

Российская академия наук
Уральское отделение
Н «Институт экологии растений и животных»
Сибирская академия сельскохозяйственных наук
Уральский научно-исследовательский ветеринарный
институт»

А.В. Трапезников
В.Н. Трапезникова

ПРЕСНОВОДНАЯ РАДИОЭКОЛОГИЯ

Екатеринбург
2012

УДК 574.58; 577.346
ББК 28.08

Ответственный редактор академик РАСХН,
доктор биологических наук, профессор **И.М.Донник**

Рецензенты
профессор, доктор биологических наук **Б.В.Тестов**,
доктор биологических наук **Е.А.Пряхин**

А.В.Трапезников, В.Н.Трапезникова

Пресноводная радиоэкология – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука»,
2012. – 544 с.

ISBN 978-5-904196-10-3

Обобщен 37-летний опыт радиоэкологических исследований крупных пресноводных экосистем Урала и Западной Сибири, подверженных воздействию предприятий ядерного топливного цикла. Изучены закономерности миграции, накопления и распределения по основным компонентам пресноводных биогеоценозов техногенных радионуклидов – ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$. Показана специфичность поведения радионуклидов в озерных экосистемах (на примере водоемов, расположенных на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа), речных (реки Теча, Исеть, Тура, Иртыш и Обь, относящиеся к Обь-Иртышской речной системе, загрязненной радиоактивными веществами различного генезиса и, прежде всего, в результате деятельности ПО «Маяк» на Южном Урале), а также в искусственных водных экосистемах (на примере Белоярского водохранилища – водоема-охладителя Белоярской АЭС). Показано, что после выведения из эксплуатации I и II блоков Белоярской АЭС, содержание ^{60}Co и ^{137}Cs в Белоярском водохранилище снизилось в основных компонентах водоема-охладителя (вода, донные отложения, ихтиофауна и макрофиты) в десятки, сотни и даже тысячи раз. Рассмотрены особенности барьерной роли различных пресноводных экосистем на пути рассеяния радионуклидов во внешней среде. В проведенных исследованиях широко использован метод математического моделирования. Показано, что радиоэкология пресноводных экосистем является самостоятельной научной дисциплиной; дана ее детальная структура и рассмотрены основные задачи.

Таблиц – 102, рисунков – 97, библиография – 494 названия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 10-05-00516а), интеграционного проекта Президиума УрО РАН № 12-И-4-2006, проекта Президиума УрО РАН № 12-4-3-016-«Арктика» и проекта по конкурсу ориентированных фундаментальных исследований Президиума УрО РАН № 12-4-006-ЯЦ

УДК 574.58; 577.346
ББК 28.08

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА I. РАДИОЭКОЛОГИЯ ПРЭСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК НАУЧНАЯ ДИСЦИПЛИНА	8
1.1. Теоретический фундамент радиэкологии	8
1.2. Место радиэкологии пресноводных экосистем в ряду других научных дисциплин	9
1.3. Барьерная роль пресноводных экосистем по отношению к миграции радиоактивных веществ	11
<i>1.3.1. Распределение радионуклидов по основным компонентам пресноводных экосистем</i>	<i>12</i>
<i>1.3.2. Радиационная емкость пресноводных экосистем</i>	<i>12</i>
1.4. Превращение пресноводной экосистемы в источник радиоактивного загрязнения окружающей среды	14
<i>1.4.1. Транспортная функция водных экосистем - вынос радионуклидов из проточных водохранилищ и перенос их речными экосистемами ..</i>	<i>14</i>
<i>1.4.2. Вторичное загрязнение речных систем радионуклидами через пойменные участки в период паводков</i>	<i>18</i>

1.4.3. Поступление радионуклидов из пресноводной экосистемы в пищевые цепочки представителей других экосистем	18
1.5. Экологические факторы, влияющие на аккумуляцию радионуклидов компонентами пресноводных экосистем	20
1.5.1. Макро- и микроконцентрации химических элементов в водной среде	20
1.5.2. Концентрация в водной среде изотопных и неизотопных носителей	21
1.5.3. Физико-химическое состояние радионуклидов в воде и рН водной среды	21
1.5.4. Температура водной среды	24
1.5.5. Световой фактор	26
1.5.6. Сезонная динамика накопления радионуклидов гидробионтами	28
1.5.7. Трофность водоема как экологический фактор	29
1.5.8. Накопление радионуклидов макрофитами в зависимости от экологической группы растений	29
1.6. Биоиндикация радиоактивного загрязнения	30

1.7. Исследование изотопных отношений радионуклидов как метод идентификации источников радиоактивного загрязнения водных экосистем	31
1.8. Специфичность радиоэкологической ситуации в Уральском регионе	32
ГЛАВА II. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ.....	37
2.1. Материал исследования пресноводных экосистем...	37
2.2. Методика исследований.....	43
2.2.1. <i>Методика отбора природного материала в пресноводных экосистемах и предварительная подготовки его для анализов</i>	<i>43</i>
2.2.2. <i>Методика проведения лабораторных опытов с гидробионтами и донными отложениями.....</i>	<i>45</i>
2.3. Методы определения содержания радионуклидов в компонентах пресноводных и наземных экосистем.	47
2.3.1. <i>Методика гамма-спектрометрического анализа.....</i>	<i>47</i>
2.3.2. <i>Радиохимические методы.....</i>	<i>49</i>
2.4. Методика нейтронно-активационного анализа.....	63

2.5. Статистическая обработка полученных результатов.....	65
---	----

ГЛАВА III. НАКОПЛЕНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В СЛАБОПРОТОЧНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ (на примере Белоярского водохранилища).....	67
--	-----------

3.1. Общая характеристика Белоярского водохранилища – водоема-охладителя Белоярской атомной станции.....	67
--	----

3.2. Содержание ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде Белоярского водохранилища.....	74
---	----

3.2.1. Динамика концентрации ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде в разные годы	75
---	----

3.2.2. Динамика концентрации ^{60}Co и ^{137}Cs в воде по сезонам года	82
--	----

3.2.3. Распределение ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в водной фазе по центральной части акватории водохранилища	84
---	----

3.2.4. Вертикальное распределение ^{60}Co и ^{137}Cs в воде водохранилища	86
---	----

3.2.5. Расчет выноса ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs за пределы водохранилища	89
---	----

3.2.6. Распределение ^{60}Co и ^{137}Cs в экспериментальной системе вода-лед	90
3.3. Накопление и распределение ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в грунтах Белоярского водохранилища	92
3.3.1. Распределение ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в грунтах различных зон водоема-охладителя Белоярской АЭС	93
3.3.2. Накопление ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в грунтах пресноводного водохранилища	98
3.3.3. Влияние температуры водной среды на накопление ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs донными отложениями в природных и экспериментальных условиях	100
3.3.4. Сравнительная характеристика накопления ^{60}Co и стабильного изотопа ^{59}Co затопленной почвой пресноводного водохранилища ...	104
3.4. Уровни содержания и накопление ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в гидробионтах Белоярского водохранилища	106
3.4.1. Накопление ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs макрофитами пресноводного водохранилища.....	108
3.4.2. Сезонная динамика накопления ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs пресноводными растениями	115

3.4.3. Влияние температуры водной среды на накопление ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs пресноводными растениями	119
3.4.4. Содержание ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в водных растениях различных зон водоема-охладителя Белоярской АЭС	126
3.4.5. Исследование путей поступления кобальта в пресноводные растения	130
3.4.6. Накопление ^{60}Co и ^{137}Cs в ихтиофауне Белоярского водохранилища.....	133
3.4.7. Накопление стабильного изотопа ^{59}Co в рыбе..	141
3.4.8. Влияние температуры водной среды на накопление ^{60}Co и ^{137}Cs рыбой	143
3.5. Расчет запасов ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержащихся в основных компонентах Белоярского водохранилища	144
3.5.1. Расчет запасов ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержащихся в воде водохранилища	146
3.5.2. Расчет запасов ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержащихся в донных отложениях водохранилища	149
3.5.3. Расчет запасов ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержащихся в макрофитах водохранилища	156

3.5.4. Соотношение запасов ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержащихся в основных компонентах водохранилища	159
3.6. Специфика накопления радионуклидов в водохранилищах.....	164
ГЛАВА IV. НАКОПЛЕНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ (на примере озер, расположенных на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа).....	166
4.1. Общая характеристика озер Тыгиш, Большой Сунгуль и Червяное, расположенных на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа.....	166
4.2. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озер Тыгиш, Большой Сунгуль и Червяное	177
4.2.1. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озера Тыгиш..	177
4.2.2. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озера Большой Сунгуль	180
4.2.3. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озера Червяное	183
4.3. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озер Тыгиш, Большой Сунгуль, Червяное и Щучье.....	187

4.3.1. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Тыгиш	187
4.3.2 Уровни содержания и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Большой Сунгуль	197
4.3.3. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Червяное...	202
4.3.4. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr , ^{137}Cs в донных отложениях озера Щучье	207
4.4. Уровни содержания и накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs в гидробионтах озер Тыгиш, Большой Сунгуль и Червяное	209
4.4.1. Уровни содержания и накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs в макрофитах озер Тыгиш, Большой Сунгуль и Червяное	210
4.4.2. Уровни содержания и накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне озер Тыгиш и Большой Сунгуль	212
4.5. Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в озерах Тыгиш, Большой Сунгуль и Червяное	222
4.5.1. Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в озере Тыгиш ...	223
4.5.2. Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в озере Большой Сунгуль	237

4.5.3. Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в озере Червяное	241
4.6. Специфика накопления радионуклидов в озерных экосистемах	254
ГЛАВА V. НАКОПЛЕНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ВКЛЮЧАЯ ИХ ПОЙМУ (на примере рек Обь-Иртышской речной системы)	256
5.1. Общая характеристика рек Течи и Исети, подверженных воздействию предприятия ядерного топливного цикла «Маяк»	256
5.2. Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ в воде рек Теча и Исеть	267
5.2.1. Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ в воде реки Течи	267
5.2.2. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде реки Исеть ...	277
5.3. Накопление и распределение ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях рек Теча, Исеть и в их пойме..	282
5.3.1. Содержание и распределение ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^{99}Tc в донных отложениях реки Течи и в ее затопленной пойме	282

5.3.2. Содержание и распределение ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях реки Исети и в ее затопленной пойме	299
5.4. Уровни содержания и накопление ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в гидробионтах рек Течи и Исети	316
5.4.1. Уровни содержания и накопление ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в гидробионтах реки Течи.....	316
5.4.2. Уровни содержания и накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs в водных растениях рек Исети, Миасса и Тобола	321
5.5. Расчет запасов ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в реках Тече и Исети и их пойме	324
5.5.1. Расчет запасов ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в реке Тече и ее пойме	324
5.5.2. Расчет запасов ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в реке Исети и ее пойме	327
5.6. Определение возраста донных отложений	334
5.7. Идентификация радиоактивного загрязнения рек Течи и Исети с помощью анализа изотопных отношений в донных отложениях пойменных водоемов	337
5.8. Накопление, распределение и миграция ^{137}Cs в реке Туре и в ее пойменных водоемах.....	341
5.8.1. Общая характеристика реки Туры.....	341

5.8.2. Вертикальное распределение ^{137}Cs в донных отложениях пойменных водоемов реки Туры...	346
5.8.3. Расчет запасов ^{137}Cs в пойме реки Туры в границах Тюменской области...	347
5.8.4. Расчет годового поступления и выноса ^{137}Cs с водой реки Туры в границах Тюменской области	356
5.9. Накопление, распределение и миграция ^{90}Sr , ^{137}Cs и тяжелых металлов в реках Иртыш, Обь и в их пойме	362
5.9.1. Общая характеристика рек Иртыш и Обь...	362
5.9.2. Оценка уровней содержания и запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде рек Иртыш и Обь в границах Ханты-Мансийского автономного округа....	368
5.9.3. Оценка уровней содержания и запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в пойменных почвах рек Иртыш и Обь в границах Ханты-Мансийского автономного округа.....	378
5.9.4. Оценка уровней содержания и накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs ихтиофауной рек Иртыш и Обь.....	389
5.9.5. Сравнительный анализ радиоактивного загрязнения реки Енисей и рек Теча и Исеть, подверженных воздействию предприятий ядерного топливного цикла.....	391

5.9.6. Содержание тяжелых металлов и органических токсикантов в воде рек Иртыш и Обь в границах Ханты-Мансийского автономного округа.....	403
5.9.7. Содержание тяжелых металлов и органических токсикантов в донных отложениях рек Иртыш и Обь в границах Ханты-Мансийского автономного округа.....	421
5.10. Специфика накопления радионуклидов в речных экосистемах.....	423
ГЛАВА VI. ОПЫТ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ, ПОДВЕРЖЕННЫХ МНОГОЛЕТНЕМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ГРАНИЦАХ НАБЛЮДАЕМОЙ ЗОНЫ	425
6.1. Общая постановка задачи исследования.....	425
6.2. Содержание радионуклидов в воде поверхностных водоемов	426
6.3. Содержание радионуклидов в донных отложениях поверхностных водоемов	437
6.4. Содержание радионуклидов в донных растениях ...	442
6.5. Содержание радионуклидов в ихтиофауне	447

6.6. Содержание радионуклидов в пойменных почвах рек наблюдаемой зоны	449
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	452
ЛИТЕРАТУРА	460
ПРИЛОЖЕНИЯ	540