопланктона отмечена в верховье по сравнению с нижней его частью. В первом случае биомасса зоопланктона в июле оказалась примерно в 11 раз, а в августе в 6

раз выше, чем во втором. Как и в случае с фитопланктоном, указанные различия, очевидно, связаны с воздействием стоков р. Пышмы, обеспечивающих верховье водоёма дополнительным притоком химических элементов и органических веществ.

Средняя численность зоопланктона в центральной акватории водоёма за наблюдаемый период составляла 131 тыс. экз./м<sup>3</sup>, а биомасса – около 5 г/м<sup>3</sup>.

#### **Глава 6. Влияние системы охлаждения Белоярской АЭС на фито- и зоопланктонные организмы.**

Исследовано изменение видового состава, численности и биомассы указанных выше организмов при прохождении их через охлаждающие системы. Для этой цели был произведён 11-кратный отбор проб фитопланктона и 9-кратный зоопланктона непосредственно на входе в охлаждающую систему (водозаборный канал) и на выходе из неё (водосбросной канал).

Установлено, что прохождение воды через системы охлаждения практически не влияет на количество видов содержащихся в ней фито- и зоопланктонных организмов. Отмечены статистически достоверные различия в снижении биомассы при прохождении через охлаждающую систему двух наиболее распространенных доминантов из числа веслоногих (*Diatomus graciloides*, убыль биомассы  $72 \pm 6\%$ ) и вствистоусых рачков (*Daphnia cristata*, убыль биомассы  $40 \pm 9\%$ ).

Показано, что на выходе из охлаждающей системы общая численность фитопланктона сокращается в среднем в 2, а биомасса – в 1,6 раза. В то же время численность зоопланктона уменьшается в 3, а биомасса – в 2 раза.

Рассчитано, что через водозаборный канал ежедневно засасывается с водой в систему охлаждения примерно 173 т фитопланктона и 11 т зоопланктона. Из них 62 % (108 т/сутки) фитопланктона и 45 % (5 т/сутки) зоопланктона выходит через водосбросной канал обратно в водоём без видимых повреждений, а соответственно 38 % (65 т/сутки) и 55 % (6 т/сутки) этих организмов погибает в системах охлаждения. Погибшие организмы превращают-



ся в детрит, который вместе с подогретыми водами поступает обратно в водоём, но часть его задерживается в системах охлаждения.

### Глава 7. Накопление радионуклидов планктоном Белоярского водохранилища.

Приведены результаты радиоэкологических исследований данного объекта. В первую очередь необходимо было сравнить содержание радионуклидов в планктоне зоны подогрева с контрольным районом. Результаты исследований представлены в табл. 1. Применение двухфакторного дисперсионного анализа для обработки всей совокупности данных позволило установить, что концентрация радионуклидов в зоне сброса подогретых вод выше, чем в контрольном районе (различия достоверны при 5% уровне значимости). Эти различия могут быть обусловлены совокупностью нескольких факторов, которые будут обсуждены в заключительной части работы.

Табл. 1. Концентрация радионуклидов в планктоне Теплого и Щучьего заливов, Бк/кг сухой массы

Время отбора	<sup>60</sup> Co		<sup>90</sup> Sr		<sup>137</sup> Cs	
	Теплый залив	Щучий залив	Теплый залив	Щучий залив	Теплый залив	Щучий залив
1986 г., июнь	973±114	136±31	78±39	40±22	882±137	264±59
июль	107±22	85±18	174	69±47	196±24	129±28
август	602±67	310±19	316±72	54±15	544±44	614±29
Среднее	561	177	189	54	540	336
1988 г., июнь	278±19	28±3	36±15	7±0,6	604±53	131±6
июль	33±3	19±1,5	6±1	12±2	47±7	37±5
август	53±5	54±7	10±5	8±1	88±18	204±23
Среднее	121	33	54	9	246	124

Поскольку поступление воды в Тёплый залив практически полностью осуществляется через водосбросной канал, представляло интерес исследовать, как меняется содержание радионуклидов и химических элементов в планктоне при прохождении его через системы охлаждения АЭС. В разные годы наблюдений концентрация радионуклидов в планктоне указанных каналов изменялась в широких пределах:  $^{60}\text{Co}$  – от 60 до 1400,  $^{90}\text{Sr}$  – от 10 до 150,  $^{137}\text{Cs}$  – от 100 до 1200 Бк/кг сухой массы (табл. 2). В начальный период исследований наблюдалось повышенное содержание всех трёх радионуклидов в планктоне водосбросного канала по сравнению с водозаборным. В последующие годы существенных различий по радиоактивности между планктоном водозаборного и водосбросного каналов не наблюдалось. Последнее свидетельствует об отсутствии дополнительного поступления радионуклидов из систем охлаждения через водосбросной канал в зону подогрева при работе третьего энергоблока Белоярской АЭС.

Нами был исследован также химический состав планктона до и после его прохождения через охлаждающую систему. Оказалось, что планктон водосбросного канала содержал значительно больше макро- и микроэлементов, чем планктон водозаборного канала. В частности, содержание Zr при этом

Табл. 2. Содержание радионуклидов в планктоне водозаборного и водосбросного каналов, Бк/кг сухой массы

Год наблюдений	Водозабор			Водосброс		
	$^{60}\text{Co}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{60}\text{Co}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$
1985	60	29	98	1310±87	150±60	1240±40
1986	1150±20	26±4	470±15	1380±35	23±2	1040±30
1990	122±16	10±2	247±32	125±17	16±3	255±32
1991	151±21	12±3	151±40	140±20	22±4	152±36

Примечание: За 1986, 1990 и 1991 гг. усреднены данные по 3, 5 и 4 временным точкам соответственно.

возросло в 4 раза, Si – в 5 раз, Sn, Re, Pb, Co, Ca – в 7 раз, W, V, Fe, Cu – в 10 – 13 раз, Mg, Cr, Ti – в 18 – 20 раз, Ni – в 35 раз, Mn – в 215 раз.

Таким образом, при прохождении воды через систему охлаждения АЭС находящиеся в ней планктонные организмы в значительной степени обогащались целым рядом химических элементов. В данной работе нам не удалось установить, являлись эти элементы радиоактивными или стабильными. В конечном счете, в исследованный период времени, когда еще функционировал второй энергоблок, они поступали через сбросной канал в водоём-охладитель и вносили определенный вклад в загрязнение акватории водохранилища. Аналогичные данные получены для водоёма-охладителя Курской и Игналинской АЭС (Верещак и др., 1996; Марчолене, 1994).

В специальном эксперименте мы попытались оценить содержание радионуклидов отдельно в фито- и зоопланктоне. Для этой цели при помощи сачков с разным размером ячеек отлавливали общий планктон и отдельно зоопланктон, а после определения содержания каждого радионуклида в пробах рассчитывали содержание их в фитопланктоне. В среднем показатели концентраций радионуклидов в фито- и зоопланктоне имели близкие значения (446 и 400 Бк/кг  $^{60}\text{Co}$ , 160 и 165 Бк/кг  $^{90}\text{Sr}$  и 520 и 550 Бк/кг  $^{137}\text{Cs}$  соответственно для фито- и зоопланктона), что, очевидно, связано с большой гетерогенностью планктона.

Известно, что в популяциях мелких организмов с коротким жизненным циклом имеется суточная динамика жизнедеятельности. Представляло интерес оценить, как изменяется накопительная способность планктонных организмов в разное время суток. Для этого в контрольном районе отлавливали планктон в течение следующих временных интервалов: 2–4, 5–6, 9–11, 13–15, 16–18, 19–21 час. Установлено, что с 16 до 18 часов содержание каждого из трёх радионуклидов снижается в среднем в 2 раза по сравнению с другими временными точками. В том же интервале между 16 и 18 часами численность и биомасса фитопланктона возрастает в 4 – 5 раз. Последнее можно

объяснить хорошим прогреванием толщи воды и оптимальной освещённостью в указанное время суток, что стимулирует интенсивное увеличение числа делящихся клеток, превышающее их убыль в результате отмирания. Корреляционный анализ выявил хорошую обратную связь между численностью и биомассой фитопланктонных водорослей в разное время суток и содержанием радионуклидов в планктоне (коэффициент корреляции от  $-0,6$  до  $-0,9$ ). Установленный нами факт обратной связи между биомассой фитопланктона и концентрацией радионуклидов в общем планктоне, возможно, объясняется эффектом «разбавления» радионуклидов в массе планктона за счет быстрого нарастания числа молодых клеток микроводорослей.

Для оценки масштабов накопления радионуклидов в планктоне необходимо было оценить их концентрацию в изучаемом объекте центральной части водоема. Для этого отлавливали планктон в нижней (от Тёплого залива до Биофизической станции, 1) и верхней (от Щучьего залива до верховья, 2) акваториях.

Как видно из табл. 3, средние концентрации оказались достаточно близкими по каждому из трёх исследуемых радионуклидов. Таким образом, в период исследований концентрация радионуклидов в планктоне центральной акватории водоема в расчете на сухую массу составила в среднем  $220$  Бк/кг  $^{60}\text{Co}$ ,  $6,5$  Бк/кг  $^{90}\text{Sr}$  и  $53$  Бк/кг  $^{137}\text{Cs}$ .

Табл. 3. Концентрация радионуклидов в планктоне центральной части Белоярского водохранилища, Бк/кг сухой массы

Район	Июль, 1989			Август, 1989		
	$^{60}\text{Co}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{60}\text{Co}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$
1	$208 \pm 18$	$7 \pm 0$	$81 \pm 1$	$222 \pm 12$	$5 \pm 1$	$49 \pm 1$
2	не опр.	$6 \pm 1$	$28 \pm 1$	$245 \pm 55$	$8 \pm 2$	$53 \pm 1$
Среднее	208	6,5	55	233	6,5	51

Приведенные в настоящем разделе данные по концентрациям радионуклидов в планктоне варьируют в достаточно широких пределах в зависимости от сроков и места наблюдений. Однако во всех случаях планктон накапливает меньше  $^{90}\text{Sr}$ , чем  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

На основании полученных результатов мы оценили вклад планктона в общий баланс радионуклидов в Белоярском водохранилище. Ранее такой баланс был рассчитан (Чеботина и др., 1992), но без учета вклада планктона, данные по которому отсутствовали. При расчете были использованы следующие параметры:

1. Объем воды в Белоярском водохранилище – 265 млн. м<sup>3</sup>;
2. Средняя биомасса планктона – 25 г/м<sup>3</sup>;
3. Средняя концентрация радионуклидов:  $^{60}\text{Co}$  - 270,  $^{90}\text{Sr}$ -40,  $^{137}\text{Cs}$  - 260

Бк/кг сухой массы (или 120, 18 и 115 Бк/кг сырой массы соответственно).

Как оказалось, в летний период 1986–1991 гг. планктон концентрировал в себе 736 МБк  $^{60}\text{Co}$ , 109 МБк  $^{90}\text{Sr}$  и 709 МБк  $^{137}\text{Cs}$ , что составляло соответственно 0,3, 0,09, и 0,11% от общего количества радионуклидов в водоеме. Макрофиты водоема содержали соответственно в 28, 9 и 47 раз меньше  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , чем планктон. Поскольку планктонные организмы способны к делению несколько раз в течение суток, в отличие от растений, можно заключить, что кругооборот поступающих от АЭС радионуклидов в водоеме в сообществах планктонных организмов протекает значительно более интен-

Табл. 4. Концентрация радионуклидов в планктоне, кладофоре и илистом грунте наблюдаемой зоны Белоярского водохранилища, Бк/кг сухой массы

Объект исследования	$^{60}\text{Co}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$
Планктон	270	40	260
*Кладофора	155	70	120
*Илистый грунт	510	40	720

\* по (Чеботина, 1995)

сивно, чем в сообществах растений.

Наконец, представляло интерес сравнить концентрацию радионуклидов  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в планктоне с таковой для других компонентов Белоярского водохранилища. Для этой цели нами были выбраны кладофора и илистый грунт, которые широко распространены в водоёме, имеют относительно высокие коэффициенты накопления и потому считаются хорошими биоиндикаторами радиоактивного загрязнения водоёма-охладителя. Как видно из табл. 4, концентрация всех радионуклидов одного порядка для всех объектов исследования.

### Заключение и выводы

Еще раз подчеркивается, что наиболее сильное воздействие БАЭС планктонный комплекс испытывает при прохождении через систему охлаждения, где он подвергается воздействию повышенных температур, механическому травмированию, повышенному давлению в насосах, действию высоких скоростей в трубках конденсатора и на водосбросе. В результате этих процессов на выходе из охлаждающей системы резко сокращается численность фито- и зоопланктонных организмов. В Теплом заливе эффект воздействия сброса подогретых вод проявляется преимущественно в отношении численности и биомассы зоопланктона, в отношении фитопланктона достоверных различий выявить не удалось.

В процессе радиоэкологических исследований установлено повышение концентрации  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в планктоне зоны подогрева по сравнению с контрольным регионом (Щучим заливом). С одной стороны, это можно связать с влиянием повышенных температур, с другой – засасыванием загрязненной радионуклидами воды, поступающей от расположенных выше по течению промливневого и обводного каналов. Сток из них приурочен к левому берегу водоёма, откуда часть загрязненной воды засасывается в водозаборный канал, а затем через водосбросной поступает в Теплый залив. Как показали наши исследования, в период работы второго энергоблока

БАЭС не исключалась возможность поступления радионуклидов в зону подгрева в результате протечек в теплообменном оборудовании, о чём свидетельствуют повышенные концентрации всех трёх радионуклидов в планктоне водосбросного канала по сравнению с водозаборным. После вывода из эксплуатации второго энергоблока существенных различий по радиоактивности между планктоном водозаборного и водосбросного каналов не наблюдалось. Проведенные исследования подтверждают большую роль планктонной биоты в водоёмах, испытывающих воздействие АЭС и других предприятий ЯТЦ. Накопительная способность этого объекта одного порядка с таковой для высших водных растений и илистых грунтов, но поскольку продолжительность жизни планктонных организмов значительно меньше, круговорот радионуклидов в их сообществе протекает более интенсивно, чем в сообществе водных растений.

### Выводы

1. Проведена инвентаризация фито - и зоопланктона в водоеме - охладителе Белоярской АЭС. За период исследований обнаружено 121 вид планктонных водорослей и 25 видов зоопланктонных организмов. Выявлены доминирующие виды микроводорослей (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Coelastrum microporum*, *Oocystis submarina*, *Pediastrum duplex*, *Ceratium hirundinella*, *Cryptomonas Marssonii*) и зоопланктонных организмов (*Daphnia pulex*, *D. cristata* и *Diaptomus graciloides*).

2. Установлено, что среди фитопланктонных водорослей по численности преобладают синезеленые, которые по биомассе составляют от 40 до 80% и более в зависимости от места и времени отбора. Среди зоопланктонных организмов преобладают ракообразные. Средняя численность и биомасса фито- и зоопланктонных организмов в водоеме составляет, соответственно 184 млн. кл./л и 20 г/м<sup>3</sup> для фитопланктона и 131 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 5 г/м<sup>3</sup> для зоопланктона.

3. Показано, что наиболее сильное воздействие Белоярской АЭС планктонный комплекс испытывает при прохождении через систему охлаждения. На выходе из нее численность фитопланктона сокращается примерно в 2, а биомасса - в 1,6 раза. Ежедневно 65 т фитопланктона и 6 т зоопланктона погибает в системах охлаждения. Выявлена большая гибель веслоногих рачков по сравнению с ветвистоусыми, последние оказались менее чувствительными к повреждающим факторам.

4. В Теплом заливе эффект воздействия сброса подогретых вод проявляется лишь по отношению к зоопланктону, численность и биомасса которого в этом регионе снижаются соответственно в 4 и 7 раз по сравнению с контрольным участком. В отношении фитопланктона четкого влияния на численность и биомассу выявить не удалось.



5. Установлено, что в зоне сброса подогретых вод концентрация  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  достоверно выше по сравнению с контрольным регионом, что обусловлено влиянием комплекса факторов.

6. В период работы второго энергоблока Белоярской АЭС через водосбросной канал в зону подогрева поступало дополнительное количество радионуклидов  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ . После вывода из эксплуатации этого энергоблока дополнительных поступлений радионуклидов в водосм не выявлено.

7. Изучение суточной динамики планктона в летнее время выявило наличие обратной корреляционной связи между численностью и биомассой фитопланктона и концентрацией в планктоне  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  с коэффициентами корреляции от  $-0,6$  до  $-0,9$ .

8. Концентрации радионуклидов в планктоне Белоярского водохранилища варьируют в широких пределах при средних значениях  $270$  ( $^{60}\text{Co}$ ),  $40$  ( $^{90}\text{Sr}$ ) и  $260$  ( $^{137}\text{Cs}$ ) Бк/кг сухой массы. Их суммарное количество, удерживаемое планктоном водоема-охладителя в летнее время, составило  $736$  МБк/кг  $^{60}\text{Co}$ ,  $109$  МБк/кг  $^{90}\text{Sr}$  и  $709$  МБк/кг  $^{137}\text{Cs}$ , что во много раз превышает соответствующие показатели для высших водных растений, обитающих в водосмс.

### Список работ опубликованных по теме диссертации

Гусева В.П., Чеботина М.Я., Видовой состав и численность фитопланктона некоторых зон Белоярского водохранилища // Радиозоологические исследования компонентов модельных и пресноводных экосистем. Свердловск, 1988. С. 60-68.

Гусева В.П., Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Куликов Н.В.  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в планктоне водоема-охладителя АЭС // Экология, 1989, N 5. С. 73-75.

Пискунов Л.И., Константинов Ю.О., Гусева В.П. Биоиндикация и экологическая дозиметрия техногенных радионуклидов водоема-охладителя Белоярской АЭС. Екатеринбург. 1991. Деп. в ВИНТИ 18.02. 92, N 553-B92. 28 с.

Гусева В.П., Чеботина М.Я. Изменение численности, биомассы и химического состава планктона под влиянием системы охлаждения Белоярской АЭС // Экология. 2000. - N 1. - С.127-132.

Гусева В.П. Влияние системы охлаждения Белоярской АЭС на количественный и качественный состав планктона // VIII Международный экологический симпозиум «Урал атомный, Урал промышленный – 2000»: Тез. докл. Екатеринбург, 2000. С. 62 –64.

Гусева В.П., Чеботина М.Я., Трапезников А.В. Исследование планктона водоема-охладителя Белоярской АЭС // Экологические проблемы промышленных регионов.: Тез. докл. Екатеринбург, 2000. С. 104 – 105.

Guseva V.P., Chebotina M. Ya., Trapeznikov A.V. Radioecological examination of plankton from reservoir-cooler of Beloyarskaya NPS // Intern. conf. "Modern problems of radiobiology, radioecology and evolution dedicated to centenary of N.W. Timofeeff-Ressovsky." Abstr. Dubna, 2000. P. 183.