

На правах рукописи

Эргашев Дамир Эркинович

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО И
ТЕХНОГЕННОГО УРАНА В ОБЪЕКТАХ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Специальность 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Томск – 2004

Работа выполнена на кафедре "Прикладной физики" физико-технического факультета Томского политехнического университета

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
В.Д. Каратаев.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
В.К. Кулешов;
кандидат физико-математических наук, доцент
Ю.А. Соловьев.

Ведущая организация: Институт промышленной экологии Уральского
отделения Российской Академии наук,
г. Екатеринбург.

Защита состоится "____" _____ 2004 г. в ____ часов в 228 аудитории
10 корпуса на заседании диссертационного Совета ДС 212.025.01 при
Томском политехническом университете. Адрес: 634050, г. Томск,
пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского
политехнического университета.

Автореферат разослан "____" _____ 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
д.т.н., профессор

А.А. Орлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.

На современном этапе развития цивилизации обеспечение радиационной безопасности человека и окружающей среды становится актуальной проблемой в связи с возрастающей потребностью сообщества в наращивании энергетических мощностей и в связи с сопутствующим этому процессу выбросом в окружающую среду радиоактивных элементов. Достоверная информация об уровнях радиоактивного загрязнения окружающей среды является необходимым условием для оценки дозовых нагрузок на население и для принятия решений о проведении мероприятий по обеспечению радиационной безопасности.

Многолетнее функционирование предприятий энергетики привносит на прилегающие территории дополнительную радиоактивность, элементный состав которой повторяет естественную радиоактивность, аккумулярованную в объектах окружающей среды. Поэтому выделение техногенной радиоактивности на фоне естественной, аккумулярованной в объектах окружающей среды, например, в почве, сложная аналитическая задача и способы ее решения недостаточно разработаны. Нет корректных способов определения относительных вкладов в загрязнение окружающей среды каждого отдельного предприятия, совокупности предприятий, расположенных на ограниченной территории, которые могут быть источниками дополнительной радиоактивности, сбрасываемой в окружающую среду.

Из всей совокупности естественных радионуклидов уран широко используется в промышленности и присутствует практически во всех рудах и в энергетическом топливе, добываемом из недр Земли. Соответственно загрязнение объектов окружающей среды ураном обусловлено комплексом техногенных источников. Однако способы использования в промышленности, источники и пути поступления в окружающую среду изотопов урана, различны. Кроме того, содержание и физико-химические свойства урана в выбросах различного рода техногенных источников также различны, что способствует активному развитию комплекса экспериментальных методов определения концентраций техногенных изотопов урана в натуральных образцах. Службы радиационного контроля различной ведомственной принадлежности используют для определения концентраций изотопов урана, аккумулярованных в объектах окружающей среды, прямой гамма- спектрометрический метод по гамма-излучению дальних дочерних продуктов распада в радиоактивных семействах изотопов урана. Очень часто результаты анализов представляются без проверки сохранения или нарушения радиоактивного равновесия в радиоактивных цепочках распада изотопов урана. Тогда конечная цель таких измерений – оценка доз внешнего и внутреннего облучения населения на обследуемых территориях, становится недостоверной.

Совокупность перечисленных выше причин ставит задачу разработки и практической реализации метода по определению техногенного вклада в загрязнение объектов окружающей среды радионуклидами в ряд актуальных задач обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.

Целью является разработка метода разделения равновесных и неравновесных компонент концентраций изотопов урана в объектах окружающей среды с последующей оценкой их относительных вкладов в эффективную эквивалентную дозу внешнего облучения населения.

Задачи исследования.

1. Разработка физической модели метода разделения концентраций изотопов урана в объектах окружающей среды на равновесные и неравновесные компоненты.
2. Выбор комплекса ядерно-физических методов анализа для экспериментального определения компонент концентраций изотопов урана в натуральных образцах.
3. Создание базы данных по радиоактивности, аккумулированной в поверхностном слое почв, с применением технологии географической информационной системы, на примере обследования территории Томского района.
4. Определение источников естественной природной и техногенной радиоактивности, оценка значимости их относительных вкладов в эффективную эквивалентную дозу внешнего облучения населения.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА:

1. Предложено рассматривать концентрацию изотопов урана в природных объектах как индикатор выбросов техногенной радиоактивности с промышленных предприятий и территорий интенсивной жизнедеятельности в природный комплекс.
2. Впервые предложен новый метод разделения измеренных концентраций изотопов урана, аккумулированных в объектах окружающей среды, на четыре компоненты: естественную равновесную; техногенную равновесную; естественную неравновесную; техногенную неравновесную. Предложенным методом определены относительные вклады компонент концентраций в суммарную радиоактивность и дозовую нагрузку на население.
3. Научно обоснована и разработана концепция использования комплекса ядерно-физических методов анализа для экспериментального определения компонент концентраций изотопов урана в натуральных образцах.
4. Разработана технология получения оценок распределений интегральных запасов техногенных радионуклидов в поверхностном (5 сантиметровом) слое почв с применением ГИС.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ заключается в

- полезности применения метода разделения концентраций изотопов урана на компоненты с использованием комплекса ядерно-физических методов анализа для определения доли техногенной радиоактивности в объекты окружающей среды предприятиями ядерного топливного цикла и предприятиями энергетики, работающими на органическом топливе;

- возможности использования оценок доз внутреннего облучения за счет поступления в организм человека неравновесного урана при оценке вклада естественных и техногенных радионуклидов в суммарный уровень облучения населения;
- применимости метода разделения концентраций изотопов урана на компоненты с использованием комплекса ядерно-физических методов для решения прикладных задач в различных областях науки и техники: геоэкологии, геофизике, радиоэкологии и др.;
- возможности проведения радиационного мониторинга на территориях вблизи радиационно-опасных промышленных объектов с отображением динамики в результатах мониторинга применением ГИС – технологии;
- возможности определения радиационного загрязнения природной среды радиоактивными продуктами при испытаниях ядерных зарядов и аварийных выбросах радиоактивности в окружающую среду, а также возможности ретроспективного и перспективного моделирования степени воздействия радиоактивных загрязнений на биологические объекты и население.

Практическая значимость подтверждена двумя актами внедрения результатов диссертационной работы: низкофоновый полупроводниковый гамма-спектрометр, внедренный в учебный процесс в ТПУ для подготовки специалистов по специальности 330300 “Радиационная безопасность человека и окружающей среды” (акт внедрения от 12.01.2004 г.); компьютерная база данных “Распределение естественной и техногенной радиоактивности в поверхностном слое почв на территории Томского района и г. Томска”, внедренная для использования в Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Администрации Томской области (акт внедрения от 20.01.2004 г.).

ПОЛОЖЕНИЯ ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ:

1. Метод определения концентраций изотопов урана, аккумулированных в объектах окружающей среды, с разделением их на четыре компоненты: естественную равновесную; техногенную равновесную; естественную неравновесную; техногенную неравновесную. В этом случае, при последующей обработке результатов анализа в пакете программного обеспечения географической информационной системы (ГИС), возможно не только дифференцирование источников техногенной радиоактивности на обследуемых территориях, но и идентификация их по географическому признаку с оценкой относительных вкладов в суммарную радиоактивность.
2. Способ управления многоуровневой базой данных по радиоактивности, аккумулированной в объектах окружающей среды, работающей в интерактивном режиме и позволяющий оперативно моделировать эффективную эквивалентную дозу внешнего облучения населения на обследуемых территориях с точностью до погрешности экспериментальных результатов.
3. Комплексный метод экспериментальных исследований натуральных образцов, обеспечивающий выделение неравновесной компоненты концентрации

изотопов урана в объектах окружающей среды на фоне равновесной компоненты, основанный на одновременном применении трех ядерно-физических методов: нейтронно-активационного; метода запаздывающих нейтронов; прямой инструментальной гамма-спектрометрии натуральных образцов.

4. Способ ранжирования относительных вкладов от разных источников радиоактивности естественного и техногенного происхождения в эффективную эквивалентную дозу внешнего облучения населения на обследованных территориях, позволяющий минимизировать размеры санитарно-защитных зон вокруг потенциально опасных объектов.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА.

Личный вклад заключается в постановке задач теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы, в разработке концепции метода разделения концентраций изотопов урана на четыре компоненты. Экспериментальные результаты, представленные в диссертации, получены им лично. Диссертант рассчитывал изоповерхностные распределения удельных активностей радионуклидов, производил идентификацию источников привнесенной техногенной радиоактивности, проводил расчеты эффективных эквивалентных дозовых полей на обследованных территориях, определял вклады отдельных компонент активностей естественной и техногенной радиоактивности в суммарную дозовую нагрузку на население.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международном симпозиуме “Контроль и реабилитация окружающей среды” (Томск, 1998); научно-практической конференции молодежи «Проблемы региональной экологии» (Томск, 1998); 4^{ой} и 5^й областных международных научно-практических конференциях "Современные техника и технологии" (Томск, 1998, 1999); 3^й Всесоюзной конференции “Экоаналитика-98” (Краснодар, 1998); научно-методической конференции “Образовательные технологии: состояние и перспективы” (Томск, 1999); 3^м международном научном симпозиуме «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 1999); Научно-практической конференции НИО-5, РФЯЦ-ВНИИТФ (Снежинск, 2000); Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: экология, надежность, безопасность” (Томск, 2001); Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы технологий атомной промышленности» (Томск, 2001); 1^{ой} и 2^й научно-технических конференциях «Научно-инновационное сотрудничество» (Москва, 2002, 2003).

ПУБЛИКАЦИИ.

По теме диссертации опубликовано 21 печатная работа: статей – 8; докладов (тезисов) на конференциях – 13.

ОБЪЁМ И СТРУКТУРА.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, заключения, и списка литературы, изложенных на 169 страницах машинописного

текста. Содержит 16 рисунков, 25 таблиц, 49 страниц приложения и список литературы (154 наименования).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследований, научная новизна полученных результатов, приведены практическая значимость, защищаемые положения и личный вклад автора, структура диссертационной работы.

В первой главе проведен обзор и анализ представленной в литературе информации о распределении естественной и техногенной радиоактивности. По результатам анализа установлено, что такое понятие в радиозэкологии, как "техногенные радионуклиды", относится только к искусственным радионуклидам, которые, в основном, образуются и аккумулируются в объектах окружающей среды в результате атмосферного переноса штатных и аварийных выбросов с предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), а также при испытаниях ядерного оружия. Увеличение радиационного фона за счет загрязнения территорий радионуклидами естественного происхождения трактуется как технологическое повышение естественного радиационного фона. Однако, естественные радионуклиды (ЕРН), привносимые в окружающую среду с золошлаковыми выбросами из труб предприятий угольной энергетики, с удобрениями при возделывании сельскохозяйственных культур и в некоторых других случаях, следует относить к техногенному загрязнению окружающей среды, поскольку дополнительное облучение населения ЕРН нежелательно. Если определить концентрацию дополнительной радиоактивности, аккумулированной в объектах окружающей среды, например, в почве, на фоне ее естественной концентрации, то можно будет контролировать дозовый уровень дополнительного облучения населения, управлять источниками, которые его создают и проводить санитарно-гигиенические мероприятия для реабилитации загрязненных территорий, оздоровления населения.

Для решения этой задачи нет достаточно надежных методов определения радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды ЕРН на фоне их естественной радиоактивности. Существуют методы, основанные на обработке информации, получаемой при лабораторных анализах, по которым можно получить удовлетворительные результаты. Но эти результаты могут быть накоплены долговременным радиационным мониторингом территорий. К настоящему времени накоплен большой объем сведений о распределениях, концентрациях и миграции радионуклидов в почвах различных типов. Несмотря на это обстоятельство, не разработано единой, логически завершенной концепции исследования радиационной обстановки вокруг комплекса источников радиоактивного загрязнения окружающей среды (тепловые электростанции, предприятия ЯТЦ, аграрно-промышленный комплекс и др.) и определения относительных вкладов каждого источника в загрязнение окружающей среды. Нами разработан метод, реализующий указанную концепцию.

С целью разработки метода определения концентраций техногенных и естественных изотопов урана в почвах, доказательства адекватности метода,

выбрана для исследования территория Томского района, на которой располагается различные предприятия энергетической промышленности, являющиеся источниками ЕРН и искусственных радионуклидов. В диссертационной работе представлены географические и индустриальные характеристики района, обобщены материалы по непрерывным, систематическим наблюдениям за уровнями радиоактивного загрязнения объектов природной среды на территории Томского района различными ведомственными и экологическими службами г. Томска за период с 1993 по 2000 г.г. Определены основные источники локальных и глобальных радиоактивных выпадений из атмосферы на территорию. Рассмотрены вопросы выбора группы радиоактивных элементов в качестве индикаторов локального радиоактивного загрязнения местности от функционирующих предприятий в Томском районе. При этом основной акцент сделан на уран.

Химический элемент уран выбран в качестве индикатора радиоактивного загрязнения территории неслучайно. Два изотопа урана присутствуют в природных объектах практически повсеместно в разных по количеству естественных фоновых значениях. И, если изотопы урана в процессе сложного радиоактивного распада находятся в вековом равновесии с дочерними продуктами распада, то разделенные радиохимическими методами в технологических процессах предприятий ЯТЦ или за счет природных геохимических, биохимических процессов, изотопы урана становятся неравновесными и прямым гамма-спектрометрическим измерением их радиоактивность не обнаруживается. На рисунке (1) показана схема распада неравновесных изотопов урана, лишенных дочерних продуктов распада. Пунктирными вертикальными линиями указаны границы, справа от которых радиоактивное равновесие практически не восстанавливается в течение многих тысячелетий. Соответственно, энергетический спектр гамма-излучения неравновесных изотопов урана радикально отличается от спектра гамма-излучения равновесных изотопов. Этот факт и определяет различия в методах измерения активностей и определения концентраций равновесных и неравновесных компонент изотопов урана, аккумулированных в объектах окружающей среды.

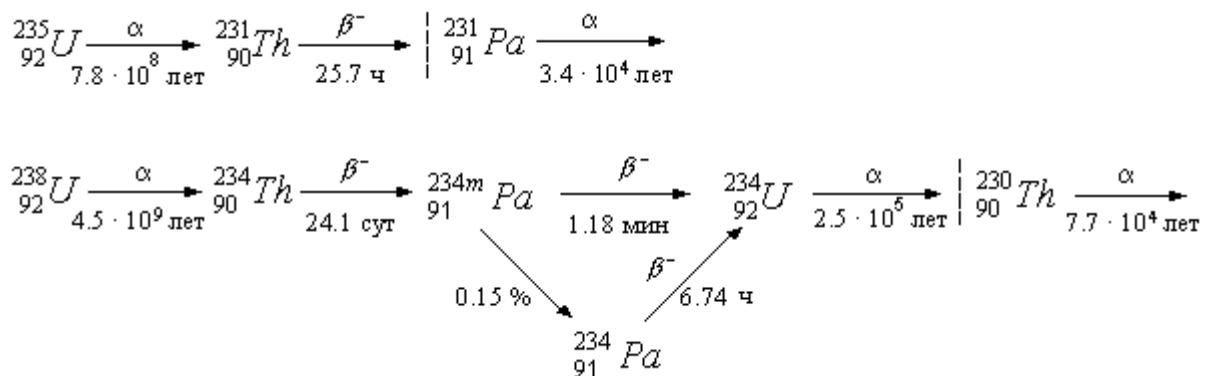


Рис. 1. Цепочки распада рядов ${}^{235}\text{U}$ и ${}^{238}\text{U}$.

При сжигании органического топлива в золопылевых выбросах из труб и в золоотвалах вековое равновесие в радиоактивных рядах изотопов урана не

нарушается. Поэтому выбросы, выпавшие из атмосферы на поверхность почвы, дополняют ее естественную радиоактивность, что затрудняет количественное определение доли техногенных компонент концентраций изотопов урана.

Все перечисленные факты определили необходимость разработки нового метода разделения концентраций изотопов урана, аккумулярованных в объектах окружающей среды, на четыре компоненты: естественную равновесную ($C_n^{U^{235}}$, $C_n^{U^{238}}$), техногенную равновесную ($C_{тр}^{U^{235}}$, $C_{тр}^{U^{238}}$), естественную неравновесную ($C_{нн}^{U^{235}}$, $C_{нн}^{U^{238}}$), техногенную неравновесную ($C_{тн}^{U^{235}}$, $C_{тн}^{U^{238}}$). Метод реализуется комплексным анализом измерительных образцов, приготовленных из натуральных проб, отобранных на объектах окружающей среды. В качестве средств реализации выбраны следующие ядерно-физические методы анализа: инструментальный гамма-спектрометрический, нейтронно-активационный анализ и метод запаздывающих нейтронов с последующей компьютерной обработкой результатов в пакете программного обеспечения ESRI ArcView GIS 3.2a.

В настоящей работе из всей совокупности объектов окружающей среды, определяющих радиационную обстановку и дозовые нагрузки на население, выбрана почва. Известно, что почва служит основным "депо" долгоживущих радионуклидов, в котором они пребывают в течение более длительного периода времени, чем в других звеньях биологических цепочек. Отбор натуральных проб из поверхностного слоя почв осуществлен согласно "Инструкции по отбору проб почвы при радиационном обследовании загрязненности местности", утвержденной Росгидрометом в 1987 г., с помощью стандартного стального пробоотборника, выполненного в виде цилиндра диаметром 120 мм и высотой 50 мм. Измерительные образцы, поступающие на анализ, предварительно подготовлены по стандартной методике.

Прямой инструментальный гамма-спектрометрический метод при измерениях с экспозицией два и более часов, позволяет определить активность и концентрацию только равновесной компоненты ^{238}U по гамма-радиоактивности дальних дочерних продуктов распада ^{214}Pb и ^{214}Bi . При этом всегда оговаривают, что измерения производят при условии сохранения векового радиоактивного равновесия между родоначальником ряда и дочерним радионуклидом ^{226}Ra .

^{235}U – в объектах окружающей среды практически невозможно определить прямым инструментальным гамма-спектрометрическим методом из-за интерференции основной высокоинтенсивной гамма-линии 185,71 кэВ его первого дочернего продукта ^{231}Th , с энергетической линией 185,97 кэВ дочернего радионуклида ^{226}Ra из ряда ^{238}U .

Для определения неравновесных компонент концентраций изотопов урана вначале экспериментально определяем суммарные концентрации изотопов урана ($C_{\Sigma}^{U^{235}}$ и $C_{\Sigma}^{U^{238}}$) в образце почвы по индикации родоначальников рядов ^{235}U и ^{238}U . Для этого используем способность ядер атомов ^{235}U делиться, главным образом, тепловыми нейтронами, а ядра атомов ^{238}U – быстрыми, имеющими кинетическую энергию выше порогового значения, равного 1,4 МэВ.

Для определения концентрации ^{235}U в образце нами использован метод

запаздывающих нейтронов. Облучение образцов произведено в канале реактора ИРТ-2 (НИИ ядерной физики ТПУ). Плотность потока нейтронов в канале $\sim 2,5 \cdot 10^{13} \frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$. Измерения потока запаздывающих нейтронов от облученных образцов проведены на установке МЗН-3, с помощью которой концентрацию ^{235}U определяют по интегральному во времени счету импульсов от 20 детекторов нейтронов СНМ-11. Предел обнаружения ^{235}U МЗН значительно ниже, чем у традиционных методов анализа, и равен по активности ^{235}U - 0,02 Бк, при навеске образца почвы 10 г (0,1 Бк/кг). Относительная погрешность 2-5 %. МЗН выгодно отличается от других методов тем, что он является высоко-экспрессным методом и эффективным для массовых анализов образцов, изготовленных из натуральных проб. Анализ отдельного образца осуществляется в течение 2,5 мин (60 с облучение, 30 с выдержка и 60 с измерение).

При облучении образца быстрыми нейтронами делится и ^{232}Th , что заметно усложняет определение концентраций ^{238}U методом запаздывающих нейтронов. В этом случае происходит регистрация детектором запаздывающих нейтронов не только от осколков деления ^{238}U , но и от ^{232}Th . Периоды полураспадов ядер-предшественников запаздывающих нейтронов для урана и тория очень близки по величине. Это не позволяет без взаимных помех идентифицировать уран и торий в их смесях по энергетическим и временным характеристикам запаздывающих нейтронов. Поэтому, для определения концентраций ^{238}U в образцах, был использован инструментальный нейтронно-активационный анализ. В анализе используется активация ядер ^{238}U в ядерной реакции (n, γ) с последующей гамма-спектрометрией наведенной активности. Воспроизводимость результатов анализов зависит от статистической погрешности и составляет 5-20 %. Предел определения ^{238}U – 2,5 Бк/кг в геологических объектах.

Таким образом, предлагаемый метод применим для исследования радиационной обстановки не только на территориях вокруг предприятий ЯТЦ, но и на других территориях с целью определения природных и техногенных источников равновесных и неравновесных изотопов урана, и выяснения источников их аккумуляции в объектах окружающей среды.

Во второй главе изложены современные методы и средства для исследования радиоактивности объектов окружающей среды, использованные для достижения цели, поставленной в работе.

Показаны пути повышения чувствительности и избирательности гамма-спектрометрических измерений от образцов с низкой активностью.

Для определения равновесных компонент концентраций изотопов урана и других радионуклидов в образцах почв был создан полупроводниковый гамма-спектрометр, в состав которого входят:

- германиевый детектор типа ДГДК-100В с чувствительностью 100 мм^2 ;
- электронный тракт, состоящий из набора блоков усилителей и источников питания стандарта "ВЕКТОР";
- комбинированный защитный экран - низкофоновая камера (НФК);
- вычислительный комплекс IN-1200 с мультиканальными амплитудными

анализаторами стандарта "NIM" (GROUPE INTERTECHNIQUE, Франция).

Разработанный спектрометр аттестован ВНИИФТРИ Госстандарта России. Энергетическое разрешение спектрометра по линии 662 кэВ (^{137}Cs) составляет 2,5 кэВ, минимальная измеряемая активность (МИА), определенная по результату набора спектра в течение 2 часов в геометрии Маринелли гамма-линии радионуклида ^{40}K составляет 3 Бк, по гамма-линии радионуклида ^{137}Cs – 2 Бк [10]. Степень ослабления фона – 227 раз по гамма-линии радионуклида ^{40}K с энергией 1460,86 кэВ и в 55 раз по гамма-линии радионуклида ^{212}Pb с энергией 240,13 кэВ (из ряда ^{232}Th). Аппаратурные спектры обрабатывали с помощью компьютерной программы NUCL [4].

С целью визуализации поверхностных распределений техногенных и естественных радионуклидов по обследованной территории использована географическая информационная система, электронная карта г. Томска и Томского района.

ГИС технология объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации географического поверхностного распределения, которые обеспечивает электронная карта. Предложена методология создания базы данных радиоэкологической информации в программной среде ГИС с использованием интерактивной электронной карты [7, 8]. База данных содержит не только электронные таблицы, но и поверхностные распределения (растровые темы) исследуемых параметров. Комбинированная база точечных и растровых данных позволяет оперативно производить расчеты по определению равновесных и неравновесных компонент концентраций или активностей изотопов урана.

Моделирование поверхностного распределения удельной активности радионуклидов по точечным данным произведено с использованием метода IDW-интерполяции (метод средневзвешенных средних) для каждой промежуточной точки отображаемого распределения, в которой весовой коэффициент вычисляется, как величина, обратно пропорциональная расстоянию от аналитических точек до точки интерполяции. Алгоритм IDW-интерполяции применяется к весьма неравномерно изменяющимся исходным данным. Для таких данных возможно вычисление локального значения, которое не выводится статистически из исходных величин, но отражает закономерность размещения данных, находящихся вблизи исходных значений. Это позволяет проявлять на электронной карте источники загрязнения почв дополнительной радиоактивностью на фоне излучений от естественных радионуклидов.

В третьей главе представлена методика определения фонового уровня естественной радиоактивности от радионуклидов ^{40}K , ^{232}Th и ^{238}U , а также методика определения уровней глобального и локальных выпадений на подстилающие поверхности территорий долгоживущего радионуклида техногенного происхождения ^{137}Cs . Обе методики разработаны с использованием ГИС технологий и многомерной статистической обработки данных – сингулярного разложения. В основе методик – статистическая обработка

поверхностных распределений удельной активности радионуклидов и анализа изотопных отношений (трассеров) долгоживущих радионуклидов.

В результате использования методик определены территории с фоновым уровнем радиоактивности, на которых поверхностная и удельная активности обусловлены только естественными радионуклидами – ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , а также дочерними продуктами их распада. Кроме того, одновременно определена активность искусственного радионуклида ^{137}Cs , выпадающего из атмосферы на подстилающие территории в результате глобального переноса в верхних слоях атмосферы. Эти территории расположены в южном и юго-западном направлениях от г. Томска (рисунок 2).

Для выбора образцов почв, используемых в дальнейших расчетах в качестве реперных, по которым определялся фоновый уровень радиоактивности, были установлены следующие критерии:

- выбор территории для отбора реперных образцов должен производиться в наименее вероятном направлении атмосферного переноса радионуклидов, согласно многолетней среднегодовой розе ветров;
- в отобранных образцах почв должно сохраняться радиоактивное равновесие в рядах урана и тория;
- после проведения гамма-спектрометрического анализа должна производиться проверка результата на нарушение изотопного отношения концентраций ($^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}=3-5$);
- удельная массовая активность техногенного радионуклида ^{137}Cs должна быть на уровне глобальных выпадений из атмосферы.

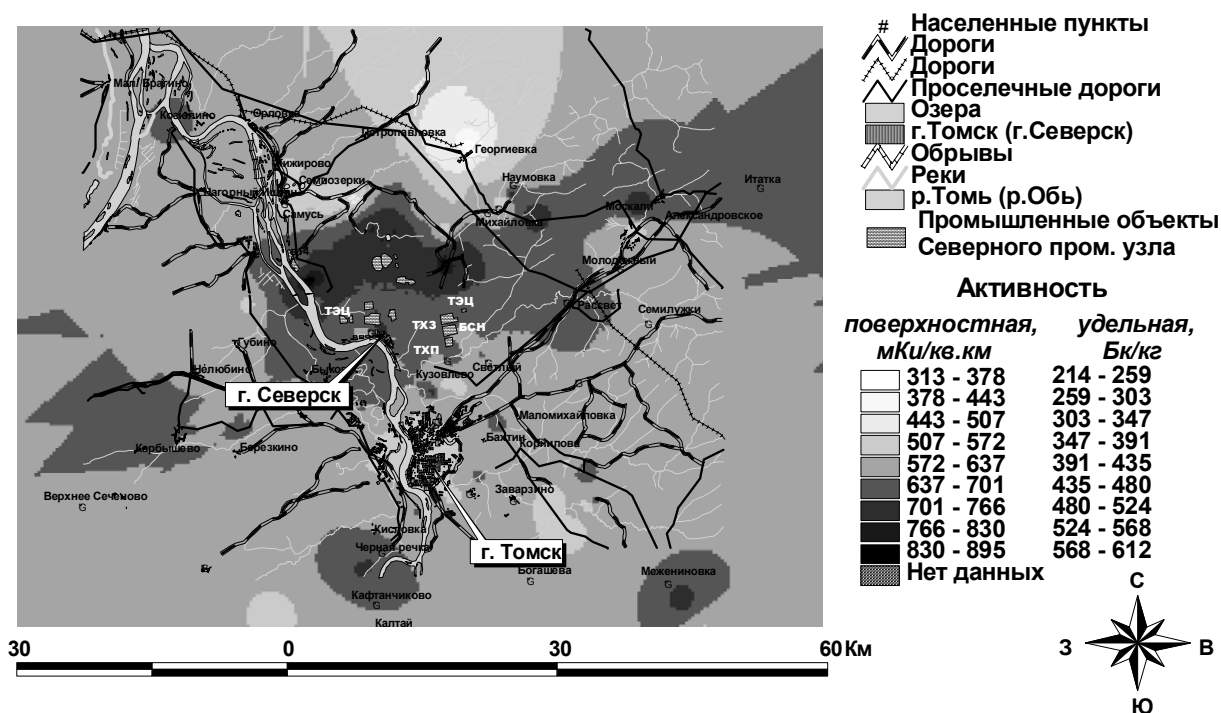


Рис. 2. Суммарная радиоактивность почвы на территории Томского района.

При этом важную роль играет отображение изоповерхностных распределений с использованием электронных карт в ГИС. Это позволяет не только проводить визуальный анализ поверхностной радиоактивности, но и численно оценивать природную фоновую радиоактивность на "реперных" территориях.

Кроме того, определив концентрацию изотопа ^{235}U в реперных образцах, необходимо провести проверку на нарушение природного изотопного отношения концентраций $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}=139,7$.

После определения фоновых уровней удельных поверхностных активностей для каждого радионуклида вычисляем привнесенную в почву техногенную радиоактивность.

Кроме оценки природного равновесия изотопные отношения существенно облегчают задачу по выделению из всей совокупности исследуемой территории участков с технологически повышенным естественным радиационным фоном. Как известно, важнейшим оценочным показателем радиоактивности почв является отношение концентраций тория и урана (Th/U), которое находится на уровне 3-5 для большинства генетических типов почв различных природно-климатических зон, неподверженных интенсивному техногенному воздействию. Результаты оценки торий-уранового отношения в Томском районе представлены на рисунке 3. Здесь отношения взяты по равновесному урану. В распределении явно выделяется след с повышенным содержанием урана, относительно тория, который распространяется от г.Томска в северо-восточном направлении по средней многолетней "розе ветров". Среднее значение изотопного отношения в локализованном следе составляет $\sim 2,6$. Максимальное нарушение изотопного отношения (1-2) наблюдается в районе г. Томска и Северного промышленного узла (СПУ).

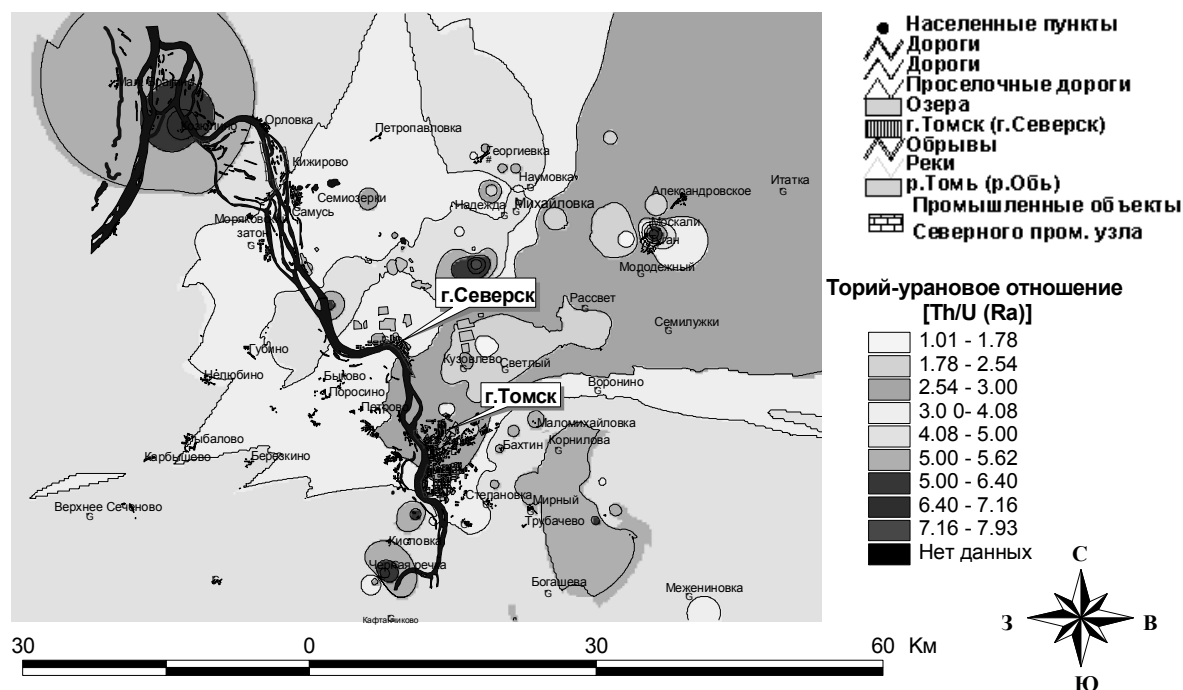


Рис.3. Изотопное отношение $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U} (^{226}\text{Ra})$.

В выбросах предприятий энергетики, сжигающих органическое топливо, торий-урановое отношение, в среднем, составляет менее 3 (0,9-1,7). Из литературных источников известно, что годовое привнесение урана в почву в 1,5 раза выше, чем тория. Следовательно, выбросы, аккумулированные в поверхностном слое почв, нарушают природное соотношение между торием и ураном. Торий-урановое отношение достоверно указало на географическое расположение источников распространения дополнительной активности тория и равновесного урана. Это предприятия энергетики, работающие на органическом топливе г.Томска и СПУ. На карте локализованы геологические аномалии ($\text{Th}/\text{U} > 5$), обусловленные выходами месторождений монацитовых песков с высоким содержанием тория. Виден перенос монацитов паводковыми водами реки Томь с отложением по берегам.

Представлена последовательность расчета для определения концентраций равновесных естественных, техногенных и неравновесных компонент концентраций изотопов урана в поверхностных грунтах, с использованием экспериментальных данных и изотопных отношений.

Таким образом, гамма-спектрометрическим методом определяем концентрацию ^{238}U ($1/\text{см}^3$):

$$C_{n,mp}^{U^{238}} = C_n^{U^{238}} + C_{mp}^{U^{238}}, \quad (1)$$

Здесь: $C_{n,mp}^{U^{238}}$ – суммарная концентрация природного и техногенного равновесного изотопа ^{238}U ;

Методом запаздывающих нейтронов определяем общую концентрацию ^{235}U в образце:

$$C_{\Sigma}^{U^{235}} = C_n^{U^{235}} + C_{mp}^{U^{235}} + C_n^{U^{235}}, \quad (2)$$

Предварительно полагаем, что:

$$C_n^{U^{235}} = C_{nn}^{U^{235}} + C_{mn}^{U^{235}}, \quad (3)$$

где $C_{nn}^{U^{235}}, C_{mn}^{U^{235}}$ – природная и техногенная неравновесные компоненты концентраций изотопов урана, соответственно. По ядерно-физическим характеристикам неравновесные природная и техногенная компоненты концентраций изотопов урана практически ничем не отличаются. Поэтому их раздельное определение в поверхностном слое почв с последующим определением географического расположения источников осуществлено с помощью анализа закономерностей распределения удельной поверхностной активности по территории обследования. Нейтронно-активационным анализом определяем общую концентрацию ^{238}U в образцах:

$$C_{\Sigma}^{U^{238}} = C_n^{U^{238}} + C_{mp}^{U^{238}} + C_n^{U^{238}}, \quad (4)$$

Компоненты концентраций $C_{\Sigma}^{U^{235}}, C_{\Sigma}^{U^{238}}, C_{n,mp}^{U^{238}}$ определяем инструментальными методами. Неравновесные компоненты концентраций определяем расчетным способом с использованием природного изотопного отношения.

Неравновесную компоненту концентрации ^{238}U определяем по соотношению (4):

$$C_n^{U^{238}} = C_{\Sigma}^{U^{238}} - C_{mp}^{U^{238}} - C_n^{U^{238}} = C_{\Sigma}^{U^{238}} - C_{n,mp}^{U^{238}}, \quad (5)$$

Затем вычисляем техногенную равновесную компоненту концентрации вычитанием результата, определенного по соотношению (5), из результата, определенного по соотношению (1):

$$C_{mp}^{U^{238}} = C_{n,mp}^{U^{238}} - \bar{C}_n^{U^{238}}, \quad (6)$$

Для ^{235}U известно только $C_{\Sigma}^{U^{235}}$, но, используя природное изотопное отношение, которое составляет $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}=137,9$, вычисляем $C_{n,mp}^{U^{235}}$:

$$C_{n,mp}^{U^{235}} = \frac{C_{n,mp}^{U^{238}}}{137,9}, \quad (7)$$

С помощью соотношению (2) определяем неравновесную компоненту концентрации ^{235}U :

$$C_n^{U^{235}} = C_{\Sigma}^{U^{235}} - C_{mp}^{U^{235}} - C_n^{U^{235}} = C_{\Sigma}^{U^{235}} - C_{n,mp}^{U^{235}} = C_{\Sigma}^{U^{235}} - \frac{C_{n,mp}^{U^{238}}}{137,9}, \quad (8)$$

Далее определяем техногенную равновесную компоненту концентрации вычитанием результата, определенного по соотношению (8), из результата, определенного по соотношению (7):

$$C_{mp}^{U^{235}} = C_{n,mp}^{U^{235}} - \bar{C}_n^{U^{235}}, \quad (9)$$

Таким образом, с использованием разработанной методики определены относительные вклады четырех компонент концентраций в суммарную концентрацию изотопов урана на обследованной территории (таблица 1), которые на площадях с максимальной концентрацией, составляют:

1. Природная равновесная естественная: ^{235}U – 49 %; ^{238}U – 51%;
2. Природная равновесная техногенная: ^{235}U – 14 %; ^{238}U – 14 %;
3. Неравновесная: ^{235}U – 37 %;
4. Неравновесная: ^{238}U – 35 %.

Таблица 1.

Средневзвешенные значения по Томскому району относительных вкладов компонент концентраций в суммарную концентрацию изотопов урана.

Изотоп	Вклад, %				
	природный			техногенный	
	естественный	неравновесный	монацитовый	равновесный	неравновесный
²³⁵ U	49	37 (32 [*])	(56 [*])	14 (12 [*])	—
	86		0	14 (12 [*])	
	88 [*]				
²³⁸ U	51	35 (31 [*])	(57 [*])	14 (12 [*])	—
	86 (88 [*])		0	14 (12 [*])	
	88 [*]				

* – Значения получены на территориях, где торий-урановое отношение < 3 , т.е. изменено в сторону обогащения почвы ураном относительно тория (рисунок 2).

Техногенные неравновесные компоненты концентраций изотопов урана по поверхностным распределениям и изотопным отношениям не обнаружены, поскольку по географическому признаку (методом IDW-интерполяции) СХК на электронной карте не определен, как источник загрязнения прилегающих территорий (рисунок 4-5). Кроме того, наблюдается антикорреляция цезия "локального" с неравновесными компонентами концентраций изотопов урана ($r_{235}=-0,14$, $r_{238}=-0,11$), что еще раз подтверждает нетехногенный характер обнаруженных неравновесных компонент концентраций ^{235}U и ^{238}U . Следовательно, существенных аварийных инцидентов с выбросами урановой радиоактивности на радиохимическом производстве, на реакторах и на других радиационно-опасных производствах СХК за период его функционирования не было. Невысокое значение коэффициента парной корреляции неравновесного ^{235}U и ^{238}U ($r=0,46$), подтверждает неоднородность процессов миграции равновесных компонент концентрации изотопов урана и процессов образования неравновесных компонент их активностей в почвах.

В местах обнаружения залежей монацитовых песков вклад природной радиоактивности в суммарную поверхностную активность увеличивается на несколько Беккерелей. Вклады же привнесенных техногенной равновесной и природной неравновесной компонент активностей изотопов урана уменьшаются (таблица 2).

Таблица 2.

Статистические параметры компонент поверхностных активностей изотопов урана в местах локализации монацитовых месторождений

Р/н	Радиоактивность, мКи/км ²				
	природная			техногенная	
	естественная	монацитов	неравновесная	равновесная	неравновесная
^{235}U	1,60±0,45	2,08±0,64	1,22±0,45	0,45±0,22	Не обнаружено
^{238}U	22±6	45±12	24±10	10±4	Не обнаружено

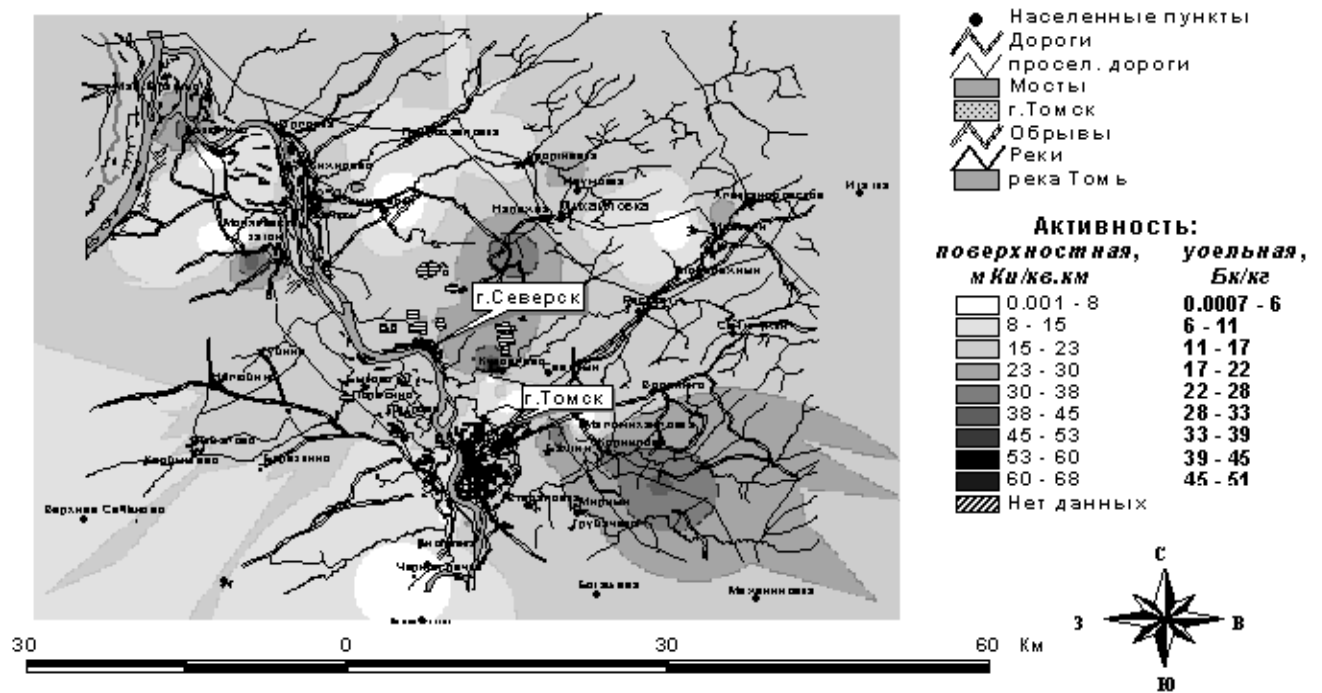


Рис.4. Распределение неравновесной компоненты активности изотопа ^{238}U .

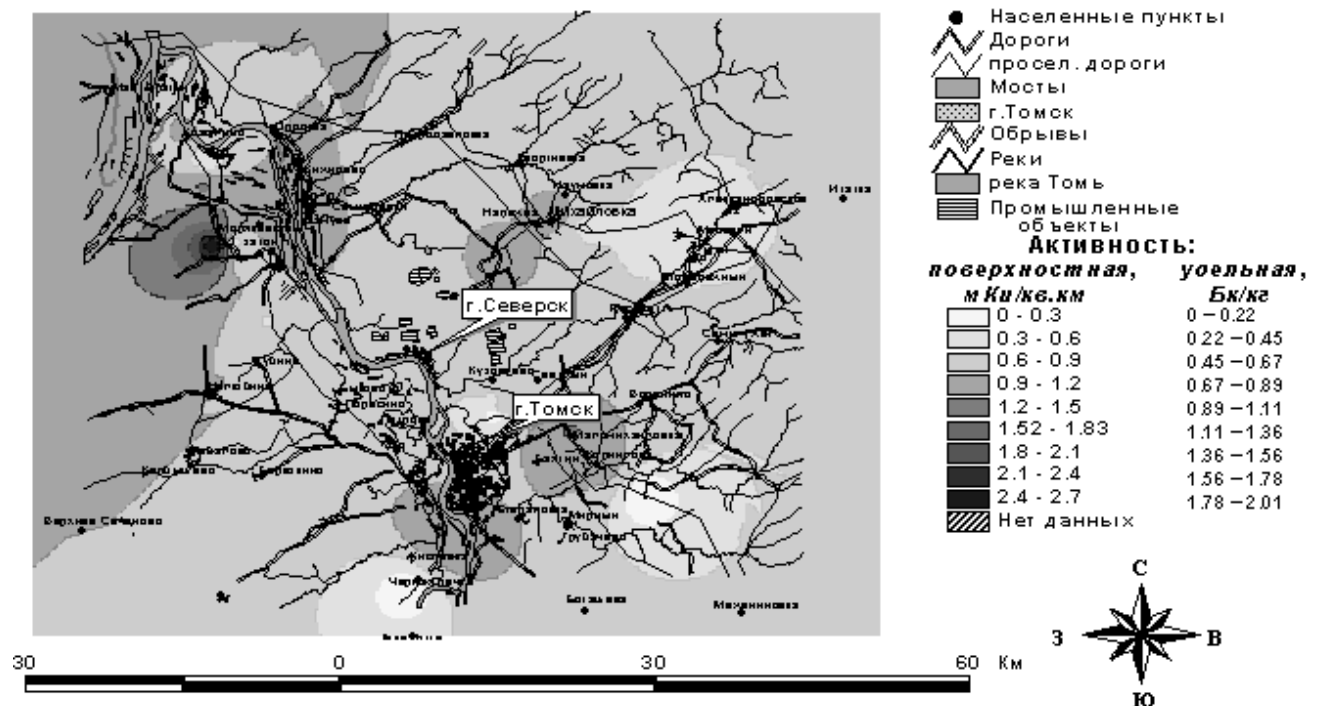


Рис.5. Распределение неравновесной компоненты активности изотопа ^{235}U .

В четвертой главе проведены расчеты доз внешнего облучения населения от природных и техногенных радионуклидов. Результаты расчетов представлены в виде таблиц и дозовых полей.

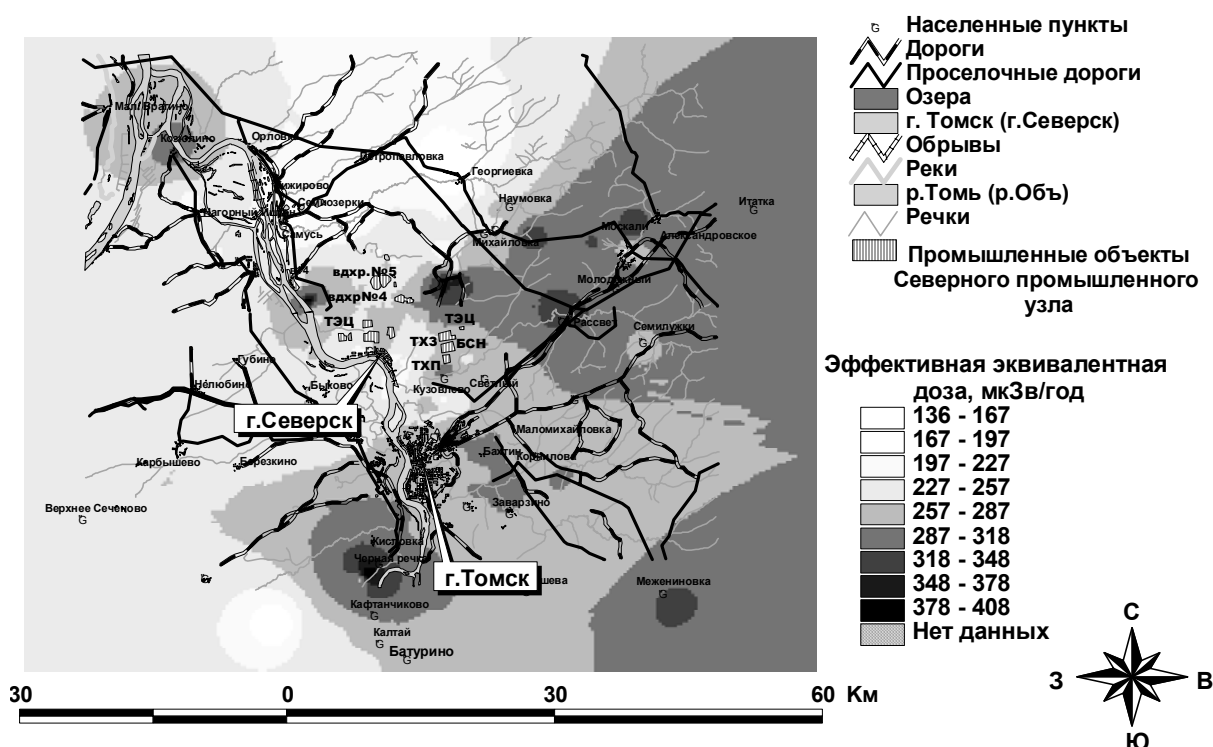


Рис.6. Распределение суммарной эффективной эквивалентной дозы внешнего облучения населения на территории Томского района, обусловленное радионуклидами природного и техногенного происхождения, аккумулированными в поверхностном слое почв.

Оценки фоновых уровней радиоактивности от каждого исследуемого радионуклида позволили определить содержание в почве техногенных компонент концентрации. В итоге представилась возможность рассчитать эффективные эквивалентные дозы от радионуклидов естественного и техногенного происхождения (таблица 3.). Кроме того, определены относительные вклады радионуклидов природного и техногенного происхождения в суммарную годовую эффективную эквивалентную дозу внешнего облучения населения.

Вклад в общую эффективную эквивалентную дозу внешнего облучения населения от радионуклида ^{137}Cs глобального и локального происхождения незначителен и, в среднем, равен 0,38 %. Наибольший вклад в дозу внешнего облучения вносят естественные радионуклиды, около 87 %. Эффективная эквивалентная доза от техногенных радионуклидов в сумме составляет 41 мкЗв/год, что соответствует относительному вкладу этих радионуклидов в суммарную дозу величиной, равной 13 %. Средневзвешенная по территории Томского района эффективная эквивалентная доза внешнего облучения от радионуклидов, аккумулированных в поверхностном слое почв, составляет $270 \pm 20\%$ мкЗв/год, при этом среднее значение мощности эквивалентной дозы не более $\sim 0,031$ мкЗв/час. На этом фоне минимальная и максимальная эффективные эквивалентные дозы составляют, соответственно, 136 и 408 мкЗв/год (рисунок 6).

Анализируя результаты расчетов, представленные в таблице 3, можно сделать вывод, что основной вклад в суммарную эффективную эквивалентную дозу вносит радионуклид ^{232}Th . В дозу внешнего облучения населения от ^{238}U дает вклад только равновесное радиоактивное семейство, активность которого определяется по равновесной активности дочернего продукта распада - ^{226}Ra .

Таблица 3.

Дозовые нагрузки для населения Томского района

Радионуклиды			Эффективная эквивалентная доза, мкЗв/год *	Вклад в суммарную дозу, %	
Техногенные	Глобальный	^{137}Cs	$0,8 \pm 0,2$	0,3	13
	Локальные	^{137}Cs	$0,5 \pm 0,2$	0,2	
		^{40}K	13 ± 4	4	
		^{232}Th	21 ± 6	6,5	
		^{238}U	$6,0 \pm 0,5$	1,9	
		^{235}U	$0,28 \pm 0,09$	0,09	
Природные	Естественные (фоновые)	^{40}K	102 ± 5	31	87
		^{232}Th	100 ± 15	30,8	
		^{238}U	43 ± 12	14	
		$^{235}\text{U}_{\text{п}}^{**}$	$2,2 \pm 0,4$	0,67	
		$^{235}\text{U}_{\text{н}}^{\#}$	$2,0 \pm 0,4$	0,61	
	Геологических аномалий $^{\#\#}$	^{235}U	$0,6 \pm 0,15$	0,185	
		^{238}U	12 ± 4	3,7	
		^{232}Th	21 ± 6	6,5	

* - средневзвешенное по всей территории Томского района; ** - естественный равновесный изотоп; # - естественный неравновесный изотоп; ## - обусловлено монацитовыми песками.

Наибольшие значения суммарной эффективной эквивалентной дозы облучения населения были получены в местах максимальной локализации месторождений монацитовых песков, (318-480) мкЗв/год. В северо-восточной части территории Томского района, где наблюдаются повышенные содержания техногенных радионуклидов и ЕРН, эффективная эквивалентная доза меняется в пределах (318-348) мкЗв/год, что в 1,2-1,3 раза выше среднего уровня дозовых нагрузок на население, проживающее в Томском районе.

Определены абсолютные запасы радионуклидов, содержащихся в 5 см слое почв на территории Томского района (таблица 4). Полный запас радиоактивности в 5 см слое почв на территории Томского района составил 7200 Ки. Доля локальных выпадений ^{137}Cs , обусловленных выбросами СХК, составила 30 Ки.

Таблица 4.

Абсолютный запас радиоактивности в 5 см слое почв на территории Томского района, Ки

Район	^{40}K	^{137}Cs	^{232}Th	^{235}U	^{238}U	Итого
г.Томск	72	1,3	5,6	0,24	5,1	84,24
Томский район *	6040	270	410	20 ($10^{\#}$)	460 ($290^{\#}$)	7200 ($7020^{\#}$)

* - при условии, что в лесных массивах радиоактивность почвы такая же, как и на целине;

- значения рассчитаны для равновесных компонент активностей изотопов урана.

Установлено, что источниками неравновесных компонент концентрации изотопов урана являются гидрогеохимические процессы и биохимические процессы в природе, приводящие к нарушению радиоактивного равновесия в радиоактивных рядах и к изменению природного изотопного отношения.

Значимых выбросов неравновесных изотопов урана в процессе радиохимической переработки на предприятиях СХК не обнаружено. Это показано с помощью поверхностных распределений концентраций неравновесных изотопов урана и территориальным распределением изотопного отношения (рисунок 4-5).

В таблице (5) представлены источники радиоактивности, формирующие внешнее облучение населения Томского района, идентифицированные с помощью ГИС-технологии обработкой экспериментальных данных, полученных комплексным ядерно-физическим методом анализа компонент концентраций (техногенных и природных) радионуклидов в натуральных образцах.

Таблица 5.

Уровни облучения, обусловленные источниками радиоактивности природного и техногенного происхождения.

Источники радиоактивности	Годовая эффективная эквивалентная доза облучения, мкЗв/год	Вклад в суммарную дозу внешнего облучения, %
Глобальные выпадения *	0,8	0,3
Предприятия ЯТЦ (СХК)	0,4	0,2
ТЭЦ, ГРЭС, Аграрно-промышленный комплекс	40,3	12,5
Природа #	283	87

* - за счет испытаний ядерного оружия; # - с учетом геологических аномалий (месторождения монацитовых песков с выходами на поверхность).

Анализ результатов, представленных в таблице, дает основание полагать, что основными источниками техногенной радиоактивности и, соответственно, техногенного облучения населения являются энергетические предприятия г. Томска, сжигающие органическое топливо, и аграрно-промышленный комплекс Томского района. Дозовая нагрузка, обусловленная внешним облучением от радиоактивности, сбрасываемой предприятиями СХК, ничтожно мала и, в целом, в 30-700 раз меньше дозы облучения от природной радиоактивности.

Разработаны рекомендации по использованию метода разделения на компоненты концентраций изотопов урана техногенного происхождения в районах дислокации АЭС и предприятий ядерного топливного цикла, находящихся в кусте с другими индустриальными, сельскохозяйственными, коммунальными и прочими промышленными предприятиями.

В заключении по диссертационной работе подведены итоги проведенных теоретических и экспериментальных исследований, сформулированы основные результаты и выводы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ:

1. Теоретически обоснована и разработана концепция использования комплекса ядерно-физических методов анализа для экспериментального

определения равновесных и неравновесных компонент концентраций изотопов урана в натуральных образцах. На ее основе проведено экспериментальное исследование концентраций изотопов урана в поверхностном слое почв, 5-и сантиметровой толщины, на территории Томского района и города Томска и показано, что поверхностное распределение концентраций неравномерно и обусловлено, главным образом, техногенными причинами.

2. Разработан новый метод оценки относительной значимости влияния на окружающую среду дополнительной техногенной радиоактивности разделением концентраций изотопов урана, аккумулярованных в объектах окружающей среды, на четыре компоненты: естественную равновесную, привнесенную техногенную равновесную, естественную неравновесную, привнесенную техногенную неравновесную. Метод позволил дифференцировать источники техногенной радиоактивности на обследованной территории с идентификацией по географическому признаку.
3. Разработан способ управления базой данных по естественной и техногенной радиоактивности, аккумулярованной в поверхностном слое почв, с применением технологии географической информационной системы. База данных представлена на примере аналитического обследования территории Томского района.
4. Получены оценки эффективных эквивалентных доз внешнего облучения населения от радионуклидов, аккумулярованных в поверхностном слое почвы и представленные в технологии ГИС, которые позволили ранжировать относительные вклады от разных источников радиоактивности. Показано, что на территории Томского района основной вклад в дозу внешнего облучения вносят природные радионуклиды (87 %), и предприятия энергетики, работающие на органическом топливе (12,5 %), а уровни облучения населения ниже предельно допустимых, согласно НРБ-99. Определены абсолютные запасы активностей радионуклидов и площади территорий, загрязненных техногенными радионуклидами. Полный запас радиоактивности в г. Томске составил 84 Ки, а в целом по Томскому району - 7200 Ки. Абсолютный запас техногенной радиоактивности составил 150 Ки, площадь загрязнения около 1400 км².

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

1. Эргашев Д.Э., Яковлева В.С., Ковтун З.А. Исследование естественных и техногенных радионуклидов в воде и почве г. Томска и Томской области // Сборник "Проблемы региональной экологии". Томск, 1999. -вып.6. – С. 64-65.
2. Каратаев В.Д., Эргашев Д.Э., Яковлева В.С. Исследование радиоактивности объектов окружающей среды на территории Томской области // Изв. ВУЗов. Физика. 2000. Т.43. № 4. – С. 105-109.

3. Каратаев В.Д., Арышев С.И., Богданов А.В., Эргашев Д.Э., Яковлева В.С. Техническое и методическое обеспечение научно-учебной лаборатории радиационного контроля ТПУ // Депонировано в ВИНТИ от 19.01.2000, № 83-B00. 17 с.
4. Эргашев Д.Э., Арышев С.И., Каратаев В.Д., Яковлева В.С. Низкофоновый полупроводниковый гамма-спектрометр для радиоэкологических исследований // Депонировано в ВИНТИ 19.01.00 № 82-B00. 9 с.
5. Эргашев Д.Э., Каратаев В.Д., Яковлева В.С., Башкиров Н.И. Метрология технических средств для радиоэкологических исследований в Томске // Известия ТПУ. – т.305. – вып.3. – 2002. – С. 56-59.
6. Яковлева В.С., Каратаев В.Д., Эргашев Д.Э. Анализ погрешностей при измерении объемной активности радона мгновенными методами // АНРИ. 1999. № 4 (19). – С. 11-16.
7. Каратаев В.Д., Эргашев Д.Э. Применение геоинформационных систем для управления базой данных радиоэкологической информации // Материалы седьмой Всероссийской научно-технической конференции "Энергетика: экология, надежность, безопасность". Томск: Изд-во ТПУ, 2001. Т. 1. С. 211-214.
8. Каратаев В.Д., Эргашев Д.Э. Применение современных геоинформационных технологий для представления радиоэкологической информации // Научная сессия МИФИ-2003. II Научно-техническая конференция "Научно-инновационное сотрудничество". Сборник научных трудов. Ч.2. М.: МИФИ, 2003. С. 71-72.
9. Каратаев В.Д., Арышев С.И., Эргашев Д.Э. Опыт проведения лабораторного практикума по дисциплинам специального цикла на автоматизированном спектрометрическом комплексе // Труды научно-методической конференции "Образовательные технологии: состояние и перспективы"-Томск, 2-4.02.99.- Томск: Изд-во. ТПУ, 1999. С. 164-165.
10. Эргашев Д.Э., Каратаев В.Д. Низкофоновый полупроводниковый гамма-спектрометр для элементного анализа состава вещества // Научно-практическая конференция НИО-5, РФЯЦ-ВНИИТФ. Снежинск. – 2000. С.115-119.
11. Эргашев Д.Э., Каратаев В.Д., Носов С.Ю. Автоматизация метода определения верхней границы бета - спектра графиком Ферми - Кюри при калибровке спектрометра. // Труды пятой областной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Современные техника и технологии". - Томск, 1999г. С.181-183.
12. Каратаев В.Д., Эргашев Д.Э., Яковлева В.С. Исследование радиоактивности объектов окружающей среды в лаборатории радиационного контроля ТПУ. Депонировано в ВИНТИ. 19.01.00 № 81-B00. С. 7с.
13. Каратаев В.Д., Эргашев Д.Э. Сцинтилляционный метод экспресс-анализа на

- радиоактивность проб объектов окружающей среды // Международный симпозиум “Контроль и реабилитация окружающей среды”-Томск, 17-19 июня.- Томск: СО РАН, 1998. С. 115-116.
- 14.Каратаев В.Д., Эргашев Д.Э. Технология обработки сложных сцинтилляционных гамма-спектров // Труды четвертой областной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Современная техника и технологии”-Томск: ТПУ, 1998. С. 118-119.
 - 15.Вертман Е.Г., Левицкий В.М., Эргашев Д.Э. Изучение радиоактивности подземных вод Обь-Томского междуречья по результатам мониторинга // Сб. тезисов докладов 3 Всесоюзной конференции “Экоаналитика-98”- Краснодар, 20-25.09.98.-Краснодар: КубГУ, 1998. С. 75-76.
 - 16.Эргашев Д.Э., Каратаев В.Д. Ашуров Р.А. Методика нормирования геометрического фактора при калибровке однокристалльного сцинтилляционного спектрометра // Труды четвертой областной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Современная техника и технологии” – Томск: ТПУ, 1998. С. 119-120.
 - 17.Эргашев Д.Э., Вертман Е.Г., Каратаев В.Д., Левицкий В.М. Исследование поверхностного распределения изотопов урана по территории Томского района // Известия ТПУ. – т.305. – вып.3. – 2002. – С. 45-55.
 - 18.Каратаев В.Д., Эргашев Д.Э. Исследование поверхностного распределения активности ^{232}Th по территории Томского района // Научная сессия МИФИ-2002. II^я Научно-техническая конференция “Научно-инновационное сотрудничество”. Сборник научных трудов. Ч.2. М.: МИФИ, 2002. С. 41-42.
 - 19.Эргашев Д.Э., Вертман Е.Г., Каратаев В.Д., Левицкий В.М. Определение концентраций неравновесных изотопов урана в природных объектах ядерно-физическими методами //АНРИ. - №3. – 2002. – С. 34-43.
 - 20.Каратаев В.Д. Яковлева В.С., Ковтун З.А. Эргашев Д.Э., Сравнительный анализ радиоактивности воды и почвы г. Томска и Томского района // Труды 3-го Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова “Проблемы геологии и освоения недр”.– Томск, - 1999. С. 321-322.
 - 21.Эргашев Д.Э., Каратаев В.Д., Яковлева В.С. Гамма-спектрометр для измерения радиоактивности проб объектов окружающей среды // Труды пятой областной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Современные техника и технологии". -Томск, 1999. С. 167-169.