

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
БЕЛАРУСИ ИНСТИТУТ  
РАДИОБИОЛОГИИ

УДК 577.391: 577.4: 577.472(28)

ХВАЛЕЙ Олег Дмитриевич

ПОВЕДЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ-137 И  
СТРОНЦИЯ-90 В  
КОМПОНЕНТАХ ВОДНЫХ СИСТЕМ  
ЛЕНТИЧЕСКОГО И  
ЛОТИЧЕСКОГО ТИПОВ ВОСТОЧНО-  
БЕЛОРУССКОЙ  
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

03.00.01 -радиобиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата  
биологических наук

МИНСК – 2001

Работа выполнена в лаборатории радиоэкологии водных систем  
Института радиобиологии Национальной академии наук  
Беларуси

Научные руководители: | кандидат химических наук Долгов В.М. |  
доктор медицинских наук, профессор,  
академик Конопля Е.Ф.

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, чл.- корр. НАН Беларуси  
Остапеня А.П. доктор биологических наук, чл.-корр. НАН  
Беларуси Якушев Б.И.

Оппонирующая организация: Институт проблем использования  
природных ресурсов и экологии НАН Беларуси.

Защита диссертации состоится «7мая» 2001 г. в 15 часов на  
заседании совета по защите диссертаций Д 01.35.01 при Институте  
радиобиологии НАН Беларуси по адресу: 220141 г. Минск, ул.  
Академика Купрэвнча, 2, тел.: 264 - 46- 72.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института  
радиобиологии НАН Беларуси.

Автореферат разослан 6 апреля 2001г.

Ученый секретарь совета по защите  
диссертаций,  
кандидат биологических наук

АМ. Ходосовская

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Актуальность темы диссертации связана, во-первых, с необходимостью оценки степени радиоактивного загрязнения водных систем Беларуси в результате аварии на ЧАЭС; во-вторых, с выяснением распределения радионуклидов между отдельными компонентами водных систем; в-третьих, с определением динамики происходящих процессов с годами и, наконец с оценкой опасности при использовании населением радиоактивно загрязненных компонентов изучаемых водных систем. В работе проведен анализ радиоактивного загрязнения водных систем различного типа, позволяющий оценить особенности годовых и сезонных процессов миграции радионуклидов между основными компонентами водных систем. Результаты диссертационной работы позволят в дальнейшем разработать мероприятия по уменьшению накопления радионуклидов в организме человека путем исключения или ограниченного использования наиболее опасных в радиэкологическом плане составляющих водных систем. Рекомендовано не только ограничить потребление продукции этих систем (вода, рыба), но и полностью запретить рекреационное использование изучаемых водных систем в силу высоких показателей активностей донных отложений, вносящих основной вклад в формирование дозовых нагрузок.

В литературе имеются ограниченные данные по радиэкологическому состоянию водных систем Украины, России, Латвии, в то время как по водным системам Беларуси данных крайне мало.

Приведенные в диссертационной работе результаты радиэкологического исследования водных систем Восточно-Белорусской геологической провинции вносят конкретный вклад в освещение вопросов миграции радионуклидов в условиях значительного радиоактивного загрязнения компонентов ландшафта. Связь работы с крупными научными программами, темами. Диссертационная работа выполнена в рамках следующих тем Глава важнейших научно-исследовательских работ в области естественных, технических и общественных наук по Республике Беларусь на 1991-1995гг: «Определение радиэкологической ситуации, разработка прогноза и мероприятий по снижению отрицательных последствий аварии на ЧАЭС для водных ресурсов» (№ 01.90.0014250); «Изучение поведения радионуклидов в системах малых рек Припятского, Днепровского и Неманского бассейнов. Оценка влияния физико-химического состояния цезия, стронция, плутония и концентрации их химических аналогов на распределение радионуклидов в компонентах водных систем. Разработка критериев прогноза радиэкологической ситуации», а также темы «Выяснение закономерностей поведения натуральных и искусственных радионуклидов в различных экосистемах» (№ 19961865 от 7 08. 1996 г.) Государственной программы фундаментальных исследований Республики Беларусь на 1996-2000 гг. «Закономерности переноса естественных и техногенных радионуклидов в биосфере, формирование дозовых нагрузок, биологические эффекты хронического

действия радиации и повышение радиочувствительности организма (малые дозы облучения)» и темы «Изучение динамики поведения радионуклидов в объектах окружающей среды (воздух, вода, почва), экосистемах и населенных пунктах» ( № 19961867 от 7.08.1996г.) Государственной программы Республики Беларусь по минимизации и преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 1996 - 2000гг. Цель и задачи и исследования. Цель работы - изучить состояние и динамику радионуклидного загрязнения компонентов водных систем лентического и лотического типов с целью оценки последствий Чернобыльской катастрофы для водных ресурсов Республики Беларусь и их значимости в определении защитных мер. В качестве решения отдельных задач исследования предусматривалось:

- оценить распределение и исследовать динамику радиоактивного загрязнения отдельных компонентов водных систем - воды, взвесей, донных отложений, водной растительности;

- определить запасы радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в компонентах водохранилища и среднегодовой объем выноса радионуклидов речным стоком на примере конкретных водных объектов;

- установить особенности распределения радионуклидов в основной биотической составляющей водохранилища - фитоценозах;

- определить виды водной растительности и их сообщества, играющие преимущественную роль в процессах перераспределения радионуклидов;

- исследовать сезонные особенности в процессах аккумуляции радионуклидов цезия-137, стронция-90 фитоценозами водохранилища и другими компонентами - донными отложениями, водой, взвесями;

выяснить возможные корреляционные связи между различными группами компонентов водных систем лентического и лотического типов. Объект и предмет исследования. В качестве объектов исследования избраны водные системы речного и озерного типов - р.Сенна и водохранилище Малиновка Чернковского района Могилевской области как типичные водные экосистемы Восточно-Белорусской геологической провинции и их компоненты - вода, взвеси, донные отложения, водная растительность. Предмет исследования - радиоактивное загрязнение компонентов водных систем, динамика их радиоэкологического состояния, запасы радионуклидов цезия-137 и стронция-90, элементный состав проб. Методологии и методы проведенного исследования. В основу работы положен метод радиоэкологического мониторинга, включающий в себя полевые исследования, спектрометрический, радиометрический, радиохимический анализы, а также корреляционный и регрессионный анализы экспериментальных данных с целью установления статистических связей между отдельными компонентами водных систем.

Научная новизна в значимость полученных результатов. Впервые в Республике Беларусь в условиях положения, сложившегося после аварии на ЧАЭС, дана оценка

динамики радионуклидного загрязнения водных систем лентического и логического типов:

- определен характер радионуклидного загрязнения отдельных компонентов водных систем лентического и логического типов, которые по степени радиоактивного загрязнения располагаются, как правило, в следующем порядке: водная растительность > донные отложения > вода > взвеси;
- дано дальнейшее развитие изучению роли водной растительности а процессах перераспределения радионуклидов;
- впервые определены запасы радионуклидов Cs-137, Sr-90 в основных компонентах экосистемы водохранилища и среднегодовой вынос этих радионуклидов водами образующей его реки;
- установлена характерная особенность изучаемых водных систем в плане высокого содержания Sr-90 в воде, когда его концентрация может превышать Республиканские допустимые уровни для питьевой воды;
- отмечена потенциальная опасность при использовании продукции водных систем в народно-хозяйственных целях в связи с высокой загрязненностью компонентов водных систем радионуклидами.

Практическая значимость полученных результатов. В результате проведенных исследований выявлены особенности динамики радиоэкологической ситуации и роль отдельных компонентов в общем балансе радиоактивного загрязнения водных систем лентического и логического типов Восточно-Белорусской геологической провинции. Данные по содержанию радионуклидов в воде и водной растительности  $f$  позволяют оценить степень опасности этих составляющих в случае поступления в организм человека непосредственно либо опосредовано, по пищевым цепям. Полученные закономерности в распределении радионуклидов между компонентами изучаемых экосистем могут быть применимы для других систем лентического и логического типов (озера, крупные пруды, реки), используемых для нужд населения. Данные по радиоэкологическому состоянию водных систем зоны отселения Восточной геологической провинции регулярно представлялись в Государственный комитет по гидрометеорологии Республики Беларусь и использовались его Центром радиационного контроля и мониторинга окружающей среды для оценки текущего состояния и составления прогноза поведения радионуклидов в водных системах аналогичного типа. Результаты научной работы использовались также и Министерством экологии и охраны природных ресурсов в целях радиоэкологического мониторинга водных экосистем.

Оснoвные положения диссертация, выносимые на защиту.

На защиту выносятся следующие положения:

- характер динамики радиоэкологической ситуации в компонентах водных систем проточного и непроточного типов Восточно-Белорусской геологической провинции и радиоэкологическая классификация качества воды изучаемых систем, подвергшихся влиянию аварии на ЧАЭС;

\* анализ удельных активностей Cs-137,  $^{90}\text{Sr}$  и оценочный расчет запасов исследуемых радионуклидов в

составляющих водных систем: воде, взвесах, донных отложениях, водной растительности изученных водных систем;

« определение объемов среднегодовых выносов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  речным стоком (р.Сенна, д.Чудяны);

• корреляционный анализ распределений радионуклидов между отдельными компонентами водных систем.

Личный вклад соискателя. Автором лично проводился отбор водной биоты, ее систематика, взвешивание, сушка, отжиг, измерения проб биоты на гамма-спектрометре – частичная спектрометрия воды, взвесей, донных отложений, расчет данных и обобщение цифрового материала в виде таблиц, графиков и анализ результатов. Радиохимический анализ проводился с помощью сотрудников лаборатории радиоэкологии водных систем ИРБ НАНБ, участие которых в работе отражено в совместных публикациях.

Апробация результатов диссертации. Результаты диссертации были представлены на следующих конференциях, съездах, симпозиумах: «Наука и медицина - Чернобылю» (Минск, 1993г.); XV Менделеевский съезд (Минск, 1993г.); I' Международная научно-техническая конференция «Итоги 8 лет работ по Ликвидации последствий аварии на ЧАЭС» (Украина, Зеленый Мыс, 1994г.); Белорусско-японский симпозиум «Ближайшие и отдаленные последствия ядерных катастроф» (Минск, 1995г.); Конференция «Миграция радионуклидов в водных системах» (Обнинск, 1995г.); Научная конференция «10 лет после Чернобыльской катастрофы» (Минск, 1996г.); III съезд по радиационным исследованиям (Москва, 1997г.); I-я научная конференция молодых ученых Международного института по радиоэкологии им. А.Д. Сахарова (Минск, 1998 г.); 9-th Annual Conference «Risk Analysis: Facing the New Millenium», (The Netherlands, 1999), 5 Conference on Nuclear and Radiochemistry, (Switzerland, 2000г.); Международная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Н.В. Тимофеева-Ресовского :Минск, 2000 г).

Опубликованность результатов. Основные результаты исследования нашли отражение в 30 опубликованных совместно с научными сотрудниками лаборатории радиоэкологии водных систем ИРБ НАН Беларуси работах, из них 5 статей, 14 докладов конференций и 11 тезисов (всего - 54 стр.), в том числе 15 работ из общего числа - в зарубежной печати (Япония, Австрия, США, Нидерланды, Швейцария).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, обзора литературы, изложения материалов и методов исследований, физико-географической и общей характеристики объектов исследования к 4 основным главам экспериментальных исследований, а также заключения, выводов и списка использованной литературы из 174 наименований. Объем диссертации - 122 страницы (из них - 100 стр. текста), включает 39 таблиц, 20 рисунков. В приложении представлено 20 рисунков.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

## Материалы и методы исследования

В работе использовались методы полевых исследований с отбором проб, их предварительной обработкой и последующим исследованием в условиях стационара с использованием методов гамма-спектрометрического, радиохимического, бета-радиометрического, а также элементного химического анализов образцов проб водных систем - воды, взвесей, донных отложений, почв площадей водосборов, водной растительности. В процессе исследований использовали стандартные методики бета-радиометрии, с применением полупроводниковой гамма-спектрометрии, дозиметрии, радиохимического анализа с заключительным этапом В- и гамма-спектрометрии. Для измерений использовали следующие приборы: бета-радиометр РКБ-4-2еМ; бета-радиометр КРВП-ЗАБ; многоканальный полупроводниковый гамма-спектрометр с Ge (Li) детектором ДГДК-100В-3 и амплитудным анализатором фирмы AFORA-LP-4900 В; радиометры-дозиметры ДРГ-01Т. Приборы проходили ежегодную метрологическую госповерку, что позволяло получать достоверные результаты с погрешностью не ниже 30%.

### Основные результаты и их обсуждение

Физико-географическая в общей характеристике региона и объектов исследования

Объекты исследования - водохранилище Малиновка и р.Сенна - расположены на территории Чериковского р-на Могилевской области, примерно в 250 км от Чернобыльской АЭС. Плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  территории водосбора р.Сенна у д.Чудяны - более 40 Ки/км<sup>2</sup>. характер рельефа - долинный задр Сожского оледенения. Средний годовой объем стока реки Сенна у д.Чудяны - 5,99 млн.м<sup>3</sup>, среднегодовой расход воды - 4,8 м<sup>3</sup>/с. Средний годовой сток наносов (взвесей) - 0,19 тыс. тон, средний годовой расход наносов - 0,006 кг/с. Деревня Чудяны на р.Сенна расположена в 5 км от водохранилища Малиновка вниз по течению.

Водохранилище Малиновка имеет следующие гидрологические характеристики: площадь водного зеркала водохранилища на отметке нормального подпорного уровня (НЕГУ) - 26,6 га, емкость водохранилища на отметке НПУ - 373 тыс.м<sup>3</sup>. Максимальная ширина - 0,36 км, длина - 1,8 км. Средняя глубина - 2,0 м.

Водохранилище локализовано на участке долины р. Сенна в ее среднем течении, расположено в 400 м восточнее окраины д. Малиновка. Водохранилище сдано в эксплуатацию в 1982г.

Водохранилище и р.Сенна по физико-гидрологическим показателям, особенностям географического расположения, являются типичными водными системами Восточно-Белорусской геологической провинции и в связи с высокими показателями радиоактивного загрязнения компонентов ландшафта были выбраны в качестве объектов долгосрочного радиоэкологического мониторинга.

### Поведение радионуклидов $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ в воде

Установлено, что экосистема водохранилища в 1986 году подверглась вторичному, помимо аэрозольного, вызванного

аварией на ЧАЭС, загрязнению радионуклидами и, в особенности  $^{90}\text{Sr}$ , в результате проведенных на берегах водохранилища дезактивационно-технических работ. Содержание радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  в поверхностной воде исследуемых водных объектов не превышает 0,37 Бк/л - республиканского допустимого уровня (РДУ) по питьевой воде, за исключением отдельных случаев, а превышения РДУ по содержанию в питьевой воде  $^{137}\text{Cs}$  не наблюдалось. Согласно «Комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши» (О.П. Оксьюк, В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский и др., 1993г.), вода водохранилища по разряду качества воды относится от слабозагрязненной до умеренно-загрязненной в отношении  $^{137}\text{Cs}$  и к умеренно-загрязненной по  $^{90}\text{Sr}$ . Отмечено возрастание радиоактивности воды водохранилища по сравнению с доаварийными значениями в сотни раз по  $^{137}\text{Cs}$  и в десятки раз по  $^{90}\text{Sr}$ .

Показано, что в период 1990-1997гг. не наблюдается устойчивой тенденции к снижению удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$  и, в особенности, Sr в воде (рис.1). Выявлено влияние сезонов отбора проб на радиоактивность воды и прослеживается увеличение содержаний Cs в воде от мая, июля к октябрю. Сезонные изменения содержания в воде  $^{90}\text{Sr}$  незначительны. Сезонное увеличение содержания радионуклидов в воде происходит, в основном, в результате отмирания водной растительности водохранилища и р.Сенна осенью и высвобождением радионуклидов из отмирающей и отмершей растительности. Вероятно, из-за большего накопления  $^{137}\text{Cs}$  растительностью по сравнению с  $^{90}\text{Sr}$  высвобождение и поступление его в воду более значимо, чем  $^{90}\text{Sr}$ .

Оценочный расчет запасов радионуклидов в воде водохранилища показал, что без учета вклада взвесей, в период 1990-1997гг, содержалось от 19 до 354 МБк  $^{137}\text{Cs}$  и от 41 до 164 МБк  $^{90}\text{Sr}$ . Сезонные и годовые тенденции колебаний общего количества радионуклидов в объеме воды водохранилища аналогичны таковым по динамике удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  воды и зависят от водообеспеченности того или иного года, сезона, а также от баланса между принесенным и выносом воды рекой Сенна,

В первые годы исследований наблюдается превышение запасов  $^{90}\text{Sr}$  над запасами  $^{137}\text{Cs}$  в воде водохранилища, наряду с аналогичной закономерностью по удельным активностям этих элементов.



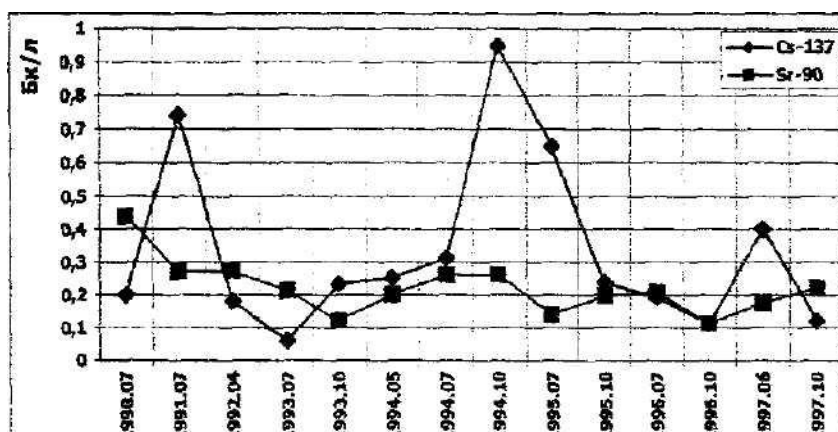


Рис-1. Динамика удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  фильтрованной воды водохранилища Малиновка в период 1990-1997гг.

Количественное содержание элементов Na, K, Ca, Mg в воде водохранилища значительно варьирует лишь в отношении Ca. В 1993г. наблюдается увеличение перечисленных элементов-макроаналогов от июня-июля к октябрю, вероятно, вследствие высвобождения N, K, Ca, Mg из отмирающей растительности. Количество перечисленных элементов также зависит от водности года, баланса «привнос-вынос» воды р.Сенна. Установлено, что среднегодовое значение активности  $^{137}\text{Cs}$  воды р.Сенна у д.Чудяны составило 0,51 Бк/л (510 Бк/м<sup>3</sup>), а  $^{137}\text{Cs}$  воды водохранилища - 0,24 Бк/л (240 Бк/м<sup>3</sup>), что в сотни раз превышает доаварийные значения. Усредненные за все годы наблюдений показатели удельных активностей воды по  $^{90}\text{Sr}$  для водохранилища и для р.Сенна у д.Чудяны практически одинаковы - соответственно 0,23 и 0,22 Бк/л, что соответствует разряду качества 4а - умеренно загрязненная и что превышает фоновые, «до чернобыльские» значения в 40 раз. Превышения РДУ-96 для питьевой воды по  $^{90}\text{Sr}$  для водохранилища к реки зафиксированы только в единичных случаях и составили 0,44 Бк/л для водохранилища и 0,81 Бк/л для воды реки Сенна. Для створа р.Сенна у д.Чудяны определен среднегодовой объем выноса радионуклидов. По в год.

Содержание радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  во взвешенном веществе

Взвеси водохранилища и реки в основном представляют собой неорганическое вещество и состоят из глинистых и илистых частиц, а также пылеватых частиц, которые задерживаются при фильтровании воды на системе беззольных фильтров. Фильтры, имеющие размеры пор примерно в 1-3 нкм, свободно пропускают ионы, псевдоколлоиды и коллоидные, т.е. растворимые фракции. Взвеси поступают в экосистему водохранилища несколькими путями: смыв частиц с почв площадей водосбора самого водохранилища; привнесение их водами р.Сенна; высвобождение при отмирании растений (частицы детрита), а при значительных возмущениях (например, сильные ветры) - с верхних слоев донных

отложений.

Диапазон активностей взвесей водохранилища по  $^{137}\text{Cs}$  составляет 0,02-0,28 Бк/л, а  $^{90}\text{Sr}$  - 0,002-0,09 Бк/л в период 1990-1997гг. Лишь в единичных случаях (1990,1993гг.) наблюдалось превышение удельных активностей взвесей водохранилища по  $^{90}\text{Sr}$  над их цезиевой активностью.

Как оказалось, радиоактивность  $^{137}\text{Cs}$  фильтрованной воды практически во все годы превышала активность  $^{137}\text{Cs}$  взвесей в 1,3-15,5 раз, за исключением апреля 1992г., что объясняется отчасти различием форм нахождения цезия в воде и на взвесах. В отношении  $^{90}\text{Sr}$  во все годы наблюдений активность фильтрованной воды превышает активность взвешенных веществ в 1,7-105 раз.

Фильтрованная фракция воды (растворимые формы) водохранилища содержит в себе в среднем 70,4% активности от суммарной радиоактивности воды по  $^{137}\text{Cs}$  и 29,6% приходится на взвеси. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в фильтрованной воде составляет в среднем 86,2% активности от общей радиоактивности воды по стронцию и 13,8% приходится на взвеси (рис.2).

При оценке сезонных особенностей содержания  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  на взвесах установлено повышение их удельной активности от июля к октябрю для  $^{137}\text{Cs}$ , а для  $^{90}\text{Sr}$  эти изменения менее значимы.

Подсчитан общий запас радиоактивности взвесей водохранилища в расчете на НПУ, что составляет для  $^{137}\text{Cs}$  6,34-104,4 МБк и а для  $^{90}\text{Sr}$  - 0,75-33,2 МБк. Максимальные запасы  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  на взвесах наблюдаются в один и тот же год -1991 (июнь-июль); лишь в 1990, 1993/10 гг. замечено превышение запасов  $^{90}\text{Sr}$  над таковыми  $^{137}\text{Cs}$  на взвесах. Для донных отложений имеет место тенденция к уменьшению значения отношений активностей  $\text{Cs}$  к  $\text{Sr}$ . Это означает, что с годами в донных отложениях, как и в почве, происходит уменьшение подвижности соединений  $^{137}\text{Cs}$ , который, встраиваясь в алюмосиликатные комплексы, становится химически инертным, в то время как  $^{90}\text{Sr}$  в результате деструкции топливных частиц высвобождается, и активно включается в составляющие экосистем.

Максимальная толщина донных отложений зафиксирована в приплотинной части - до 45 см, в которой отмечаются и наибольшие значения удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  (табл.1).

Таблица 1

Распределение активностей  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  донных отложений в зависимости от места отбора проб, Бк/кг ( по данным октября 1997г.)

Радионуклиды	Приплотинная часть водохранилища	Центральная часть ложа	Литораль	Среднее значение активности
$^{137}\text{Cs}$	6810	3440	852	3700±2072
$^{90}\text{Sr}$	51	17	11	26±16

С годами происходит увеличение доли  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  в глубинных слоях донных отложений (слои П-20 и 21-35 см).

Несмотря на относительное снижение содержаний  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  в поверхностном слое донных отложений с годами, до 48-60%  $^{137}\text{Cs}$  и до 44-70%  $^{90}\text{Sr}$  продолжает находиться в верхнем слое донных седиментов (табл.2).

Осуществлен оценочный подсчет запасов радиоактивности, сконцентрированной в донных отложениях водохранилища, который составил для  $^{137}\text{Cs}$  в среднем  $109,6 \pm 84$  ГБк и для  $^{90}\text{Sr}$  -  $3,9 \pm 2,6$  ГБк.

Изменения удельной активности донных отложений, запасов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в них в период 1990-1997г. носят достаточно хаотичный характер, что, вероятно, связано с различной водностью тех или иных лет, сезонов, а следовательно, и с интенсивностью водообмена, составом и количеством взвесей как основных осадкообразующих материалов. Рассчитано, что наибольший вклад в суммарную радиоактивность таких компонентов как вода (растворимые формы), взвеси, донные отложения вносят донные отложения - от 94,58 до 99,96 % по  $^{137}\text{Cs}$  и от 57,1 до 99,47% по  $^{90}\text{Sr}$ .

Вклад фильтрованной воды или растворимых форм радионуклидов - от 0,013 до 4,81% по  $^{137}\text{Cs}$  и от 0,5 до 41,37% по  $^{90}\text{Sr}$ , а доля взвесей в суммарной радиоактивности трех перечисленных компонентов экосистемы водохранилища составляет 0,01-0,61% по  $^{137}\text{Cs}$  и 0,03-8,08% по  $^{90}\text{Sr}$ .

Установлено, что средняя активность  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях р-Сенна у д.Чудяны за годы наблюдений в 3.3 раза выше таковой водохранилища и составила 14106 Бк/кг, а те же время как для донных отложений водохранилища среднегодовой показатель активности равен 4240 Бк/кг.

Таблица 2

Вертикальное распределение  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  в донных отложениях водохранилища Малиновка, в % от общего содержания

Год отбора; залегания, см	$^{90}\text{Sr}$	
1990-1993гг.		
0-10	60	70
11-20	35	27
21-35	5	3
1994-1995 гг		
0-10	50	61
11-20	39	30
21-35	И	9
1996-1997гг.		
0-10	48	44
11-20	32	35
21-35	20	21

В отношении  $^{90}\text{Sr}$  в донных отложениях наблюдается противоположная ситуация - в среднем за годы наблюдений активность  $^{90}\text{Sr}$  в донных отложениях водохранилища в 3 раза превышает таковую донных отложений р.Сенна у д.Чудяны и составляет 93 Бк/кг (среднегодовая активность донных отложений по Sr р.Сенна у д.Чудяны - 31 Бк/кг).

Активность донных отложений объектов исследований превышает фоновые значения (донные отложения Киевского водохранилища, 1979г.) в среднем в 3000 раз по  $^{137}\text{Cs}$  300 раз по Sr.

Вероятно, в донных отложениях водохранилища продолжает оставаться некоторая часть радионуклидов, в частности,  $^{90}\text{Sr}$ , поступившая в систему водохранилища при проведении на его водосборе дезактивационных мероприятий в 1986 г.

### Исследования Распределений радионуклидов Cs, Sr в фитоценозах

В экосистеме водохранилища доминируют по биомассе следующие виды макрофитов: *Elodea canadensis Rich.*, *Typha latifolia L.*, водоросли семейств *Cladophora*, *Oedogonium*, в меньшем количестве представлены омежник водный, манник водный, частуха подорожниковая водная, хвощ приречный. Наибольшие значения удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$  за годы исследований наблюдали в 1991г. - от 2110 Бк/кг у рогоза до 377000 Бк/кг у элодеи канадской.

Установлено, что в вегетационные сезоны 1990-1997гг. для элодеи значения активностей  $^{137}\text{Cs}$  составляют величины от 1920 до 377000 Бк/кг, а по  $^{90}\text{Sr}$  - 29,5-721 Бк/кг; у рогоза - от 387 до 15113 Бк/кг  $^{137}\text{Cs}$  и 32-500 Бк/кг  $^{90}\text{Sr}$ ; в пробах нитчатых водорослей - 932-70300 Бк/кг  $^{137}\text{Cs}$  и 22-214 Бк/кг  $^{90}\text{Sr}$ . В среднем, превышения удельных активностей водной растительности водохранилища Малиновка над «фоновыми» показателями, установленными для водной растительности Киевского водохранилища в 1979г., по  $^{137}\text{Cs}$  составляют 2420 раз, а по Sr-133 раза.

Значения удельных активностей водной растительности за 8-летний период исследований находятся в интервале значений 387-377 000 Бк/кг для  $^{137}\text{Cs}$  и 22-526 Бк/кг для Sr, причем устойчивого снижения средних значений активностей с годами не происходит, что, вероятно, связано с проточностью водохранилища, когда в разные годы и сезоны может приноситься различное количество радионуклидов с водами р.Сенна. Полученные значения коэффициентов накопления  $^{137}\text{Cs}$  гидрофлоры находятся в диапазоне 472-966666, в то время как значения Кн для  $^{90}\text{Sr}$  в среднем на 1-2 порядка меньше таковых  $^{137}\text{Cs}$  и составляют величины от II до 2457. Устойчивого снижения Кн Cs, Sr с годами не происходит, и во все годы наблюдений значения Кн Cs больше Кн Sr (Кн  $^{137}\text{Cs}$ /Кн  $^{90}\text{Sr}$ >1)-

Установлено, что сезонность в развитии растений может влиять на распределение радионуклидов в разных частях водных растений следующим образом: у рогоза максимум  $^{137}\text{Cs}$  в вегетирующих частях зафиксирован в июле, а в корневой системе - в мае, т.е. в начале вегетации; в корневой системе максимум Sr зафиксирован в мае, а максимум содержания этого изотопа в вегетирующей массе - в конце вегетации, в октябре (табл.3). У элодеи канадской, имеющей наиболее продолжительный период вегетации, содержание  $^{137}\text{Cs}$  последовательно увеличивается от мая к июлю, а затем - к октябрю; содержание  $^{90}\text{Sr}$  увеличивается от мая к

июлю, а затем снижается. Выявлена пропорциональная зависимость содержания радионуклидов Cs, Sr от их макроаналогов, когда с увеличением концентраций макроаналогов в растении показали, что при увеличении концентраций катионов Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> (аналогов <sup>137</sup>Cs) в воде от июля к октябрю содержание <sup>137</sup>Cs в элодее сопровождается снижением, и при увеличении концентрации Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> (аналоги Sr) в воде от июля к октябрю содержание <sup>90</sup>Sr также уменьшается. Значения удельных активностей детрита находятся в интервале 1970 - 114700 Бк/кг, а элодеи канадской - 1860-10700 Бк/кг.

Установлено, что <sup>137</sup>Cs содержится в среднем в 1,2 раз больше в детрите, чем в живом растении, а Sr почти всегда больше в живой растительности по сравнению с детритом.

Таблица 3

Содержание <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr в вегетирующей массе и корневой системе рогоза широколистного в зависимости от периода вегетации (по данным 1994г.), Бк/кг

Месяц	Вегетирующая часть рогоза широколистного		Корневая система рогоза	
	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
май	769	49	1030	50
июль	1360	106	458	23
октябрь	448	158	720	34

Площадь зарастания водной растительности водохранилища не превышает 1756 м<sup>2</sup> или 0,66% от площади поверхности водного зеркала. Относительно, небольшая площадь зарастания объясняется в первую очередь тем, что водохранилище Малиновка - молодая водная экосистема с возрастом менее 20 лет и является проточной. Наибольшая площадь зарастания в водохранилище характерна для рогоза - от 319,2 до 1 088,72 м<sup>2</sup> и элодеи - 239,4 - 590,52 м<sup>2</sup>, а также для водорослей - до 234,5 м<sup>2</sup>. Подсчитаны запасы радионуклидов в фитоценотической составляющей экосистемы водохранилища, которые составляют 112-8038 КБк по <sup>137</sup>Cs и 22-213 КБк по <sup>90</sup>Sr. Запасы <sup>137</sup>Cs в фитомассе превышают запасы <sup>90</sup>Sr на 1-3 порядка.

Установлено, что вклад растительных гидробионтов в суммарную радиоактивность основных компонентов экосистемы водохранилища не превышает 0,023% по <sup>137</sup>Cs при среднем показателе 0,0047% и 0,014% по <sup>90</sup>Sr при среднем показателе 0,0052% в силу незначительного возраста водохранилища и небольшой площади зарастания водной растительности и, как следствие, небольших биомасс составляющих фитоценозы видов. Средние удельные активности <sup>90</sup>Sr водной растительности водохранилища и реки составляют 93±31 Бк/кг, в то время как показатели по <sup>137</sup>Cs в 1,4 раз выше для растительности водохранилища. Основной вклад в суммарную радиоактивность компонентов водохранилища вносят донные отложения - более 90% по <sup>137</sup>Cs и 57 - 99 % по <sup>90</sup>Sr. Возможно, со временем, по мере увеличения площадей зарастания и общей биомассы водной растительности, вклад этой составляющей в общую радиоактивность будет более весомым, при условии, что гидрологические параметры и технические характеристики, а также радиоэкологические показатели водохранилища существенно не изменятся.

Что касается р.Сенна у д.Чудяны, то здесь в силу

проточности радиоэкологическая ситуация может меняться значительно чаще по сравнению с водохранилищем и в большей степени зависит от климатических факторов, главным образом, от частоты и количества атмосферных осадков, обуславливающих поступление радионуклидов с площадей водосборов.

#### Статистический анализ результатов исследований

Данный анализ выполнен с помощью пакета программ обработки результатов STATGRAPHICS Plus for Windows. Установлено, что статистически значимые закономерности при корреляционном анализе данных генеральной совокупности, включающей результаты всех лет и сезонов отбора проб, наблюдаются в водохранилище Малиновка лишь для  $^{137}\text{Cs}$  в следующих группах сравнения: «взвеси - донные отложения», «взвеси - водная растительность», «донные отложения - водная растительность», а полученные коэффициенты корреляции -0,58, 0,69 и 0,73 (соответственно для трех приведенных групп сравнения), указывают на среднюю и тесную степени статистических связей между признаками в группах сравнения и наряду с полученными коэффициентами детерминации (соответственно 0,34, 0,48 и 0,53) являются статистически достоверными ( $p < 0,05$ , т.е.  $\alpha > 95\%$ ).

Для створа р.Сенна у д.Чудяны статистические связи по  $^{137}\text{Cs}$  достоверно установлены для таких групп компонентов, как «вода - взвеси», «вода-растительность», «взвеси - растительность», «донные отложения - почва». Полученные коэффициенты корреляции (соответственно  $r = 0,84, 0,66; 0,88; -0,65$ ) указывают на среднюю и тесную степени статистических связей при значимости  $p$  существенно ниже 0,05. Общей группой компонентов водохранилища Малиновка и р.Сенна у д.Чудяны, для которых установлены корреляционные связи по  $^{137}\text{Cs}$ , является система «взвеси - водная растительность». При этом в водохранилище коэффициент корреляции равен 0,69, а для этих же компонентов реки коэффициент корреляции несколько выше и составляет 0,88, т.е. статистическая связь речных компонент более тесная. Среди всех вариантов сравнения компонентов водохранилища и р.Сенна по  $^{90}\text{Sr}$  лишь в системе «вода-почва водосбора» р.Сенна у д.Чудяны установлена достоверная корреляционная связь между признаками ( $r=0,83, r^2=0,69$ ). Не установлено корреляционных связей между активностями  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  компонентов как реки, так и водохранилища, т.к. эти элементы в рассмотренных водных системах находятся в индивидуальном состоянии и ведут себя как отдельные элементы, а не как ассоциаты.

Проведен также статистический анализ для различных групп компонентов водохранилища только в периоды вегетации. Анализ результатов показывает, что корреляционные связи в группах сравнения, где одной из составляющих является водная растительность, наблюдаются значительно чаще по сравнению с данными статистического анализа, выполненного в целом для генеральной совокупности, без учета фактора сезонности. В частности, тесные корреляционные связи установлены в следующих группах сравнения: «вода  $^{137}\text{Cs}$  - водная

растительность  $^{137}\text{Cs}$ », «вода Sr - водная растительность Sr», «взвеси Sr - водная растительность SR», донные  $^{137}\text{Cs}$  - водная растительность  $^{137}\text{Cs}$ », «почва  $^{137}\text{Cs}$  - водная растительность  $^{137}\text{Cs}$ » с коэффициентами корреляции  $r=0,7; 0,53,0,47; 0,99; 0,51$  соответственно.

Для генеральной совокупности, без учета фактора сезонности, корреляционные связи  $^{137}\text{Cs}$  отмечены лишь в группах «взвеси - водная растительность» и «донные отложения • водная растительность», а в отношении Sr для сравниваемых групп корреляционные связи отсутствуют. Вероятно, в отношении водной растительности более корректными являются результаты статистического анализа, выполненного для выборочной, а не генеральной совокупности по критерию вегетационного периода, когда данные ранневесенних и позднесенних отборов не учитываются.

Как показал регрессионный анализ, для всех компонентов водохранилища и реки линии трендов, усредняющие динамику радиозоологической ситуации, представляют собой параболы второго порядка  $y = a + bx + cx^2$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что водные системы лентического и логического типов Восточно-Белорусской геологической провинции на примере водохранилища Малиновка и р.Сенна подверглись значительному радионуклидному загрязнению в результате выпадения радиоактивных осадков Чернобыльского происхождения с воздуха и смыва радионуклидов с площадей водосборов; диапазоны удельных активностей компонентов водных систем составляют величины: 0,06-2,0 Бк/л по  $^{137}\text{Cs}$  и 0,1-0,8 Бк/л по  $^{90}\text{Sr}$  для воды, 0,01-0,7 Бк/л по цезию-137 и 0,002-0,1 Бк/л по  $^{90}\text{Sr}$  для взвесей, 85-45400 Бк/кг по  $^{137}\text{Cs}$  и 4-700 Бк/кг по  $^{90}\text{Sr}$  для донных отложений, 252-132000 Бк/кг по  $^{137}\text{Cs}$  и 14-355 Бк/кг по  $^{90}\text{Sr}$  для водной растительности, что превышает в десятки - тысячи раз доаварийные показатели [1,2,13,16, 28-30].

2. Характерным для радионуклидного загрязнения изученных водных систем и их компонентов является преимущественное, на один-два порядка, их загрязнение изотопами  $^{137}\text{Cs}$  по сравнению с Sr, существование сезонных и годовых колебаний радиоактивности [1-3,6-10, 12-14,20, 22-25,28-30].

3. В процессе исследований 1990- \ 1997 гг. не отмечено устойчивой тенденции к снижению активностей  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  для большинства компонентов исследуемых водных систем, что указывает на происходящие в водных системах различных типов процессы внутреннего рециклинга радионуклидов, а также на наличие новых поступлений радионуклидов с водосборных площадей; наблюдаемые в ряде случаев превышения значений активностей воды водохранилища по Sr над таковыми  $^{137}\text{Cs}$  связаны с более значимым с годами переходом  $^{90}\text{Sr}$  в миграционно подвижные формы по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$ , сохраняющимся в фиксированном состоянии [3-5, 8, 9,15, 18,19].

4. Основной вклад в суммарную радиоактивность компонентов экосистемы водохранилища вносят донные отложения - 94,6-99,9% по  $^{137}\text{Cs}$  и 57-99,5% по Sr ; доля взвесей для  $^{137}\text{Cs}$  составляла 0,01-0,61% и для Sr - 0,03-8,08%, вклад  $^{137}\text{Cs}$  за счет его содержания в фильтрованной воде - 0,013-4,81% и Sr-0,5-41,37%. Ввиду относительной «молодости» экосистемы водохранилища вклад растительных гидробионтов в суммарную радиоактивность незначителен и не превышает 0,023% по  $^{137}\text{Cs}$  и 0,014% по Sr. Для створа р.Сенна у д.Чудяны среднегодовой объем выноса радионуклидов по  $^{137}\text{Cs}$  составил 3,06 ГБк, а по Sr - 1,32 ГБк [4, 15].

5. В период вегетации, по сравнению с общим периодом наблюдения, корреляционные связи в группах компонентов с участием водной растительности наблюдаются значительно чаще и характерны для следующих групп сравнения: «Cs воды - Cs водной растительности», «Sr воды - Sr водной растительности», «Sr взвесей - Sr водной растительности», « $^{137}\text{Cs}$  донных отложений -  $^{137}\text{Cs}$  водной растительности», « $^{137}\text{Cs}$  почвы -  $^{137}\text{Cs}$  водной растительности» с коэффициентами корреляции (r) 0,7; 0,53; 0,47; 0,99; 0,51 соответственно [17,18].

6. Доминирующую роль в накоплении радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  среди видов, составляющих фитоценозы, играют макрофиты *Tурка latifolia L.* и *Elodea canadensis Rich.*, а также сообщество водорослей-обрастателей с преобладанием представителей семейств *Cladophora* и *Oedogonium*, которые образуют наибольшие площади зарастания. Установлено влияние сезонности на содержание радионуклидов в разных частях водных растений. При этом величина накопления радионуклидов в растительных организмах пропорциональна содержанию в них макроаналогов цезия и стронция [4,17,18].

#### Список

##### опубликованных работ

1. Паводзшы Sr-90 і Cs-137 у сістэме вада-гідрабіёнты. Ч. I / У.М. Далгоў\А.Дз.Хвалей, П. І. Дацкевич, В.І. Мільюта // Весці Акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. -1994. - 1.-С. 54-57.
2. Паводзшы Sr-90 і Cs-137 у сістэме вада-гідрабіёнты- Частка 12 / У.М. Далгоў\А.Дз. Хвалей, П.І. Дацкевич, В.І. Мільюта // Весці Акад. навук Беларусі Сер. біял.навук. - 1994. - 16 1. - С. 57-60.
3. Радиоэкологическое состояние некоторых поверхностных водных систем загрязненных районов Гомельской и Могилевской П.И.Дацкевич, Ф.Д. Комиссаров, О.Д. Хвалей,



- Л.П. Башарина, И.Л. Лобач // *Вестн Акад. наук Беларуси Сер. бил. наук.* - 1997. - № 4. - С. 73-85.
4. Хвалей О.Д., Дацкевич П.И., Комиссаров Ф.Д. Распределение радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $\text{Sr}$  в компонентах водных систем лентического типа // *Вестн Нац. Акад. наук Беларуси. Сер. бил. наук.* - 2000- - № 2. - С. 68-73.
5. Оценка радиоэкологического состояния поверхностных вод Гомельской и Могилевской областей / О.Д. Хвалей, П.И. Дацкевич, Ф.Д. Комиссаров, С.И. Левосечко // *Природные ресурсы.* -2000. - № 2. - С 27-30.
6. Small Rivers - the Principal Way of Radionuclides Drift-over from the Landscapes & Their Redistribution in the Environment / F.D. Komissarov, Yu.N. Golikov, P.I. Datskevich e. a. // *Acute and Late Consequences of Nuclear Catastrophes: Hiroshima - Nagasaki & Chernobyl: Proceedings Belarus -Japan Symposium, Minsk, 3-5 Oct 1994.* - Minsk, 1994.- P. 254-265.
7. Cs-137 & Sr-90 Accumulation by Biota of Some Water Ecosystems of the Most Contaminated Regions of Belarus / P.I. Datskevich, V.M. Dolgov, Yu.N. Golikov e. a. // *Acute & Late Consequences of Nuclear Catastrophe - Hiroshima - Nagasaki & Chernobyl: Proceedings Belarus - Japan Symposium, Minsk, 3-5 Oct. 1994.* - Minsk, 1994. -P. 266-271.
8. The Dynamics of Cs-137 and Sr-90 Pollution of Surface Water Systems of Belarus Chernobyl Origin // P.I. Datskevich, V.M. Dolgov, Yu.N. Golikov e. a. // *ICEM<sup>1</sup> 95 - Proceedings of the Fifth International Conference on Radioactive Waste Management & Environmental Remediation. Vol. 2. Management of Low-level Waste & Remediation of Contaminated Sites & Facilities Held in Berlin, Germany, 3-7 Sept. 1995.* - New York, 1995. -P. 1263-1271.
9. Дацкевич П.И., Голиков Ю.Н., Хвалей О.Д. Мониторинг загрязнения биоты  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  водных систем зоны влияния катастрофы на ЧАЭС // *Миграция радионуклидов в водных системах: Доклады конф., Обнинск (Россия), 26-29 окт.1993г./ Ин-т эксперимент, метеорологии, НПО «Тайфун».* - Обнинск, 1995. - С. 6-10.
10. Распределение Cs-137 и Sr-90 в компонентах водных Систем Беларуси / П.И. Дацкевич, В.М. Долгов, Ю.Н. Голиков и др. // *Миграция радионуклидов в водных системах: Докл. конф., Обнинск (Россия). 26-29 акт. 1993г./Ин-т эксперимент, метеорологии, НПО «Тайфун».* - Обнинск, 1995. - С. 16-20.
11. Assessment of the Dynamics of the Radioactivity Contents in Surface Waters Contaminated Areas / F.D. Komissarov, L.P. Basharina, Yu.N. Golickov e. a. // *On Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident Proc. of Intern. Conf. - Austria, Vienna, 8-12 Apr. 1996.* - Vienna: IAEA, 1996. - P. 124-128.
12. Assessment of the Dynamics of the Radioactivity Contents in Surface Waters in Contaminated Areas / F.D. Komissarov, P.I. Datskevich, Y.N. Goltkov e. a // *One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident: Proceedings, Vienna, 8-12 Apr. 1996.* - Vienna: IAEA Д997. - P. 456Д64.
- 13- Радиоэкологический мониторинг поверхностных водных систем загрязненных районов Беларуси / П.И. Дацкевич, М.Г. Поплыко, Ф.Д. Комиссаров и др. // *Конверсия научных исследований в Беларуси в рамках деятельности МНПЦ: Тез. докл. Междунар. семинара, Минск, 17-22 мая 1999г.- Минск, 1999.-С. 274-277.*

14. P.L Datskevich, M.G. Poplyko, F.D. Komissarov e. a. Radioecologic State of Surface Water Systems in the Contaminated Regions of Belarus' // Конверсия научных исследований в Беларуси в рамках деятельности МНТЦ: Сб. докл. Междунар. семинара, Минск, 17-22 мая 1999г. - Minsk, 1999. - С. 262-265.
15. O.D. Khvaley, P.I. Datskevich, F.D. Komissarov. The Behaviour of the Radionuclides  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the Reservoir Ecosystem of the Far Zone Influence of the Chernobyl APS // 9th Annual Conference Risk Analysis: Facing the New Millenium: Proceedings, Rotterdam, 10 -13 oct. 1999. - Rotterdam: Delft University Press, 1999. - P. 698- 701.
16. F.D. Komissarov, P.I. Datskevich, O.D. Khvaley e. a. Comparison of Cs-137 and Sr-90 Contents in Surface, Ground and Underground Waters of Polluted Areas of «Near» and «Distant» Zones Of Chernobyl Trace With Their Content In Soil-Grounds // 9<sup>th</sup> Annual Conference Risk Analysis: Facing the New Millenium: Proceedings, Rotterdam, 10-13 Oct. 1999. 'Rotterdam: Delft University FTess, 1999. - P.830-832.
17. O.D. Khvaley, P.I. Datskevich, F.D. Komissarov. The Behaviour of the Radionuclides  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the Reservoir Ecosystem of the Far Zone Influence of the Chernobyl APS Accident // 5\* International Conference on Nuclear and Radiochemistry: Proceedings, Pontresina, 3-5 Sept 2000. - Pontresina, 2000. - Vol. 2. - P. 510-513.
18. Khvaley O.D.. The Behaviour Peculiarities of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the Some Reservoir Ecosystem Components of the Far Zone Influence of the Chernobyl APS Accident. // 100 лет со дня рождения Н.В.Тимофеева-Ресовского: Материалы Междунар. конф., Минск, 17-18 октября 2000г. / МЭУ им. А.Д. Сахарова. - Минск, 2000. - С. 37-39.
19. Komissarov F.D., Datskevich P.I., Khvaley O.D. Radioecological situation in polluted areas of Belarus // 5 International Conference on Nuclear and Radiochemistry: Proceedings, Pontresina, 3 - 5 sept. 2000. - Pontresina, 2000. - Vol. 2. - P. 518-521.
20. Дацкевич П.И., Долгов В.М., Хвалец О.Д. Гидробионты как индикаторы радиоактивных загрязнений водных экосистем // Материалы XV Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: Тез докл., Минск, 24-29 мая 1993г.-Минск, 1993. -С.316-317.
21. The accumulation of Cs-137 & Sr-90 in Hydrofauna of Belarus / G.V. Vasilyev., V.N Zemskov., P.I. Datskevich e. a. // 2-nd Intern. Conference Radiobiological Consequences of Accidents: Abstr. of Russian-Norwegian Satellite Symposium on Nuclear Accidents, Radioecology&Health, Moskow, 25-26 Oct. 1994. -Moskow, 1994. -P. 291.
22. Radioecological consequences of the Chernobyl accident for surface water systems of Belarus U L.P. Basharina, G.V. Vasilyev, U.N Golickov e a.//Acute & Late Consequences of Nuclear Catastrophe - Hiroshima - Nagasaki & Chernobyl: Abstr. by the Authors, Minsk, 3-5 Oct. 1994. - Minsk - Tokyo, 1994. - P. 40.
23. The dependec of the radionuclides accumulation from their chemical analogues content in water plants / G.V. Vasilyev, P I\_ Datskevich, V.M Doigov e. a. // Acute & Late Consequences of Nuclear Catastrophes - Hiroshima - Nagasaki & Chernobyl: Abstr by the Authors, Minsk, 3-5 Oct. 1994. - Minsk - Tokyo, 1994. - P. 42.
24. Cs-137 and Sr-90 Accumulation by Biota of some water ecosystems of the most polluted regions of Belarus / P.I. Datskevich, V.M. Doigov, U.N. Golickov e. a. // Acute & Late Consequences of Nuclear Catastrophe - Hiroshima - Nagasaki & Chernobyl; Abstr. by Authors, Minsk, 3-5 Oct. 1994. - Minsk - Tokyo, 1994. - P. 43.
25. Хвалец О.Д., Долгов В.М., Чурак Т.Н. Поведение радиостронция в системе "вода - пресноводные растения" // Международ. рабоч. совещ. по Чернобыльской экологической исследовательской сети: Тез. докл.,

Минск, 19-20 апр. 1995г. - Минск, 1995.-С. 121 .

26. Хвалей О.Д., Долгов В.М., Дацкевич ПИ. Поведение Sr-90 в системе" вода - донные отложения - пресноводные растения" // Науч. конф.

"Десять лет после Чернобыльской катастрофы": Тез. докл. научн. конф., 28-29 февр. 1996г, - Минск, 1996.-С. 288.

27. Радиоэкологическое состояние фитоценозов некоторых водоемов лентического- го типа в дальней зоне влияния аварии на ЧАЭС / О.Д. Хвалей, П.И. Дацкевич, Ф.Д. Комиссаров и др. // III съезд по радиационным исследованиям: Тез. докл., Москва, 14-17 окт. 1997г. - М., 1997. - С. 338-339.

28. Радиоэкологический мониторинг некоторых водных систем лентического типа Республики Беларусь, подвергшихся загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС / О.Д.Хвалей, П.И.Дацкевич, Ф.Д.Комиссаров и др. // Фундаментальные и прикладные аспекты радиобиологии: биол.эфф. малых доз и радиоактивное загрязнение среды: Тез. докл. Междунар. научн. конф.. Минск, 16-17 апр. 1998г. - Минск, 1998. - С. 252.

29. Радиоэкологическое состояние некоторых водоемов лентического типа с различной степенью радиоактивного загрязнения Республики Беларусь // О.Д. Хвалей, П.И. Дацкевич, Ф.Д. Комиссаров и др. // Научные чтения "Белые ночи": Тез. докл., СПб, 2-4 июня 1998г. - СПб.: Питер, 1995. - С. 268-269.

30. Приходько А.В., Кирко СМ, Хвалей О.Д. Радиоэкологический мониторинг некоторых водных систем лентического типа Республики Беларусь // I науч. конф. молодых ученых Междунар. ин-та по радиоэкологии им. А.Д. Сахарова; Тез. докл., Минск, 5-6 нояб. 1998г. - Минск, 1998. - С. 32.

## РЕЗЮМЕ

Хвалей Олег Дмитриевич

### ПОВЕДЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ-137 И СТРОНЦИЯ-90 В КОМПОНЕНТАХ ВОДНЫХ СИСТЕМ ЛЕНТИЧЕСКОГО И ЛОГИЧЕСКОГО ТИПОВ ВОСТОЧНО-БЕЛОРУССКОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Ключевые слова: радиоэкологический мониторинг,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , водные экосистемы, водосбор, взвесь воды, донные отложения, водная растительность, статистический анализ.

Объекты исследования: водохранилище Малиновка и р.Сенна - водные системы лентического и логического типов Восточно-Белорусской геологической провинции.

Предмет исследования: динамика радиоактивного загрязнения компонентов водных систем, элементный состав компонентов водных систем. Цель работы: изучить состояние радионуклидного загрязнения компонентов водных систем лентического и логического типов с целью оценки последствий Чернобыльской катастрофы для водных ресурсов Республики Беларусь и их значимости в определении защитных мер.

Методы исследования: натурный эксперимент, камеральная обработка с применением методов радиометрии, гамма-спектрометрии, радиохимии, элементного анализа, статистический анализ.

Получение результатов и их выводы: выявлены особенности динамики радиоэкологической ситуации для водных систем лентического и логического типов зоны отселения аварии на ЧАЭС, установлена роль отдельных компонентов в

общем балансе радиоактивного загрязнения водных систем. Полученные результаты позволяют оценить степень радиационной опасности компонентов водных систем в случае поступления в организм человека непосредственно либо опосредовано, по пищевым цепям; полученные закономерности в распределении радионуклидов между компонентами изучаемых экосистем могут быть аналогичными для других систем лентического и лотического типов (озера, крупные пруды, реки), используемых для нужд населения.

Степень использования: полученные в результате исследования данные по радиоэкологическому состоянию водных систем зоны отселения Восточно-Белорусской геологической провинции регулярно представлялись в Государственный комитет по гидрометеорологии Республики Беларусь и использовались его Центром радиационного контроля и мониторинга окружающей среды для оценки текущего состояния и составления прогноза поведения радионуклидов в водных системах аналогичного типа.

Область применения: радиоэкология, радиобиология, экологический мониторинг, гидробиология.

Kfavaley Oleg Dmitrievlch

THE RADIONUCLEIDS BEHAVIOUR OF CESIUM-137 AND STRONTIUM-90 IN THE LENTIC AND LOTIC TYPES WATER SYSTEMS COMPONENTS OF THE

EAST-BELORUSSIAN GEOLOGICAL PROVINCE

Key words: the radioecological monitoring, cesium-137, strontium-90, water ecosystems, watershed, water suspensions, bottom sediments, water vegetation, statistical analysis.

The research objects: reservoir Malinovka and Senna river as the water systems of the lentic and lotic types of the East-Belarusian geological province.

The research subject: the dynamics of the radioactive pollution of the components of water systems, element structure of the water systems components.

The aim: to study of the state of the radionuclides pollution of the water systems components of the lentic and lotic types with the aim of the estimation of consequences of the Chernobyl Accident for the water resources of Republic Belarus and their importance in definition of protective measures.

Research methods: the natural experiment, the cell processing with application of the radiometry, gamma-spectrometry, radiochemistry, element analysis methods, statistical analysis.

The received results and their novelty: the features of dynamics of the radioecological situation for the water systems of the lentic and lotic types of the alien zone are revealed, the role of separate components in the general balance of the radioactive pollution of water systems is established; the received results allow to estimate the degree of the radiating danger of components of the water systems in a case of the receipt in the organism of the person directly or nondirectly, on food circuits; the received laws in the radionuclides distribution between of the components investigated ecosystems can be similar for other lentic and lotic types systems (lakes, large ponds, rivers), which the population used for needs.

Degree of use: the received data, as a result of research, on a radioecological condition of water systems of the alien zone of the east-belarusian geological province were represented regularly to the State committee on hydrometeorology of Republic Belarus and were used him radiating control and monitoring of the environment Center for an estimation of the current condition and drawing up of the forecast of radionuclides behaviour up in the water systems of a similar type. Fields of use: radioecology, radiobiology, ecological monitoring, hydrobiology.