

На правах рукописи

УДК 622.84



**Мельник Виталий Вячеславович**

**ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ДЛЯ  
ДИАГНОСТИКИ ОПАСНОСТИ КАРСТОПРОЯВЛЕНИЙ ПРИ  
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ**

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

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург - 2010

Работа выполнена в **Институте горного дела  
Уральского отделения Российской академии наук**

Научный руководитель – доктор технических наук  
**Сашурин Анатолий Дмитриевич**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Тагильцев Сергей Николаевич**

доктор технических наук  
**Зотеев Олег Вадимович**

Ведущая организация – **Пермский государственный  
технический университет**

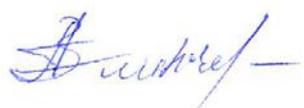
Защита состоится «\_\_\_\_\_» декабря 2010 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 004.010.01 при Институте горного дела УрО РАН по адресу: 620219, г. Екатеринбург, ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58.

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 разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

 . Аленичев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В современных условиях рыночной экономики особенно остро встает вопрос рационального использования территорий для строительства и эксплуатации объектов недропользования, поскольку опасные геологические процессы делают огромные экономически выгодные территории непригодными для использования. Карстопроявления занимают особое место среди опасных процессов, происходящих в земной коре, по степени скрытости его протекания, внезапности проявления, катастрофичности последствий и трудности прогнозирования. Только в России карстовым деформациям подвержено около 13 % территории, в том числе в пределах более 300 городов и тысяч более мелких поселений, в которых проживают 19 % населения страны. Суммарный экономический ущерб от карстового и тесно связанного с ним суффозионного процессов составляет в России, по экспертным оценкам, от 30 до 45 млрд. руб. в год. В связи с этим разработка научно обоснованного подхода к рациональному использованию карстоопасных территорий, учитывающего закономерности воздействия карстопроявлений на объекты недропользования, представляет собой актуальную научную и практическую задачу.

В работе исследована роль геомеханических и геодинамических факторов в развитии карстопроявлений, разработана методика диагностики карстопроявлений территорий для безопасного строительства и эксплуатации объектов в различных областях экономики, связанных с недропользованием.

Работа выполнена в рамках фундаментальных исследований: грантов РФФИ № 06-05-66404 (2006-2008 гг.) и № 07-05-00613 (2007-2009 гг.); федеральной целевой программы № 2007-5-1.5-21-03 (2007 г.); приоритетной программы фундаментальных исследований Президиума РАН №13 (2006 г.); интеграционной программы совместных исследований УрО РАН с СОРАН (2009 г.); программ отделения наук о Земле РАН №5 (2006 г.) и №6 (2008 г.); Госконтракта № 02.740.11.0317 (2009 г.).

**Объект исследований** – карстоопасный массив горных пород.

**Предмет исследований** – процессы деформирования в карстоопасных массивах и их влияние на объекты недропользования.

**Цель работы** заключается в исследовании геомеханических процессов и явлений, происходящих в районах распространения поверхностного и подземного карста, а также их влияния на активизацию карстопроявлений и параметры сдвижения от подземных карстовых пустот для оценки безопасности объектов недропользования в зоне их влияния.

**Основные задачи исследований:**

- анализ современного состояния и изученности опасности карстопроявлений, методов изучения карста и прогнозирования вредного влияния на объекты недропользования;

- изучение геомеханических процессов, происходящих на карстоопасном участке, и построение его геомеханической модели для определения параметров сдвижения от карстовых пустот;

- обоснование методов исследования массива горных пород при построении геомеханической модели;

- разработка методики оценки опасности карстопроявлений с точки зрения выхода процесса сдвижения на земную поверхность, а также влияние погребенного карста на устойчивость объектов недропользования;

- промышленные эксперименты по проверке разработанной методики для решения конкретных задач обеспечения безопасности строительства и эксплуатации объектов недропользования на закарстованных территориях.

**Основная идея работы** заключается в использовании зависимости опасности карстопроявлений от структурно-тектонического строения массива и его современной геодинамической активности, определяющей фильтрационные свойства и степень дезинтеграции налегающей толщи.

**Основные защищаемые положения:**

- 1 Активизация карстопроявлений происходит в зонах тектонических нарушений, обладающих высоким уровнем современных

трендовых и циклических геодинамических движений. Современные движения поддерживают горный массив в дезинтегрированном состоянии, вызывают образование новых и раскрытие существующих трещин, определяющих снижение прочностных характеристик и повышенную водопроницаемость породного массива.

2 Опасность карстопроявлений выражается в развитии деформационных процессов на земной поверхности. Параметры деформации поверхности зависят от глубины залегания, морфологии и степени заполнения карстовой полости. Современное развитие деформационных процессов определяется степенью изменения геомеханических и гидрогеологических характеристик массива горных пород под воздействием природной и техногенной геодинамической активности геологической среды.

3 Применение систем спутниковой геодезии в сочетании с геофизическими методами изучения приповерхностной части геологической среды (электрометрия, спектральное сейсмопрофилирование, георадарное зондирование) позволяет обосновать объемную модель геологического строения и определить количественные характеристики геодинамической подвижности карстоопасного участка. Полученная структурно-динамическая модель массива горных пород выступает в качестве геомеханической основы достоверного выявления и прогнозирования развития опасных карстопроявлений.

**Научная новизна работы** определяется следующими основными результатами:

1 Выявлены основные геомеханические факторы, определяющие опасность карстопроявлений, – современная геодинамическая активность тектонических нарушений, трансформация свойств пород в тектонических нарушениях и изменение гидродинамического режима.

2 Обоснованы принципы определения степени карстовой опасности на основании расчета возможности выхода процесса сдвижения от карстовых полостей на земную поверхность.

3 Разработана и успешно опробована новая методика диагностики карстопроявлений и параметров образующихся пустот геофизическими и геодезическими методами.

**Практическое значение работы.** Разработанная методика диагностики карстопроявлений позволяет обеспечить безопасное освоение закарстованных территорий. Результаты диссертации использованы для решения практических задач определения причин карстопроявлений и выдачи рекомендаций по безопасной эксплуатации объектов различного назначения на закарстованных территориях Урала и Сибири.

**Достоверность** научных положений подтверждается положительным результатом большого объема экспериментальных работ в полевых условиях, использования проверенных методов исследования структуры горного массива и геодинамической активности, численного сопоставления результатов промышленных экспериментов с модельными представлениями, использования защищаемых в диссертации положений отделом геомеханики ИГД УрО РАН при решении задач обеспечения безопасности строительства и эксплуатации объектов недропользования на закарстованных территориях.

**Личный вклад автора** состоит в проведении натурных наблюдений, сборе, анализе и систематизации данных практики и ранее проведенных исследований. Лично автором разработана методика изучения геомеханических параметров карстоопасного массива; установлены критерии устойчивости, деформирования и обрушения земной поверхности от карстовых полостей; установлена взаимосвязь между геодинамической активностью карстоопасной территории и выходом воронок обрушения от карста на земную поверхность.

**Реализация работы** осуществлена при исследовании процессов сдвижения и решении вопросов охраны объектов, находящихся в пределах развития карста, на Качканарском ГОКе, Высокогорском ГОКе, ОАО «Илецксопь», СУБРе, объектах линейных инженерных сооружений г. Сургута и ОАО «Уралтрансгаз», при производстве инженерных изысканий в Пермском крае и

на других объектах недропользования.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях «Геомеханика в горном деле» (Екатеринбург, 1999, 2000, 2007, 2009 гг.), «Неделя горняка» (Москва, 2005, 2006, 2007, 2008 гг.), молодежных научно-практических конференциях «Проблемы недропользования» (Екатеринбург, 2007, 2009, 2010 гг.); на технических совещаниях по решению проблем карстопроявлений (ОАО Высокогорский ГОК, ОАО «Илецксоля», Качканарский ГОК, СУБР, ОАО «Уралтрансгаз»).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 30 печатных работ. Основные положения диссертации и методика исследований изложены в 16 работах, в том числе 7 в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Содержит 189 страниц машинописного текста, в том числе 8 таблиц и 72 рисунка. Список использованных источников включает в себя 102 наименования.

Автор выражает благодарность за профессиональное руководство научному руководителю д.т.н. А.Д. Сашурину, за содействие, поддержку и консультации по вопросам диссертации проф., д.т.н. С.В. Корнилкову, а также сотрудникам отдела геомеханики ИГД УрО РАН за сотрудничество и поддержку, оказанные в период выполнения исследований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы.

**В первой главе** диссертации представлено современное состояние методов оценки карстопроявлений, поставлены задачи исследований.

Проблеме изучения условий и закономерностей развития карста, способам и методам инженерной защиты от него, прогнозированию проявлений карста и оценке карстоопасности посвящены работы многих известных российских и зарубежных исследователей, таких как Г.А.

Максимович, А.А. Крубер, Н.В. Родионов, Н.А. Гвоздецкий, Д.С. Соколов, И.А. Саваренский, В.М. Кутепов, А.В. Ступишин, В.И. Мартин, И.А. Печеркин, В.В. Толмачев, J. Corbel, J. Jarin, A. Vogli и другие. В инженерной геологии вопросам изучения карста посвящены работы В.Д. Ломтадзе, В.С. Лукина, А.Г. Чикишева. Гидрогеология карста исследовалась Н.Д. Будановым, В.Ф. Прейсом, Н.С. Шабалиной, В.П. Новиковым, И.И. Плотниковой. Разработкой геофизических методов изучения карстопроявлений занимались А.А. Огильви, Л.В. Пинягина, П.В. Вишнеvский, А.А. Абрамов. Вопросами оценки карстовой опасности занимались З.А. Макеев, В.В. Толмачев, Ф. Ройтер, Х. Молек, И.А. Саваренский, Н.А. Миронов, Г.Н. Дублянская и В.Н. Дублянский.

Анализ современного состояния проблемы опасности карстопроявлений показал, что общепринятой интегральной мерой рассматриваемой опасности до последнего времени является среднемноголетняя интенсивность провалообразования, предложенная З.А. Макеевым в 1948 г.

Существует ряд нормативных документов, регламентирующих проведение изысканий, проектирование, строительство и эксплуатацию зданий и сооружений на закарстованных территориях. Меры защиты в них сводятся к ограничению строительства, снижению ответственности сооружений, выбору противокарстовых мероприятий на карстоопасных территориях по тем же косвенным признакам, основанным на статистически-вероятностной оценке территории.

Методы, позволяющие непосредственно оценивать карстовую опасность, только начинают внедряться в практику проектирования объектов, в том числе делаются попытки компьютерного моделирования процесса сдвижения от карстовых пустот, но в этих работах рассматривается идеализированная среда без учета реальных структурных особенностей карстового массива и современной геодинамики. Недоучет этих факторов в реальных условиях может привести к непредсказуемым последствиям.

Таким образом, разработка методики, направленной на прогнозную

оценку потенциальной опасности выхода обрушений от карстовых пустот на поверхность, вида и формы деформирования поверхности с учетом геомеханических факторов, определяющих свойства закарстованного массива, является основным направлением исследований в диссертации.

*Во второй главе* обоснованы основные геомеханические факторы, определяющие карстоопасность массива горных пород, – тектоническая нарушенность и современная геодинамическая активность карстоопасного массива, а также определена взаимосвязь этих факторов с гидрогеологическими характеристиками массива, отвечающими за процессы карстообразования. Активизация карстопроявлений возможна в тех зонах породных массивов, где открытые и взаимосвязанные трещины, определяющие водопроницаемость скальных горных пород, возникают и сохраняются в связи с геодинамической активностью.

Исходя из обоснованных Д.С. Соколовым четырех необходимых условий развития карста (наличия растворимых пород, их водопроницаемости, движущейся воды и ее растворяющей способности) можно обосновать основные факторы, влияющие на активизацию карстопроявлений.

Обрушение возможно только при достижении карстовой полостью предельных размеров, при этом интенсивность подземной карстовой денудации в естественных условиях (по формуле А.Г. Чикишева) составляет, мм/1000 лет

$$I = 0,0126QT/P, \quad (1)$$

где  $I$  – интенсивность карстового процесса;  $Q$  – сток;  $T$  – содержание в воде растворимой карстующейся породы;  $P$  – площадь карстующихся пород; 0,0126 – коэффициент для карбонатных пород (для сульфатных 0,0117).

Для известняков

$$I = 0,0126 \cdot 0,00266 \cdot 550 / 1 = 0,018$$

Следовательно, растворение карбонатных пород в естественных условиях играет ничтожно малую роль в активизации провалообразования.

Основными причинами активизации карстопроявлений являются:

- современная геодинамическая активность тектонических нарушений, определяющая повышенную водопроницаемость и раскрытие трещин, а также высокую степень дезинтеграции налегающей над карстовой полостью толщи;
- нарушение гидродинамических условий в результате эксплуатации трещинно-карстового водоносного горизонта, что приводит к увеличению скорости движения воды и изменению направления ее движения;
- утечки из городских коммуникаций и нарушение поверхностного стока, что приводит к повышению агрессивности и усилению поверхностной инфильтрации.

Влияние активной тектоники и техногенной деятельности на проявления карста представлено на схеме проявления карстово-суффозионных процессов по району г. Дзержинска, построенной филиалом ОАО ПНИИИС «Противокарстовая и береговая защита» (рисунок 1). Практически вся территория города является карстоопасной, но провалы происходят преимущественно в тектонически нарушенных зонах, особенно в местах пересечения тектонических нарушений. Статистическая обработка результатов мониторинга показала, что 86% всех образовавшихся карстовых провалов приходится на зоны тектонических нарушений и прилегающие к ним территории и только 14% провалов расположены за их пределами (рисунок 2).

Современными исследованиями установлено, что значения смещений и деформаций в зонах тектонических нарушений за счет межблочных подвижек в 4 – 6 раз превышают внутриблочные смещения и деформации участков массива, находящихся между этими зонами. Кроме повышенной водопроницаемости, массив горных пород над карстовыми полостями в таких зонах приведен в дезинтегрированное состояние, уменьшающее его прочностные свойства.

Взаимосвязь гидрогеологических, структурно-тектонических и геодинамических характеристик карстоопасного массива имеет большое значение при прогнозировании карстопроявлений. Фильтрационные свойства горного массива, отвечающие за процессы карстообразования в нем,



Рисунок 1 – Схема проявления карстово-суффозионных процессов по району г. Дзержинска за 50 лет (1956 – 2005 гг.)

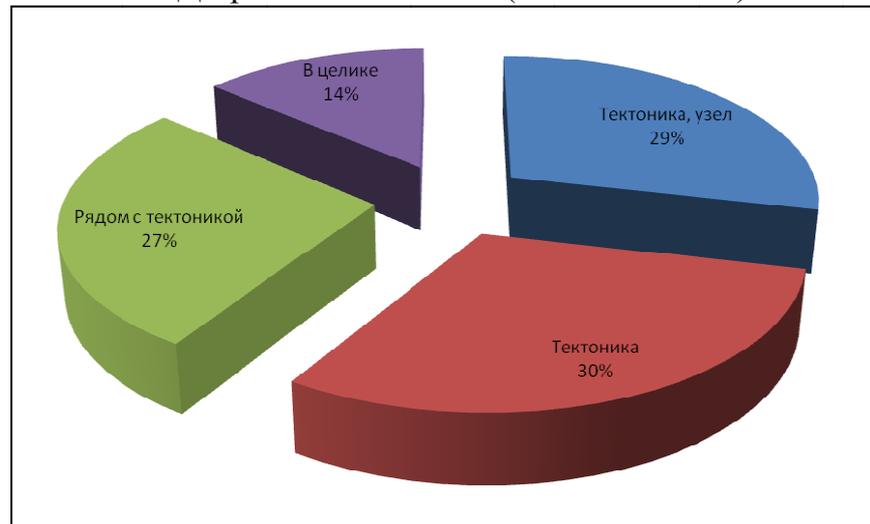


Рисунок 2 – Количественное соотношение зон образования карстовых провалов

полностью зависят от степени его трещиноватости и тектонической нарушенности. Современная геодинамическая активность тектонических нарушений, в свою очередь, провоцирует активизацию трещиноватости и переход массива в дезинтегрированное состояние, предопределяя развитие обрушений над карстовой полостью.

*В третьей главе* обоснована методика исследования карстопроявлений, проведена оценка методов глубинной диагностики структуры карстоопасного

массива, определены оптимальные геофизические методы построения геомеханической модели, рассмотрены методы исследования современной геодинамической активности тектонических нарушений.

Достоверное выявление опасных карстопроявлений требует обязательного изучения тектонической структуры и оценки уровня геодинамической активности породного массива. Специальный комплекс геофизических и геодезических исследований позволяет оценить блочную структуру, степень нарушенности и уровень современной подвижности отдельных структурных элементов карстового массива. Исследования, проведенные в настоящей работе, показали, что наиболее информативными, производительными, достоверными и дешевыми являются геофизические методы изучения карста в сочетании с технологиями спутниковой геодезии GPS.

Наиболее эффективны электроразведка, георадарное зондирование и спектральное сейсмопрофилирование. Электроразведка обеспечивает площадные исследования для диагностики тектонического строения карстоопасной территории и ограничения закарстованности по площади. Георадарное зондирование используется для диагностики состояния налегающей толщи и распространения приповерхностного карста, а спектральное сейсмопрофилирование – для оценки степени дезинтеграции горного массива, уточнения структурного строения и выявления геоморфологии глубинного карста.

Информацию о деформации земной поверхности за определенное время можно получить только на тех участках, где проводится постоянный геодезический мониторинг в течение длительных периодов. Текущие исследования современной геодинамической активности, которая предопределяет фильтрационные свойства карстоопасного массива и степень дезинтеграции налегающей толщи, наиболее эффективно проводятся с использованием технологий спутниковой геодезии GPS.

***В четвертой главе*** проанализированы имеющиеся методы оценки

воздействия пустот на земную поверхность, обоснована расчетная геомеханическая модель карстоопасного массива, разработан экспериментально-аналитический метод оценки опасности карстопроявлений, обобщены методы укрепления карстующихся пород.

Для построения геомеханической модели карстоопасного участка требуется проведение следующего комплекса исследований. На первом этапе выполняются мелкомасштабные электроразведочные исследования, дающие общее представление о тектонической структуре горного массива. Далее проводится детализация крупномасштабными электроразведочными исследованиями, которая позволяет ограничить площадь распространения карста. На следующем этапе проводятся глубинные исследования морфологии карста методами георадарного зондирования и спектрального сейсмопрофилирования. Гидрогеологические условия и гидродинамический режим исследуемого участка определяются в процессе заверочного бурения скважин и проведения опытно-фильтрационных работ.

Параметры современных геодинамических движений выявляются методами спутниковой геодезии, комплекс которых позволяет оценить возможность активизации процессов карстообразования за счет раскрытия водоносных трещин и активизации суффозионного выноса. Далее расчетным путем оценивается возможность выхода процесса сдвижения от карстопроявлений на земную поверхность, размеры, глубина возможных деформаций и степень влияния этих деформаций на объекты недропользования.

Опасность карстопроявлений определяется возможностью и параметрами выхода процессов обрушения на земную поверхность. В работе проанализированы различные методы, подходящие для расчета сдвижения от карстопроявлений, в том числе:

- методика для расчета сдвижения, разработанная Институтом горного дела Минмета СССР;

- методика, разработанная М.А. Кузнецовым и В.В. Грозовым для оценки возможности разрушения сводов естественного равновесия в толще слепых залежей;
- методика оценки устойчивости обнажений «эквивалентных пролетов», разработанная И.Д. Ривкиным.

Все рассмотренные методики, которые могут быть использованы для расчета сдвижения горных пород от карстовых пустот, имеют одно существенное ограничение – в массиве не должно быть тектонических нарушений и обводненных массивов горных пород, что является главным критерием развития карста.

На основании исследований геомеханической модели карстоопасного участка и обобщения существующих методов расчета в диссертации предлагается для расчета процесса сдвижения от карстовых полостей использовать зависимости, учитывающие параметры карстовой полости, глубину ее залегания, степень заполнения дисперсным материалом и взаимное расположение с геодинамически активными нарушениями:

1 При геодинамически пассивных нарушениях в налегающей толще пород земная поверхность не претерпит опасных деформаций, если

$$H_3 > 55l_3 f^{-1,3}, \quad (2)$$

где  $H_3$  – глубина залегания карста (рис. 3);  $l_3$  – эквивалентный пролет карстовой полости (выражение (3));  $f$  – крепость пород по М.М. Протодряконову.

Для карстовых полостей, где длина по простиранию ( $L$ ) меньше двукратной величины проекции обнажения вкrest простирания на горизонтальную плоскость ( $l$ ), т.е.  $L \leq 2l$ , значение эквивалентного пролета определяется по формуле:

$$l_3 = \frac{Ll}{\sqrt{L^2 + l^2}}. \quad (3)$$

В карстовых полостях большой длины, удовлетворяющих условию  $L > 2l$ , можно принять, что  $l_3 = l$ .

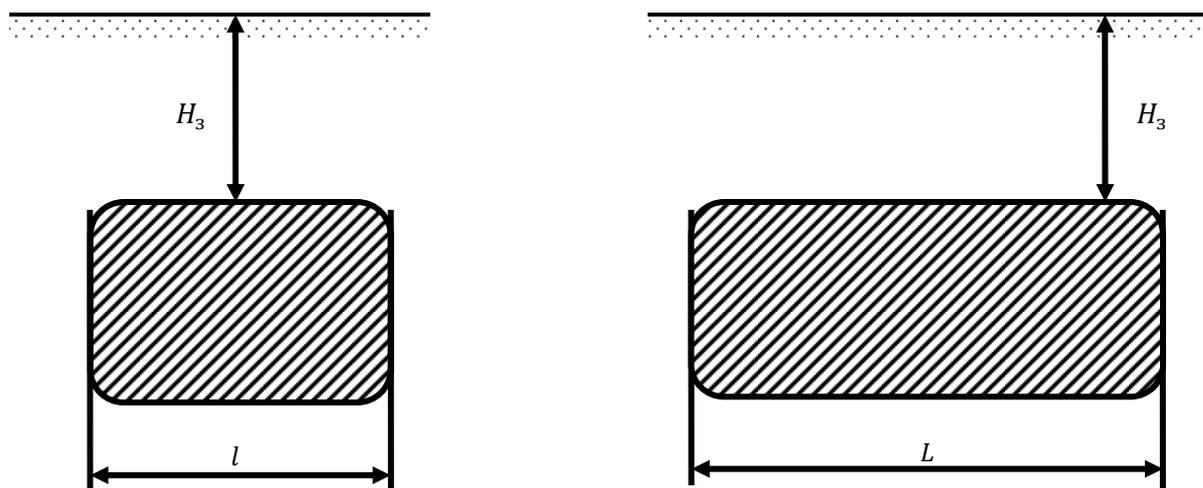


Рисунок 3 – Схема к определению устойчивого состояния земной поверхности: *а* – разрез вкрест простирания карстовой полости; *б* – проекция на вертикальную плоскость

2 При геодинамически активных тектонических нарушениях на земной поверхности не образуется провала, но развиваются плавные деформации, требующие специальных мер по обеспечению безопасности объектов, если

$$H_3 S / (V - V_{\text{дисп}}) > K, \quad (4)$$

где  $H_3$  – глубина залегания карста;  $S$  – площадь карста в плане;  $V$  – объем карста;  $V_{\text{дисп}}$  – объем дисперсного заполнителя;  $K$  – коэффициент, определяемый по остаточному разрыхлению обрушенных пород.

Использование этих зависимостей позволит ввести ограничения по использованию различных методов оценки в зависимости от степени геодинамической активности карстоопасной территории.

Предлагаемая методика для расчета параметров процесса сдвижения карстовых полостей позволяет определить степень опасности карстопроявлений, возможность безопасного строительства и эксплуатации объектов недропользования на карстоопасных территориях. В случае попадания объектов недропользования в зону опасных деформаций требуется проведение специальных мероприятий по укреплению карстующихся пород. Строительство на таких территориях должно быть технически и экономически обосновано, а методы укрепления карстующихся грунтов и особенности

строительства на карстоопасных территориях регламентируются специальными нормативными документами.

*В пятой главе* представлена опытно-промышленная проверка и практическое применение результатов исследований.

Исследования карстопроявлений на Красногорском участке газопровода Бухара – Урал проводились с целью обеспечения безопасности эксплуатации газопровода. Проблема заключалась в выходе на земную поверхность воронок обрушения диаметром до 8 – 10 м и глубиной порядка 3 – 5 м, в результате чего часть трубы третьей нитки газопровода оказалась обнаженной и в подвешенном состоянии.

На первом этапе были проведены мелкомасштабные исследования, выявившие наличие и параметры тектонического нарушения, далее была произведена детализация, ограничившая площадь распространения карста как по глубине, так и по площади. Данные по имеющимся гидрогеологическим скважинам на территории карстопоявлений показали наличие депрессионной воронки от скважинного водозабора, что предопределило смену гидродинамического режима. Диагностика современной геодинамики показала активность тектоники, проявившуюся в сильной дезинтеграции тектонического шва. Все это предопределило активизацию карстопоявлений на данном участке. Проведенные через год повторные геофизические исследования показали продолжение развития этих процессов, и увеличение площади карста. Новые провалы образовались в спрогнозированных местах, что подтвердило состоятельность предложенной методики. Расчет параметров сдвига, по методу эквивалентных пролетов, позволил определить возможные размеры воронок обрушения и соотнести их с прочностью трубопровода, что обосновало безопасность эксплуатации газопровода с точки зрения обрыва от провисания.

Исследование процесса обрушения под подъездной железной дорогой Высокогорского ГОКа показало, что причиной является развитие процессов карстообразования, связанное с формированием гидродинамического потока с

озера, находящегося на борту, в карьер. В результате образовалась незаполненная карстовая полость предельных размеров, что привело к обрушению. Наличие тектоники на данном участке предопределило повышенную дезинтеграцию массива и высокие фильтрационные показатели. Геофизические исследования позволили ограничить площадь распространения карста, а методы расчета параметров сдвижения – опасную зону деформаций, за которую были вынесены дополнительно уложенные железнодорожные пути.

Разработанные методики не только позволяют решать задачи безопасной эксплуатации имеющихся объектов недропользования, выявлять причины произошедших аварийных ситуаций и выдавать рекомендации по их ликвидации, но и решать задачи прогнозирования карстопроявлений перед строительством сооружений. В результате проведенных инженерно-геофизических изысканий при строительстве мостового перехода через реку Уфу в Свердловской области и опор антенной связи в Пермском крае были выбраны оптимальные параметры сооружений, места их благоприятного расположения, а также разработаны меры защиты участка строительства от активизации процессов карстопроявлений.

### **Заключение**

На основе выполненного комплекса исследований в диссертационной работе решена важная научно-техническая задача – оценка опасности карстопроявлений с учетом важнейших геомеханических факторов: структурно-тектонического строения массива и геодинамической активности тектонических нарушений. Разработанные в диссертации методики позволяют непосредственно оценивать карстовую опасность и делают возможным прогнозирование деформаций земной поверхности от сдвижения карстовых пустот.

**Основные научные и практические результаты работы** заключаются в следующем:

1 Установлены основные закономерности активизации карстопроявлений на земной поверхности, которая возможна только в условиях повышенной водопроницаемости карстоопасного массива, в первую очередь зависящая от наличия тектонических нарушений и их современной геодинамической активности.

2 Доказано, что опасность карстопоявлений определяется возможностью и параметрами выхода процессов обрушения на земную поверхность. Параметры деформации поверхности зависят от глубины залегания, морфологии и степени заполнения карстовой полости. Современное развитие деформационных процессов определяется степенью изменения геомеханических и гидрогеологических характеристик массива горных пород под воздействием природной и техногенной геодинамической активности геологической среды.

3 Обоснованы основные методы изучения геомеханического состояния и современной геодинамической активности карстоопасного массива для построения его геомеханической модели. Применение систем спутниковой геодезии в сочетании с геофизическими методами изучения приповерхностной части геологической среды (электрметрии, спектрального сейсмопрофилирования, георадарного зондирования) позволяет обосновать объемную модель геологического строения и определить количественные характеристики геодинамической подвижности карстоопасного участка. Полученная структурно-динамическая модель массива горных пород выступает в качестве геомеханической основы достоверного выявления и прогнозирования развития опасных карстопоявлений.

4 Произведена практическая проверка разработанной методики на объектах недропользования для решения задач, связанных с выявлением причин провалообразования, ликвидацией последствий карстопоявлений,

диагностикой и обоснованием безопасного строительства и эксплуатации сооружений на карстоопасных участках. Проверка показала, что разработанные методы геофизической и геодинамической диагностики карстоопасного массива позволяют достоверно определить исходные параметры, требуемые для оценки степени его опасности. Теоретически обоснованные зависимости подтверждаются натурными экспериментами и подтверждены заверочным бурением. Использование полученных зависимостей устойчивости толщи, налегающей над карстовыми пустотами от тектонической нарушенности и современной геодинамической активности массива, позволяет диагностировать карстоопасный массив относительно деформирования земной поверхности.

Применение решений, полученных в работе, и внедрение их в практику позволит обеспечить безопасность объектов недропользования в карстоопасных областях и вовлечь новые, ранее не использованные, земли в жизнедеятельность.

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

1 Мельник В. В. Геоэлектрический контроль геомеханических явлений [Текст] / А. А. Кашкаров, А. А. Панжин, В. В. Мельник // Маркшейдерский вестник. – 1998. – №2 (24)-98. – С. 17-20.

2 Мельник В. В. Анализ условий сопоставимости масштабов природных и техногенных геодинамических явлений и методов их изучения [Текст] / А. А. Кашкаров, В. В. Мельник, С. В. Усанов // Маркшейдерия и недроведение. – 2001. – №1. – С. 25-27.

3 Мельник В. В. Использование геоэлектрических методов для оценки геомеханических и гидрогеологических параметров природных и техногенных горных массивов дамбы хвостохранилища Качканарского ГОКа [Текст] / А. Д.

Сашурин, В. В. Мельник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – №12. – С. 85-87.

4 Мельник В. В. Исследование и создание геолого-структурной и геомеханической модели участка недропользования [Текст] / В. В. Мельник, А. Л. Замятин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №4 – С. 226-230

5 Мельник В. В. Диагностика карстоопасности методом спектрального сейсмопрофилирования [Текст] / В. В. Мельник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №7.– С. 153-156.

6 Мельник В. В. Исследование структурных особенностей массива горных пород подземных сооружений [Текст] / В. В. Мельник, А. Л. Замятин // Известия вузов. Горный журнал. – 2008. – №8. – С. 165-171.

7 Мельник В. В. Оценка опасности карстопроявлений геофизическими методами [Текст] / В. В. Мельник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – №9. – С. 143-147.

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

1 Мельник В. В. Взаимосвязь электрометрических и структурных геомеханических моделей скальных массивов [Текст] / А. А. Кашкаров, В. В. Мельник // Проблемы геотехнологии и недроведения: докл. междунар. конф. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – С. 25-29.

2 Мельник В. В. Методы исследования комплекса геомеханических, гидрогеологических и геоэлектрических параметров горных пород и массивов [Текст] / А. А. Кашкаров, В. В. Мельник // Геомеханика в горном деле: докл. междунар. конф. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2000. – С. 20-22.

3 Мельник В. В. Изучение строения участка земной коры и создание его геолого-структурной модели [Текст] / В. В. Мельник, А. Л. Замятин //

Уральская молодежная научная школа по геофизике, 5: докл. конф. – Екатеринбург: УГГГА, 2004. – С. 43-46.

4 Мельник В. В. Определение местоположения и размеров карстовых пустот на Илецком месторождении каменной соли [Текст] / В. В. Мельник, А. Л. Замятин // Геология и геоэкология европейской России и сопредельных территорий: Рос. молодежная науч. конф. XV, посвященная памяти К. О. Кратца. – СПб.: ИГГД РАН – 2004. – С. 57-62.

5 Мельник В. В. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для оценки геомеханического состояния массива горных пород вокруг шахтных выработок [Текст] / В. В. Мельник // Проблемы освоения недр в XXI веке - глазами молодых: сб. науч. материалов. – М.: ИПКОН РАН, РФФИ, 2006. – С. 58-62.

6 Мельник В. В. Геомеханические аспекты диагностики опасности карстопроявлений при недропользовании [Текст] / В. В. Мельник // Геомеханика в горном деле: докл. всерос. конф. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2008. – С. 114-120.

7 Мельник В. В. Использование методов диагностики карстопроявлений при инженерно-геологических изысканиях [Текст] / В.В. Мельник // Проблемы недропользования: материалы III всероссийской молодежной научно-практ. конф. – ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2009. – С. 12-16.

8 Мельник В. В. Исследование геомеханических факторов в диагностике опасности карстопроявлений при недропользовании [Текст] / В. Мельник // Proceedings of the X-th Jubilee national conference with international participation of the open and underwater mining of minerals / International House of Scientists "Fr. J. Curie", Varna, Bulgaria. – Varna, 2009. – P. 297-302.

9 Мельник В. В. Методика диагностики опасности карстопроявлений при недропользовании [Текст] / В. В. Мельник // Геомеханика в горном деле: докл. научно-техн. конф. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2009. – С. 185-192.