

*На правах рукописи*

УДК 622.83:550.3

**Далатказин Тимур Шавкатович**

**ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ГОРНОГО МАССИВА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДОНОМЕТРИИ**

Специальность: 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород,  
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2012

**Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном  
учреждении науки Институте горного дела  
Уральского отделения Российской академии наук**

Научный руководитель – доктор технических наук

Сашурин Анатолий Дмитриевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук

Зубков Альберт Васильевич,

кандидат геолого-минералогических наук

Осипова Анастасия Юрьевна

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» (УГГУ)

Защита состоится «24» мая 2012 г. в 15 часов на заседании Диссертационного совета Д 004.010.01 при ИГД УрО РАН по адресу: 620219, г. Екатеринбург, ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института горного дела УрО РАН.

Просьба направлять отзывы почтой в 2 экземплярах, заверенных печатью организации, по указанному выше адресу.

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

Ученый секретарь Диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

В.М. Аленичев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Одна из причин катастрофических событий на поверхности Земли и в верхних слоях литосферы – современная геодинамическая активность. Для исследования этого явления и разработки мер предотвращения аварийных и катастрофических событий, связанных с ним, необходима геодинамическая диагностика, которая предполагает получение распределения численных параметров современной геодинамической активности по исследуемой территории.

Диагностика современной геодинамической активности необходима для широкого перечня объектов: подземных коммуникаций, газо- и нефтепроводов, железнодорожных магистралей, мостов, тоннелей, высотных сооружений, горнодобывающих комплексов, хранилищ токсичных и радиоактивных веществ, АЭС, плотин, дамб и т. п. Деформации и разрушения на таких и подобных объектах, кроме колоссальных материальных потерь, порой сопровождаются человеческими жертвами и вызывают катастрофические экологические последствия.

Геодинамическая диагностика для обеспечения безопасности объектов недропользования – сложный трудоемкий процесс, который необходимо совершенствовать и модернизировать. Новые знания о современных геодинамических процессах определили одно из направлений совершенствования геодинамической диагностики с целью повышения достоверности, снижения трудоемкости и иных затрат – выполнение предварительного геодинамического районирования.

Это определяет актуальность исследований, проведенных автором и представленных в данной работе.

**Решаемая задача:** разработка оперативной методики предварительного геодинамического районирования в комплексе геодинамической диагностики при выборе безопасных участков для ответственных объектов недропользования.

**Цель диссертационной работы:** исследование зависимости поля радоновых эманаций от современной геодинамики для повышения достоверности и оперативности геодинамической диагностики горного массива.

**Идея работы:** использование зависимости параметров поля радоновых эманаций в почвенном воздухе от параметров современной геодинамической активности для геодинамического районирования горного массива.

**Объектом исследований** является поле радоновых эманаций в почвенном воздухе иерархически блочного горного массива.

**Предмет исследований** – зависимость формирования поля радоновых эманаций от современной геодинамики в иерархически блочном горном массиве.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

*1 Временные вариации объемной активности радона, полученные путем режимных наблюдений, дифференцируют надразломный участок по степени современной геодинамической активности на основе учета зональности по степени раскрытия трещин и пор, а также параболической зависимости между изменением расхода флюида через трещины и поры при изменении степени их раскрытия и изменением его расхода.*

*2 Относительное превышение величины объемной активности радона в почвенном воздухе надразломных участков прямо пропорционально амплитудам и частотам циклических геодинамических движений.*

*3 Распределение объемной активности радона в почвенном воздухе в пределах тектонического разрывного нарушения неравномерно, в соответствии с формированием вторичных самоорганизующихся структур в иерархически блочном массиве.*

**Научная новизна работы:**

1 Установлено влияние степени раскрытия трещин и пор на достоверность геодинамического районирования на основе распределения временных вариаций поля радона.

2 Выявлена зависимость параметров поля радоновых эманаций от параметров современной геодинамической активности.

3 Установлен неравномерный характер распределения поля радоновых эманаций в пределах разрывных структур в соответствии с современной геодинамической активностью.

**Практическое значение работы**

Зависимость параметров поля радона от параметров современной геодинамики позволяет использовать радонометрию для оперативного

геодинамического районирования, на основе которого целенаправленно и эффективно определяются количественные параметры современной геодинамики для обеспечения безопасности объектов недропользования.

**Методы исследований.** В работе использованы методы аналитического обобщения научной информации и практический опыт по изучаемому вопросу, натурные измерения объемной активности радона (ОАР), численных параметров современной геодинамической активности с применением GPS-технологий и классических методов геодезии, сопоставление геодинамических моделей по данным радонометрии и по результатам геодезических измерений.

**Достоверность научных положений, выводов и результатов** подтверждается современными представлениями о геодинамических процессах в верхних слоях литосферы, теоретическими исследованиями, применением апробированных методов исследования и опытом применения на практике, комплексностью экспериментальных исследований, удовлетворительной сходимостью результатов геодинамического районирования по данным радонометрии с данными геодезических измерений.

**Апробация работы и публикации.** Материалы и основные положения работы доложены на конференциях. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 4 в журнале, рекомендованном ВАК.

**Личный вклад автора.** Исследования по теме диссертации выполнены за период с 2005 по 2012 г. в лаборатории сдвижения горных пород Института горного дела УрО РАН под руководством д.т.н., заслуженного деятеля науки РФ А.Д. Сашурина. Проанализированы и обобщены опубликованные в специальной литературе теоретические положения по теме диссертации, разработаны и проведены экспериментальные исследования, практические проверки эффективности применения радонометрии для геодинамического районирования горного массива на действующих горных предприятиях и урбанизированных территориях.

**Реализация работы** осуществлена для решения практических задач обеспечения безопасности ответственных объектов на территории Естюнинского, Высокогорского, Гороблагодатского железорудных месторождений, месторождения нефти «Грибное», определении причин деформаций объектов в г. Екатеринбурге.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 150 страницах машинописного текста, содержит 23 рисунка, 4 таблицы, список литературы из 106 наименований.

Автор выражает благодарность научному руководителю д.т.н. А.Д. Сашурину за внимание, высокопрофессиональное руководство на всех этапах работы над диссертацией, член-корр. РАН В.И. Уткину (ИГФ УрО РАН) за научные консультации по теме работы. Автор благодарит к.г.-м.н. А.К. Юркова (ИГФ УрО РАН), д.т.н. С.Н. Тагильцева (УГГА), Ю.С. Усольцева (ФГУГП «Зеленогорскгеология»), д.т.н. А.Е. Балека за внимание к научной деятельности и консультации при выполнении работы, к.г.-м.н. И.А. Козлову, В.П. Бакаева (ИГФ УрО РАН) за содействие и консультации по вопросам диссертации.

Автор благодарит Ю.П. Коновалову, В.И. Ручкина за сотрудничество, коллектив отдела геомеханики ИГД УрО РАН за понимание и поддержку.

### **Основное содержание работы**

**Введение** посвящено актуальности, цели, практической значимости и научной новизне работы.

**Первая глава** диссертации посвящена постановке проблемы и обзору современного состояния методов геодинамической диагностики горного массива. Проведен анализ геолого-геофизических методов с позиции их использования для геодинамического районирования горного массива. *Геологические методы:* геоморфологические методы; структурное бурение; бурение инженерно-геологических скважин; инженерно-геологическое изучение горных выработок; *геофизические методы:* электроразведка, гравиметрия, магниторазведка, сейсморазведка, радонометрия, аэрокосмические методы.

Большинство перечисленных методов определяет параметры геологической среды, по которым невозможно установить наличие современной геодинамики. Исключением являются радонометрия и высокоточная гравиметрия. Оперативность, невысокая стоимость проведения делают ее оптимальным методом для геодинамического районирования.

Радонометрия в варианте эманационной съемки разрабатывалась для поисков скрытых месторождений. Основоположниками метода являются В.И. Баранов, А.Г. Граммаков, А.П. Кириков, Ю.П. Булашевич.

В семидесятые годы XX века установлена зависимость формирования аномалий радона от современной геодинамики в трудах Л.В. Горбушиной, Ю.С. Рябоштана, Д.Г. Осика, Н.И. Хитарова, Г.И. Бойтова, В.С. Лебедева. Разработана методика геодинамического районирования на основе мониторинга поля радона.

Повышению радоновыделения при вибровоздействии посвящены исследования Л.В. Горбушиной, академика В.В. Адушкина.

В 1990-е годы, в работах Ю.П. Булашевича, С. Барабась, В.И. Уткина, А.К. Юркова, В.В. Николаева радон использован как индикатор напряженного состояния горного массива перед сейсмическим событием.

В настоящее время в геодинамической диагностике радонометрия применяется в следующих вариантах:

- измерение плотности потока радона для выявления активных разломов;
- радонометрический мониторинг для геодинамического районирования;
- эманационная съемка для выявления подвижных разрывных структур.

Метод измерения плотности потока радона характеризуется метеозависимостью, низкими оперативностью и производительностью применительно к решению задачи геодинамического районирования.

Методика геодинамического районирования с использованием мониторинга за полем радона базируется на положении, что временные вариации объемной активности радона отражают изменения объема пор и трещин геологической среды при изменениях ее напряженного состояния.

Однако для трещин, согласно уравнению Буссинеска, проницаемость находится в кубической зависимости от ширины ее раскрытия

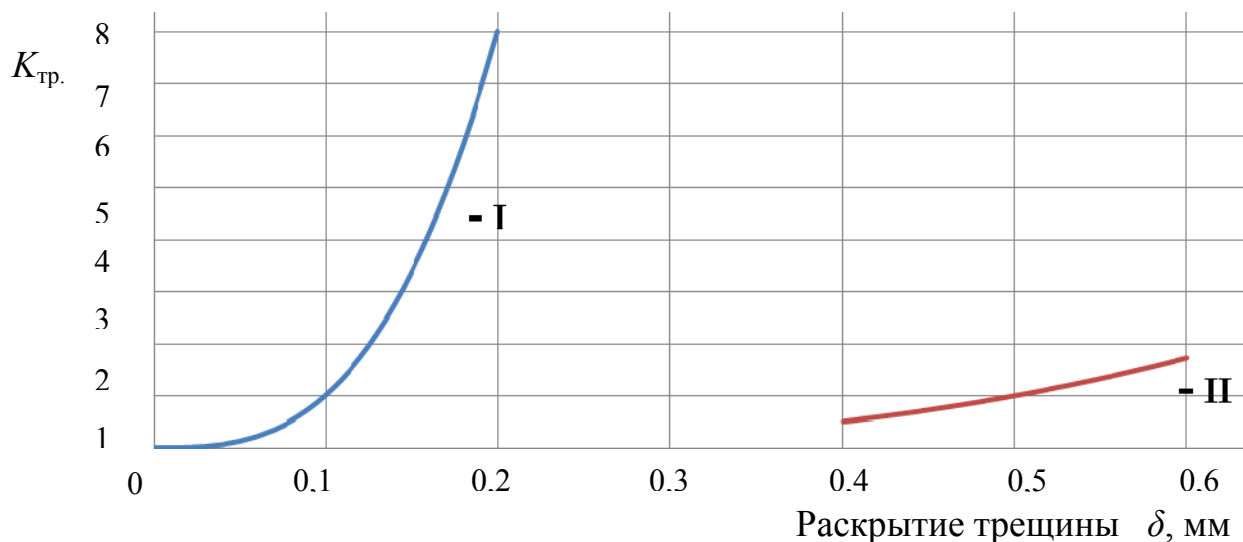
$$q = \frac{g\delta^3}{12\nu} I ,$$

где  $q$  – единичный расход, м<sup>3</sup>/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\delta$  – ширина раскрытия трещины, м ;  $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;  $I$  – градиент напора, м.

Закономерность изменения расхода флюида через трещину при изменении ширины ее раскрытия определяются по формуле

$$K_{\text{тр.}} = q_i / q_{\text{исх.}} = \delta_i^3 / \delta_{\text{исх.}}^3 = (\delta_i / \delta_{\text{исх.}})^3,$$

где  $K_{\text{тр.}}$  – величина, показывающая, во сколько раз изменится исходный единичный расход ( $q_{\text{исходный}}$ ) флюида через трещину при изменении её исходной ширины ( $\delta_{\text{исходная}}$ ) до значения  $\delta_i$ .



— I – исх. ширина трещины 0,1 мм; — II – исх. ширина трещины 0,5 мм

Рисунок 1 – Изменение расхода флюида через трещину при изменении ее ширины, при исходных значениях:  $\delta_1 = 0,1$  мм и  $\delta_2 = 0,5$  мм;  $K = \delta_i^3 / \delta_{\text{исходное}}^3$ ;  $v_1 = v_2 = \text{const}$ ;  $I_1 = I_2 = \text{const}$ .

На графиках (рисунок 1) показано, что изменение расхода флюида  $K_{\text{тр.}}$  имеет параболическую зависимость от изменения ширины раскрытия трещин и происходит интенсивнее при меньшем исходном раскрытии при одинаковом ее приращении. Это следует учитывать при мониторинге поля радона для геодинамического районирования.

Согласно закону Пуазейля, проницаемость поры находится в зависимости от величины радиуса в четвертой степени:

$$Q = \frac{\pi \Delta p r^4}{8 \eta L},$$

где  $Q$  – расход,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\pi = 3,14$ ;  $\Delta p$  – разность давлений на концах поры,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;  $r$  – радиус поры, м;  $\eta$  – динамическая вязкость воздуха,  $\text{кг}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ ;  $L$  – длина поры, м.



Закономерность изменения расхода флюида через пору при изменении ее радиуса определяется формулой

$$K_{\text{пор.}} = Q_i / Q_{\text{исх.}} = r_i^4 / r_{\text{исх.}}^4 = (r_i / r_{\text{исх.}})^4,$$

где  $K_{\text{пор}}$  – величина, показывающая, во сколько раз изменится исходный расход ( $Q_{\text{исх.}}$ ) флюида через пору при изменении его исходного радиуса ( $r_{\text{исх.}}$ ) до значения  $r_i$ .

Идея использования эманационной съемки для геодинамического районирования основывается на том, что поле радона надразломных зон формируется в зависимости от проницаемости разломов и интенсивности вибровоздействия на горные породы, определяемых современной геодинамикой. Для разработки оперативной методики геодинамического районирования необходимо: исследовать закономерности формирования поля радона от современной геодинамики, выполнить опытно-промышленные проверки геодинамического районирования по данным радонометрии.

Во **второй главе** представлена модель формирования поля радона под влиянием современной геодинамики.

1 Приведены характеристики радона, позволяющие использовать его в качестве индикатора современных геодинамических процессов.

Радон присутствует во всех горных породах в виде радиоактивных газообразных веществ – эманаций. Химически инертен. Альфа-излучатель – достоверно регистрируется при малых концентрациях. В 7,5 раз тяжелее атмосферного воздуха. Обладает высокой проникающей способностью. Период полураспада  $Rn$  составляет 3,8 суток, среднее время жизни 5,5 суток, генерация его в горных породах происходит непрерывно.

2 Рассмотрена структурно-геодинамическая модель горного массива

Согласно современным представлениям, массив горных пород имеет дискретно-иерархически блочное строение. Иерархическая делимость определяется законом логарифмически-нормального непрерывного распределения размеров твердых тел при дроблении (А.Н. Колмогоров, Б. Эпштейн, М.А. Садовский). Между собой геоблоки разделены разрывными нарушениями. Разрывные нарушения распространены повсеместно.

Установлены современные движения земной коры, связанные с ее напряженным состоянием. Перемещение блоков происходит по разрывным нарушениям, которые характеризуются геодинамической активностью – подвижностью. Распределение подвижности в пределах разрывных структур дифференцировано в соответствии с формированием вторичных самоорганизующихся структур в иерархически блочном массиве. Установлены два вида современных геодинамических движений – трендовые и циклические.

Трендовые движения сохраняют в течение относительно продолжительных промежутков времени направление и скорость смещения.

Циклические движения имеют периодические знакопеременные изменения направления, характеризуются частотой циклов и амплитудой перемещения, подразделяются на: длинно- и среднепериодные с продолжительностью 0,1-1,0 года (Ю.О. Кузьмин, ИФЗ РАН); короткопериодные циклические движения с продолжительностью циклов от нескольких секунд до часов и более (А.Д. Сашурин, А.А. Панжин, ИГД УрО РАН).

Под влиянием градиентов давления, температуры и концентрации радон мигрирует по проницаемым зонам в горном массиве. Проницаемость трещин для флюидов определяется степенью геодинамической активности. Это объясняется зависимостью степени раскрытия от степени взаимного смещения берегов трещин. Раскрытие поддерживается выступами на соседних блоках, препятствующих смыканию берегов. Современная геодинамика препятствует седиментационному заполнению трещин. Утратив подвижность, трещина теряет проницаемость. В несвязанных и слабосцементированных отложениях проницаемость при геодинамическом воздействии повышается за счет дилатационного разуплотнения.

Согласно Г. П. Шорохову, большинство дизъюнктивных нарушений обладает переменной проницаемостью, изменяющейся как по падению, так и по простиранию. Здесь напрашивается аналогия с положением о дифференцированном характере распределения современной геодинамической активности в границах разломных структурных зон.

В лабораторных и природных условиях установлено, что вибрация повышает интенсивность выделения адсорбированного радона из пород. Покровные отложения являются резонаторами упругих колебаний, излучаемых зонами активных деформаций кристаллического фундамента. Поэтому

аномалии ОАР надразломных зон – признак их подвижности, независимо от мощности осадочных пород.

Переотложение радийсодержащих соединений также является причиной формирования аномалий радона, вызванных повышенной проницаемостью подвижных разломов. Вода – агент гипергенных процессов. В зонах повышенной проницаемости, в условиях геохимического барьера, происходит переотложение и накопление U – Ra содержащих соединений.

Таким образом, геодинамические подвижки влияют на формирование поля радона надразломных участков. Это позволяет дифференцировать горный массив по степени современной относительной геодинамической активности.

**Третья глава** посвящена методике использования эманационной съемки для геодинамического районирования. Эманационная съемка выполняется по стандартной методике – по сети профильных линий, перпендикулярных изучаемому нарушению, с заданным шагом (5-10 м) измеряется ОАР в почвенном воздухе сцинтилляционными радиометрами альфа-активных газов «Радон-01», «Глициния», РГА-500. Для отбора проб почвенного воздуха бурят шпур диаметром 30 – 35 мм, глубиной 0,8 – 1,0 м. С помощью пробоотборника и насоса из шпура в измерительную камеру радиометра нагнетается проба почвенного воздуха. С дисплея радиометра считывается количество импульсов, преобразуемое с помощью коэффициента пересчета в значение ОАР. Применяя метод интерполяции, строится карта распределения ОАР в почвенном воздухе изучаемой территории. Интерпретация результатов радонометрии для геодинамического районирования осуществляется по принципу прямой зависимости формирования поля радона от распределения интенсивности современной геодинамики.

Для устранения влияния нетектонических факторов при геодинамическом районировании предложен метод нормирования. Выделив однотипные по нетектоническому фактору участки, выполняется нормирование значений ОАР каждой точки измерения

$$N_i = Q_i / Q_{\text{ср}} ,$$

где  $Q_i$  – ОАР в почвенном воздухе точки измерения (Бк/м<sup>3</sup>);  $Q_{\text{ср}}$  – среднearифметическое значение ОАР в почвенном воздухе по выделенному

участку (Бк/м<sup>3</sup>);  $N_i$  – нормированная ОАР в почвенном воздухе точки измерения  $i$  (безразмерная величина).

**Четвертая глава** посвящена экспериментальным исследованиям по применимости радонометрии для геодинамического районирования.

1 В 2007 г. на геодинамическом полигоне (Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург), в зоне разрывного нарушения, по профилю, с целью проверки влияния зональности по раскрытию пор и трещин на достоверность геодинамического районирования с использованием мониторинга за полем радона, выполнены 9 серий измерений ОАР в почвенном воздухе. Результаты исследований представлены в таблице 1 и на графиках (рисунки 2; 3). Коэффициент вариации определялся по формуле

$$V=S/X_{cp} ,$$

где  $S = \sqrt{S^2}$  – дисперсия изучаемого параметра;  $X_{cp..}$  – среднее значение параметра.

$$S_i^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp.})^2 / n - 1.$$

Таблица 1 – Результаты мониторинга ОАР в почвенном воздухе в октябре 2007 года

№ т.н.	ОАР в почвенном воздухе (кБк/м <sup>3</sup> ) по сериям наблюдений									V
	18.10	19.10	20.10	21.10	22.10	23.10	24.10	25.10	26.10	
1	26.4	30.0	29.8	28.0	28.2	35.0	29.3	31,2	29.8	<b>0.081</b>
2	29.8	31.8	30.2	31.9	36.3	37.6	37.3	35,0	39.7	<b>0.101</b>
3	24.8	22.2	22.7	12.4	18.8	11.6	21.6	25,2	24.6	<b>0.253</b>
4	25.4	18.5	28.3	25.1	32.4	36.3	37.4	31,3	31.2	<b>0.201</b>

Наблюдается увеличение коэффициента вариации от осевой части разлома, где значения ОАР максимальны, к периферии, в направлении которой ОАР снижается. Это объясняется большей шириной раскрытия трещин в осевой части. Таким образом, распределение коэффициента вариации ОАР в почвенном воздухе зависит не только от распределения параметров

современной геодинамики, но и от зональности по величине раскрытия трещин и пор (таблица 1, рисунки 4, 5). Результаты эксперимента подтверждают *первое защищаемое положение*.

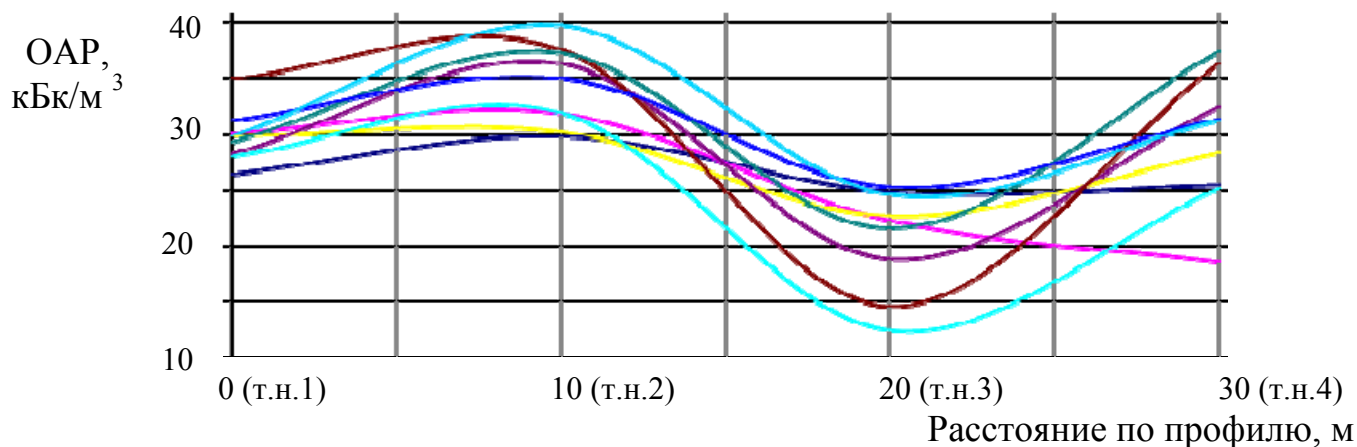


Рисунок 2 – Распределение ОАР в почвенном воздухе в 9 сериях измерений по наблюдательному профилю

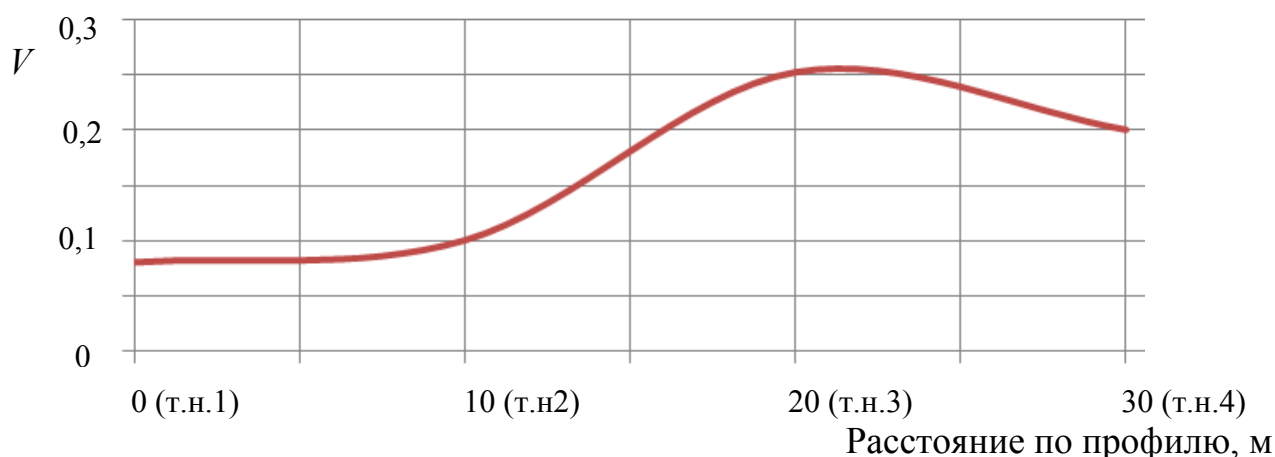


Рисунок 3 – Распределение  $V$  – коэффициента вариации ОАР в почвенном воздухе в 9 сериях измерений по наблюдательному профилю

2 С целью исследования возможностей эманационной съемки для геодинамического районирования в 2008 г. на геодинамическом полигоне (Ботанический сад УрО РАН) выполнен эксперимент. Его цель – сопоставление геодинамического районирования по данным эманационной съемки и GPS-измерений короткопериодной геодинамики. На первом этапе проведена эманационная съемка. По ее данным выполнено геодинамическое районирование (см. рисунок 4). ОАР в почвенном воздухе участка изменятся от 1,6 до 37,8 кБк/м<sup>3</sup>, что свидетельствует о высоком потенциале современной геодинамики. Далее с использованием GPS определены численные параметры короткопериодной геодинамики участка. Максимальные амплитуды вертикальных смещений 34 мм при погрешности измерений 3–5 мм,

максимальные горизонтальные амплитуды – меридиональные, составляют 22 мм при погрешности измерений 2 – 4 мм.

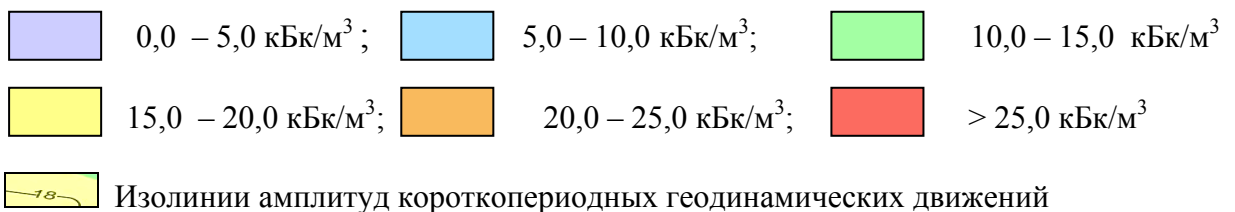
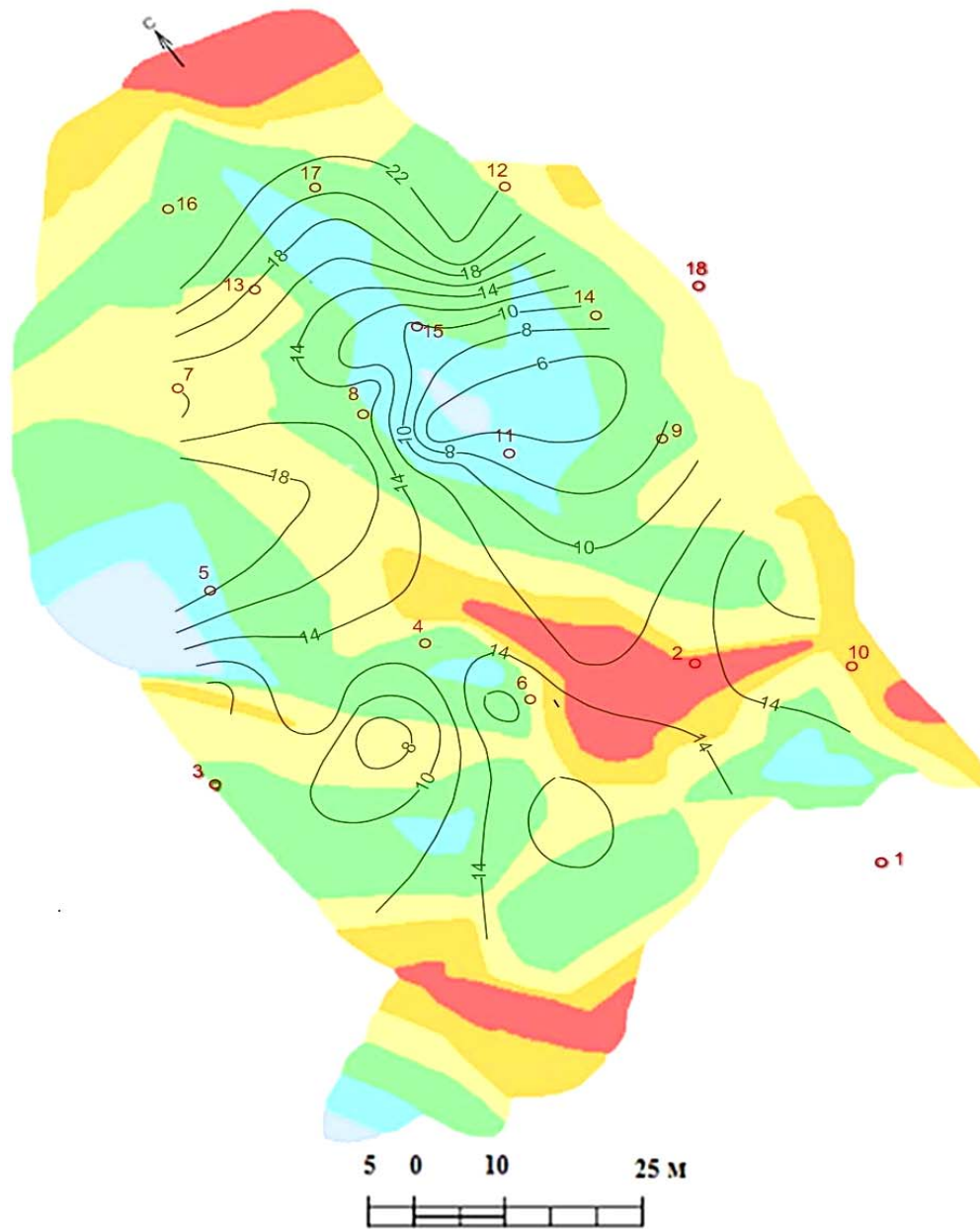


Рисунок 4 – Геодинамическая модель участка, построенная по данным радонометрии, совмещенная с амплитудами вертикальных короткопериодных движений

Совмещение результатов GPS-измерений и геодинамической модели по данным радонометрии, свидетельствует об их соответствии.

Результаты эксперимента подтвердили *второе защищаемое положение.*

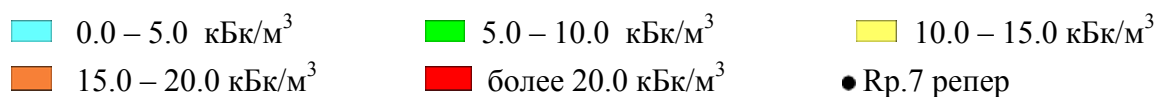
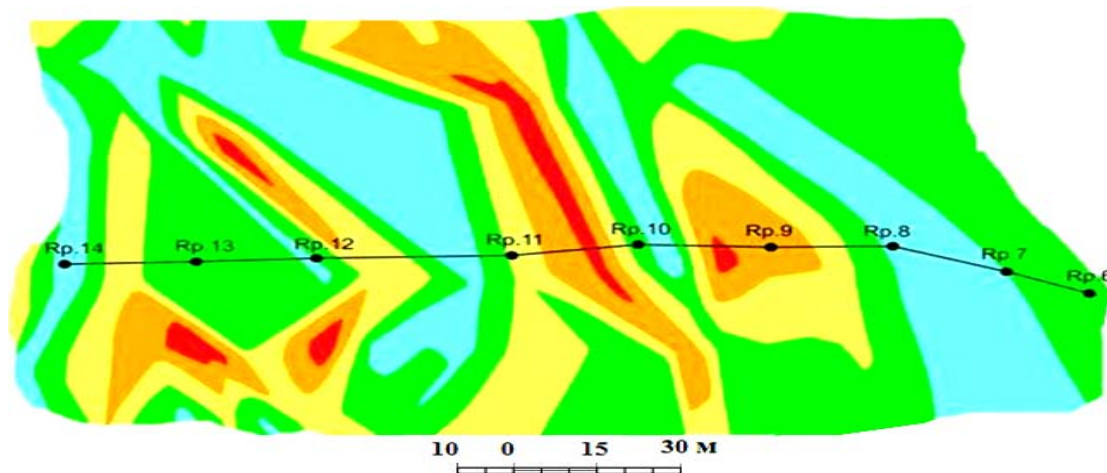
В пятой главе приведены результаты опытно-промышленных проверок использования радонометрии для геодинамического районирования. Данные исследования были проведены на объектах недропользования с различными горно-геологическими условиями и на урбанизированной территории.

Первый объект – Естюнинское железорудное месторождение (ВГОК, г. Н. Тагил, Свердловская область), отработываемое подземным способом в горно-складчатых условиях Среднего Урала в массиве магматических горных пород.

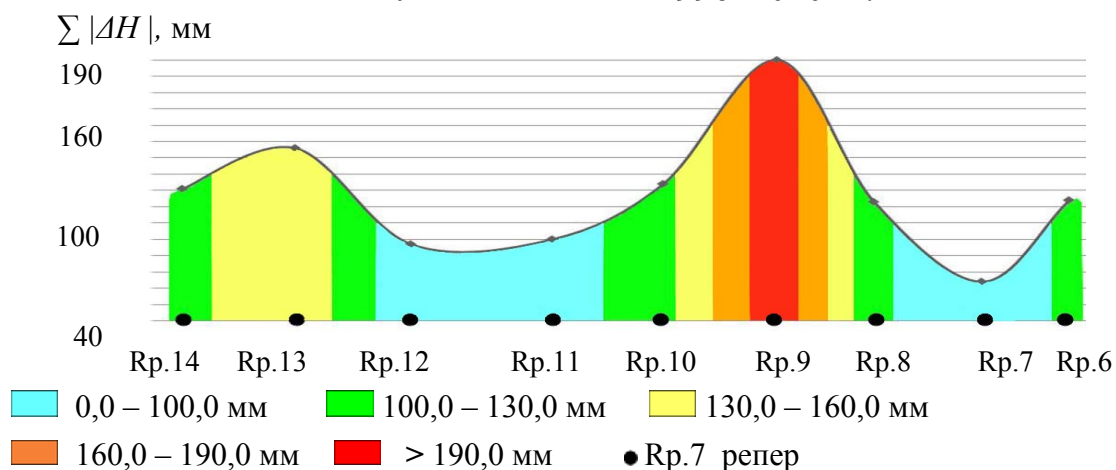
Проведение радонометрических исследований было обусловлено необходимостью геодинамического районирования исследуемого горного массива, характеризуемого интенсивным техногенным формированием вторичного поля напряжений для обеспечения безопасности охраняемых объектов. ОАР в почвенном воздухе участка изменяется от 1,6 до 24,1 кБк/м<sup>3</sup>, что свидетельствует о высокой степени современной геодинамической активности. При сопоставлении геодинамического районирования по данным радонометрии и геодезического мониторинга по профильной линии III – III учтено, что современные подвижки носят знакопеременный характер. Поэтому, учитывая геодинамический механизм формирования поля радона, для сопоставления использовалось накопление вертикальных смещений реперов по абсолютной величине за 1996-2010 гг. и изменение расстояний между реперами в 2008 - 2010 гг. (см. рисунок 5). Использование радонометрии позволило оперативно и с минимальными трудозатратами:

- выявить активные разрывные структуры на исследуемой территории;
- выполнить геодинамическое районирование на исследуемом участке;
- распространить результаты инструментальных мониторинговых геодезических измерений на профильной линии III-III на прилегающую к ней площадь.

Геодинамическое районирование по данным радонометрии на участке  
профильной линии III - III



Распределение суммарных вертикальных смещений реперов по профильной линии III - III в 1996–2010 гг.



Изменение длин между реперами по профильной линии III - III в  
2008 - 2010 гг.

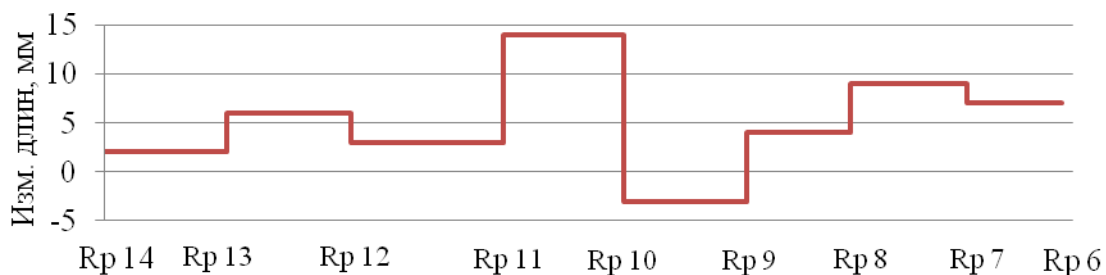


Рисунок 5 – Геодинамическое районирование по данным радонометрии на участке профильной линии III – III (Естюнинское месторождение) и результаты геодезического мониторинга.



Второй объект – месторождение нефти «Грибное». С целью определения параметров современных геодинамических движений, оценки их воздействия на охраняемые объекты был выполнен комплекс геофизических и геодезических исследований, в ходе которых изучена применимость радонометрии для геодинамического районирования на территориях, перекрытых значительными толщами осадочных пород.

Месторождение нефти «Грибное» расположено в платформенных условиях Западно-Сибирской низменности. Особенность геологического разреза месторождения – наличие мощного (порядка 3000 м) осадочного чехла, сложенного в основном песками и глинами. По данным радонометрии, геодинамическая ситуация определяется активными разломными зонами северо-западного и северо-восточного простирания (рисунок 6). ОАР изменяется от 1,5 до 13,6 кБк/м<sup>3</sup>. Выполнены GPS-измерения современных короткопериодных геодинамических движений. Максимальные вертикальные амплитуды смещений 142 мм, максимальные горизонтальные 97 мм.

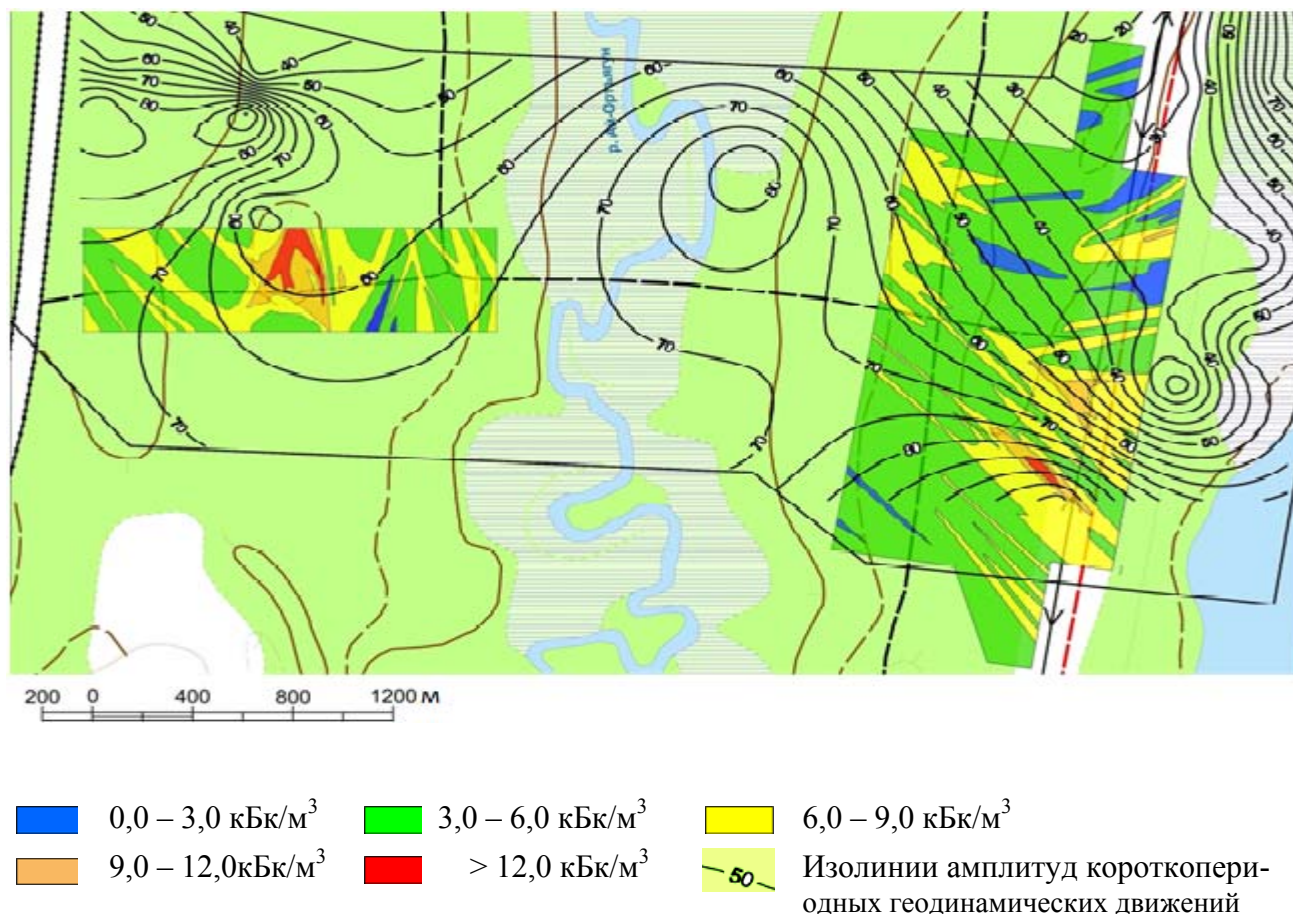


Рисунок 6 – Геодинамическая модель по данным радонометрии, совмещенная с амплитудами вертикальных короткопериодных геодинамических движений (месторождение нефти «Грибное», г. Кагалым)

Сопоставление геодинамических моделей по данным радонометрии и GPS-измерений свидетельствует об эффективности геодинамического районирования на основе эманационной съемки для массива с мощным осадочным чехлом.

Сопоставление результатов измерения ОАР в почвенном воздухе, минералогического и гамма-спектрального анализа проб грунта подтвердило геодинамическую природу формирования аномалий радона в почвенном воздухе на исследуемой территории.

Третий объект – прилегающая территория деформированного жилого, 9-этажного, 4-подъездного дома по адресу г. Екатеринбург, ул. Мусоргского, 6 (рисунок 7). Выполнена проверка применимости радонометрии для геодинамического районирования на урбанизированных территориях.

Деформации дома начались сразу же после его возведения в 1982 г. Видимые деформации выражены на дворовом фасаде (сеть трещин). Инженерно-геологические изыскания на участке выполнены: в 1979 г. «УралТИСИЗ»; в 2000 г. ООО «Николай-ИнГео». Причины деформаций дополнительными исследованиями выявлены не были.



Рисунок 7 – Аварийный жилой дом по ул. Мусоргского, 6 в Екатеринбурге

Для определения геодинамической ситуации на прилегающей к аварийному дому территории в 2010 г. выполнена эманационная съемка (рисунок 8). Покровные отложения в ее пределах отличаются по диффузным свойствам. Поэтому при построении геодинамической модели применен метод нормирования значений ОАР в почвенном воздухе.

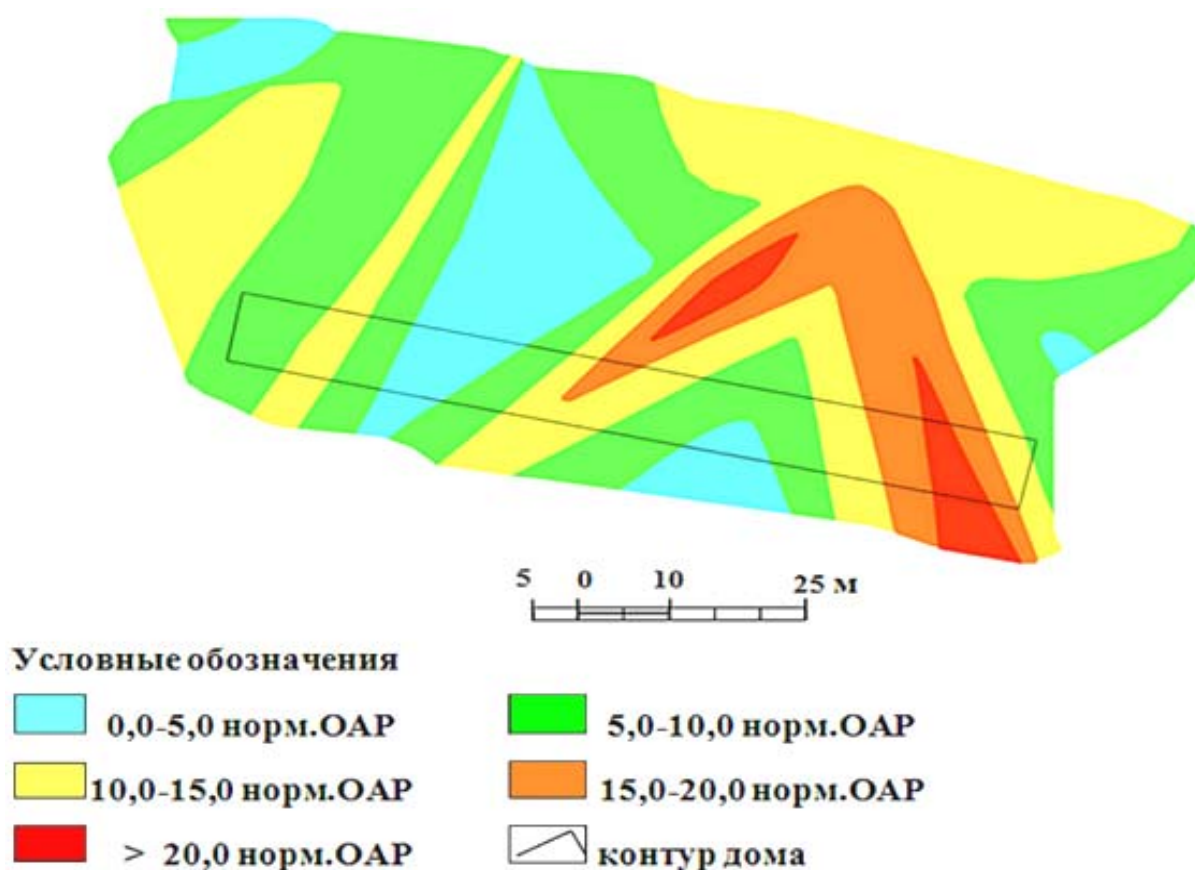


Рисунок 8 – Геодинамическое районирование на основе нормированных значений ОАР в почвенном воздухе, г. Екатеринбург, ул. Мусоргского, 6

Нивелирование с 2-месячной периодичностью не зафиксировало современной геодинамической активности. Проведение GPS-измерений на участке выполнить невозможно из-за плотной высотной жилой застройки. Геодинамическая модель территории по данным радонометрии соответствует деформациям здания.

Таким образом, сопоставление геодинамического районирования по данным радонометрии и геодезических исследований, выполненных в ходе опытно-промышленных проверок в различных горно-геологических условиях, свидетельствует об их соответствии. Анализ распределения ОАР в почвенном воздухе исследованных территорий и распределения количественных параметров современной геодинамики подтвердил *третье защищаемое положение.*

## Заключение

В диссертации на основании выполненных экспериментальных и теоретических исследований решена актуальная научно-техническая задача проведения диагностики современной геодинамической активности горного массива с целью обеспечения безопасности ответственных объектов недропользования на основе геодинамического районирования с использованием радонометрии.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

- 1 На основании современных научных представлений о структурно-геодинамической модели горного массива и анализа современных геолого - геофизических методов обоснован выбор радонометрии в качестве оптимального метода предварительного геодинамического районирования.
- 2 При разработке методики геодинамического районирования с использованием радонометрии теоретически определена параболическая зависимость временных вариаций объемной активности радона в пределах разломной зоны от изменяющихся во времени величин раскрытия трещин и пор. Экспериментально подтверждено влияние зональности по степени раскрытия трещин и пор на достоверность геодинамического районирования с использованием режимных наблюдений за полем эманаций радона.
- 3 Обосновано использование распределения градиента поля радона по площади исследуемого горного массива в качестве критерия оценки геодинамической ситуации.
- 4 Разработана методика устранения влияния нетектонических факторов на результаты геодинамического районирования с использованием радонометрии путем нормирования значений объемной активности радона в почвенном воздухе.
- 5 Экспериментально установлено соответствие геодинамического районирования по данным эманационной съемки и геодинамического районирования по данным GPS-измерений современных короткопериодных геодинамических движений.
- 6 В результате проведенных опытно-промышленных проверок установлено:
  - параметры поля радоновых эманаций зависят от параметров современной геодинамической активности;

- геодинамическое районирование с использованием радонометрии отражает весь спектр современных геодинамических движений;
- зависимость параметров поля радоновых эманаций от параметров и механизма современной геодинамической активности позволяет использовать радонометрию в комплексе геодинамической диагностики для оперативного геодинамического районирования;
- геодинамическое районирование горного массива на основе эманационной съемки позволяет оптимально проводить измерение количественных параметров современной геодинамической активности для обеспечения безопасности объектов недропользования;
- эффективность геодинамического районирования по данным радонометрии для массивов с мощным чехлом осадочных пород и помехоустойчивость на урбанизированных территориях.

**Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:**

- 1 Далатказин Т. Ш. Диагностика современной геодинамической активности горного массива при строительстве и эксплуатации ответственных объектов/ Т. Ш. Далатказин //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2005. - № 11. - С. 120 - 123.
- 2 Далатказин Т. Ш. Взаимосвязь уровня радоновой эмиссии с современной геодинамикой и тектоническими зонами/ Т. Ш. Далатказин //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - № 2. - С. 212 - 215.
- 3 Далатказин Т. Ш. Создание геодинамического полигона на территории г. Екатеринбурга / Т. Ш. Далатказин //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2008. - № 1. - С. 181 - 184.
- 4 Далатказин Т.Ш. Использование радонометрии при изучении современной геодинамики на территориях, перекрытых мощным чехлом осадочных пород для решения задачи обеспечения безопасной эксплуатации объектов недропользования /Т.Ш. Далатказин//Горный информационно-аналитический бюллетень.–2011. – №7. – С.249 – 253.

**Статьи, опубликованные в научных сборниках, журналах и материалах конференций:**

- 1 Далатказин Т. Ш. Влияние современной геодинамики на экологическую обстановку /Т. Ш. Далатказин //Геомеханика в горном деле: доклады

международной конференции, 5 - 8 июля 2005 г. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН. - 2005. - С. 318 - 320.

2 Далатказин Т. Ш. Использование нормированных значений объемной активности радона при структурно-геодинамической диагностике горного массива для решения задачи обеспечения безопасности объектов недропользования/ Т. Ш. Далатказин //Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений: труды 2 Международ. конф. 22 - 24 мая 2007 г. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ. - 2007. - С. 158 – 162.

3 Далатказин Т. Ш. Использование радонометрии при структурно-геодинамическом исследовании горного массива для обеспечения безопасности ответственных объектов недропользования/ Т. Ш. Далатказин //ТехНАДЗОР. - 2008. - № 2. - С. 94 – 95.

4 Далатказин Т. Ш. Использование радонометрии при структурно-динамическом исследовании горного массива для обеспечения безопасности ответственных объектов недропользования/ Т. Ш. Далатказин //Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской конференции 10 - 11 окт. 2008 г. / ИГД УрО РАН . - Екатеринбург, 2008. - С. 143 - 148.

5 Далатказин Т. Ш. Влияние современной геодинамической активности на экономическую и экологическую ситуацию/Т. Ш. Далатказин //Экономические и экологические проблемы природопользования в горно-металлургическом комплексе: материалы Международ. научно-техн. конференции / Ин-т экономики УрО РАН, УГГУ. - Екатеринбург : Ин-т экономики УрО РАН. - 2009. - С. 66 - 76.

6 Далатказин Т.Ш. Изучение причин деформаций здания гаража в центральной части Екатеринбурга/ С. Н. Тагильцев, А. Ю. Хаустова, А. Е. Лукьянов, Т. Ш. Далатказин //Проблемы комплексных инженерных изысканий для всех видов строительства : материалы научно-практической конференции 16 - 17 июля 2009 г. / ЗАО " УралТИСИЗ". - Екатеринбург: ЗАО "УралТИСИЗ". - 2009. - С. 125 - 129.

7 Далатказин Т. Ш. Геодинамическое районирование горного массива с использованием измерений радоновых эманаций в почвенном воздухе для снижения риска аварийности объектов недропользования/ Т. Ш. Далатказин //Геомеханика в горном деле: доклады научно-техн. конф. 14 - 15 окт. 2009 г. / ИГД УрО РАН. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН. - 2010. - С. 37 - 48.

8 Далатказин Т.Ш. Влияние активной тектоники на деформации зданий в Екатеринбурге / С.Н. Тагильцев, А.Ю. Хаустова, А.Е. Лукьянов, Т.Ш. Далатказин// Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии: труды Международной научной конференции. Москва, геологический факультет МГУ 25 – 26 мая 2010 г. – М.: Изд- во МГУ. 2010. – С. 124 – 125.

9 Далатказин Т.Ш. Анализ применения режимных наблюдений за полем радоновых эманаций в геодинамической диагностике / Т.Ш. Далатказин // Горное дело: технологии, оборудование, спецтехника: IV Уральский горнопромышленный форум: тезисы конференций и круглых столов. – Екатеринбург. Изд.- во АМБ. – 2011. С. 114 – 115.