

*На правах рукописи*



**Середкина Ольга Максимовна**

**ГИС-технологии в изучении распределения радона на территории  
города Иркутска**

Специальность 25.00.35 – геоинформатика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2012

Работа выполнена на кафедре технологий геологической разведки»  
ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»

**Научный руководитель:**

доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Булнаев Андрей Иосифович

**Официальные оппоненты:**

доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Лобацкая Раиса Моисеевна

доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Рихванов Леонид Петрович

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова  
Сибирского отделения  
Российской академии наук

Защита состоится 4 октября 2012 г. в 15:00 часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.073.01 при Иркутском государственном  
техническом университете по адресу: 664074, г.Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
ауд. Е-301. Тел./факс: 8(3952)405-112, e-mail: dis@istu.edu; seminsky@istu.edu

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Иркутского  
государственного технического университета, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью  
учреждения, просим направлять по указанному адресу ученому секретарю  
совета Мальцевой Галине Дмитриевне, e-mail: dis@istu.edu; тел. 8(3952)405-  
348, 89149323049

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » сентября 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат геолого-минералогических наук



Мальцева Г.Д.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность

Современный подход к решению задач науки и производства предполагает применение информационных систем и технологий, особое место среди которых занимают ГИС-технологии. Отличительной особенностью ГИС является глобальная интеграция данных, то есть появляется возможность использования единой системы хранения пространственно-атрибутивных данных, статистического и пространственного их анализа, а также визуализации резульативной информации в виде карт и диаграмм.

Территория города Иркутска является потенциально радоноопасной, о чем свидетельствуют радиоэкологические работы, проведенные в Иркутской области в целом, и в Иркутске в частности. Специально спроектированная и разработанная ГИС-технология позволит эффективно провести целенаправленное обследование Иркутска на радон, получить более ясную картину радоноопасности территории города, спланировать и провести мероприятия по снижению концентрации радона в помещениях с точки зрения конкретных групп домов и населения.

### Цели и задачи исследования

**Целью работы** является разработка ГИС для изучения распределения и мониторинга радона на территории города.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- Разработать геоинформационную систему (ГИС) для оценки радоноопасности территории города;
- Применить разработанную ГИС для изучения распределения и мониторинга радона на территории Иркутска;
- Изучить распределение радона на первых этажах и в подвальных помещениях зданий и сооружений на территории города Иркутска;
- Изучить состав эманаций в воздухе помещений города;
- Изучить содержание естественных радионуклидов в грунтах и осадочных породах на территории города;
- Изучить содержание растворенного радона в поверхностных и подземных водах источников на территории Иркутска;
- Применить разработанную ГИС для построения карты районирования территории города Иркутска по степени радоноопасности;
- Создать цифровую модель радонового поля территории Иркутска на основе разработанной ГИС.

## Фактический материал, методика исследования и личный вклад автора

Для создания геоинформационной системы использовалось следующее программное обеспечение:

- Программный продукт Microsoft Access;
- ГИС-инструмент ArcView ESRI.

Для исследования изученности территории Иркутска по распределению радиоактивных элементов привлекались следующие материалы:

- Материалы изучения гамма-поля и распределения радона на территории Иркутска, карта радоноопасности Иркутска ФГУГП БФ «Сосновгеология» (Малевич, Шувалов и др., 1994, Малевич и др.; 1995)
- Материалы изучения геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий территории листов №-48-137-А,Б (Иркутск), геологическая карта листов №-48-137-А,Б М 1:50 000 (Сироткин, Шурыгин, 1963);
- Карта разрывной тектоники территории города Иркутска М 1:25 000 (Лобацкая, 2005);

Автор занималась разработкой базы данных «РАДОН» и геоинформационной системы «РАДОН» с 2008 г.

Автор принимала непосредственное участие в обследовании жилых и общественных зданий Иркутска на радон; в исследовании приповерхностных грунтов на естественные радионуклиды; в изучении растворенного радона в пробах воды, отобранной из источников, протекающих на территории Иркутска; в изучении состава эманаций почвенного воздуха на территории города. Для проведения экспериментальной части работы привлекались методики, утвержденные Федеральным агентством «Ростехрегулирование», а также методики, согласованные с ФГУГП «ВНИИФТРИ». Достоверность полученных результатов обеспечивалась проведением измерений приборами и оборудованием, прошедших метрологическую аттестацию.

## Научная новизна

Впервые разработана комплексная интегрированная геоинформационная система «РАДОН», позволяющая производить полный цикл обработки результатов изучения распределения радона на территории города. Реализована функция динамического обновления данных, позволяющая актуализировать данные статистической обработки результатов обследования, а также карты радоноопасности в точках. Впервые создана цифровая модель радонового поля территории Иркутска.

Впервые проведено детальное обследование зданий и сооружений г.Иркутска на содержание радона на первых этажах и в подвальных помещениях. В результате обследования создана цифровая модель радонового поля территории Иркутска, отображающая реальную ситуацию

радоноопасности в городе. Составлены подробные электронные карты радоноопасности в точках по подвальным помещениям для оценки фактического распределения радона на дневной поверхности территории Иркутска. Цифровая модель радонового поля города позволила провести районирование территории Иркутска и оценить ситуацию потенциальной радоноопасности города для перспективной застройки.

Впервые подробно изучен состав эманаций почвенного воздуха на территории Иркутска, изучены поверхностные грунты на содержание естественных радионуклидов и водные источники на содержание растворенного радона.

### Практическая значимость

Разработанная БД «РАДОН» и ГИС «РАДОН» успешно внедрены в работу комитета по охране окружающей среды администрации города Иркутска, что подтверждено актом о внедрении. Разработанные рекомендации используются комитетом по охране окружающей среды. Созданные электронные карты радоноопасности, а также цифровая модель радонового поля территории Иркутска включены в генеральный план застройки города.

### Апробация работы и публикации

Результаты исследования представлены на 12 научных международных, всероссийских и региональных конференциях:

- VIII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва, 2007 г;
- Региональная научно-техническая конференция, посвященная 100-летнему юбилею профессора, доктора, г.-м.н. М.М. Лаврова, Иркутск, 2007 г;
- Международная научно-практическая конференция «Проблемы земной цивилизации», Иркутск, 2007 г;
- Межвузовская итоговая конференция студентов «МИКС-2007», Иркутск, 2007 г;
- Всероссийская научно-техническая конференция «Геонауки-2008», Иркутск, 2008 г;
- Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика», Иркутск, 2009 г; Всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы контроля качества природной и техногенной сред», Тамбов, 2009г;

- Вторая научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка твердых полезных ископаемых», Москва, 2009 г;
- Вторая международная научно-практическая конференция студентов и аспирантов «Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации транспортных систем Северо-Восточной Азии», Иркутск, 2010 г;
- Всероссийской научно-технической конференции «Геонауки-2010», Иркутск, 2010 г;
- III Международная конференция «Геоэкологические проблемы современности», Владимир, 2010 г.;
- XVI международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 2012 г.

По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе в журналах, рецензируемых ВАК 1 статья.

### Благодарности

Благодарность за консультации, методическую помощь, конструктивное руководство и ценные замечания автор выражает своему научному руководителю д.г.-м.н., проф. А.И. Булнаеву. Особая благодарность за внимание, помощь и поддержку А.Б. Середкину и В.А. Савитскому. Признательность за поддержку, понимание и консультации директору ОСП г.Иркутска ЗАО «РусБурМаш» Е.А. Митрофанову, главному специалисту ОСП г.Иркутска ЗАО «РусБурМаш» Е.П. Сиротенко. Благодарность коллективу ФГУП «Сосновгеология» за помощь и поддержку при выполнении работы. Глубокая признательность за консультации сотрудникам ФГУП «ВИМС» им. Федоровского к.г.-м. н. А.В. Стародубову и к.т.н. Т.М. Овсянниковой.

### Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Текст работы изложен на 136 страницах, содержит 6 таблиц, 36 рисунков и сопровождается библиографическим списком из 95 наименований.

### Защищаемые положения:

***Интегрированная ГИС-технология «РАДОН» производит слияние атрибутивно-пространственных данных в единую систему хранения, статистической и пространственной обработки данных, динамически обновляя результирующую картографическую и атрибутивную информацию*** .

*Радон на территории Иркутска имеет глубинное происхождение, радиоактивный газ поднимается по зонам тектонических нарушений с такой глубины, что короткоживущий торон полностью распадается.*

*Целенаправленное выделение участков с высоким содержанием радона на территории Иркутска производится с помощью цифрового моделирования радонового поля, качественной и количественной оценки полученной модели.*

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована ее важность и актуальность, сформулирована цель исследований и указаны принципиальные пути ее решения.

### **1. Проблема изучения радона на территории города Иркутска и применение ГИС-технологий**

В главе «Проблема изучения радона на территории города Иркутска и применение ГИС-технологий» проведен обзор использования различных программных средств для решения прикладных задач радиоэкологии, выделены преимущества и недостатки современных методов решения задач радиационной экологии с использованием автоматизированных систем; изложены основные характеристики радиоактивного газа радон, степень изученности распределения радона на территории города Иркутска. По результатам анализа сделан вывод о том, что геоинформационные технологии имеют значительное преимущество перед другим существующими автоматизированными системами.

Как известно, Радон 222 - это инертный газ, являющийся продуктом распада Радия-226, который, в свою очередь, образуется в результате распада Урана-238. Основным источником радона в зданиях является грунт под ними, поэтому проведен целый ряд исследований, направленных на выявление взаимосвязи между содержанием урана в грунте и эмиссией радона. Радон хорошо растворим в воде, поэтому питьевая вода также может быть источником радона. Кроме того, источником радона может быть природный газ, в связи с чем в городах с высокой степенью газификации зданий это может служить основным источником радона в домах. Высокая степень раздробленности пород, плотная сеть тектонических нарушений служит путем миграции радона на дневную поверхность. Строительные материалы в зданиях и сооружениях являются источником радона, если в них повышено содержание естественных радионуклидов, продуктами распада которых являются Радон-222 и Торон-220.

По результатам радиоэкологических работ последних лет на территории Иркутской области, по данным архивов геологических организаций, на основе радиационно-гигиенических нормативов, принятых в Российской Федерации, и

международных рекомендаций, сотрудниками Института Геохимии СО РАН, ФГУПП БФ «Сосновгеология» были разработаны критерии районирования территорий по радоновому признаку, а также была выполнена прогнозная оценка радоновой опасности с составлением карты районирования Иркутской области масштаба 1: 2 500 000. Согласно этой оценке более 40% территории отнесено к радоноопасной зоне. В наиболее опасную зону попадают районы, прилегающие к побережью Байкала, и предгорья Восточного Саяна.

Знание геологии и типов почв необходимо для идентификации радоноопасных территорий. Однако наиболее надежным способом их определения является измерение концентраций радона в определенной выборке существующих зданий и сооружений. Поэтому прогнозная оценка требует натурального подтверждения и диктует необходимость проведения радиационно-гигиенического обследования территории города.

Для эффективного проведения обследования территории Иркутска на радон, решения задач районирования территории города необходимо иметь не только надежный картографический инструмент, но и хранилище данных, которое было бы неразрывно связано с визуализированной на картах информацией о проведенном исследовании. Среди существующих автоматизированных систем таким требованиям отвечают ГИС-технологии, однако их применение в радиоэкологии встречается достаточно редко.

Цифровое моделирование радонового поля позволяет оценивать изучаемую территорию по степени радоноопасности, выделять отдельные районы с аномальными участками с целью дальнейшего детального изучения таких районов, а также для принятия решения об эксплуатации существующих зданий и перспективной застройки на таких территориях.

Большинство современных ГИС-инструментов позволяют строить двумерные и трехмерные цифровые модели физических полей на основе фактически измеренных значений как по регулярной сети исследования, так и по нерегулярной.

## **2. ГИС-технологии при изучении распределения радона в г. Иркутске**

В главе «ГИС-технологии при изучении распределения радона в г.Иркутске» подробно описана структура разработанной базы данных «РАДОН» и геоинформационной системы «РАДОН», а также изложены основные принципы интегрированной ГИС-технологии.

Научную основу для построения геоинформационной системы составил материал атрибутивного и графического характера, нуждающийся в систематизации и объединении таким образом, чтобы была возможность единого хранения, анализа и обработки информации для решения следующих задач:

- Хранение полученных в результате экспериментов данных в единой базе данных;



- Визуальное отображение атрибутивных данных, хранящихся в базе данных;
- Пространственный анализ экспериментальных данных для построения карт и цифровых моделей;
- Статистический анализ данных и визуальное отображение полученных результатов.

Наиболее оптимальным в данном случае, по мнению автора, является использование ГИС-технологии совместно с технологиями баз данных. Для отображения принципа работы подобной интегрированной геоинформационной системы «РАДОН» составлена ее концептуальная модель (Рис. 1).

Для создания базы данных использована СУБД MS Access. Логическая модель БД «РАДОН» представлена на Рис. 2.

Структура БД «РАДОН» представляет собой трехуровневую иерархическую систему подчинения таблиц данных. Представленная база данных служит не только физической основой хранения данных, но и полнофункциональной СУБД. Последнее достигается за счет реляционной формы представления данных и эргономичным пользовательским интерфейсом.

Для реализации ГИС «РАДОН» автором использован ГИС-инструмент ArcView компании ESRI. Стандартное решение подключения СУБД к геоинформационной системе в ArcView предполагает импорт данных из базы данных в собственные таблицы формата DBF IV с последующей визуализацией данных на основе внутренних данных. Такой способ ведет к потере данных, неактуальности карт и т.д. В связи с этим автором разработан скрипт, привязанный к кнопке «Обновить данные», а также к запуску ГИС-проекта. Разработанный скрипт позволяет проводить процедуру динамического обновления данных из СУБД «РАДОН» во внутренних таблицах ГИС-проекта. Визуализация атрибутивной информации производится непосредственно с внутренних таблиц, динамически обновляемых за счет работы скрипта. Все статистические расчеты производятся в таблицах ГИС посредством запрограммированных формул, ссылающихся на данные, хранящиеся во внутренних таблицах ГИС «РАДОН».

Таким образом, разработанная интегрированная геоинформационная система «РАДОН» позволяет динамически обновлять данные атрибутивного характера из внешней БД «РАДОН», впоследствии актуализировать пространственно-атрибутивные данные о радоновом загрязнении территории Иркутска на картах радоноопасности территории города, обновлять данные во внутренних таблицах ГИС, а также результаты статистической обработки атрибутивных данных соответственно.

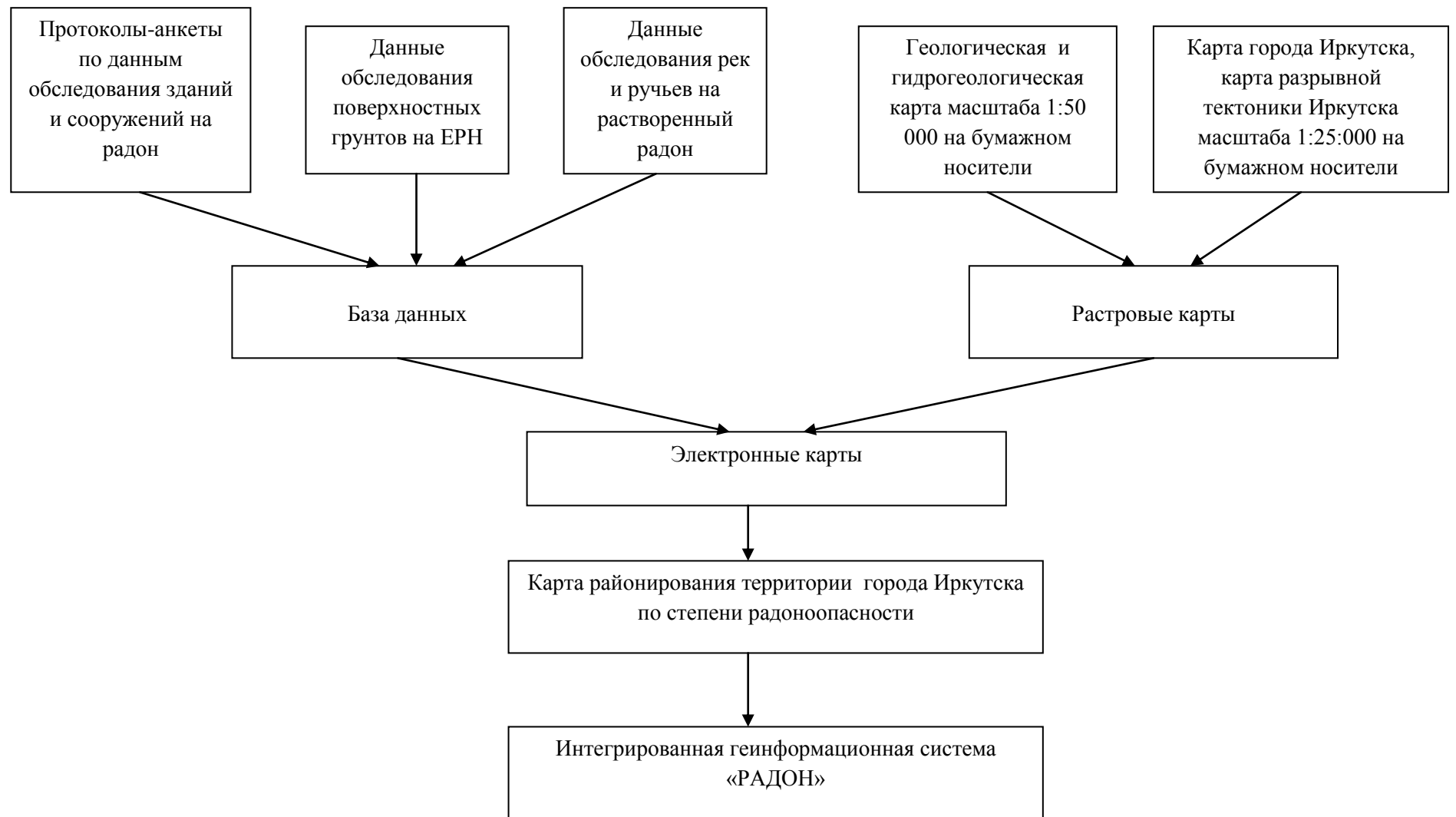


Рис. 1. Концептуальная модель геoinформационной системы

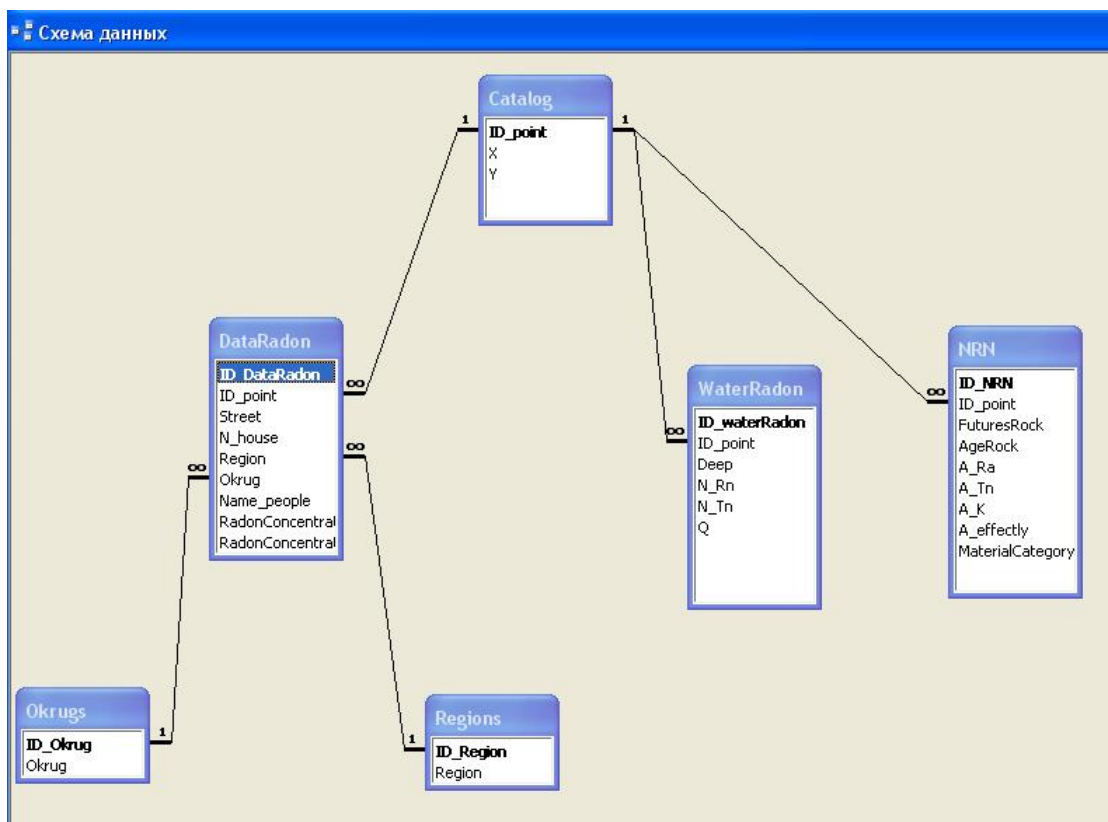


Рис. 2. Логическая модель базы данных «РАДОН»

### 3. Изучение распределения радона на территории г. Иркутска

В главе «Изучение распределения радона на территории г.Иркутска» приводится анализ и выбор методов для проведения исследования, дана геологическая характеристика изучаемой территории, а также подробно описаны проведенные эксперименты. Территория Иркутска сложена осадочными четвертичными и юрскими отложениями: суглинками, глинами, супесями, песчаниками с прослоями углей.

На территории города Иркутска расположен крупный разлом, приуроченный к долине реки Ангара. Вдоль р.Иркут также идентифицируется крупное тектоническое нарушение. Почти вся территория Иркутска покрыта сетью мелких тектонических нарушений.

Высокая степень радоноопасности территории Иркутска и Иркутской области определяется геологическими и климатическими условиями:

- наличие разрывных нарушений ;
- сейсмическая активность территории ;
- присутствие радона в подземных водах;
- высокие уровни объемной активности ОА и плотности потока радона в почвенном воздухе;

— продолжительный зимний период, сопровождающийся температурой ниже нуля.

Среди существующих методов обследования зданий и сооружений на радон выделяются две основные группы – мгновенные и интегральные.

Для сравнительной оценки возможностей интегрального и экспрессного методов измерений ОА радона в помещениях нами был проведен специальный эксперимент. В помещении с заведомо высоким содержанием радона на трое суток помещался адсорбер СК-13, а также прибор для мгновенных измерений РРА-01М-03, который работал в различных режимах измерения, рекомендованных прилагаемым руководством. В результате сделаны следующие выводы:

1. Более информативным режимом мгновенных измерений является режим: пять минут – прокачка, один час - измерение.

2. Экспрессный метод измерений радона дает неточный результат объемной активности радона в помещении в силу вариаций содержания радона в течение суток.

3. Интегральный метод, основанный на сорбции активированного угля, является наиболее точным, а, следовательно, наиболее подходящим для выполнения задач исследования.

В результате автором было принято решение проводить обследование жилых и общественных зданий Иркутска интегральным методом, основанном на пассивной сорбции Радона-222 и его ДПР на активированном угле с использованием методики НПО «НИТОН».

В 2008 г. Лабораторией Радиационного Контроля Иркутского государственного технического университета, аккредитованной федеральным Агентством по техническому регулированию (Ростехрегулирование) РФ, были выполнены работы по муниципальному контракту с городской администрацией № 010-64-1425/8 «Разработка комплекса мероприятий по обеспечению радиационной (радоновой) безопасности на территории г. Иркутска». В основу исследования легли результаты проведенных обследований 899 зданий и сооружений.

Для оценки дозы облучения населения города Иркутска за счет радона адсорберы устанавливались на первых этажах обследуемых зданий в помещениях максимально длительного пребывания людей (спальни, офисы и т.п.). Для определения содержания радона на поверхности почвы в подвальных помещениях тех же зданий устанавливались парные адсорберы. При этом предполагалось, что полученные данные по подвалам зданий позволят провести районирование территории города по степени радоноопасности, а сравнение

объемных активностей радона в подвале здания и на первом этаже – оценить степень проницаемости перекрытий (качество строительства).

На изучаемой территории источник радона может быть как близ поверхности, так и на глубине. Радон-222, как известно, является продуктом распада Радия-226. Поэтому исследование поверхностных грунтов на содержание естественных радионуклидов (ЕРН) должно дать ответ на вопрос о возможном поверхностном происхождении радона.

Места отбора проб грунтов для анализа на естественные радионуклиды выбирались так, чтобы охватить все разновидности отложений. Всего было отобрано 15 проб грунтов. Гамма-спектрометрический анализ проб проводился на германиево-литиевом полупроводниковом детекторе с высоким энергетическим разрешением.

Анализ показал, что во всех исследованных пробах грунтов, кроме пробы угля, естественные радионуклиды содержатся в кларковых дозах, что относит их к радиационно безопасным материалам ( $A_{эфф} \leq 370$  Бк/кг). Превышение безопасного уровня установлено в пробе угля, отобранного в районе Кайской горы с глубины 0,2 м. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов пробе угля составила 470 Бк/кг.

Обследование воды крупных рек на территории города – Ангары, Иркута, Ушаковки, Каи – показало содержание растворенного радона в воде порядка 6 Бк/л, что является минимальным уровнем, которое регистрирует прибор. Обследование мелких ручьев и родников показало различные результаты. Высокие значения растворенного в воде радона выявлены в трех ручьях п.Искра на 2 км Качугского тракта и в трех ручьях в предместье Радищево на станции Юных натуралистов, в остальных же случаях концентрация радона не превышала контрольного уровня для питьевой воды – не более 60 Бк/л, регламентированных НРБ-99/2009. Найденная аномалия в воде была проконтролирована, то есть в этих водных источниках проводились повторные измерения, которые подтвердили высокие значения растворенного радона. Отметим, что наиболее часто высокие значения радона в воздухе помещений на территории Иркутска встречались также в предместье Радищево.

Высокие содержания растворенного радона в пробах воды источника являются признаком его глубинного происхождения. Радон, поднимаясь с большой глубины, растворяется в воде, уносится ею на протяжении всего течения и выходит на дневную поверхность, уходя в атмосферу. Поскольку в предместье Радищево преобладает застройка частного характера, а для водоснабжения чаще всего используют воду из индивидуальных артезианских

скважин или колодцев, такая вода также может насыщать помещения частных домов.

Использованная для обследования методика НПО «НИТОН» позволяет определять объемную активность радона в воздухе помещений по интенсивности гамма-излучения его ДПР – Рb-214 и Вi-214 в состоянии радиоактивного равновесия. Для этого измерения рекомендуется проводить в интервале времени от 3 до 12 часов после окончания экспонирования адсорбера, чтобы избежать снижения их точности из-за распада сорбированного радона. Следует отметить, что НРБ-99/2009 в п.5.3.2 регламентируют значение ЭРОА в воздухе помещений с учетом не только радона, но и торона, а это значит, что присутствие в воздухе обследуемых помещений торона, если он есть, необходимо учитывать.

Для ответа на вопрос – есть или нет торон в воздухе подвальных помещений г.Иркутска нами, проведены специальные эксперименты по изучению состава эманаций в почвенном воздухе на территории Иркутска, по результатам которых были сделаны следующие выводы:

1. В составе эманаций почвенного воздуха на территории Иркутска присутствует Радон-222 и его продукты распада, а Торон-220 и его ДПР отсутствуют.

2. Сорбционные свойства активированного угля позволяют в равной степени накапливать как Радон-222 и его ДПР, так и Торон-220 и его ДПР.

3. При расчетах эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в г.Иркутске следует учитывать только Радон-222 и его ДПР. Другими словами, формула для расчета ЭРОА приняла вид:

$$\begin{aligned} \text{ЭРОА}_{Rn} &= \text{OAR}_n \cdot F = \\ &= 0.1046 \cdot A_{Po-218} + 0.5161 \cdot A_{Pb-214} + 0.3793 \cdot A_{Po-214} \end{aligned}$$

где OAR<sub>n</sub> - объемная активность радона в воздухе помещения,

A<sub>Po-218</sub> – активность продукта распада радона Po-218;

A<sub>Pb-214</sub> – активность продукта распада радона Pb-214;

A<sub>Po-214</sub> – активность продукта распада радона Po-214;

F – коэффициент радиоактивного равновесия между радоном и ДПР, который определяется как отношение эквивалентной равновесной объемной активности радона к его реальной объемной активности. Его значение всегда меньше единицы. По рекомендации НРБ-99/2009 использовался F=0,5.

В целом, полученные результаты позволяют утверждать, что радон в воздухе помещений г.Иркутска имеет глубинное происхождение – поднимается из недр с такой глубины, что короткоживущий торон за это время распадается.

#### **4. Районирование территории Иркутска по степени радоноопасности**

В главе «Районирование территории Иркутска по степени радоноопасности» приведены картографические и атрибутивные данные, полученные в результате обработки информации с помощью разработанной ГИС «РАДОН», показана цифровая модель радонового поля территории Иркутска.

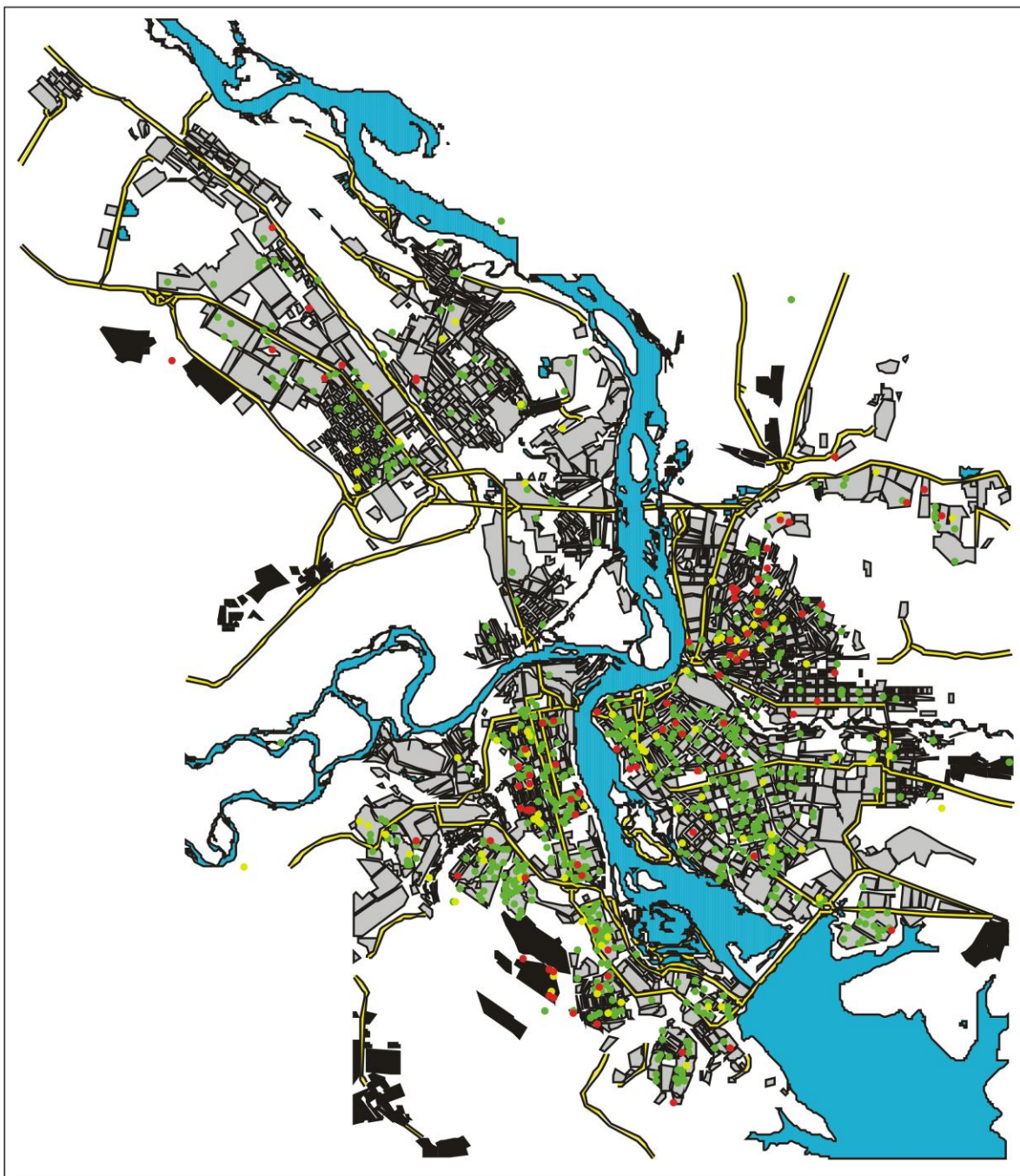
По результатам проведенного обследования зданий и сооружений на содержание в воздухе помещений радона получено большое количество данных, характеризующих конкретный точечный объект. Составление точечных карт радоноопасности территории города Иркутска даст возможность оценить степень радоноопасности Иркутска в целом, выделить наиболее опасные по радону районы. В связи с тем, что глубинное происхождение радона на территории Иркутска доказано (п.п. 2.4, 2.5, 2.6), возникает необходимость в выяснении путей его миграции. Сопоставление результатов обследования с картой разрывной тектоники территории Иркутска позволит получить более ясную картину о путях поступления радона на дневную поверхность.

Таким образом, составлены следующие карты радоноопасности территории Иркутска (масштаб карт 1:25 000);

- Карта распределения ЭРОА радона в подвалах зданий г.Иркутска в точках (Рис. 3);
- Карта распределения ЭРОА радона на первых этажах зданий г.Иркутска в точках (Рис. 4);
- Карта сопоставления результатов распределения радона в подвалах с разрывной тектоникой территории Иркутска (Рис. 5).

Для оценки потенциальной радоноопасности участков перспективной застройки на территории города создана цифровая модель радонового поля Иркутска с использованием математического метода интерполяции Кригинга, который работает с нерегулярной сетью распределения значений (Рис. 6). Основной особенностью созданной модели является динамическое обновление данных из БД.

Для характеристики радоноопасности территории Иркутска, а также существующих жилых и общественных зданий произведен подсчет в количественном и процентном соотношении обследованных зданий.

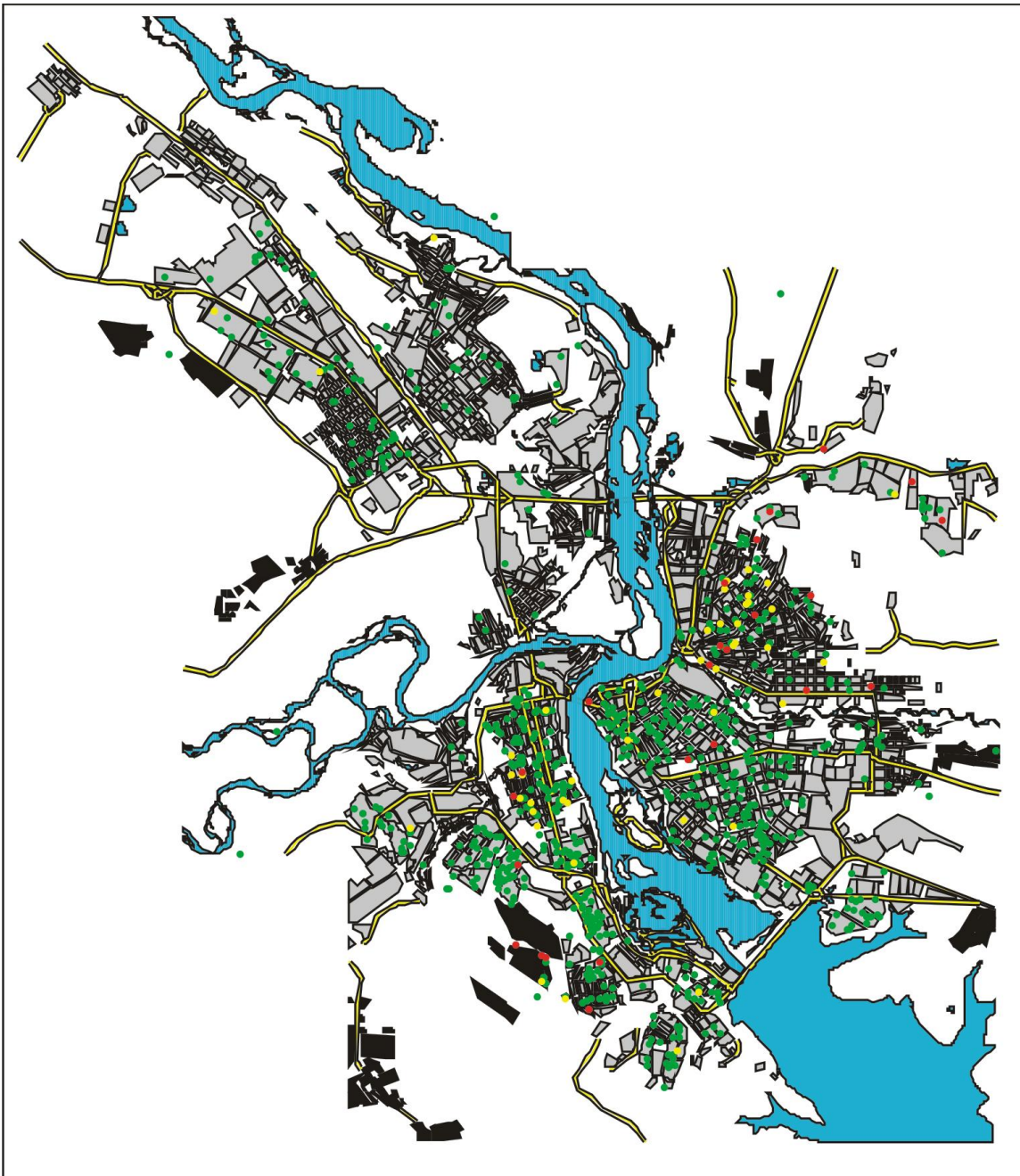


Условные обозначения:

- Значения ЭРОА Rn меньше 200 Бк/м<sup>3</sup>
- Значения ЭРОА Rn от 201 до 400 Бк/м<sup>3</sup>
- Значения ЭРОА Rn больше 401 Бк/м<sup>3</sup>

Рис. 3. Карта-схема распределения содержаний радона в подвальных помещениях зданий города Иркутска

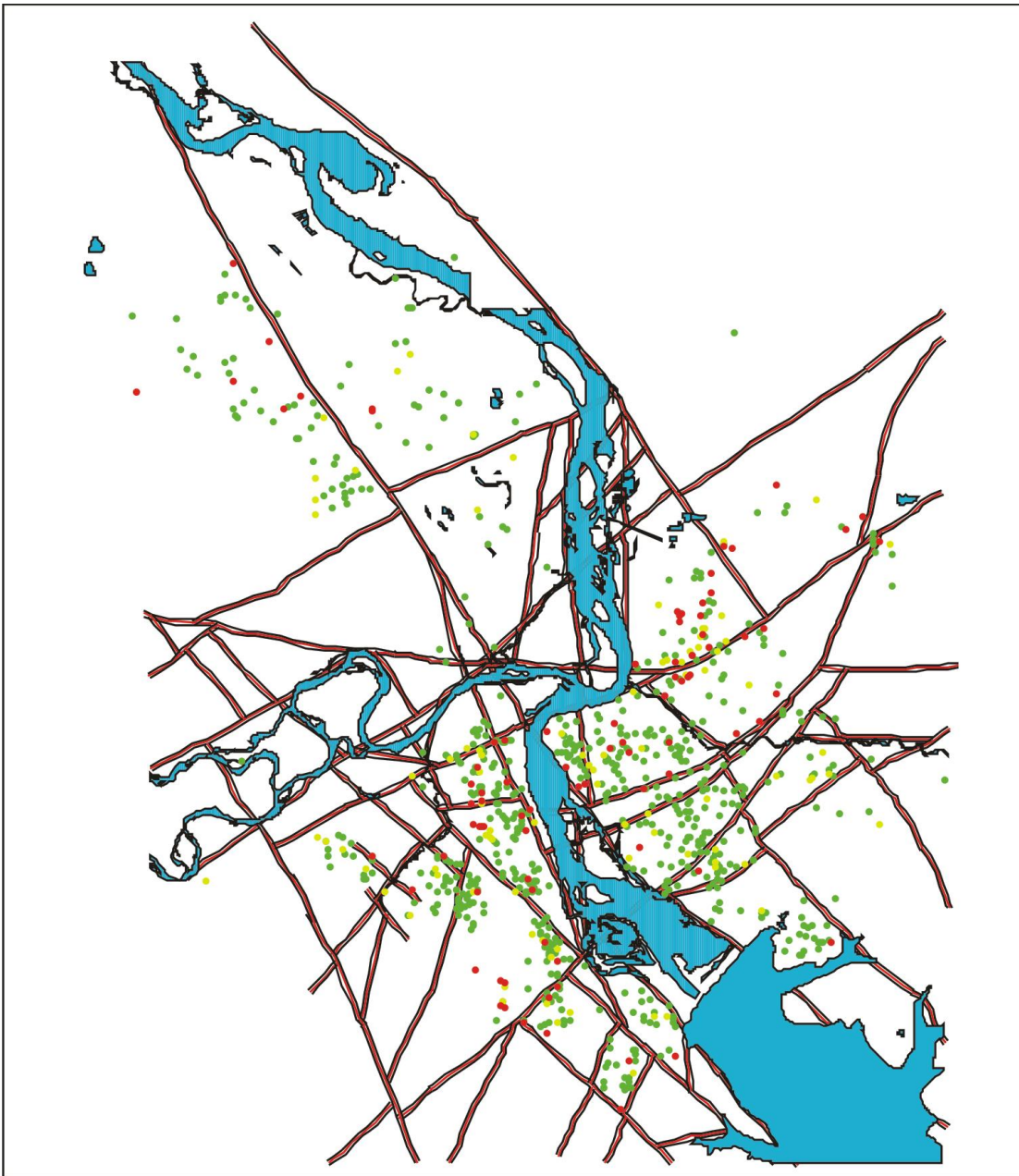




Условные обозначения:

- Значения ЭРОА  $R_n$  меньше  $200 \text{ Бк/м}^3$
- Значения ЭРОА  $R_n$  от 201 до  $400 \text{ Бк/м}^3$
- Значения ЭРОА  $R_n$  больше  $401 \text{ Бк/м}^3$

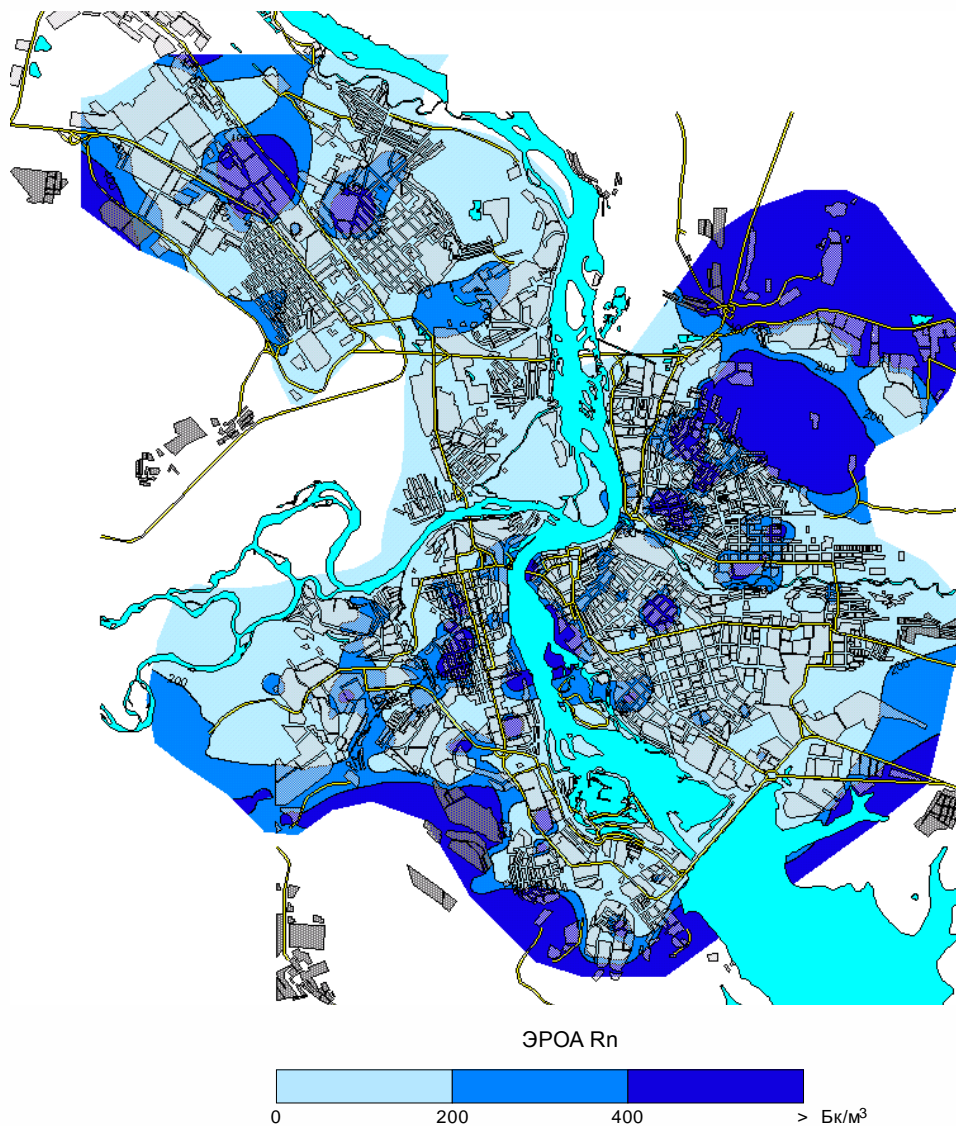
Рис. 4. Карта-схема распределения содержаний радона в помещениях на первых этажах зданий города Иркутска



Условные обозначения

- Значения ЭРОА Rn меньше 200 Бк/м<sup>3</sup>
- Значения ЭРОА Rn от 201 до 400 Бк/м<sup>3</sup>
- Значения ЭРОА Rn больше 401 Бк/м<sup>3</sup>

Рис. 5. Карта-схема сопоставления результатов распределения радона в подвальных помещениях зданий города Иркутска с разрывной тектоникой (Лобацкая, 2005)



Условные обозначения:





-  - Кварталы городской
-  - Населенные пункты
-  - Дорожная сеть
-  - Гидросеть

Рис. 6. Цифровая модель радонового поля территории Иркутска

Для уточнения взаимосвязи радоновых аномалий с зонами тектонических нарушений был рассчитан коэффициент корреляции  $r$ , который составил  $r=0.78$ . Коэффициент такой величины позволяет считать связь высоких значений радона с зоной тектонических нарушений доказанной.

Рассчитано отношение величины ЭРОА радона на первых этажах к величине концентрации радона в подвальных помещениях. Полученные

значения отношения позволили сделать вывод о том, что типовая многоквартирная застройка Иркутска обладает высокой степенью защиты от проникновения радона в жилые помещения, а частная малоэтажная застройка города за счет высокой степени газопроницаемости межэтажных перекрытий не является радонобезопасной.

Таким образом, проведенный анализ распределения радона в зданиях города Иркутска позволяет сделать следующие выводы:

1. Иркутск в целом можно считать радонобезопасным городом, так как в воздухе 686 подвальных помещений из 899 обследованных зданий концентрация радона не превышает допустимой, в 109 помещениях она повышена и только в 105 она оказалась настолько высокой, что это требует проведения защитных мероприятий;

2. Наиболее безопасными по радону в Иркутске являются территории Академгородка, микрорайонов Юбилейного и Приморского, Иркутска-2, п.п. Жилкино, Горького, Боково, Кирова; Наибольшей радоноопасностью в городе Иркутске выделяются районы Правобережного округа – Рабочее, Радищево, Марата, п. Николов Посад и Ново-Иркутский.

Для оценки уровня облучения населения за счет радона в разных районах г. Иркутска были рассчитаны популяционные дозы облучения населения (Таблица 1), а также популяционные риски возникновения дополнительных случаев злокачественных новообразований (Таблица 2).

Таблица 1

Уровни годовых популяционных доз облучения в жилых помещениях, мЗв

Характеристика	ЭРОА радона, Бк/куб.м.		
	0-200	201-400	более 401
Интервал Д, мЗв/г	0 - 3,4	3,41 - 6,8	6,81 - 18
Средняя Д, мЗв/г	1.7	5.1	12,4
Кол-во домов, ед.	627	40	20
<b>Кол-во домов, %</b>	<b>91.27</b>	<b>5.82</b>	<b>2.91</b>

Таблица 2.

Риск возникновения дополнительных случаев злокачественных новообразований по уровням концентраций радона

Округ	Уровни ЭРОА, Бк/м <sup>3</sup>		
	0-200	201-400	более 401
Свердловский	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
Ленинский	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Правобережный	$4 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$
Октябрьский	$4 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$
<b>Иркутск в целом</b>	<b><math>2 \cdot 10^{-5}</math></b>	<b><math>4 \cdot 10^{-5}</math></b>	<b><math>1 \cdot 10^{-4}</math></b>

Результаты расчетов рисков возникновения злокачественных новообразований показывают, что в целом у населения Иркутска вероятность возникновения тяжелых последствий от вдыхания радона составляет предельно допустимую норму.

Даны рекомендации по защите от проникновения радона в помещения жилых и общественных зданий на территории Иркутска с учетом того, что источником радона является грунт под зданиями.

## **Заключение**

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В результате проведенных экспериментов установлено, что в составе почвенного воздуха на территории города Иркутска присутствуют Радон-222 и его дочерние продукты распада, а Торон-220 и его ДПР отсутствуют. Это означает, что Радон-222 поднимается с такой глубины, что короткоживущий Торон-220 успевает распасться.

Считая доказанным глубинное происхождение радона на территории Иркутска, результаты обследования на радон подвальных помещений зданий и сооружений Иркутска сопоставлены с картой разрывной тектоники. Коэффициент корреляции значений ЭРОА радона и зон тектонических нарушений составил  $r=0,78$ . Значимая величина коэффициента корреляции рассмотренных параметров позволила утверждать, что основным путем миграции радона к дневной поверхности являются зоны тектонических нарушений горных пород.

Для обработки полученных в результате исследования данных была создана интегрированная ГИС-технология. Для систематизации, ввода, чтения и вывода информации разработана база данных «РАДОН» на основе СУБД MS Access. Для статистической обработки, визуализации и пространственного анализа данных была разработана ГИС «РАДОН». Принцип работы ГИС «РАДОН» основан на интеграции ГИС-инструментария ArcView с внешней БД «РАДОН» и динамическом обновлении данных из БД, достигнутой за счет работы специально разработанного автором скрипта. В результате получена унифицированная геоинформационная система, позволившая построить электронные карты радоноопасности города Иркутска, произвести статистическую обработку данных, полученных в результате исследования, построить диаграммы распределения радона по районам, а также произвести пространственно-атрибутивный анализ данных (установить связь высоких значений радона с зонами тектонических нарушений).

По результатам проведенного пространственного анализа цифровой модели радонового поля территории Иркутска, а также статистической обработки данных, приведенных в ГИС «РАДОН», выделены следующие радонобезопасные районы в Иркутске: Ново-Ленино, Иркутск-2, районы Октябрьского округа, Академгородок в Свердловском округе. Радоноопасными

выделяются районы Правобережного округа – Марата, Радищево, Рабочее, а также районы Свердловского округа – коттеджные поселки Ново-Иркутский и Николов Посад.

Полученные значения отношения концентраций радона в зданиях Иркутска позволили сделать вывод о том, что типовые многоквартирные дома города Иркутска имеют высокую степень защиты от радона, а здания частной малоэтажной застройки напротив, имеют высокую газопроницаемость и имеют низкую степень защиты от проникновения радона. Рассчитан вклад дозы от вдыхания радона в общую дозу облучения населения, а также популяционные риски возникновения злокачественных новообразований от вдыхания радона, которые классифицируются как предельно допустимые.

Для групп населения, проживающих в радоноопасных районах, разработаны рекомендации по снижению поступления радона в здания и сооружения.

Полученные карты радоноопасности включены в генеральный план застройки территории города Иркутска. Разработанная ГИС «РАДОН» успешно внедрена и используется в комитете по охране окружающей среды Администрации города Иркутска. Разработанные рекомендации по снижению поступления радона в помещения включены в процесс информирования населения.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **В реферируемых журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ:**

1. Зоренко О.М. ГИС-технологии в решении задач радиоэкологии.// Вестник Иркутского Государственного Технического Университета № 3 (43) 2010. Иркутск – 2010. Изд-во: ИрГТУ. С. 17 – 22

2. Зоренко О.М., Пальцева К.А. Хмарский Д.Ю. Организация и проведение обследования помещений города Иркутска на содержание радона в воздухе.// VIII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», 7 том. – Москва: РГГРУ, 2007. С. 280 – 283.

3. Зоренко О.М., Пальцева К.А. Мониторинг радона в подвальном помещении корпуса «Е» здания ИрГТУ./ Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований//Сб. избранных трудов региональной научно-технической конференции, посвященной 100-летию юбилею профессора, доктора, г.-м.н. М.М. Лаврова. Выпуск 7. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2007. – С. 23-25

4. Зоренко О.М., Булнаев А.И., Пальцева К.А. Мониторинг радона в жилом фонде города Иркутска.// Проблемы земной цивилизации. Вып. 17 – 2007. С. 303-308.

5. Зоренко О.М., Пальцева К.А. Актуальность проведения обследования на радон жилых помещений в городе Иркутске.// Сборник трудов

Межвузовской итоговой конференции студентов - 2007. - Иркутск: ИрГУПС. – С. 56-59

6. Зоренко О.М., Пальцева К.А. К вопросу о целесообразности проведения обследования на радон жилых помещений в городе Иркутске. / Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований//Сб. избранных трудов Всероссийской научно-технической конференции. Выпуск 8. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2008.

7. Зоренко О.М., Булнаева А.Ф., Пальцева К.А. Изучение распределения радона в зданиях и сооружениях города Иркутска // Социально-психологические и валеологические проблемы образования: сборник научных статей/отв. ред. Л.Н. Гречман. – Иркутск: ИГЛУ, 2008 – С. 58-62

8. Зоренко О.М., Булнаев А.И. Разработка комплекса мероприятий по радоновой безопасности на территории города Иркутска. // Материалы XXIII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». Иркутск – 2009. С. 227-228

9. Зоренко О.М., Булнаев А.И. Радоновая безопасность города Иркутска. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы контроля качества природной и техногенной сред». Тамбов – 2009. С.

10. Зоренко О.М., Булнаев А.И. Оценка ситуации радоноопасности на территории города Иркутска. / Геология, поиски и комплексная оценка твердых полезных ископаемых. Тезисы докладов второй научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – М.: ФГУП «ВИМС», 2009. С. – 47-48

11. Зоренко О.М., Булнаев А.И. Радон как источник радиационной опасности населения городов, расположенных на железной дороге (на примере города Иркутска). (статья на английском языке) Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации транспортных систем Северо-Восточной Азии: Вторая международная научно-практическая конференция студентов и аспирантов (ИрГУПС, Иркутск, 14 Мая, 2010)/ - Иркутск: ИрГУПС, 2010. – С. 186-191

12. Зоренко О.М., Булнаев А.И. ГИС как универсальный инструмент решения задач радиозекологии (на примере г.Иркутска)//Доклады 3-й Международной конференции «Геоэкологические проблемы современности». – Владимир: ВГГУ. – 2010. – 91-93 с.

13. Зоренко О.М., Булнаев А.И. Оптимизация процесса решения задач радиозекологии с помощью ГИС-инструмента./ Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований//Материалы Всероссийской научно-технической конференции Геонауки-2010. Выпуск 10. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2010. С. 23-26