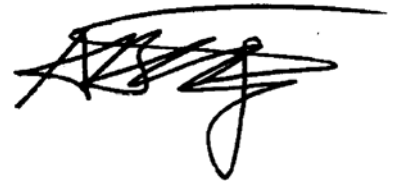


На правах рукописи



Торопов Алексей Владимирович

**НАКОПЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ
КОМПОНЕНТАМИ ЭКОСИСТЕМЫ НИЖНЕЙ ТОМИ**

03.00.16 – Экология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Новосибирск – 2006

Работа выполнена в Томском политехническом университете.

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор Рихванов Леонид Петрович

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, профессор Морузи Ирина Владимировна

доктор биологических наук, профессор Ильинских Николай Николаевич

Ведущая организация:

Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук

Защита состоится «6» апреля 2006 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д.220.048.03 в ФГОУ ВПО Новосибирский государственный аграрный университет (630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО Новосибирский государственный аграрный университет.

Автореферат разослан «28» февраля 2006 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета, к.б.н., доцент

В.Г. Маренков

Общая характеристика работы

Актуальность. Водная радиоэкология, изучающая закономерности взаимодействия водных экосистем с радиоактивными веществами и ионизирующим излучением (Поликарпов, 1987), начала развиваться с первыми радиоэкологическими исследованиями. Еще в 1886 г. И.Т. Тархановым было выполнено первое радиобиологическое исследование, опубликованное на следующий год после открытия рентгеновских лучей (х-лучей). Работая с различными организмами, в том числе с гидробионтами (лягушки, икра миног, элодея), Тарханов установил, что «...х-лучи могут служить не только для фотографирования и для диагноза, как это думали до сих пор, но и для воздействия на организм...» (Поликарпов, 1987 со ссылкой на Тарханова, 1886).

Большую роль в развитии водной радиоэкологии сыграл выдающийся российский ученый В.И. Вернадский, опубликовавший в 1929 г. труд, в котором отметил значительные различия в накопительной способности к ^{226}Ra у отдельных видов рясок из разных водоемов СССР (Вернадский, 1929). В данной работе В.И. Вернадский ввел в науку новое понятие – отношение концентрации радиоэлементов в организме (в расчете на сырую массу) и в воде, которое как мера накопления радионуклида организмом из водной среды впоследствии стало называться коэффициентом накопления (Кузьменко, Поликарпов, 2000).

Окончание Холодной войны и глобальный характер Чернобыльской катастрофы ознаменовали начало открытых работ по изучению радиоэкологической ситуации в районах сбросов сточных вод российских и зарубежных предприятий оружейного ядерного комплекса (Захаров и др., 1996; «Ядерная энциклопедия», 1996; Рихванов, 1997; Fresquez et al., 1999, Яблоков, 2002; Kenna, Sayles, 2002 и др.). Но если процессы разбавления, переноса, распределения и миграции техногенных радионуклидов в экосистемах р. Теча в районе сбросов «Маяка» и р. Енисей в районе сбросов ГХК освещены сравнительно широко (Трапезников и др., 1996, 1997, 2000; Позолотина и др., 1996, 2000; Караваева, Молчанова, 1997; Сухоруков и др., 2004; Bolsunovsky, Tcherkezian, 2001 и др.), то радиоэкологическая ситуация в экосистеме нижней Томь в зоне влияния сбросов СХК остается малоизученной, за исключением работ, выполненных лабораториями СХК и Институтом биофизики, которые малодоступны для научной общественности. На 2007 г. запланирована остановка последних двух из пяти реакторов СХК, часть охлаждающей воды которых сбрасывается в р. Томь. Для отслеживания динамики загрязнения экосистемы нижней Томи техногенными радионуклидами и прогноза ее изменений необходимо иметь четкое представление о современной радиоэкологической ситуации в зоне сбросов СХК. Кроме того, техногенные радионуклиды из сбросов СХК частично обуславливают формирование дозовой нагрузки на человека, проживающего на берегах р. Томи.

Цель работы: изучить радиоэкологическую ситуацию в экосистеме нижней Томи в зоне влияния сбросов «Сибирского химического комбината».

Основные задачи:

1. Оценить уровни накопления техногенных радионуклидов в биологических объектах и депонирующих природных средах;
2. Выделить референсные биологические виды гидробионтов для проведения долгосрочного радиоэкологического мониторинга;
3. Оценить уровни поглощенных доз облучения от ионизирующего излучения у референсных гидробионтов;
4. Выделить фактор, наиболее значимый в формировании радиоэкологической ситуации исследуемого района;
5. Дать прогноз изменения содержаний, уровней накопления техногенных радионуклидов и доз облучения гидробионтов в зоне сбросов СХК после остановки реакторов АДЭ-4 и АДЭ-5.

Научная новизна работы

Во всех изученных компонентах экосистемы нижней Томи вниз по течению от места сбросов СХК установлено сверхфоновое содержание долгоживущих (^{137}Cs , ^{90}Sr , изотопы плутония и др.) и присутствие короткоживущих техногенных радионуклидов активационного (^{24}Na , ^{76}As , ^{239}Np и др.) и осколочного (^{99}Mo , ^{131}I , ^{133}I и др.) происхождения. Всего в компонентах экосистемы нижней Томи определено присутствие 35 техногенных радионуклидов. Для гидрофитов установлено накопление некоторых долгоживущих и всего спектра короткоживущих техногенных радионуклидов (^{24}Na , ^{239}Np , ^{131}I , ^{140}Ba и др.) из сбросов СХК. Наибольшими абсолютными значениями содержания в обоих видах гидрофитов характеризуются ^{24}Na , ^{51}Cr , ^{65}Zn , ^{74}As , ^{76}As и ^{239}Np . Наибольшие коэффициенты накопления отмечены для ^{90}Sr , ^{65}Zn и $^{239+240}\text{Pu}$. Показано, что в объектах ихтиофауны нижней Томи фиксируется присутствие только 9 γ -излучающих техногенных радионуклидов (^{24}Na , ^{42}K , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{76}As , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{125}Sb , ^{239}Np) и ^{90}Sr . При этом наибольшим абсолютным содержанием и коэффициентом накопления в органах и тканях рыб обладает ^{65}Zn . Установлено, что расчетные дозы облучения гидрофитов и рыб в ближней зоне сбросов СХК в р. Томь более чем в 100 превышают таковые для контрольного участка нижней Томи, но меньше известных рекомендуемых пределов доз для гидробионтов. Отмечено, что более 90 % доз облучения гидробионтов складывается из излучения короткоживущих техногенных радионуклидов активационной природы ^{24}Na , ^{32}P , ^{76}As и ^{239}Np . Показано, что после остановки реакторов СХК основной вклад в облучение гидробионтов будут вносить ^{60}Co , ^{65}Zn и ^{239}Pu .

Практическая значимость. Выделен главенствующий фактор формирования радиозоологической ситуации в зоне сбросов Сибирского химического комбината в р. Томь. Выделены референсные виды для осуществления долгосрочного радиозоологического мониторинга в зоне влияния сбросов СХК в р. Томь. Дан качественный прогноз развития радиозоологической ситуации после остановки всех промышленных плутониевых реакторов СХК. Данные по результатам исследований включены в отчеты «Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды в Томской области...» (1999, 2000, 2002, 2003). Результаты исследований могут быть использованы с целью оптимизации радиозоологического мониторинга в водотоках в районах влияния предприятий ЯТЦ, разработки практических рекомендаций для улучшения экологической ситуации в исследованном районе. Материалы могут быть использованы службами Госсанэпиднадзора, здравоохранения и служб мониторинга за состоянием природной среды (ГУП «Томскгеомониторинг» и др.), а также могут быть включены как иллюстрационный материал в курсы лекций по «Радиозоологии», «Геоэкологии», «Геохимическому мониторингу» и использованы для проведения практических занятий.

Апробация работы и публикации. Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались на совещании «Экология пойм сибирских рек и Арктики» (Томск, 2000); I Международном семинаре «Энергетика и окружающая среда» (Будапешт, 2001); I Международной научно-практической конференции «Медицинские и экологические эффекты ионизирующей радиации» (Томск, 2001); Международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири» (Томск, 2001); Всероссийской конференции «Проблемы гидробиологии Сибири» (Томск, 2001); Международной конференции «Реки Сибири» (Новосибирск, 2001); Российско-французском семинаре по радиозоологии STRATOM-2001 (Томск, 2001); Международной конференции «ENVIROMIS-2002» (Томск, 2002); конференции «Проблемы геологии и географии Сибири» (Томск, 2003); Международном симпозиуме им. Академика М.А. Усова (Томск, 2003); конференции «Экологические проблемы промышленных регионов» (Екатеринбург, 2003); Международной конференции по проблемам рек Обь-Иртышского бассейна (Усть-Каменогорск, 2003); Международной конференции «Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения» (Киров, 2004); II Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (Томск, 2004); Международном симпозиуме «Урал атомный, Урал промышленный» (Екатеринбург, 2005); российско-американском междисциплинарном экологическом семинаре в Монклерском государственном университете (США, 2005). Материалы диссертации изложены в 18 научных публикациях, в том числе в 16 статьях и 2 тезисах докладов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 8 глав и выводов, изложенных на 185 страницах машинописного текста, иллюстрированных 43 рисунками и 42 таблицами. Список литературы содержит 302 наименования, из них 42 на иностранных языках.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Для экосистемы нижней Томи характерны повышенные содержания в ее компонентах как долгоживущих техногенных радионуклидов, так и короткоживущих техногенных радионуклидов активационной и осколочной природы основным источником которых является ФГУП «Сибирский химический комбинат». Отмечается уменьшение содержания техногенных радионуклидов в депонирующих средах с сохранением их спектра.

2. Основными закономерностями накопления техногенных радионуклидов гидрофитами и рыбами в экосистеме нижней Томи являются:

- для гидрофитов характерно накопление широкого спектра короткоживущих и долгоживущих радионуклидов осколочной и активационной природы;
- рыбы преимущественно накапливают активационный радионуклид ^{65}Zn .

В качестве референсных видов гидробионтов при проведении долгосрочного радиоэкологического мониторинга в нижней Томи наиболее целесообразно использовать укорененный гидатофит рдест блестящий *Patamogeton lucens* и бентосоядную рыбу - карася *Carassius auratus gibelio*.

3. Более чем 90 % доз облучения референсных гидробионтов складывается из излучения короткоживущих техногенных радионуклидов активационной природы. Главным фактором, формирующим современную радиоэкологическую ситуацию в экосистеме нижней Томи, является сброс охлаждающих вод реакторов СХК. После остановки атомных реакторов дозы облучения гидробионтов в зоне влияния сбросов СХК снизятся на порядок. Основную дозу облучения гидробионты будут получать от ^{60}Co , ^{65}Zn и ^{239}Pu . Перераспределение донных осадков в системе «технологический канал СХК – р. Томь – р. Обь» станет определяющим радиоэкологическую ситуацию в экосистеме нижней Томи фактором.

Содержание работы

В первой главе «**Радиоактивное загрязнение водотоков в результате деятельности предприятий по производству оружейного плутония**» показано состояние изученности вопроса о радиоактивном загрязнении экосистем водотоков, находящихся в зоне влияния трех российских предприятий – аналогов по производству оружейных делящихся материалов: ПО «Маяк», Сибирского химического комбината и Горно-химического комбината. Описание радиоэкологической ситуации в зоне влияния ПО «Маяк» основано на

работах Ж.А. Медведева (1990), А.В. Трапезникова с соавторами (1996, 1997, 2000), В.Н. Позолотиной с соавторами (1996, 2000), Е.Н. Караваевой и И.В. Молчановой (1997), В.В. Мартюшова (1997), Б.Ф. Мясоедова (1997), Л.М. Перемысловой с соавторами (1999), совместной российско-норвежской группы ученых («Sources contributing...», 2000) и других ученых. Радиоактивное загрязнение различных компонентов экосистемы р. Енисей в зоне влияния Горно-химического комбината описано учеными из разных городов России (Носов и др., 1993, 1996, 1997; Мартынова, Носов, 1995; Жидков, 1995; Тимофеев, 1995; Сухоруков и др., 2000, 2004; Болсуновский и др., 2001, 2002, 2003, 2004 и др.).

В литературе малочисленны результаты исследований радиоэкологической ситуации в ближней зоне сбросов СХК (Махонько, 1996; Рихванов, 1997; Шепелева и др., 1999, 2000; Андреев и др., 2004 и др.). Основной вывод главы - радиоэкологическая ситуация в нижней Томи в литературе освещена менее полно по сравнению с участками сбросов в водотоки предприятий – аналогов СХК, таких как ПО «Маяк» и ГХК.

Во второй главе **«Краткая характеристика территории исследований»** приведена географическая характеристика, гидрогеохимическая специфика территории исследований и характеристика основного источника поступления техногенных радионуклидов в экосистему нижней Томи – Сибирского химического комбината. Географическая характеристика составлена по данным В.В. Орловой (1962), А.Г. Дюкарева, (1991), В.А. Баженова (1996), других авторов; описание гидрогеохимической специфики территории исследований основано на работах А.Д. Назарова, С.Л. Шварцева (1991) и О.Г. Савичева (2003); характеристика СХК изложена по публикациям природоохранных организаций («Радиационная обстановка...», 1993, 1998, 2001, 2002; «Экологический мониторинг», 2000, 2001, 2002), ведомственных экологов («Состояние окружающей...», 2000; Андреев и др., 2004), историческим очеркам о развитии СХК («Неизвестный Северск», 1996; «Труды...», 2000; «Ради мира...», 1995).

В третьей главе **«Материалы и методы исследования»** описана общая методика работ, методы отбора и подготовки к анализу проб изученных компонентов экосистемы нижней Томи и виды анализов. Обоснован выбор непараметрических методов оценки достоверности различий содержания радионуклидов в разных выборках.

Фактическим материалом для написания диссертации послужили результаты исследования проб компонентов экосистемы нижней Томи, отобранных автором в результате полевых работ в 1998 – 2004 гг., в том числе в рамках совместных радиоэкологических экспедиций Объединенного Института Геологии, Геофизики и

Минералогии (г. Новосибирск) и кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ в 2001 – 2002 гг. Также использованы данные радиоэкологического мониторинга ОГУ «Облкомприрода» в 1996 – 1997 гг.

Среди компонентов экосистемы нижней Томи для изучения содержания техногенных радионуклидов были выбраны вода, донные отложения и аллювиальная почва, макрофиты (4 вида), рыбы (12 видов). Определение содержания радионуклидов в пробах производилось по аттестованным методикам в аккредитованных лабораториях. Всего отобрано и проанализировано 988 проб. Основным методом анализа являлась γ -спектрометрия (986 проб), средняя минимально измеряемая активность радионуклидов этим методом составила 1 Бк/кг. Также применялась α - и β -спектрометрия (23 и 46 проб, соответственно). Межлабораторная интеркалибровка показала хорошую сходимость результатов радиоспектрометрии, максимальное отклонение от средних значений составило 15%, что меньше средних погрешностей спектрометрических анализов. Математическая и графическая обработка полученных данных проводилась на ПК IBM PC с использованием программ Microsoft Excel, STATISTICA 6.0, Photoshop 6.0, Corel Draw 12.0, Adobe Illustrator 10.0 и с учетом замечаний В.П. Леонова (1996) по статистической обработке данных при проведении радиоэкологических исследований.

В четвертой главе **«Техногенные радионуклиды в воде нижней Томи»** описано содержание техногенных радионуклидов в водах нижней Томи. По результатам анализа водных проб и фитоиндикации в воде р. Томи вниз по течению от устья р. Ромашка присутствует 18 короткоживущих γ -излучающих радионуклидов, из них 10 активационной и 8 осколочной природы. Максимальные содержания в воде нижней Томи, подверженной влиянию сбросов СХК, отмечены для ^{24}Na : в выпуске ВХ-1 - 11984 Бк/л, в устье р. Ромашка - 3550 Бк/л и у н.п. Чернильщикова - 775 Бк/л.

В пятой главе **«Накопление техногенных радионуклидов донными отложениями и аллювиальной почвой нижней Томи»** описаны закономерности накопления техногенных радионуклидов донными в донных отложениях и пойменной почве района исследований. Описано содержание в донных осадках и аллювиальной почве нижней Томи 16 γ -излучающих радионуклидов осколочной и наведенной активности. В ближнем районе сбросов отмечены повышенные содержания ^{90}Sr , ^{241}Am , изотопов плутония. Характер загрязнения этими радионуклидами крайне неоднородный.

В донных осадках озер террасы и поймы правобережья р. Томи в СЗЗ и ЗН СХК не наблюдается повышенного содержания ^{137}Cs кроме оз. Черного, непосредственно прилегающего к площадкам глубинного захоронения ЖРАО СХК. Наибольшими

коэффициентами накопления в донных осадках по отношению к воде характеризуются ^{90}Sr и ^{65}Zn , наименьшими – ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{59}Fe и ^{152}Eu .

В шестой главе «**Накопление техногенных радионуклидов макрофитами нижней Томи**» представлены данные по накоплению техногенных радионуклидов четырьмя типичными видами макрофитов из экосистемы нижней Томи: пойменного *Carex sp.*, околководного *Calamagrostis langsdorfii* и погруженных макрофитов *Ceratophyllum demersum* и *Potamogeton lucens*. Установлено, что *Carex sp.* и *Calamagrostis langsdorfii* накапливают небольшой спектр техногенных радионуклидов, коэффициенты накопления которых по отношению к воде и почве также малы. Напротив, в гидатофитах *Ceratophyllum demersum* и *Potamogeton lucens* обнаружено 22 γ -излучающих радионуклида, в последнем дополнительными радиохимическими методами обнаружено присутствие изотопов плутония и ^{90}Sr . Наибольшими абсолютными значениями содержания в обоих видах гидрофитов характеризуются ^{24}Na , ^{51}Cr , ^{65}Zn , ^{74}As , ^{76}As и ^{239}Np . Наибольшие коэффициентами накопления по отношению к воде отмечены для ^{90}Sr , ^{65}Zn и $^{239+240}\text{Pu}$.

В седьмой главе «**Накопление техногенных радионуклидов рыбами нижней Томи**» представлены результаты изучения накопления техногенных радионуклидов объектами ихтиофауны, относящимися к 6 семействам: семейство *Acipenseridae* (вид *Acipenser ruthenus marsiglii*); семейство *Coregonidae* (вид *Coregonus muksun*); семейство *Esox* (вид *Esox lucius*); семейство *Cyprinidae* (виды *Rutilus rutilus lacustris*, *Leuciscus idus*, *Leuciscus leuciscus baicalensis*, *Tinca tinca*, *Abramis brama*, *Carassius auratus gibelio*, *Cyprinus carpio carpio*); семейство *Gadidae* (вид *Lota lota*); семейство *Percidae* (вид *Lucioperca lucioperca*). В объектах ихтиофауны нижней Томи обнаружено присутствие 9 γ -излучающих техногенных радионуклидов (^{4}Na , ^{42}K , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{76}As , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{125}Sb , ^{239}Np) и ^{90}Sr . При этом наибольшим абсолютным содержанием (1650 Бк/кг) и наибольшим коэффициентом накопления в органах и тканях рыб по отношению к воде обладает ^{65}Zn (137500). Более других накапливает техногенные радионуклиды, встречается практически во всех пунктах лова рыбы и наиболее обычен в ближнем районе сбросов СХК карась серебряный *Carassius auratus gibelio*.

Проведенные в восьмой главе «**Дозы облучения гидробионтов нижней Томи**» расчеты показывают, что основным источником облучения гидробионтов нижней Томи ниже по течению от устья р. Ромашка являются техногенные радионуклиды из сбросных вод Сибирского химического комбината. Расчет доз облучения гидробионтов производился на основании полученных эмпирических данных о содержании радионуклидов в телах

гидробионтов и окружающих их компонентах экосистемы водотока с применением расчетных формул (Blaylock et al., 1993) по методике И.И. Крышева и Т.Г. Сазыкиной (1986) в приложении А.Я. Болсуновского и А.Г. Суковатого (2004) к речной экосистеме.

На примере рдеста блестящего *Patomogeton lucens* и карася серебряного *Carassius auratus gibelio* показано, что дозы облучения гидробионтов ближнего района сбросов СХК на два порядка больше доз гидробионтов из контрольного участка нижней Томи и на 99% определяются техногенным облучением, но не превышают рекомендуемых предельных доз облучения гидробионтов. Более 90 % поглощенных доз гидробионтов нижней Томи в ближней зоне влияния сбросов СХК формируют короткоживущие техногенные радионуклиды активационной природы.

Обоснование защищаемых положений

По I защищаемому положению. По данным «Сибирского химического комбината» после поэтапной остановки трех из пяти промышленных плутониевых реакторов, произведенной в 1990 – 1992 гг., в экосистему нижней Томи со сбросными водами СХК поступают только три радионуклида активационной природы: ^{24}Na , ^{32}P и ^{239}Np («Экологическое и социально-экономическое...», 1998, 2000; Андреев и др., 2004). Однако по результатам анализа водных проб и фитоиндикации в годы наблюдений с 1996 по 2002 в воде нижней Томи на участке от устья р. Ромашка и вниз по течению до устья р. Томи фиксировалось присутствие 19 короткоживущих гамма-излучающих радионуклидов ($T_{1/2}$ от 2,58 часов у ^{56}Mn до 284 суток у ^{144}Ce), из них 11 активационной и 8 осколочной природы. Наведенные радионуклиды: ^{24}Na , ^{42}K , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{56}Mn , ^{59}Fe , ^{65}Zn , ^{76}As , ^{239}Np . Осколочные радионуклиды: ^{82}Br , ^{99}Mo , ^{131}I , ^{133}I , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{144}Ce . Единично в пробах воды отмечено присутствие долгоживущих осколочных техногенных радионуклидов ^{125}Sb ($T_{1/2}= 2,77$ лет) и ^{152}Eu ($T_{1/2}=13,6$ лет), а также активационного радионуклида ^{60}Co ($T_{1/2}= 5,27$ лет). Метод ихтиоиндикации не расширил список техногенных радионуклидов, присутствующих в экосистеме нижней Томи. В среднем за годы наблюдений с 1996 по 2002 гг. 98 % активности гамма-излучателей, поступающих в экосистему нижней Томи со сбросами СХК, приходится на ^{24}Na (85%), ^{76}As (6,2%), ^{239}Np (4,5%) и ^{42}K (2,3%).

Для всех лет наблюдений с 1996 по 2002 гг. выделяются общие закономерности содержания радионуклидов в воде нижней Томи. В первую очередь это присутствие техногенных гамма-излучающих только ниже по течению устья р. Ромашка. В пробах воды фоновых по отношению к району сбросов СХК участков, как-то, р. Томи выше устья р. Ромашки, р. Обь в п. Победа, оз. Кирек и других фоновых водоемах Томской области присутствия гамма-излучающих радионуклидов нами не обнаружено (активность менее 1

Бк/л). Прослеживается сезонная разница в содержании основных радионуклидов в сбросных водах СХК по большинству пунктов наблюдения (рис. 1).

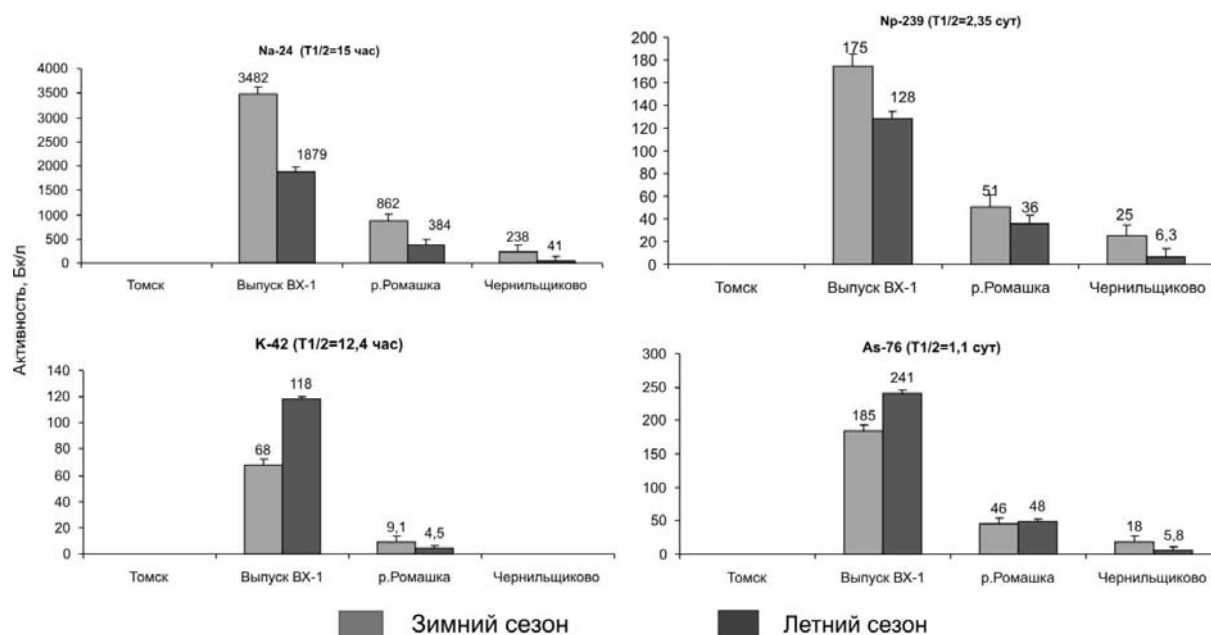


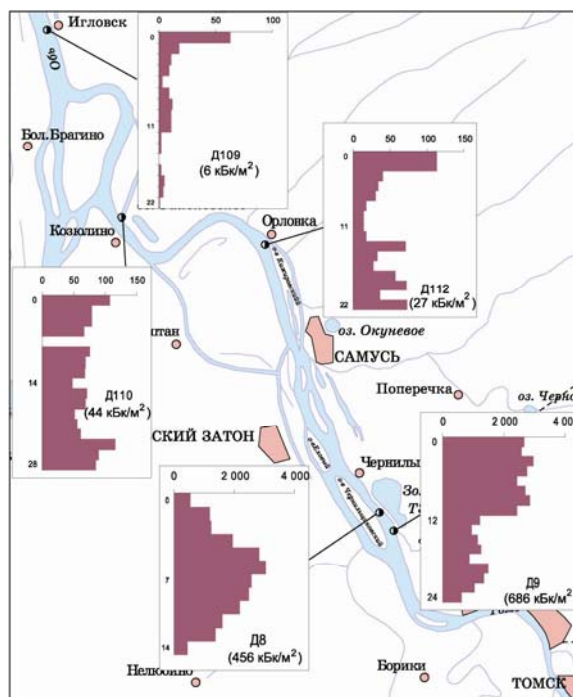
Рис. 1. Среднесезонное содержание основных радионуклидов в зоне влияния сбросов СХК в р. Томь в разных створах в 1996 – 2002 гг.

Прослеживается сильная изменчивость содержания радионуклидов в ближней зоне сбросов СХК во времени. Зафиксированы случаи, когда в течении месяца суммарная удельная активность гамма-излучающих радионуклидов и активность отдельных радионуклидов в устье р. Ромашки изменялась на 1 - 3 порядка. В нескольких пробах воды из ближнего района сбросов СХК в 1998 – 2000 и 2002 гг. активность наблюдаемых радионуклидов была ниже минимально измеряемой равной 1 Бк/л. Выявленное непостоянство сбросов, очевидно, связано с регламентом работы систем охлаждения, водоочистки и водоотведения реакторов и других производств СХК.

В отличие от воды в донных осадках и аллювиальной почве нижней Томи ниже по течению от устья р. Ромашки обнаружены повышенные содержания 16 гамма-излучающих радионуклидов осколочной и активационной природы, многие из которых имеют большой период полураспада. Активационные гамма-излучающие радионуклиды: ^{22}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{120}Sb . Осколочные γ -излучающие радионуклиды: ^{103}Ru , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{141}Ce , ^{152}Eu , ^{154}Eu . Выше устья р. Ромашка техногенные γ -излучающие радионуклиды в донных осадках и аллювиальной почве не обнаруживаются при минимально измеряемой активности 1 Бк/кг. Кроме γ -излучающих радионуклидов в ближнем районе сбросов СХК присутствуют повышенные содержания ^{90}Sr , трансурановых радионуклидов ^{241}Am и изотопов плутония. Характер загрязнения этими ТРН крайне неоднородный.

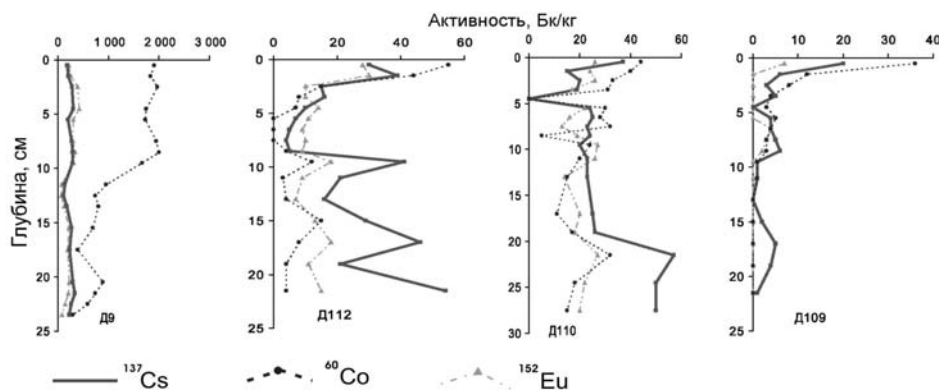
Ранее группой ученых ТПУ был проведен отбор проб поверхностного слоя пойменной почвы и прибрежных донных отложений нижней Томи по 9 профилям (от вершины о-ва Чернильщиковский до с. Козюлино) в результате чего удалось установить правобережный характер загрязнения этих депонирующих сред (Рихванов, 1997). В результате наших исследований были получены данные по вертикальному распределению техногенных радионуклидов от верхнего до нулевого горизонта не только в пойменной почве и прибрежных донных осадках, но и в русловых донных отложениях (рис. 2 и 3).

Рис. 2. Характерное вертикальное распределение суммарной активности техногенных γ -излучающих радионуклидов и площадное загрязнение донных осадков нижней Томи. По оси абсцисс – удельная активность, Бк/кг; по оси ординат – глубина, см. Д8 – Д112 – номера точек пробоотбора; в скобках – площадное загрязнение донных осадков.



Как видно из рис. 2 техногенные радионуклиды распределены в донных осадках нижней Томи неравномерно, но присутствуют практически во всех слоях вплоть до нулевого горизонта. Более ранние слои донных отложений не расширяют спектр радионуклидов, напротив, в большинстве точек опробования уменьшается их удельная активность в слоях осадков. При этом на всем протяжении от устья р. Ромашки до устья р. Томи и далее в донных осадках р. Оби фиксируются ^{137}Cs , ^{60}Co и ^{152}Eu . Эти радионуклиды идентично распределены вертикально (рис. 3).

Рис. 3. Вертикальное распределение ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{152}Eu в донных осадках разных пунктов нижней Томи.



В донных осадках озер террасы и поймы правобережья р. Томи в СЗЗ и ЗН СХК не наблюдается повышенного содержания ^{137}Cs кроме оз. Черного, непосредственно прилегающего к площадкам глубинного захоронения ЖРАО СХК.

За годы наблюдений активность техногенных радионуклидов в их основном для экосистемы водотока естественном накопителе – донных отложениях снизилась. Так, с 1997 по 2001 гг. активность основных для ближнего района сбросов техногенных γ -излучающих радионуклидов в четырех из пяти пунктов мониторинга в районе устья р. Ромашка значительно уменьшилась (рис. 4)

По четырем из пяти пунктов мониторинга снижение активности радионуклидов идет в разы (для ^{46}Sc) и на порядок (для ^{60}Co , ^{65}Zn и ^{137}Cs) быстрее скорости их естественного распада. Это говорит о преобладании процессов перераспределения донных осадков в нижней Томи над выносом техногенных радионуклидов из р. Ромашки и процессами их естественного распада. Увеличение активности ^{46}Sc , ^{60}Co и ^{65}Zn в донных отложениях устья р. Ромашка с 2000 по 2001 год можно объяснить изменением русловых процессов в районе устья, которое, как известно, является местом естественного усиления седиментации.

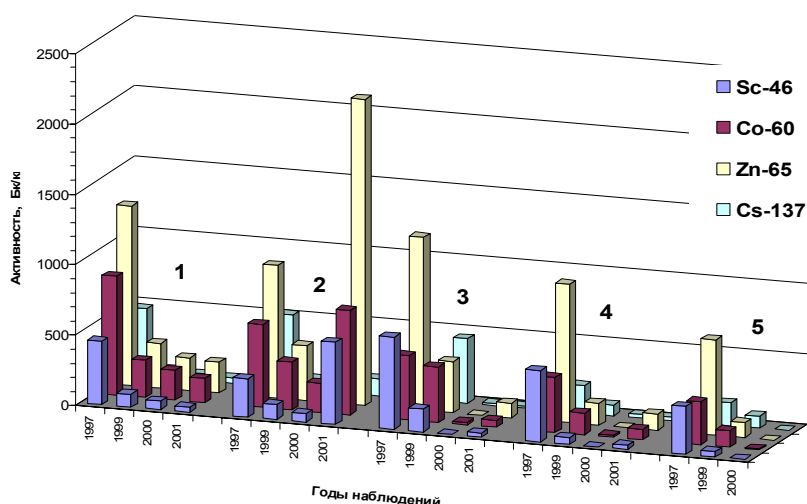


Рис. 4. Изменение активности основных ТРН в 10-см поверхностном слое донных осадков ближнего района сбросов СХК в р. Томь в 1997 – 2001 гг. Пункты наблюдений: 1 – р. Ромашка, 0,5 км до устья; 2 – р. Ромашка, устье; 3 – р. Томь, 0,5 км вниз по течению от устья р. Ромашка; 4 – р. Томь, 1,5 км вниз по течению от устья р. Ромашка; 5 – р. Томь, 4 км вниз по течению от устья р. Ромашка (д. Чернильщиково).

Таким образом, в компонентах экосистемы нижней Томи определено присутствие 35 техногенных радионуклидов активационного и осколочного происхождения, 17 из которых обнаруживаются в воде, а остальные посредством анализа депонирующих сред (донных отложений и биологических объектов). И если повышенные содержания долгоживущих техногенных радионуклидов в донных отложениях и аллювиальной почве нижней Томи можно отнести к последствиям многолетней деятельности «Сибирского химического комбината», то присутствие в воде и гидробионтах широкого спектра короткоживущих

техногенных радионуклидов говорит о их современном поступлении со сбросными водами СХК. За годы наблюдений с 1996 по 2004 отмечается уменьшение содержания техногенных радионуклидов в депонирующих средах (донные отложения и аллювиальная почва) нижней Томи с сохранением перечня радионуклидов.

По II защищаемому положению. При изучении загрязнения радионуклидами четырех видов макрофитов нижней Томи, представляющих разные экологические группы, установлено, что гидатофиты *Ceratophyllum demersum* и *Potamogeton lucens* активно накапливают широкий спектр техногенных радионуклидов, присутствующих в воде и донных отложениях (табл. 1).

Таблица 1. Накопление техногенных γ -излучающих радионуклидов макрофитами нижней Томи

Вид	Экологическая группа	Обнаруженные техногенные γ -излучающие радионуклиды	Коэффициенты накопления радионуклидов
<i>Carex sp.</i>	Пойменный макрофит	^{46}Sc , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu	КН _П : 0,4 – 3,9
<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	Гелиофит	^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{137}Cs , ^{141}Ce	КН _П : 0,04 – 0,48
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Неукорененный гидатофит	^{22}Na , ^{24}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{74}As , ^{76}As , ^{99}Mo , ^{103}Ru , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{141}Ce , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{239}Np	КН _В : 10 – 45000
<i>Potamogeton lucens</i>	Укорененный гидатофит	^{24}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{74}As , ^{76}As , ^{99}Mo , ^{103}Ru , ^{131}I , ^{133}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{152}Eu , ^{239}Np	КН _В : 1,5 – 40500

Примечание: КН_П – коэффициент накопления радионуклида в стебле и листьях гидрофита по отношению к почве; КН_В – коэффициент накопления радионуклида в стебле и листьях гидрофита по отношению к воде.

В роголистнике погруженном *Ceratophyllum demersum* обнаружено 19 γ -излучающих радионуклидов, в рдесте блестящем *Potamogeton lucens* – 20 γ -излучающих радионуклидов, в двух видах гидатофитов вместе обнаружено присутствие 22 γ -излучающих радионуклидов. Дополнительными радиохимическими методами в *Potamogeton lucens* обнаружено также присутствие повышенных содержаний изотопов плутония и ^{90}Sr . Наибольшими абсолютными значениями содержания в обоих видах гидрофитов характеризуются ^{24}Na (30-1000 Бк/кг), ^{51}Cr (200-3200 Бк/кг), ^{65}Zn (450-2200 Бк/кг), ^{74}As (47-4000 Бк/кг), ^{76}As (2100-7800 Бк/кг) и ^{239}Np (2300-15000 Бк/кг). Наибольшие коэффициенты накопления отмечены для ^{90}Sr (7800-40500), ^{65}Zn (38000-45000) и $^{239+240}\text{Pu}$ (19000). Большая разница эмпирически установленных коэффициентов накопления разных радионуклидов в телах гидрофитов может быть объяснена нахождением растений в условиях непостоянства сбросов в сочетании с различной скоростью распада этих радионуклидов и скоростью их элиминации в условиях промывного режима.

При использовании *Ceratophyllum demersum* и *Potamogeton lucens* в качестве объектов фитоиндикации было подтверждено присутствие в воде нижней Томи короткоживущих радионуклидов ^{103}Ru , ^{131}I , ^{133}I , ^{140}Ba , ^{140}La и обнаружено присутствие ^{74}As .

Одно из центральных положений радиоэкологии – выделение референсных организмов, выбор которых производится по таким критериям как повсеместная в рамках исследуемого района распространенность, простота отбора проб и их удобство для анализа, наибольшие коэффициенты накопления радионуклидов (Strand et al., 2000). Согласно табл. 1 *Ceratophyllum demersum* и *Potamogeton lucens* накапливают схожий спектр радионуклидов со схожими коэффициентами накопления. Однако рдест накапливает на 3 короткоживущих радиоизотопа больше, что более важно чем обнаружение в роголистнике на 2 долгоживущих радионуклида, т.к. последние обнаруживаются и в донных осадках, рдест также четко привязан корневой системой к месту наблюдения и встречается на всем протяжении нижней Томи. Роголистник погруженный в достаточных для экспресс-анализа количествах из наблюдаемых пунктов обнаружен только в р. Ромашке. Таким образом, оптимальным референсным видом мониторинга присутствия в воде нижней Томи техногенных радионуклидов является рдест блестящий *Potamogeton lucens*.

В отличие от гидрофитов, накапливающих широкий спектр радионуклидов, в рыбах нижней Томи II и III трофического уровня обнаружено только 9 γ -излучающих радионуклидов, а также ^{90}Sr . Изотопы плутония в разных частях тела рыб не обнаружены. При этом большинство видов избирательно накапливают активационный радионуклид ^{65}Zn . Наибольшим абсолютным содержанием в мышечной ткани рыб из ближнего района сбросов СХК (1650 Бк/кг) и наибольшим коэффициентом накопления в органах и тканях рыб по отношению к воде обладает также ^{65}Zn (137500).

При выборе референсного вида рыб для проведения долгосрочного радиоэкологического мониторинга в нижней Томи критерий наибольших коэффициентов накопления радионуклидов оказался неприемлемым в связи с отсутствием данных по содержанию радионуклидов в воде (активность ниже порога определения) в ряде пунктов лова рыбы. Определяющим кроме величины спектра накапливаемых радионуклидов стала частота встречаемости в общих уловах и в ближнем районе сбросов СХК (устье р. Ромашка) (табл. 2).

Наибольший спектр радионуклидов обнаружен в карасе серебряном *Carassius auratus gibelio*. Также карась один из наиболее часто встречаемых в уловах по всем пунктам нижней Томи и единственный вид рыб, представленный в уловах из ближнего района сбросов СХК. Таким образом, наиболее удобным референсным видом рыб нижней Томи является карась.

Таблица 2. Частота встречаемости и загрязнение техногенными радионуклидами рыб нижней Томи

Вид	Трофический уровень	% от общих уловов	% от уловов в устье р. Ромашка	Техногенные радионуклиды, присутствующие в мышечной ткани
<i>Acipenser ruthenus marsiglii</i>	II	13,3	0	⁶⁵ Zn, ²³⁹ Np
<i>Coregonus muksun</i>	II	0,7	0	-
<i>Esox lucius</i>	III	3,7	0	⁶⁵ Zn, ¹³⁷ Cs
<i>Rutilus rutilus lacustris</i>	II	11,7	0	²⁴ Na, ⁶⁵ Zn
<i>Leuciscus idus</i>	II	4,0	0	⁶⁵ Zn, ¹³⁷ Cs
<i>Leuciscus leuciscus baicalensis</i>	II	26,7	0	-
<i>Tinca tinca</i>	II	4,0	0	⁶⁵ Zn, ¹³⁷ Cs
<i>Abramis brama</i>	II	13	0	⁶⁵ Zn, ¹³⁷ Cs, ¹⁵² Eu, ²³⁹ Np
<i>Carassius auratus gibelio</i>	II	21	100	²⁴ Na, ⁴² K, ⁶⁰ Co, ⁷⁶ As, ⁶⁵ Zn, ¹²⁵ Sb, ²³⁹ Np
<i>Cyprinus carpio carpio</i>	II	0,3	0	⁶⁵ Zn
<i>Lota lota</i>	III	0,3	0	-
<i>Lucioperca lucioperca</i>	III	1,7	0	¹³⁷ Cs

По III защищаемому положению. Для установления уровня действительной безопасности для здоровья человека и среды оценку здоровья среды необходимо проводить так же, как и для человека (Захаров, 1996). В этом случае более адекватной мерой оценки воздействия техногенных радионуклидов на экосистемы является не уровень их накопления организмами животных и растений, а расчет получаемых ими доз техногенного облучения.

При расчете поглощенных доз внутреннего и внешнего облучения выбранных референсных гидробионтов рдеста *Potamogeton lucens* и карася *Carassius auratus gibelio* из нижней Томи от техногенных α -, β - и γ -излучателей и естественного радионуклида ⁴⁰K были использованы собственные данные о их содержании в воде, донных осадках и организме гидробионтов в 1996 – 2002 гг. Для расчета доз внутреннего облучения гидробионтов от ³²P использованы данные ЦГСЭН г. Северска по его содержанию в мышечной ткани рыб (без видоспецифичности) в 1996 г.: 3445 Бк/кг в устье р. Ромашка и 395 Бк/кг в районе д. Козюлино («Радиационная обстановка...», 1997).

Для сравнения уровней доз гидробионтов из зоны влияния сбросов СХК и фонового участка были выбраны три пункта нижней Томи: устье р. Ромашка (место впадения технологического канала СХК в р. Томь, С33), д. Козюлино (25 км ниже по течению от устья р. Ромашка, зона наблюдения) и Новый мост (10 км выше по течению от устья р. Ромашка, контроль).

Анализ полученных данных (табл. 3) показывает, что для карася и рдеста из санитарно-защитной зоны СХК (устье р. Ромашка) поглощенная доза внешнего и внутреннего облучения на один - три порядка больше таковой, чем для нижней Томи в пределах зоны наблюдения (Козюлино) и фонового участка нижней Томи (Новый мост).

Таблица 3. Суммарная мощность поглощенной дозы референсных гидробионтов из разных пунктов нижней Томи в 1997 – 2002 гг. (D, мкГр/сут)

Объект	Пункт	D, внешнее облучение		D, внутреннее облучение		ΣD
		техногенное	естественное	техногенное	естественное	
Рдест	Новый мост (контроль)	-	0,003	0,02	0,88	0,9
	Устье р. Ромашка	35,6	0,003	85,1	0,88	121,6
	Козюлино	0,004	0,003	3,6	0,88	4,5
Карась	Новый мост (контроль)	-	0,095	0,1	0,6	0,8
	Устье р. Ромашка	45,5	0,095	42,4	0,6	88,6
	Козюлино	0,17	0,095	4,4	0,6	5,3

Сравнивая мощность поглощенной дозы гидробионтов из разных речных бассейнов, загрязненных техногенными радионуклидами, надо отметить, что дозы облучения макрофитов из ближней зоны сбросов СХК в 3 – 4 раза больше таковых из ближней зоны сбросов Красноярского ГХК, на 3 порядка выше таковых из Килийской дельты Дуная, но на порядок меньше доз облучения гидробионтов из ближней зоны ЧАЭС. Учитывая неудовлетворительное состояние проработанности вопроса с количественной оценкой доз облучения животных и растений (Johansson, 1995) сравниваем рассчитанные дозы облучения гидробионтов с известными рекомендуемыми пределами доз облучения. Предельные уровни облучения гидробионтов не превышает ни в одном из речных бассейнов (табл. 4).

Таблица 4. Сравнительная мощность поглощенной дозы гидробионтов из разных водотоков, загрязненных ТРН (D, мкГр/сут)

Объект	р. Томь, устье р. Ромашка, 1997 – 2002 гг.*	р. Енисей, 5 км ниже сбросов ГХК, 2000 – 2001 гг.**	Килийская дельта Дуная, 1988 г.***	р. Припять, район ЧАЭС, 1999 г.****	Рекомендуемый лимит дозы (Sazykina, Kryshev, 2002)	Предельная мощность дозы (МАГАТЭ)
Гидрофиты	121,6	30 - 40	-	3650 -8700	1000	10000
Рыбы	88,6	-	0,013 – 0,022		300	

Примечание: * - наши данные; ** - данные А.Я. Болсуновского и А.Г. Суковатого (2004); *** - данные Ю.М. Сытника (1992); **** - данные D.I. Gudkov et al. (2003).

При наличии близких уровней суммарных доз облучения рдеста и карася, вклад отдельных радионуклидов в их формирование значительно отличается. Так, суммарное облучение карася из устья р. Ромашка на 48 % формирует ^{24}Na . При этом около 33 % приходится на облучение от ^{24}Na , находящегося в воде, и около 15 % - на

инкорпорированный ^{24}Na . Вклад инкорпорированного ^{32}P в суммарную дозу облучения равен 37 %, вклад других радионуклидов значительно меньше: ^{60}Co – 8,4 %; ^{40}K – 0,8 %; ^{65}Zn – 2,6 %; ^{76}As – 0,6 %; ^{152}Eu – 0,6 %; ^{46}Sc – 0,5 %. Остальные радионуклиды вносят менее 0,5 % в суммарную мощность дозы облучения (рис. 5).

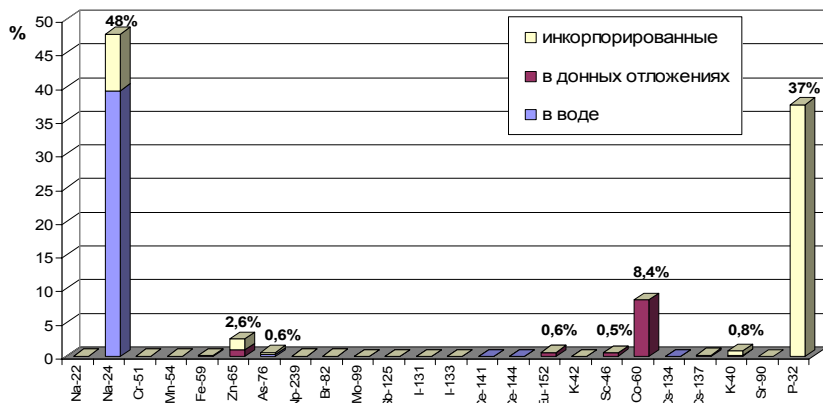


Рис. 5.

Вклад радионуклидов в суммарную дозу облучения карася из нижней Томи, устье р. Ромашка.

Как и для карася, основной вклад в облучение рдеста из устья р. Ромашка вносит ^{24}Na – 35 % суммарного облучения. Однако спектр значимых в формировании внутреннего облучения радионуклидов у рдеста шире за счет большего количества инкорпорированных радионуклидов. Инкорпорированные ^{32}P и ^{76}As вносят в суммарную дозу облучения по 25 %, вклад других радионуклидов значительно меньше: ^{239}Np – 6,7 %; ^{133}I – 0,75 %; ^{40}K – 0,73 %; ^{140}La – 0,69 %. Сумма инкорпорированных изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ вносит 3,3 % в поглощенную дозу рдеста. Остальные радионуклиды вносят менее 0,5 % (рис. 6).

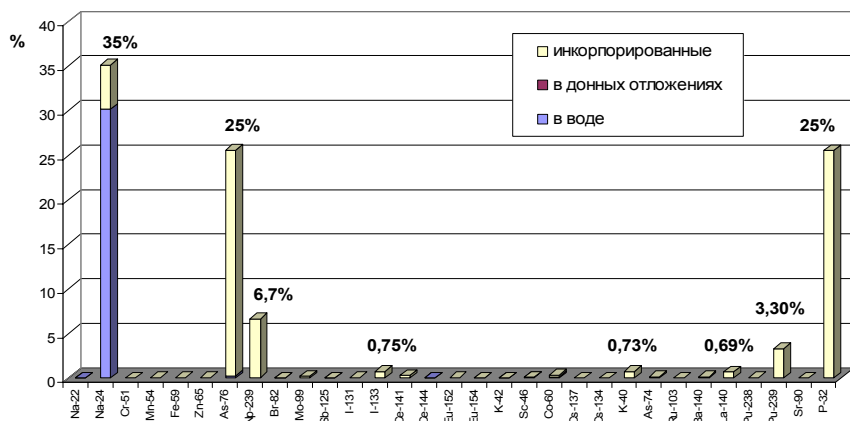
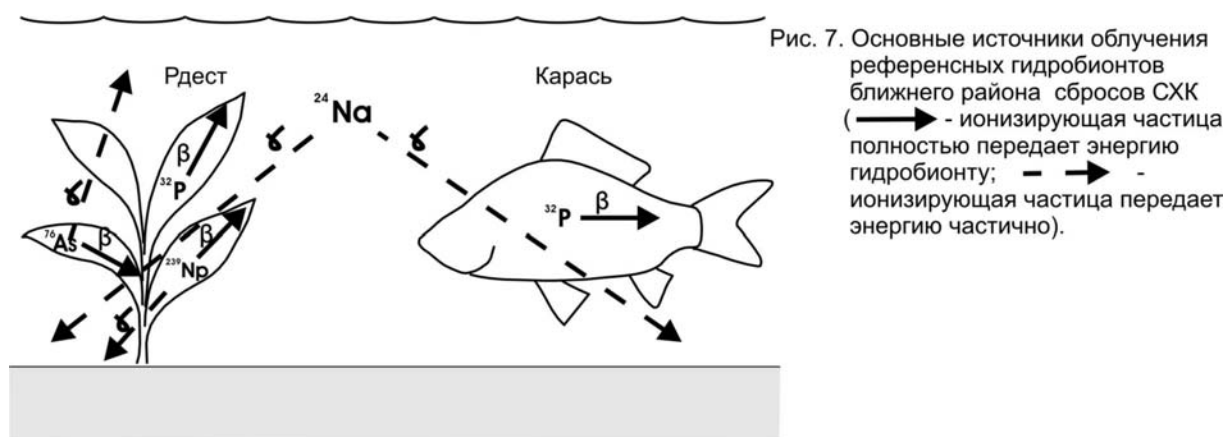


Рис. 6.

Вклад радионуклидов в суммарную дозу облучения рдеста из нижней Томи, устье р. Ромашка.

При этом общим для обоих гидробионтов является то, что более чем 90% доз облучения формируются короткоживущими активационными инкорпорированными радионуклидами ^{32}P , ^{76}As , ^{239}Np и рассеянным в толще воды ^{24}Na . Исходя из этого, основные пути облучения гидробионтов в ближнем районе влияния сбросов СХК в нижнюю Томь можно представить в виде следующей схемы (рис. 7).



После намеченной на 2007 год остановки реакторов АДЭ-4 и АДЭ-5 и, соответственно, прекращения поступления в экосистему нижней Томи короткоживущих радионуклидов, не только значительно снизятся дозы облучения гидробионтов, но и изменятся основные пути их облучения. По прошествии 6 месяцев после остановки реакторов АДЭ-4 и АДЭ-5 содержание активационных радионуклидов из сбросных вод охлаждающей системы реакторов в компонентах экосистемы нижней Томи станет ничтожно мало (пройдет 10 $T_{1/2}$ наиболее долгоживущего из основных дозообразующих радионуклидов ^{32}P).

Ведущую роль в облучении рдеста блестящего будет играть α -излучение от инкорпорированного ^{239}Pu (70-80% от суммарной дозы облучения). За счет большого $T_{1/2} = 24$ тыс. лет относительный вклад ^{239}Pu в техногенную составляющую суммарной поглощенной дозы облучения рдеста будет возрастать. Основными источниками облучения карася в первые годы после остановки реакторов будет внешнее облучение от находящихся в донных отложениях ^{60}Co и ^{65}Zn (около 70% от суммарной дозы облучения) и внутреннее облучение от инкорпорированного ^{65}Zn (10-15% от суммарной дозы облучения).

В условиях прекращения сбросов СХК основным источником ^{60}Co , ^{65}Zn и ^{239}Pu для накопления гидробионтами станет их вторичное вовлечение в водный поток из донных отложений. Значит, перераспределение донных осадков в системе «технологический канал СХК – р. Томь – р. Обь» станет определяющим фактором для формирования доз гидробионтов экосистемы нижней Томи.

Выводы

1. Во всех изученных компонентах экосистемы нижней Томи вниз по течению от места сбросов «Сибирского химического комбината» наблюдается сверхфоновое содержание долгоживущих (^{137}Cs , ^{90}Sr , изотопы плутония и др.) и присутствие короткоживущих техногенных радионуклидов активационного (^{24}Na , ^{76}As , ^{239}Np и др.) и осколочного (^{99}Mo , ^{131}I , ^{133}I и др.) происхождения. Всего в компонентах экосистемы нижней Томи определено присутствие 35 техногенных радионуклидов.
2. За годы наблюдений отмечается уменьшение содержания техногенных радионуклидов в депонирующих средах зоны сбросов СХК в нижнюю Томь. При этом в них сохраняется весь спектр радионуклидов, поступающих с территории СХК.
3. Для водных макрофитов характерно накопление некоторых долгоживущих и всего спектра короткоживущих техногенных радионуклидов (^{24}Na , ^{239}Np , ^{131}I , ^{140}Ba и др.) из сбросов СХК. Наибольшими абсолютными значениями содержания в обоих видах гидрофитов характеризуются ^{24}Na , ^{51}Cr , ^{65}Zn , ^{74}As , ^{76}As и ^{239}Np . Наибольшие коэффициенты накопления отмечены для ^{90}Sr , ^{65}Zn и $^{239+240}\text{Pu}$.
4. В объектах ихтиофауны нижней Томи фиксируется присутствие только 9 γ -излучающих техногенных радионуклидов (^{24}Na , ^{42}K , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{76}As , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{125}Sb , ^{239}Np) и ^{90}Sr . При этом наибольшим абсолютным содержанием и коэффициентом накопления в органах и тканях рыб обладает ^{65}Zn .
5. В качестве референсных видов гидробионтов при проведении долговременного радиоэкологического мониторинга в нижней Томи рекомендуется использовать укорененный гидатофит рдест блестящий (*Patamogeton luteus*) и бентосоядную рыбу карася серебряного (*Carassius auratus gibelio*).
6. Рассчитанные дозы облучения *Carassius auratus gibelio* и *Patamogeton luteus* в ближней зоне сбросов СХК в р. Томь (88,6-121,6 мкргр/сут) более чем в 100 превышают таковые для контрольного участка нижней Томи (0,8-0,9 мкргр/сут), но меньше известных рекомендуемых пределов доз для гидробионтов. Более чем 90 % доз облучения референсных гидробионтов складывается из излучения короткоживущих техногенных радионуклидов активационной природы, что свидетельствует о главенствовании сброса охлаждающих вод реакторов СХК среди факторов, формирующих современную радиоэкологическую ситуацию в экосистеме нижней Томи.
7. После остановки реакторов СХК перераспределение донных осадков в системе «технологический канал СХК – р. Томь – р. Обь» будет определяющим радиоэкологическую ситуацию в экосистеме нижней Томи фактором, уровень доз

облучения гидробионтов снизится на порядок, а основной вклад в облучение будут вносить ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{239}Pu .

Предложения

Необходимо дальнейшее изучение радиоэкологической ситуации в нижней Томи, в том числе освещение вопросов поступления и миграции в ее экосистеме таких дозообразующих техногенных радионуклидов как ^3H , ^{32}P , ^{241}Am .

Данные по содержанию радионуклидов в мышечной ткани рыб нижней Томи можно использовать для расчета доз облучения населения прибрежных поселков.

Для снижения рисков формирования повышенных доз облучения у населения ближнего района сбросов СХК от употребления рыбы, накапливающей техногенные радионуклиды, рекомендуется усилить охрану Северного сбросного канала и распространить деятельность по его охране отделом милиции охраны объектов СХК УВД ЗАТО Северск на территорию протоки Чернильщиковской от устья канала до д. Чернильшиково.

Основные публикации по теме диссертации

1. Кудрявцев, А.В. Изучение загрязнения почв цезием-137 в 30-километровой зоне Сибирского химического комбината / А.В. Кудрявцев, Л.В. Блинов, А.В. Торопов // Экологические проблемы и пути их решения: сборник трудов аспирантов и студентов. - Томск: Томский государственный университет, 2001. - С. 48-51.
2. Леонова, Г.А. Биомониторинг техногенных радионуклидов в ближней зоне влияния Сибирского химического комбината / Г.А. Леонова, В.А. Бобров, С.И. Ковалев, А.В. Торопов // Экологические проблемы промышленных регионов: сборник научных статей. - Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. - С.190-192.
3. Леонова, Г.А. Мониторинг техногенных радионуклидов и тяжелых металлов в ближней зоне влияния Сибирского химического комбината / Г.А. Леонова, В.А. Бобров, А.В. Торопов, С.И. Ковалев, Г.Н. Аношин // Вестник Томского государственного университета: Приложение. Материалы научной конференции «Проблемы геологии и географии Сибири» (2-4 апреля 2003 г.), №, том V. – Томск, 2003. - С.159-161.
4. Леонова, Г.А. Загрязнение компонентов экосистемы нижней Томи техногенными радионуклидами / Г.А. Леонова, В.А. Бобров, А.В. Торопов, Ю.И. Маликов, М.С. Мельгунов, Ф.В. Сухоруков // Экология промышленного производства, 2005, вып. 3. - С. 15-22.
5. Леонова, Г.А. Оценка масштабов радиоактивного загрязнения водной биоты реки Томь в зоне влияния Сибирского химического комбината / Г.А. Леонова, А.В. Торопов, В.А. Бобров, Ф.В. Сухоруков // Материалы международной конференции по проблемам рек Обь-Иртышского бассейна (Усть-Каменогорск, 19-20 июня 2003 г.). – Усть-Каменогорск, 2003. - С. 54-56.
6. Леонова, Г.А. Техногенные радионуклиды и тяжелые металлы в воде и биообъектах реки Ромашки (ближняя зона влияния СХК) / Г.А. Леонова, А.В. Торопов, В.А. Бобров и др. // Современные достижения в исследованиях окружающей среды и экологии: сборник статей, посвященный памяти академика В.Е.Зуева. - Томск: STT, 2004. - С. 72-76.
7. Леонова, Г.А. Загрязнение рыбы реки Томь техногенными радионуклидами в зоне влияния Сибирского химического комбината / Г.А. Леонова, А.В. Торопов, В.А. Бобров и др. // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения: материалы

- международной конференции, 16-18 ноября 2004 г., г. Киров / ВНИИОЗ им. Б.М. Житкова РАСХН; Институт проблем эволюции им. А.Н. Северцова РАН.- Киров, 2004. - С. 140-142.
8. Леонова, Г.А. Характеристика радиоактивного загрязнения водной биоты в зоне влияния Сибирского химического комбината / Г.А. Леонова, А.В. Торопов, В.А. Бобров // Урал атомный, Урал промышленный. Труды XI Международного экологического симпозиума. - Екатеринбург, 2005. - С. 71-74.
 9. Леонова, Г.А. Радиоэкологический мониторинг экосистемы реки Томь в зоне влияния предприятий ядерно-топливного цикла / Г.А. Леонова, А.В. Торопов, В.А. Бобров и др. // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и проблемы нераспространения: Материалы II Международной конференции, Курчатов, Республика Казахстан, 6-8 сентября 2005 г. - Курчатов, 2005. - С. 178-185.
 10. Леонова, Г.А. Радиоактивное загрязнение реки Томь в зоне влияния предприятий ядерно-топливного цикла / Г.А. Леонова, А.В. Торопов, В.А. Бобров и др. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2006, № 2. - С. 145-155.
 11. Розанов, А.С. Техногенные радионуклиды и тяжелые металлы в донных отложениях рек, находящихся в зоне влияния СХК / А.С. Розанов, С.И. Ковалев, А.В. Торопов // Вестник Томского государственного университета: Приложение: Материалы научной конференции «Проблемы геологии и географии Сибири» (2-4 апреля 2003 г.), №3, том V. - Томск, 2003. - С. 198-199.
 12. Сухоруков, Ф.В. Техногенные радионуклиды в зоне влияния Сибирского химического комбината / Ф.В. Сухоруков, С.И. Ковалев, Л.П. Рихванов, А.В. Торопов // Измерения, моделирование и информационные системы как средства снижения загрязнений на городском и региональном уровне: Программа и тезисы Международной конф. «ENVIROMIS-2002». - Томск, 2002. - С. 78.
 13. Торопов, А.В. Влияние радиоактивных сбросов СХК на качество воды реки Томи / А.В. Торопов // Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геоэкологической среды: Материалы международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки производства» / Отв. ред. С.Л. Шварцев, Л.П. Рихванов. - Томск: Изд-во ТПУ, 2001. - С. 194-196.
 14. Торопов, А.В. Тяжелые металлы и техногенные радионуклиды в водной биоте экосистемы Нижней Томи / А.В. Торопов // Проблемы гидробиологии Сибири: Материалы всерос. конф. «Современные проблемы гидробиологии Сибири» / Под ред. В.И. Романова. - Томск: Дельтаплан, 2005. - С. 255-259.
 15. Торопов, А.В. Радиоактивное загрязнение рек Томь и Ромашка / А.В. Торопов, Ю.Г. Зубков // Экология пойм сибирских рек и Арктики. Труды II совещания. 22-26 ноября 2000 г. - Томск: «СТТ», 2000. - С. 143-147.
 16. Торопов, А.В. К вопросу о биогеохимической миграции техногенных радионуклидов в районах сброса сточных вод ПЯТЦ / А.В. Торопов и др. // Медицинские и экологические эффекты ионизирующей конференции (к 15-летию аварии на Чернобыльской АЭС): Материалы I международной конференции, 21-22 июня 2001 г., Северск - Томск / Ред. Р.М. Тахауов, Л.В. Капилевич, А.Б. Карпов - Томск, 2001. - С. 152-153.
 17. Торопов, А.В. Техногенные радионуклиды в воде и донных отложениях Нижней Томи / А.В. Торопов, Ф.В. Сухоруков, С.И. Ковалев, Ю.Г. Зубков // Вестник Томского государственного университета. Приложение: Материалы научной конференции «Проблемы геологии и географии Сибири» (2-4 апреля 2003 г.), №3, том V. - Томск, 2003. - С. 220-222.
 18. Торопов, А.В. Особенности радиоэкологической ситуации в биогидроценозе нижней Томи / А.В. Торопов, Ю.Г. Зубков, Г.А. Леонова, В.А. Бобров, Ф.В. Сухоруков // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II международной конференции. - Томск: изд-во «Тандем-Арт», 2004. - С. 630-633.
 19. Торопов, А.В. Общая характеристика радиоактивного загрязнения реки Томи вследствие деятельности Сибирского химического комбината / А.В. Торопов, Л.П. Рихванов, Ю.Г. Зубков, Г.А. Леонова, В.А. Бобров, Ф.В. Сухоруков // Актуальные проблемы биологии, медицины и экологии: Сборник научных работ, том 4, №1. - Томск, 2004. - С. 62-64.