На правах рукописи

НИКОЛИН ОЛЕГ АНАТОЛЬЕВИЧ

ТРИТИЙ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Специальность 03.00.16 – экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Пермь–2008

Работа выполнена в Институте экологии растений и животных Уральского отделения Российской Академии Наук

Научный руководитель: доктор технических наук
Чеботина Маргарита Яковлевна

Научный консультант: доктор биологических наук,
заслуженный эколог РФ
Трапезников Александр Викторович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Аксенова Вера Михайловна

доктор биологических наук
Пряхин Евгений Александрович

Ведущая организация: Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова

Защита диссертации состоится 18 сентября 2008 г. в 16 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212. 189. 02 при Пермском государственном университете по адресу: 614990, г. Пермь, ГСП, ул. Букирева,15.
Факс (342)2371611
E-mail: novoselova@psu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пермского государственного университета.

Автореферат разослан 16 августа 2008 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета доктор биологических наук, доцент Новоселова Л.В. Новоселова

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. В настоящее время проблему тритиевого загрязнения водных экосистем в районах размещения предприятий ЯТЦ можно считать одной из ключевых в радиоэкологии. Это обусловлено, с одной стороны, его относительно высокими концентрациями в природных водах, на несколько порядков величин превышающих таковые по ^{90}Sr, ^{137}Cs и другим антропогенным радионуклидам, высокой миграционной способностью трития, а с другой – отсутствием надежных систем локализации и удержания этого радионуклида. В результате указанных причин тритий становится глобальным загрязнителем природных водных экосистем Земли.

При работе АЭС и других предприятий ядерно-топливного цикла тритий поступает в окружающую природную среду нерегулярно и быстро мигрирует из мест первичного загрязнения, поэтому единичные и несистематические измерения его не позволяют выявить реальных масштабов загрязнения водных систем. В связи с этим необходимо проводить регулярный мониторинг трития. Данная работа служит в качестве примера такого мониторинга радионуклида в районе функционирования Белоярской АЭС на Урале, где в настоящее время работает третий энергоблок и ведется строительство четвертого блока.

Исследуемая проблема весьма актуальна для Уральского региона, т.к. здесь воздействие радиационного фактора на природные экосистемы происходит на фоне сильного загрязнения региона тяжелыми металлами и другими химическими веществами антропогенного характера. Давление радиационного фактора в целом сравнительно велико. Северная часть региона находится в зоне влияния Новоземельского полигона ядерных испытаний, средняя – Белоярской АЭС им. Курчатова, а южная часть – Производственного объединения «Маяк», где в 1957 г. произошла тяжелейшая радиационная катастрофа, оставившая после себя Восточно-Уральский радиоактивный след. На территории региона проводились массовые подземные технологические взрывы, испытания ядерного оружия, сосредоточено производство и хранение ядерных боеприпасов, производится переработка ядерного горючего, ведется добыча и первичная переработка урана и тория. Кроме того, район испытывает загрязнение от природных источников. В настоящее время в регионе функционирует 8 ядерных реакторов, 6 мощных центров по переработке радиоактивных материалов, 6 центров по захоронению ядерных отходов. Кроме того, в пределах Уральского региона было произведено 38 технологических ядерных взрывов, из них 5 – с выбросом на поверхность (Радиоактивные беды Урала, 2000). В Уральском регионе размещены и долгое время функционируют два крупнейших предприятия, являющиеся мощными источниками антропогенного трития – Белоярская АЭС им. И.В. Курчатова и Производственное объединение «Маяк». На Белоярской АЭС ведется строительство четвертого энергоблока БН-800 и планируется строительство пятого энергоблока с реакторной установкой Брест-ОД-300. Все сказанное выше говорит об актуальности проблемы исследования тритиевого загрязнения Уральского региона. Недаром Государственной Думой РФ от 5 декаб-

ря 1995 г. был принят, а Президентом России от 9 января 1996 г. утвержден закон РФ «О радиационной безопасности населения России», который направлен на защиту населения России от негативного воздействия радиации.

В связи с тем, что водоемы, реки, родники, колодцы в районах расположения предприятий ядерно-топливного цикла, как правило, широко используются для народно-хозяйственных целей, в том числе как источники питьевого водоснабжения, а также в сельском хозяйстве для полива сельскохозяйственных угодий, водопоя скота и т.д., контроль за радиационной чистотой воды, особенно по тритию, необходим. Необходимы также знания об особенностях поведения радионуклидов в той или иной экологической обстановке, чтобы прогнозировать последствия влияния малых доз радиации при поступлении радионуклидов в организм животных и человека.

Цель исследований – оценить масштабы тритиевого загрязнения водных экосистем Уральского региона в результате работы предприятий ядерно-топливного цикла.

Основные задачи исследования:

1. Проведение мониторинга трития на Белоярском водохранилище с целью выявления уровней тритиевого загрязнения в различных районах водоема-охладителя и выявление путей поступления радионуклида от БАЭС в водоем;
2. Проведение мониторинга трития в различных звеньях болотно-речной экосистемы для оценки ее загрязнения радионуклидом до и после изменения технологического режима сбросов БАЭС.
3. Выявить масштабы тритиевого загрязнения водных экосистем на территории Челябинской области в результате работы Производственного объединения «Маяк».
4. Оценить загрязнение тритием питьевой воды в крупных городах, расположенных в зоне воздействия предприятий атомной промышленности.

Научная новизна. Впервые проведен многолетний мониторинг трития в водоеме-охладителе Белоярской АЭС им. Курчатова, позволивший оценить масштабы тритиевого загрязнения одного из самых крупных искусственных водоемов Свердловской области, который длительное время находится под воздействием атомного предприятия. Впервые выявлены пути поступления радионуклида от атомной станции в водоем-охладитель. Впервые оценено влияние различных блоков Белоярской АЭС в процессе их функционирования на поступление трития в водные экосистемы. Новыми являются данные о загрязнении радионуклидом дождевой и снеговой воды в районе БАЭС.

Теоретическая и практическая значимость работы. В настоящее время проблема тритиевого загрязнения водных экосистем – одна из главных в радиоэкологии. Это обусловлено отсутствием надежных систем локализации радионуклида в системах водоочистки. Высокая миграционная способность делает этот радионуклид глобальным загрязнителем водных экосистем Земли. В диссертации на примере Белоярской АЭС предложен подход к оценке масштабов загрязнения водных экосистем в районах размеще-

ния подобных предприятий путем проведения систематического мониторинга этого радионуклида в течение продолжительного периода времени. Мониторинг позволил оценить динамику изменения концентраций радиоактивного загрязнителя в процессе работы различных энергоблоков и установить пути его поступления в окружающую природную среду. Проведенная работа выявила картину надфоновых загрязнений водной среды тритием в масштабах значительной части Уральского региона, охватывающей 36 водоемов и 8 рек, а также снеговые и дождевые выпадения. Основное внимание в работе уделено таким мощным источникам антропогенного трития, как Белоярская АЭС и производственное объединение «Маяк». Результаты работы могут быть использованы при разработке мероприятий по охране окружающей среды от радиоактивного загрязнения и расчете доз облучения населения в районах предприятий ЯТЦ. Практическая значимость работы заключается еще и в том, что вода многих из исследуемых озер, рек, колодцев, скважин используется для питьевых целей, полива сельскохозяйственных угодий и водопоя скота, водоемы широко используются для купания, разведения и отлова рыбы, поэтому информация о радиационной чистоте воды исследуемого региона весьма важна для правильной организации сельскохозяйственного производства.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Мониторинг трития в различных районах Белоярского водохранилища выявил систематическое превышение уровня глобального и техногенного фона по данному радионуклиду в воде водоема-охладителя, включая его верховье, что свидетельствует о БАЭС как источнике поступления радионуклида в окружающую природную среду.
2. Мониторинг трития в воде Ольховской болотно-речной экосистемы, принимающей стоки БАЭС после прохождения их через систему водоочистки, установил что загрязнение тритием водной артерии от сбросного канала до устья р. Ольховки значительно снизилось после изменения технологического режима сбросов станции.
3. Исследование дождевых и снеговых выпадений в районе Белоярской АЭС позволило квалифицировать их в качестве биоиндикаторов загрязнения воздушного пространства вокруг БАЭС.
4. Оценка современных уровней содержания трития в воде озер и в снежном покрове вокруг Производственного объединения «Маяк» свидетельствует о техногенном загрязнении водных экосистем тритием вокруг этого предприятия.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на конференции молодых ученых в Институте экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург, 1998 г.); на семинаре «Проблемы развития атомной энергетики и радиационной безопасности населения регионов Урала и Западной Сибири» (Тюмень, 1998); на 5-й Международ-

ной конференции «Environmental Pollution ICEP» (Волгоград-Пермь, 2001); на 1Х Международном экологическом симпозиуме «Урал атомный, Урал промышленный» (Екатеринбург,2001); на Вторых научных чтениях Ю.П. Булашевича «Ядерная геофизика. Геофизические исследования литосферы. Геотермия» (Екатеринбург, 2003); на 2-й Международной конференции «Окружающая среда и экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики» (Северск-Томск, 2003); на 2-й Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (Томск, 2004); на Международной конференции «Современные проблемы генетики, радиобиологии, радиоэкологии и эволюции» (Ереван, 2005); на Международной конференции «Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и проблемы нераспространения» (Курчатов, 2005). Работа также представлена на 15 Международный симпозиум «Экология 2006» в Болгарии (5-9 июля 2006 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 статьи и монография.

Структура и объем работы. Общий объем диссертации составляет 108 стр., 31 рисунок и 12 таблиц. Диссертация содержит «Введение», «Литературный обзор», методическую часть, шесть разделов, излагающих экспериментальные данные, заключительную часть, выводы, список используемой литературы, включающий 126 источников.

Содержание работы

Введение

В этом разделе рассматривается проблема трития как одного из основных широкораспространенных антропогенных радиоактивных загрязнителей природных водных экосистем. Дается краткая отличительная характеристика миграционных особенностей этого радионуклида и путей поступления его в организм человека и животных.

Литературный обзор

В разделе «Литературный обзор» дается анализ основных отечественных и зарубежных источников по проблеме тритиевого загрязнения различных водных экосистем земного шара. Обсуждается вопрос о способах образования трития в естественных условиях и при работе предприятий ядерно-топливного цикла. Приводятся данные о концентрациях радионуклида в атмосферных выпадениях в период испытаний ядерного оружия в атмосфере и после их прекращения. Рассматривается вопрос о локальном повышении содержания трития в отдельных районах, подвергшихся загрязнению в результате выбросов в окружающую среду радионуклидов предприятиями атомной промышленности. Обсуждается проблема воздействия трития на организм животных и человека и выведения его из организма. Приводятся данные о допустимых концентрациях трития в питьевой воде в различных странах мира.

Материал и методика исследований

Объектами исследований служили различные водные экосистемы в Уральском регионе (водоемы, реки, родники, скважины, колодцы,снеговые и дождевые осадки). При этом особое внимание уделялось району Белоярской АЭС (Средний Урал, Свердловская область), где Отделом континентальной радиоэкологии проводится систематический мониторинг трития в различных водных экосистемах, находящихся в зоне влияния станции (водоем-охладитель, Ольховское болото, р. Ольховка и Пышма). Значительная часть исследований проводилась в районе ПО «Маяк», где объектом исследования служила вода озер, рек, колодцев, скважин, снеговых выпадений. Эпизодические работы проводились на территории Курганской области, а также в Западной Сибири. В качестве контрольных служили более удаленные от источников загрязнения тритием территории, в том числе расположенные на севере Свердловской области (г. Кытлым, г. Краснотурьинск). В процессе работы было проанализировано более 1000 проб воды с использованием метода электролитического обогащения.

Ниже в кратком виде приведена методика работ. Воду для определения содержания в ней трития отбирали по 0,5-1 л на повторность в 3-х повторностях. Пробы снега брали в конце периода снеготаяния (марте) на всю глубину снежного покрова с площади 15х15 см в трех повторностях. Дождевые осадки собирали с мая по октябрь в стеклянные емкости во время дождя. Из емкостей для анализа отбирали среднюю пробу воды в количестве 1 л. Все пробы, в том числе из растаявшего снега, фильтровали через бумажный фильтр, дистиллировали и хранили в холодильнике в плотно закрытых сосудах.

Для количественного определения трития в пробах воды проводили предварительное обогащение методом одноступенчатого электролиза с одним или двумя доливами (Чиркова, 1974). Метод основан на значительной разнице в скорости выделения легкого (протия) и тяжелых (дейтерия и трития) изотопов водорода при разрядке ионов на катоде в ходе электролитического разложения воды. Обогащение производили с помощью специально сконструированной электролитической установки (рис. 1). Длительность одного электролиза – от 8 до 12 суток. Просчет проб осуществляли на американской установке «Дельта-300». Определение концентрации трития проводили относительным методом, путем сравнения со стандартным раствором. Для этого в процесс электролиза включали контрольный электролизер с известным содержанием трития в воде. Такой раствор предварительно готовили на основе стандартного раствора, полученного от фирмы «Изотоп». Ошибка счета не превышает 5 %, чувствительность метода составляет 3 Бк/л.

Для оценки надежности метода была произведена сверка методик количественного определения трития, принятых в Институте экологии растений и животных УрО РАН и во ВСЕГИНГЕО Министерства природных ресурсов (пос. Зеленый Московской области). Для этой цели в двух пробах во-

ды был определен тритий указанными выше организациями. Результаты определения свидетельствуют о достаточно хорошей сходимости методов.

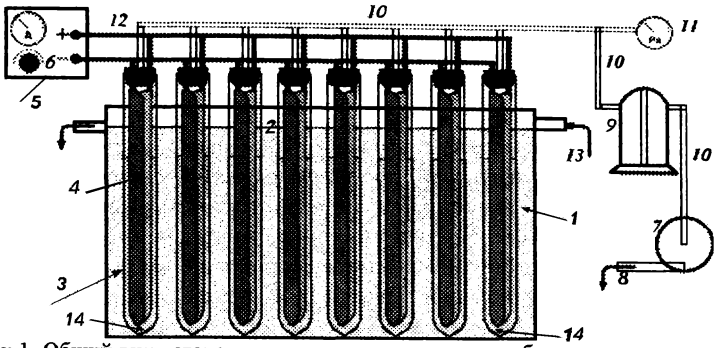

Рисунок 1. Общий вид установки для электролитического обогащения водных проб тритием:1 – плексигласовая ванна; 2 – змеевик (холодильник); 3 – электролизеры; 4 – электроды; 5 – блок питания; 6 – регулятор тока; 7 – вытяжной компрессор; 8 – вывод; 9 – конденсор; 10 – газовыводящие трубки; 11 – манометр; 12 – соединительные провода; 13 – кран для подачи холодной воды; 14 – исследуемый раствор.

Раздел 1. Тритий в водных экосистемах контрольного региона

В качестве контрольного региона был выбран район на севере Свердловской области, достаточно удаленный от крупных промышленных объектов, где отсутствуют предприятия ядерно-топливного цикла (города Кытлым, Краснотурьинск). Концентрация трития в водных экосистемах этого региона (водоемы, реки, дождевые осадки, вода из снега, колодцы) колеблется вокруг средней величины 5 Бк/л. Этот показатель хорошо согласуется с литературными данными и принят нами в качестве величины техногенного фона по тритию для Уральского региона.

Раздел 2. Мониторинг трития в водных экосистемах района Белоярской АЭС им. И.В. Курчатова

Белоярская атомная электростанция – первая крупная промышленная АЭС и первый крупный гражданский объект ядерной энергетики в мире – расположена на Среднем Урале в Свердловской области, в 60 км к востоку от г. Екатеринбурга. Она была пущена в эксплуатацию в 1964 г. Мониторинговые работы по тритию в районе АЭС проводятся с 1980 г. Диссертант включился в работу и стал продолжать ее с 1996 г., когда два первых блока были уже остановлены. В настоящее время находится в эксплуатации только третий энергоблок.

2.1. Водоем-охладитель

Характеристика района исследований. В качестве водоема-охладителя Белоярской АЭС служит Белоярское водохранилище. В разделе приводятся данные о происхождении водохранилища, дана его краткая гидробиологическая характеристика, описаны пути поступления радионуклидов в водоем от БАЭС.

Постоянные точки наблюдений (ПТН). В качестве постоянных точек наблюдения были выбраны районы верховья (ПТН-1), плотины (ПТН-2), Теплого залива (ПТН-3), Биофизической станции (ПТН-4), а также обводной (ПТН-5) и промливневый (ПТН-6) каналы.

Верховье водоема. Содержание радионуклида в воде указанного региона за время наблюдений варьировало от уровня техногенного фона (5 Бк/л) до 67 Бк/л. Средняя концентрация трития в период с 1996 по 2003 г. составила 11±3 Бк/л, что примерно в два раза превышало уровень техногенного фона (рис. 2). В целом, концентрации радионуклида в этот период снизились примерно в два раза по сравнению с периодом 1980-1989 гг., когда функционировали первый и второй эгергоблоки БАЭС. Особенно заметно это снижение проявилось после 2000 г., когда концентрация трития в воде установилась на среднем уровне 8±1 Бк/л, что незначительно превышает уровень техногенного фона.

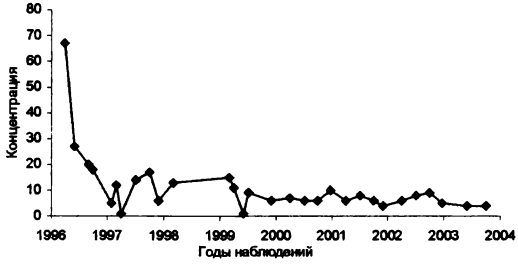

Рис. 2. Концентрация трития в верховье Белоярского водохранилища, Бк/л

Район плотины. В районе плотины (ПТН-2) вода из Белоярского водохранилища вытекает в реку Пышму. Согласно ранее проведенным исследованиям, в период с 1980 по 1989 гг. средняя концентрация трития в воде в этом регионе была достоверно выше, чем в верховье водоема, что свидетельствует о вкладе Белоярской АЭС в загрязнение водоема (соответственно 58 и 34 Бк/л). Было установлено, что в период с 1996 по 2003 гг. концентрация радионуклида на выходе из Белоярского водохранилища варьировала в пределах от 11 до 93 Бк/л при среднем значении 28±7 Бк/л (рис. 3). После вывода из эксплуатации второго энергоблока на фоне общего снижения содержания изотопа в воде обоих обследованных регионов достоверные различия между ними сохранились. Все значения концентраций трития для воды приплотинной части водоема оказались выше уровня техногенного фона (5 Бк/л), а среднее значение (28 Бк/л) превышает этот показатель примерно в 5-6 раз.

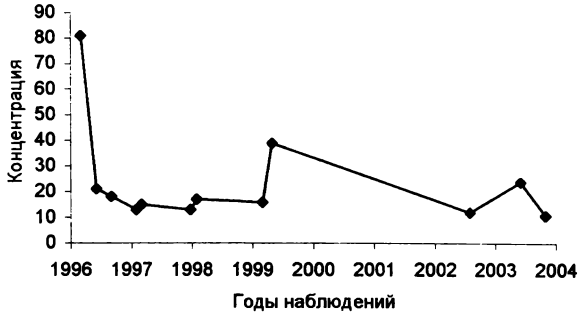

Рис. 3. Концентрация трития в районе плотины Белоярского водохранилища, Бк/л

Район Биофизической станции. В районе, примыкающем к Биофизической станции Института экологии растений и животных УрО РАН (ПТН-4), в водоем поступают воды из обводного канала, дренирующего территорию вокруг БАЭС. Хотя сам канал маловоден, он несет повышенные количества трития. Поскольку выше этой точки наблюдений предполагается сброс в водоем стоков от строящегося 4-го энергоблока, мы исследовали этот район достаточно подробно. Средняя концентрация радионуклида в исследуемом регионе находилась на уровне 14±1 Бк/л, что составляет примерно три уровня техногенного фона. Однако в отдельные интервалы времени отмечались повышенные концентрации трития в воде (декабрь 1996 г. – 137 Бк/л; февраль 1997 г. – 145 Бк/л; январь и февраль 1998 г. – 114 и 409 Бк/л; август 1999 г. – 294 Бк/л; октябрь и ноябрь 2000 г. – 129 и 119 Бк/л) (рис. 4). Очевидно, это связано с поступлением нуклида в залив через обводной канал.

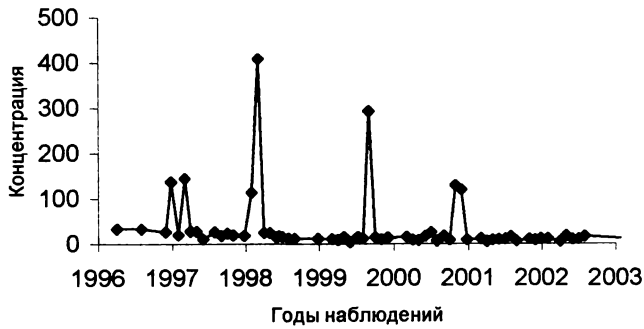

Рис. 4. Концентрация трития в воде района Биофизической станции, Бк/л

Сопоставление наших данных с результатами, полученными в Отделе ранее, показало, что в районе Биофизической станции Белоярского водохранилища в 1981-1982 гг. средняя концентрация трития в воде залива со-

ставляла 90-95 Бк/л; в 1983-1982 гг. – 66 Бк/л, а в 1996-2003 гг. – 14 Бк/л . Таким образом, после вывода из эксплуатации 2-го энергоблока наблюдалось явное снижение концентрации радионуклида в воде. Различие в концентрациях трития между указанными временными интервалами статистически достоверно при уровне значимости $p<0,05$.

Район Теплого залива. Этот район (ПТН-3) весьма важен в плане радиоэкологического мониторинга в связи с тем, что здесь долгое время функционирует садковое рыбное хозяйство по выращиванию карпа. В Теплый залив сбрасывается подогретая вода, прошедшая через системы охлаждения БАЭС. В свою очередь в эти системы через заборный канал закачивается вода из расположенной выше части водоема, от которого залив изолирован дамбой, так что вода непосредственно из водоема в него не поступает. Как видно из рисунка 5, концентрация трития в воде Теплого залива в период исследований изменялась от 13 до 81 Бк/л. Показатель 81 Бк/л зарегистрирован в 1996 г. С тех пор, по моим данным, уровень содержания радионуклида в воде обследованной акватории водоема варьировал вокруг средней величины 19±3 Бк/л. Этот показатель превышал уровень техногенного фона в 4 раза.

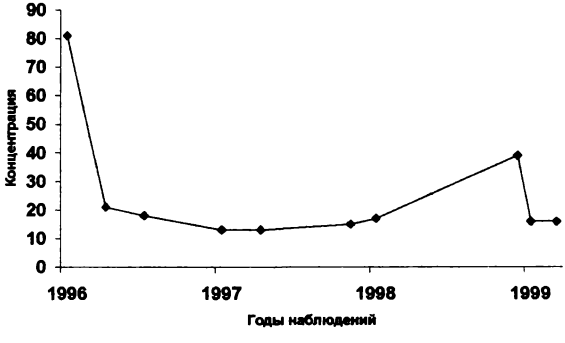

Рис. 5. Динамика концентраций трития в воде Теплого залива, Бк/л

Ранее было установлено, что период совместной работы энергоблоков (1980-1989 гг.) характеризовался повышенным содержанием трития в воде (в среднем 65 Бк/л) по сравнению с последующим периодом, когда работал только 3-й блок. В настоящее время количество трития в воде зоны подогрева снизилось в среднем в три раза.

В целом, результаты мониторинга трития на акватории Белоярского водохранилища показали, что в воде наблюдаемой зоны, где размещались постоянные точки наблюдений ПТН-2, ПТН-3, ПТН-4, содержание трития было достоверно выше, чем в верховье водоема (ПТН-1), расположенном примерно в 15 км вверх по течению. Последнее связано с дополнительным поступлением трития в водоем в результате работы БАЭС. Концентрация радионуклида в воде Белоярского водохранилища не превышала допусти-

мых уровней для питьевой воды, однако она практически во всех случаях была выше уровня техногенного фона (5 Бк/л).

Пути поступления трития в водоем. Слаборадиоактивные стоки поступают от БАЭС в Белоярское водохранилище двумя путями – через промливневый и обводной каналы.

А) Промливневый канал (ПЛК). В этот канал поступают стоки с территории станции и соседнего предприятия СФНИКИЭТ, где функционирует экспериментальный реактор. В течение всего периода наблюдений содержание радионуклида в канале от БАЭС изменялось в пределах от 5 до 94 Бк/л при среднем значении 25±5 Бк/л (рис. 6). Небольшие превышения среднего значения наблюдались в феврале и июле 1996 г., в июне 1998 г. и мае 1999 г. Эти превышения были значительно ниже, чем в более ранний период исследований, когда, например, в июне 1987 г. была зарегистрирована концентрация трития в воде 1516 Бк/л (Чеботина, 2005).

Рис. 6. Динамика концентраций трития в воде промливневого канала БАЭС, Бк/л

Сравнение этих данных с результатами, полученными в Отделе для более ранних периодов работы БАЭС, позволило заключить, что после снятия с эксплуатации 1-го и 2-го энергоблоков средние показатели концентраций радионуклида в воде канала заметно снизились. Если в 1981-1989 гг. концентрация составляла в среднем 120 Бк/л, то в 1989-1996 гг. – ~ 50 Бк/л, а в 1996-2003 гг. – 25 Бк/л. Содержание трития в воде канала СФНИКИЭТ, впадающего в ПЛК, выше уровня техногенного фона и в течение периода наблюдений незначительно отличалось от соответствующих показателей для канала БАЭС (рис. 7).

Рис. 7. Концентрации трития в воде канала СФНИКИЭТ, Бк/л

Б) Обводной канал. Этот канал дренирует территорию вокруг БАЭС. Ответвление канала идет вдоль водоочистных сооружений БАЭС мимо котельной, затем впадает в водоем в районе Биофизической станции. Мониторинг трития в обводном канале проводили в пяти точках наблюдений (ниже очистных сооружений и выше них, в районе котельной, пересечения дорог и в устье канала). Отбор проб воды производили случайным образом и не привязывали его к технологическим мероприятиям БАЭС.

Концентрация трития в воде исследуемого канала в разные сроки наблюдений варьировала в широких пределах: в верхней его части – от 6 до 2108 Бк/л, в средней – от 7 до 623 Бк/л, а в нижней – от 11 до 4540 Бк/л. Такой широкий разброс данных свидетельствует о неравномерном поступлении радионуклида во времени через исследуемый канал в прилегающий к нему залив в районе Биофизической станции. В отдельные временные точки наблюдалось залповое поступление трития в воду. В частности, в верхней части канала в марте 1996 г. была зарегистрирована концентрация нуклида 2108 Бк/л, в октябре 1996 г. – 558 Бк/л, в феврале 1996 г. – 544 Бк/л, в декабре 1998 г. – 340 Бк/л. В воде средней части канала аналогичные повышения были отмечены нами в марте 1996 г. (490 Бк/л), октябре 1996 г. (609 Бк/л), июне 1996 г. (264 Бк/л), сентябре 2000 г. (553 Бк/л), июле 2001 г. (623 Бк/л). В устье канала в марте 1996 г. зарегистрирован сброс трития, который поднял концентрацию его в воде до 2110 Бк/л, а в январе 2002 г. в средней части канала наблюдался еще больший сброс (4540 Бк/л). Очевидно, повышенное поступление трития в обводной канал связано с неисправностью трубопровода, отводящего радиоактивные стоки в Ольховское болото.

Показано, что в 2000-2001 гг. содержание трития в воде обводного канала снизилось по сравнению с 1996-1998 гг. в среднем примерно в 10 раз, что связано, с одной стороны, с остановкой второго энергоблока, а с другой – с технологическими мероприятиями, проводимыми БАЭС с целью снижения поступления трития в водные экосистемы. Несмотря на эти мероприятия, в настоящее время не исключены случаи повышенного поступления радионуклида в водоем через обводной канал. Об этом свидетельствуют результаты измерений концентраций трития в средней его части в 2002 г., когда было обнаружено содержание трития в воде 4540 Бк/л. Очевидно, проводимые БАЭС мероприятия недостаточны для предотвращения поступления радионуклида в водоем-охладитель.

Таким образом, проведенные исследования показали, что промливневый и обводной каналы являются поставщиками техногенного трития в Белоярское водохранилище от Белоярской АЭС.

2.2. Ольховское болото

Другой водной экосистемой, испытывающей на себе влияние БАЭС, является Ольховское болото.

Характеристика района исследований. Ольховское болото находится примерно в 5 км к юго-востоку от Белоярской АЭС. В разделе дается краткая характеристика Ольховского болота как объекта исследований.

Приводится схема болота, его размеры, месторасположение, размер и направление стока сбросных вод, описана растительность и грунты, приводится краткая радиоэкологическая характеристика экосистемы. Сообщается, что за время существования болота как приемника слаборадиоактивных стоков БАЭС можно выделить два периода его функционирования. Первый продолжался с момента пуска первого энергоблока примерно до 1998 г.; за это время в болото через сбросной канал производился контролируемый сброс дебалансных вод и хозфекальных стоков БАЭС. Второй период наступил после изменения технологического режима сбросов в 1998-1999 гг., в результате чего дебалансные воды через специальный трубопровод были выведены в нижнюю часть болота. Предполагалось, что это предотвратит вымывание в речную сеть радионуклидов из верхней и средней частей болота. Несмотря на то, что в настоящее время хозфекальные стоки, как и прежде, выводятся в верхнюю часть болота, содержание воды в болоте резко сократилось, вода протекает по болоту через одно русло, которое переходит в речку Ольховку.

Мониторинг трития в Ольховском болоте. Мониторинг трития в воде Ольховского болота в Отделе континентальной радиоэкологии проводился с 1981 г. На первом этапе исследований, когда функционировали второй и третий блоки БАЭС, концентрация трития в воде была достаточно высокой. В частности, в сбросном канале она варьировала вокруг средней величины 11280 Бк/л. Между верхним и нижним участками болота она снижалась примерно в два раза (от 7200 до 4520 Бк/л). Хотя эти различия статистически недостоверны ввиду большого разброса данных, тенденция к снижению содержания радионуклида в нижней части Ольховского болота указывает на то, что при прохождении через болото сбросные воды разбавляются за счет подземных источников. Это предположение подтвердилось геофизическими исследованиями, которые показали, что болото располагается в тектонически нарушенной зоне, где имеется подпор глубинных вод из тектонического разлома (Радиоактивные беды Урала, 2000). Разбавление сбросной воды происходит в основном на участке, расположенном в верхней части болота. Концентрация радионуклида в воде р.Ольховки в те годы составляла около 4000 Бк/л (Чеботина, 2005).

Для характеристики поступления трития из Ольховского болота в расположенную ниже по течению речную систему нами было выбрано место на выходе из болота (район Асбестовского тракта), где проводился систематический мониторинг трития (рис. 8).

В течение периода исследований концентрация радионуклида в воде после прохождения через болото варьировала от 20 до 1300 Бк/л при среднем значении 330 Бк/л. В отдельные промежутки времени наблюдались пиковые сбросы радионуклида. В частности, в октябре 1997 г. концентрация радионуклида в воде составляла 870 Бк/л, в сентябре 1998 г. и феврале 1999 г. – 1270 Бк/л. После периода изменения технологического режима сбросов наблюдается явное снижение содержания трития в воде в данной точке наблюдений (с мая 1999 г. – до 11-50 Бк/л).

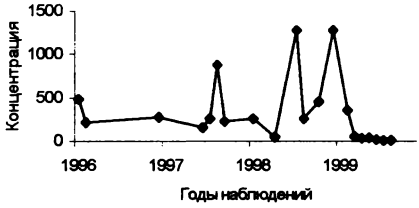

Рис. 8. Динамика концентраций трития на выходе из Ольховского болота, Бк/л

Для оценки современной ситуации в Ольховском болоте в 2003 г. было проведено его картирование. Координаты и местонахождение точек устанавливали с помощью спутниковой навигационной системы GPS (рис. 9). Оказалось, что к настоящему времени значительная часть болота очистилась от трития: концентрация радионуклида в свободной воде по периферии и в конце болота на основной части территории лишь в несколько раз превышает уровень техногенного фона. Однако в некоторых местах, преимущественно в районах расположения старого и современного русел, тритий еще в ощутимых концентрациях обнаруживается в воде – до 800-1300 Бк/л. Таким образом, сравнение результатов исследований, проводившихся с 1996 г. по настоящее время, и в предшествующий период показали, что снятие с эксплуатации 2-го энергоблока заметно улучшило ситуацию в Ольховском болоте и несомненно положительным образом скажется на состоянии природной среды в прилегающем регионе.

2.3. Реки Пышма, Ница, Тура

В период исследований наблюдалась тенденция к снижению концентраций радионуклида в воде р. Пышмы от Кумовской мельницы до п. Лесхоз в среднем с 42 до 13 Бк/л. В отдельные промежутки времени в верхней и средней части р. Пышмы регистрировались пиковые сбросы трития, связанные с нештатными ситуациями на БАЭС и, возможно, СФНИКИЭТ. Такие сбросы носят временный характер, однако они свидетельствуют о необходимости контроля за этим участком реки. За исключением одной точки (п. Липовское) концентрации трития в воде рек Тура и Ница близки к уровню техногенного фона (Тура – 2-12 Бк/л, Ница – 3-7 Бк/л).

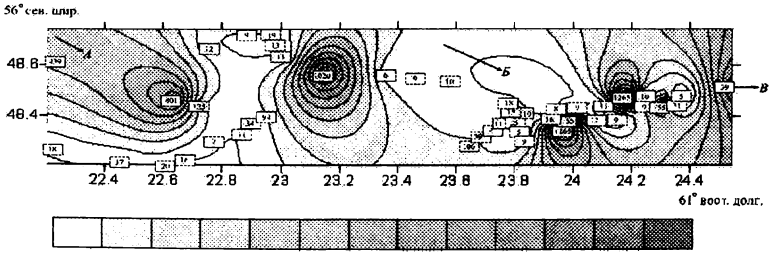

Рис. 9. Современные уровни концентраций трития в воде Ольховского болота, Бк/л
А – сброс хозфекальных стоков; *Б* – сброс дебалансных вод; *В* – сброс воды в р. Ольховку

2.4. Воздушная среда, дождевые и снеговые осадки

Экспериментально подтверждено, что тритий поступает от БАЭС в окружающую среду аэральным путем. Будучи весьма подвижным радионуклидом, он проникает из окружающего воздушного пространства через окна и двери внутрь помещений, загрязняя находящиеся там водные среды. Концентрация трития в дождевой воде в районе Белоярской АЭС и близкорасположенных территорий существенно выше, чем в контрольном регионе, расположенном в относительно чистой по радиационному фактору природной среде. Снежный покров в районе БАЭС характеризовался относительно нестабильными показателями, которые варьировали от года к году в несколько раз. В некоторых временных точках зарегистрированы повышенные концентрации трития в снежных выпадениях, превышающие средние показатели в 10-100 раз. Практически все пробы снега в районе БАЭС по содержанию исследуемого радионуклида оказались выше уровня техногенного фона, характерного для контрольного региона.

2.5. Озеро Худыш

Отмечена положительная динамика концентраций трития в воде оз. Худыш. В период совместной работы 2-го и 3-го энергоблоков содержание радионуклида в воде варьировало вокруг величины 1000 Бк/л. После снятия с эксплуатации 2-го блока она снизилась до 420 Бк/л (1990 г.), а в 2001-2002 гг. – в среднем до 30 Бк/л.

2.5. Тритий в питьевой воде г. Заречный

С 1996 по 1999 гг. проводился мониторинг трития в воде Каменской скважины и водопроводной сети г. Заречный. Среднее содержание радионуклида в воде скважины составило 11±2 Бк/л, а в сетевой воде – 18±2 Бк/л. Эти показатели в 2-3 и 4 раза соответственно превышали уровень техногенного фона. Рассчитаны индивидуальная и коллективная дозы облучения населения г. Заречный за счет употребления питьевой воды из центрального водопровода. Полученные значения индивидуальной дозы составили 0,63 мкЗв/год, а коллективной дозы – 0,017 чел.-Зв/год. Последняя значительно ниже установленного дозового предела суммарного воздействия внешнего и внутреннего облучения (1 чел.-Зв/год).

Раздел 3. Тритий в районе ПО "Маяк"

Оценка современных уровней загрязнения тритием воды 34-х водоемов вокруг предприятия ПО «Маяк» показала, что концентрации радионуклида в них в варьируют в пределах от 7 до 113 Бк/л при среднем значении 16±3 Бк/л. Наиболее высокий показатель зарегистрирован для оз. Татыш (107 Бк/л) и Улагач (113 Бк/л), расположенных на расстоянии 6-7 км южнее ПО «Маяк». По сравнению с 1982 г. содержание трития в воде озер снизилось в среднем в 8 раз, а по сравнению с 1986 г. – в 6 раз. При этом уровень снижения концентраций радионуклида в каждом из обследованных водоемов был свой и варьировал в разных случаях от 2 до 16 раз. В оз. Татыш по сравнению с 1990 г. концентрация трития снизилась в 4 раза. Прослежено четкое уменьшение концентраций радионуклида в воде исследуемых озер по мере удаления от ПО «Маяк» (рис. 10). В озерах, удаленных

более чем на 50 км от ПО «Маяк», содержание радионуклида варьирует вокруг средней величины 10 Бк/л, примерно в 2 раза превышающей уровень техногенного фона.

Содержание трития в реках исследуемого региона (Синара, Егоза, Багаряк) в 2001-2002 гг. изменялось от уровня техногенного фона до 16 Бк/л. Концентрация радионуклида в снеговой воде в настоящее время варьирует в пределах от 6 до 262 Бк/л. Наиболее высокие показатели содержания трития обнаружены в непосредственной близости от предприятия, по мере увеличения расстояния содержание радионуклида в снеге понижается. Проведена предварительная оценка качества питьевой воды в некоторых пунктах в зоне ПО «Маяк». Установлено, что содержание трития в исследуемой воде варьирует от 13 до 80 Бк/л при среднем значении 37 Бк/л. В целом, вода в скважинах была более чистой, чем вода из центрального водопровода. Зарегистрировано повышенное содержание радионуклида в питьевой воде из скважин в п. Новогорный и п. Касли, что требует проведения специальных исследований.

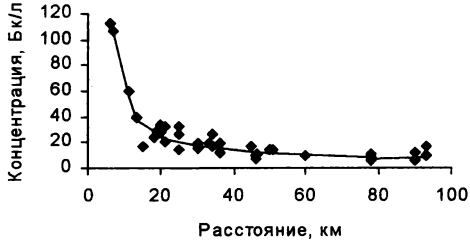

Рис. 10. Зависимость концентраций трития в воде озер от расстояния от ПО «Маяк»

Во всех исследованных пробах питьевой воды в районе ПО «Маяк» концентрация трития не превышала установленного предела. Тем не менее она была выше уровня техногенного и глобального фона. Превышение последнего в отдельных случаях достигало 80 раз. Индивидуальная доза облучения жителей г. Озерска тритием за счет употребления питьевой воды составила 1,2 мкЗв/год, а коллективная – 0,1 чел·Зв/год.

Раздел 6. Тритий в питьевой воде г. Екатеринбурга

Содержание трития в воде открытых водоемов хозяйственно-питьевого водоснабжения и подземных водозаборах г. Екатеринбурга в среднем на порядок величин превышало уровень естественного фона и, примерно в два раза, было выше уровня техногенного фона. Индивидуальная доза облучения за счет употребления этой воды составила 0,38 мкЗв/год, а коллективная доза - 0,5 чел.-Зв/год.

Заключение

Исследования показали, что значительная часть Уральского региона, особенно примыкающая к Белоярской АЭС и ПО «Маяк», характеризуется повышенными уровнями содержания трития в воде по сравнению с уровнем техногенного фона, характерного для контрольных территорий. Учитывая то обстоятельство, что уровень глобального фона для этого радионуклида составляет 1 Бк/л, можно считать, что практически весь тритий в исследуемом регионе, в том числе и на контрольных территориях, имеет антропогенное происхождение. Поскольку предприятия ядерно-топливного цикла являются основными загрязнителями природной среды тритием, следует рекомендовать эксплуатирующим организациям разрабатывать и сооружать технологические узлы для задержания и локализации этого радионуклида в районах размещения подобных предприятий.

Выводы

1. Для выявления вклада локальных источников в загрязнение тритием водных сред экспериментально установлен уровень техногенного фона по этому радионуклиду для относительно «чистой» территории на севере Свердловской области 5 Бк/л, который согласуется с литературными данными.
2. Многолетний мониторинг трития в воде различных зон Белоярского водохранилища – водоема-охладителя Белоярской АЭС – показал, что в подавляющем большинстве случаев концентрация радионуклида была выше уровня техногенного фона. В районе плотины, на сбросе воды в р. Пышму, в среднем она была достоверно выше, чем в верховье водоема (соответственно 28 и 11 Бк/л). В районе Биофизической станции средняя концентрация трития в воде варьировала вокруг величины 14 Бк/л, а в районе сброса подогретых вод (Теплый залив) составляла ~ 19 Бк/л. Эти показатели соответственно в 3 и 4 раза превышали уровень техногенного фона. Установлены основные пути поступления трития в водоем-охладитель. Таковыми являются промливневый и обводной каналы.
3. Мониторинг трития в воде Ольховской болотно-речной экосистемы в период исследований позволил установить пределы варьирования концентраций радионуклида в экосистеме (20-1300 Бк/л при среднем значении 330 Бк/л). Зарегистрированы пиковые сбросы радионуклида в болото в отдельные периоды наблюдений, что свидетельствует о неравномерности поступления трития в исследуемую водную экосистему в результате работы БАЭС. Установлено, что после изменения технологического режима сбросов в Ольховское болото концентрация трития в воде заметно снизилась. К настоящему времени значительная часть болота практически очистилась от радионуклида: на основной его части содержание радионуклида в воде лишь в несколько раз превышает уровень техногенного фона.
4. Концентрация трития в воде р. Пышмы ниже места впадения воды из Ольховского болота с 1990 по 2001 гг. снизилась в среднем с 42 до 13 Бк/л. В отдельные периоды наблюдений в реке регистрировались пико-

вые сбросы радионуклида, связанные с нештатными ситуациями на АЭС и, возможно, СФНИКИЭТ. Они носят временный характер и не влияют на ситуацию в целом, однако они свидетельствуют о необходимости контроля за этой рекой. Концентрации трития в реках Тура и Ница близки к уровню техногенного фона (Тура – 2-12 Бк/л, Ница – 3-7 Бк/л).

5. Экспериментально установлено, что наряду с жидкими стоками тритий поступает от БАЭС в окружающую среду с воздушными выбросами. На примере Биофизической станции показано, что ввиду исключительной подвижности этого радионуклида он может проникать из окружающей воздушной среды внутрь зданий, загрязняя находящиеся там водные среды.
6. Концентрация трития в дождевой воде в районе Белоярской АЭС и близкорасположенных территориях существенно выше, чем в контрольном районе с относительно чистой по радиационному фактору природной средой.
7. Снежный покров в районе БАЭС характеризуется относительно нестабильными показателями, которые варьируют от года к году в несколько раз. В некоторых временных точках зарегистрированы повышенные концентрации трития в снежных выпадениях, превышающие средние показатели в 10-100 раз. Практически все пробы снега в районе БАЭС по содержанию исследуемого радионуклида оказались выше уровня техногенного фона, характерного для контрольного региона.
8. Отмечена положительная динамика концентраций трития в воде оз. Худыш. В период с 1988 по 2002 гг. содержание радионуклида снизилось с 950 до 30 Бк/л. Последнее связано с проведением технологических мероприятий по ремонту трубопровода, отводящего слаборадиоактивные стоки в Ольховское болото.
9. Произведена оценка современных уровней содержания трития в 34-х водоемах, расположенных вокруг Производственного объединения «Маяк». Концентрация радионуклида в них варьировала от 7 до 113 Бк/л при среднем значении 16 Бк/л. Прослежено четкое уменьшение содержания трития в воде исследуемых озер по мере удаления от ПО «Маяк».
10. Оценены современные уровни концентраций трития в снежном покрове вокруг ПО «Маяк», которые варьируют в пределах от 6 до 262 Бк/л снеговой воды. Наиболее высокие показатели зарегистрированы в непосредственной близости от предприятия.
11. Проведена оценка современного уровня содержания трития в питьевых водах городов Екатеринбурга, Заречного, Озерска. Концентрация радионуклида для них составила соответственно 11, 18 и 37 Бк/л. Оценены дозы облучения жителей указанных городов за счет употребления питьевой воды. Индивидуальные дозы облучения составили соответственно 0,38, 0,63 и 1,21 мкЗв/год, а коллективные дозы – соответственно 0,5, 0,017 и 0,1 чел·Зв/год.
12. В целом, проведенное исследование показало, что значительная часть территории Уральского региона, особенно примыкающая к Белоярской

АЭС и ПО «Маяк», характеризуется повышенными уровнями содержания трития в воде по сравнению с уровнем техногенного фона. Учитывая, что уровень глобального фона для этого радионуклида составляет 1 Бк/л, можно считать, что практически весь тритий в исследуемом регионе, в том числе и на контрольных территориях, имеет антропогенное происхождение.

Основные работы, опубликованные по теме диссертации

Статьи в журналах, включенных в «Перечень... » ВАК Минобрнауки РФ:

1. Чеботина М.Я. Мониторинг трития в водоеме-охладителе Белоярской АЭС / М. Я. Чеботина, **О.А. Николин** // Экология. - 2002. - № 2. - С. 151-156.
2. Чеботина М.Я. Тритий в водных экосистемах Уральского региона / М.Я. Чеботина, **О.А. Николин**, В.И. Уткин // Вопросы радиационной безопасности. - 2003.- № 2 (30). - С. 23-28.
3. Чеботина М.Я. Поступление трития в окружающую природную среду воздушным путем / М.Я.Чеботина, **О.А.Николин** // Вопросы радиационной безопасности.- 2003. - № 4. - С.72-78.
4. Чеботина М.Я. Поступление трития от Белоярской АЭС в Ольховскую болотно-речную экосистему и реку Пышму / М. Я. Чеботина, **О. А. Николин** // Вопросы радиационной безопасности. - 2004. - № 2 (34). - С. 42-48.
5. Чеботина М.Я. Тритий в водоемах района расположения ПО "Маяк" / М.Я. Чеботина, **О.А. Николин**, А.И. Смагин // Вопросы радиационной безопасности. 2005. - № 1 (37). - С. 79-84.
6. Чеботина М.Я. Оценка уровней загрязнения тритием снежного покрова вокруг Производственного объединения «Маяк» / Чеботина М.Я., **Николин О.А.**, Смагин А.И // Вопросы радиационной безопасности. 2007. № 1. С. 23-27.

Монографии:

1. Чеботина М.Я. Радиоэкологические исследования трития в Уральском регионе / М.Я. Чеботина, **О.А. Николин**. УрО РАН, Екатеринбург. 2005. - 89 с.

Статьи в других научных журналах и сборниках:

1. Тритий в водоемах и водозаборах, обеспечивающих г. Екатеринбург и его окрестности питьевой водой / М.Я. Чеботина, Л.И. Пискунов, **О.А. Николин**, М.Ф. Лемясев, Л.Д.Васильева // Сборник научных статей, посвященных 50-летию Областного центра Госсанэпиднадзора Свердловской области.- Екатеринбург, 1999. - С. 60-63.
2. Тритий в водных экосистемах района расположения Белоярской АЭС / М.Я. Чеботина, А.В. Трапезников, И.И. Колтик, **О.А. Николин** // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Заречный, 2001. - Вып. 4. - С. 156-178.
3. Чеботина М.Я. Тритий в экосистеме водоема-охладителя АЭС / М.Я.Чеботина, **О.А.Николин**// Уральский геофизический вестник. Екатеринбург, 2003. - № 5. - С. 93-97.
4. Чеботина М.Я. Тритий в водоеме-охладителе БАЭС / М.Я.Чеботина, **О.А.Николин** // Современные достижения в исследованиях окружающей среды и экологии. Томск: STT, 2004. - С.69-72.
5. Чеботина М.Я. Тритий в воздушной среде и осадках района Белоярской АЭС на Урале / М.Я. Чеботина, **О.А. Николин** // Уральский геофизический вестник. Екатеринбург, 2004.- № 6. - С. 107-111.
6. Чеботина М. Я. Тритий в воде болотно-речной системы в районе Белоярской АЭС / М.Я. Чеботина, **О.А. Николин**, Е.Н. Рыбаков // Уральский геофизический вестник. 2005. - № 7. - С. 70-73.
7. Чеботина М.Я. Антропогенный тритий в водных системах района "ПО Маяк" и Восточно-Уральского радиоактивного следа / М.Я. Чеботина, А.И. Смагин, **О.А. Нико-**

лин // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. - Екатеринбург, 2005. - Вып. 6. - С. 393-401.

8. Margarita Chebotina. Tritium in water systems of Ural region / Margarita Chebotina, **Oleg Nicolin** // Radiation Risk Estimated in Normal and Emergency Situations / Eds. A.A.Cigna and M.Durante. Springer, 2006. 187-196.

Материалы научных конференций:

1. Чеботина М.Я. Концентрация антропогенного трития в водных экосистемах некоторых регионов Урала и Сибири / М.Я. Чеботина, **О.А. Николин** // Проблемы развития атомной энергетики и радиационной безопасности населения регионов Урала и Западной Сибири: Тез. докл. науч.-практ. конф., 10 дек. 1998 г., г. Тюмень, 1998. - С. 41-42.

2. Chebotina M.Ja. Tritium in water ecosystems of the Beloyarsk atomic power plant region / M.Ja. Chebotina, **O.A. Nicolin** // Урал атомный, Урал промышленный: IX Междунар. экол. симпоз. Book of abstr. - Екатеринбург, 2001. - С. 182-183.

3. Chebotina M.Ja. Tritium in water ecosystems nearby the Beloyarsk atomic power plant (BAPP) / M.Ja. Chebotina, **O.A. Nicolin** // Environmental pollution - ICEP-2001: V Intern. conf., 18-25 sept., 2001, Volgograd-Perm : Abstr.-Perm, 2001. -P. 16.

4. Чеботина М.Я. Мониторинг трития в экосистеме водоема-охладителя Белоярской АЭС / М.Я. Чеботина, **О. А. Николин** // Ядерная геофизика. Геофизические исследования. Литосфера. Геотермия: Вторые науч. чтения Ю. П. Булашевича, 23-27 июня 2003 г. - Екатеринбург, 2003. - С. 124-125.

5. Чеботина М.Я. Антропогенное загрязнение водных экосистем тритием на Урале / М.Я. Чеботина, **О.А. Николин** // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы II Междунар. конф., Томск, 18-22 окт. 2004 г. - 2004.-С. 645-646.

6. Chebotina M.J. Tritium in the water ecosystems of the Ural region / M.Ja. Chebotina, **O.A Nikolin** // Modern problems of genetics, radiobiology, radioecology and evolution: the second intern. conf. dedicated to the 105th anniversary of the birth of N.W. Timofeeff-Ressovsky and the 70th anniversary of the paper "On the nature of gene mutations and gene structure" by N.W. Timofeeff-Ressovsky, K.G. Zimmer, and M.Delbruck, Yerevan, sept. 8-11, 2005: abstr., papers by young scientists. -Dubna : JINR. - 2005. - P. 160.

7. Чеботина М.Я. Тритий в водных экосистемах Урала / Чеботина М.Я., **Николин О.А.** // Семипалатинский испытательный полигон: радиационное наследие и проблемы нераспространения: Материалы II междунар. конф., 6-8 сент. 2005 г. Курчатов, 2005. - Т. 1. - С. 185-192.

8. Маргарита Я. Чеботина. Мониторинг антропогенного трития в районах размещения предприятий ЯТЦ на Урале / Маргарита Я. Чеботина, Александр В. Трапезников, **Олег. А. Николин** // Scientific Articles. Ecology 2006. Part 1. Published by Science Invest LTD-branch Bourgas, Bulgaria – a Company of Union of Scientist in Bulgaria – 2006, Bulgaria. P. 93-109.

9. Чеботина М.Я. Тритий в водных системах ПО «Маяк». / М.Я Чеботина, **О.А Николин,** А.И.Смагин / Опыт преодоления последствий техногенных аварий и развитие атомных технологий / Материалы конф., Челябинск, 2007. - С.152-162.