

Российская академия наук
Уральское отделение
ФГБУН Институт экологии растений и животных

А.В. Трапезников
В.Н. Трапезникова
А.В. Коржавин
В.Н. Николкин

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ
МОНИТОРИНГ
ПРЕСНОВОДНЫХ
ЭКОСИСТЕМ**

ТОМ IV

Екатеринбург
2019

Российская академия наук
Уральское отделение
ФГБУН Институт экологии растений и животных

А.В. Трапезников
В.Н. Трапезникова
А.В. Коржавин
В.Н. Николкин

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

ТОМ IV

ЕКАТЕРИНБУРГ
Издательство «АкадемНаука»
2019

УДК 574.58; 577.346
ББК 28.08

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

Рецензенты

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

А.В. Трапезников, В.Н. Трапезникова,
А.В. Коржавин, В.Н. Николкин

Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем, Том IV –
Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2019. – 448 с.

ISBN 978-5-6044035-0-1

Обобщен 42-летний опыт радиоэкологического мониторинга пресноводных экосистем Урала, 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 водосмов, расположенных на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа), загрязненных радиоактивными веществами, 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 содержание ^{60}Co и ^{137}Cs в Белоярском водохранилище снизилось в основных компонентах (вода, донные отложения, иктофауна и макрофиты) в десятки и сотни раз. Проведено исследование трансграничного переноса ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ на территорию Свердловской области с объектов ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области. Рассмотрены особенности барьерной роли различных пресноводных экосистем на пути рассеяния радионуклидов во внешней среде. В проведенных исследованиях широко использован метод математического моделирования.

Таблиц – 101, рисунков – 92, библиография – 136 названий.

Организация экспедиции, отбор материала, измерение концентраций ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в воде и иктофауне, а также интерпретация результатов выполнены при финансовой поддержке проекта Комплексной программы УрО РАН № 18-9-4-9. Пробоподготовка и определение данных радионуклидов в пойменных почвах и донных отложениях, а также построение эмпирических математических моделей выполнены в рамках государственного задания ФГБУН Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН.

ISBN 978-5-6044035-0-1

УДК 574.58; 577.346
ББК 28.08



© А.В.Трапезников, В.Н.Трапезникова,
А.В. Коржавин, В.Н. Николкин, 2019
© ФГБУН Институт экологии растений
и животных УрО РАН, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ГЛАВА III. НАКОПЛЕНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ (на примере озер, расположенных на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа).....	4
3.1. Общая характеристика озер Тыгиш, Большой Сунгуль и Червяное, расположенных на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа	4
3.2. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озер Тыгиш, Большой Сунгуль и Червяное	15
3.2.1. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озера Тыгиш	15
3.2.2. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озера Большой Сунгуль.....	18
3.2.3. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озера Червяное	21
3.3. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озер Тыгиш, Большой Сунгуль, Червяное и Щучье.....	24
3.3.1. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Тыгиш	25
3.3.2. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Большой Сунгуль.....	34

3.3.3. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Червяное	40
3.3.4. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Щучье.....	45
3.4. Уровни содержания и накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs в гидробионтах озер Тыгиш, Большой Сунгуль и Червяное.....	47
3.4.1. Уровни содержания и накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs в макрофитах озер Тыгиш, Большой Сунгуль и Червяное	47
3.4.2. Уровни содержания и накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне озер Тыгиш и Большой Сунгуль.....	49
3.5. Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в озерах Тыгиш, Большой Сунгуль и Червяное	58
3.5.1. Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в озере Тыгиш....	58
3.5.2. Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в озере Большой Сунгуль	72
3.5.3. Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в озере Червяное....	75
3.6. Специфика накопления радионуклидов в озерных экосистемах.....	87
3.7. Концептуальная модель радиоэкологического мониторинга на пути трансграничного воздушного переноса радионуклидов на территорию Свердловской области с объектов ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области	89

3.8. Уровни содержания и распределения ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в снеговом покрове, почвах водосборных территориях, а также в воде и донных отложениях ряда озер, расположен- ных на границе Свердловской и Челябин- ской областей 2006 год	107
3.8.1. Материал и методика Район исследова ний и точки отбора	109
3.8.1.1. Методика отбора проб природных сред.	109
3.8.1.2. Методика определения радионуклидов..	111
3.8.2. Результаты исследований	118
3.8.2.1. . Загрязнение снега радионуклидами.....	118
3.8.2.2. Определение содержания радионуклидов в воде озер	121
3.8.3. Итоги мониторинговых исследований 2006 года.....	131
3.9. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в снеговом покрове, почвах водосборных территорий, а также в воде и донных отложениях ряда озер, расположен- ных на границе Свердловской и Челябинской областей 2007 год.....	135
3.9.1. Результаты исследований	135
3.9.1.1. Загрязнение снега радионуклидами.....	135
3.9.1.2. Исследование содержания ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в водоемах.....	136
3.9.1.3. Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях.....	141

3.9.1.4. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ в почвах площади водосбора.....	147
3.9.2. Итоги мониторинговых исследований 2007 года.....	160
3.10. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в снеговом покрове, почвах водосборных территорий, а также в воде и донных отложениях ряда озер, расположен- ных на границе Свердловской и Челябинской областей. 2008 год.....	164
3.10.1 Результаты исследований	164
3.10.1.1. Загрязнение снега радионуклидами.....	164
3.10.1.2. Исследование содержания радионук- лидов ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в водоёмах	173
3.10.1.3. Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях	177
3.10.1.4. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в пробах почв площади водосбора.....	179
3.10.2. Итоги мониторинговых исследований 2008 года.....	184
3.11. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в снеговом покрове, почвах водосборных территорий, а также в воде и донных отложениях ряда озер, расположен- ных на границе Свердловской и Челябинской областей 2009 год.....	187
3.11.1. Результаты исследований	187
3.11.1.1. Содержание радионуклидов в снежном покрове.....	190

3.11.1.2. Содержание радионуклидов в воде открытых водоемов	196
3.11.1.3. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях	200
3.11.1.4. Содержание ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ в почвах площади водосбора.....	203
3.11.2. Итоги мониторинговых исследований 2009 года.....	210
3.12. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в снеговом покрове, почвах водосборных территорий, а также в воде и донных отложениях ряда озер, расположен- ных на границе Свердловской и Челябинской областей 2011 год.....	211
3.12.1. Результаты исследований	211
3.12.1.1. Загрязнение снега радионуклидами.....	211
3.12.1.2. Содержание радионуклидов в воде открытых водоемов	216
3.12.1.3. Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях	219
3.12.1.4. Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в почвенном покрове площади водосбора ...	221
3.12.2. Итоги мониторинговых исследований 2011 года.....	224
3.13. Уровни содержания и распределение ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в снеговом покрове, почвах водосборных территорий, а также в воде и донных отложениях ряда озер, расположен- ных на границе Свердловской и Челябинской областей 2012 год.....	228

3.13.1. Результаты исследований	228
3.13.1.1. Загрязнение снега радионуклидами.....	228
3.13.1.2. Содержание радионуклидов в воде открытых водоемов	232
3.13.1.3. Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в почвенном покрове площади водосбора ...	235
3.13.2. Итоги мониторинговых исследований 2012 года.....	240

ГЛАВА IV. НАКОПЛЕНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В СЛАБОПРОТОЧНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

(на примере Белоярского водохранилища)	242
4.1. Общая характеристика Белоярского водохранилища водоема-охладителя Белоярской атомной станции	242
4.2. Содержание ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде Белоярского водохранилища.....	249
4.2.1. Динамика концентрации ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде в разные годы	249
4.2.2. Динамика концентрации ^{60}Co и ^{137}Cs в воде по сезонам года.....	259
4.2.3. Распределение ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в водной фазе по центральной части акватории водохранилища	262
4.2.4. вертикальное распределение ^{60}Co и ^{137}Cs в воде водохранилища.....	265

4.2.5. Расчет выноса ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs за пределы водохранилища	267
4.2.6. Распределение ^{60}Co и ^{137}Cs в экспериментальной системе вода-лед	268
4.3. Накопление и распределение ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в грунтах Белоярского водохранилища.....	271
4.3.1. Распределение ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в грунтах различных зон водоема-охладителя Белоярской АЭС	272
4.3.2. Накопление ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в грунтах пресноводного водохранилища.....	277
4.3.3. Влияние температуры водной среды на накопление ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs донными отложениями в природных и экспериментальных условиях.....	279
4.3.4. сравнительная характеристика накопления ^{60}Co и стабильного изотопа ^{59}Co затопленной почвой пресноводного водохранилища....	282
4. 4. Уровни содержания и накопление ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в гидробионтах Белоярского водохранилища	284
4.4.1. Накопление ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs макрофитами пресноводного водохранилища.....	286
4.4.2. Сезонная динамика накопления ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs пресноводными растениями....	294
4.4.3. Влияние температуры водной среды на накопление ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs пресноводными растениями	299

4.4.4. Содержание ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в водных растениях различных зон водоема-охладителя Белоярской АЭС	306
4.4.5. Исследование путей поступления кобальта в пресноводные растения.....	310
4.4.6. Накопление ^{60}Co и ^{137}Cs в ихтиофауне Белоярского водохранилища	312
4.4.7. Накопление стабильного изотопа ^{59}Co в рыбе	321
4.4.8. Влияние температуры водной среды на накопление ^{60}Co и ^{137}Cs рыбой.....	323
4. 5. Расчет запасов ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержащихся в основных компонентах Белоярского водохранилища.....	325
4.5.1. Расчет запасов ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержащихся в воде водохранилища	325
4.5.2. Расчет запасов ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержащихся в донных отложениях водохранилища	328
4.5.3. Расчет запасов ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержащихся в макрофитах водохранилища	334
4.5.4. Соотношение запасов ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержащихся в основных компонентах водохранилища	338
4.5.5. Специфика накопления радионуклидов в водохранилищах	343
4.6. Опыт радиоэкологического исследования пресноводных экосистем, подверженных многолетнему воздействию атомной электростанции в границах наблюдаемой зоны	345

4.6.1. Общая постановка задачи исследования ...	345
4.6.2. Содержание радионуклидов в воде поверхностных водоемов	346
4.6.3. Содержание радионуклидов в донных отложениях поверхностных водоемов.....	356
4.6.4. Содержание радионуклидов в водных растениях	356
4.6.5. Содержание радионуклидов в ихтиофауне..	365
4.6.6. Содержание радионуклидов в пойменных почвах рек наблюдаемой зоны Белоярской АЭС	367
4.7. Первые результаты радиоэкологического исследования водоема-охладителя Белоярской АЭС после ввода в эксплуатацию 4-го энергоблока БН-800	369
4.7.1. Содержание техногенных радионуклидов в пробах воды	372
4.7.2. Содержание радионуклидов в водных растениях	374
4.7.3. Итоги мониторинговых исследований Белоярского водохранилища 2014-2017 года.....	383
ЗАКЛЮЧЕНИЕ к монографии «Радиоэкологический мони- торинг пресноводных экосистем» (Томы I – IV)	384
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К IV ТОМУ	400
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	426