

Шеметов Роман Сергеевич

**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ,
ФОРМИРУЮЩИХСЯ НА ОБЪЕКТАХ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ**

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2022

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

Научный руководитель –

кандидат технических наук
Панжин Андрей Алексеевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Шпаков Петр Сергеевич, профессор
кафедры «Технологии машиностроения»
Муромского института (филиал) ФГБОУ ВО
Владимирский государственный университет
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», (г. Муром).

кандидат технических наук
Кольцов Павел Викторович, заведующий
лабораторией устойчивости бортов карьеров
и сдвижения горных пород ОАО
«Уралмеханобр», (г. Екатеринбург).

Ведущая организация –

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
горный университет», г.Екатеринбург

Защита состоится «30» июня 2022г. в 14:00 часов на заседании Диссертационного совета Д 004.010.02 при Институте горного дела УрО РАН по адресу: 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, д. 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института горного дела УрО РАН.

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

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

А.А. Панжин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Развитие человеческой цивилизации непрерывно сопровождается ростом численности населения земного шара. Шаг за шагом, осваивая новые участки недр Земли, строя города и мегаполисы, ведя добычу полезных ископаемых, человек расширил ареал своего обитания на большую часть планеты, вступая в тесное взаимодействие с приповерхностной твердой частью планеты Земля – с верхней частью литосферы.

Все наземные и подземные сооружения, созданные в результате человеческой деятельности, непосредственно взаимодействуют с массивом горных пород. При этом все процессы и явления, протекающие в массиве горных пород, оказывают влияние на устойчивость и безопасность техногенных объектов.

Одним из важнейших факторов, определяющих развитие опасных процессов в массиве горных пород, являются современные геодинамические движения, которые в сочетании с иерархически-блочной структурой массива за счет процессов самоорганизации формируют в нем дискретное, мозаичное и неоднородное напряженно-деформированное состояние. Устойчивость и безопасность техногенных объектов, оказавшихся связанными с этой неоднородной и нестабильной средой, всецело зависит от их местоположения относительно активных структурных элементов массива горных пород с повышенными деформациями и напряжениями.

Таким образом, безопасность объектов недропользования непосредственно связана с процессами и явлениями, происходящими под воздействием современных геодинамических движений, играющих значимую роль в нарушении их устойчивости. Для обеспечения безопасности объектов необходимо иметь информацию о степени влияния современных геодинамических движений на их устойчивость.

Актуальность проблемы обеспечения безопасности объектов недропользования способствовала развитию методов мониторинга деформационных процессов как в России, так и за рубежом. Однако, несмотря на их многообразие, им присущ общий недостаток – восприятие массива горных пород и формирующегося в нем напряженно-деформированного состояния как однородной среды без учета неоднородности деформирования, обусловленной влиянием современных геодинамических движений, исходной иерархической блочности и процессов самоорганизации. Это затрудняет получение объективной информации об истинных причинах возникновения деформаций. Отсутствие данных о степени воздействия современных геодинамических движений на устойчивость объекта недропользования приводит к необъективной оценке возможности дальнейшей эксплуатации объекта без принятия соответствующих контрмер, или к запоздалому их применению.

Задачей диссертационной работы является обоснование методики мониторинга деформационных процессов, возникающих в объектах недропользования, вызванных воздействием современных геодинамических движений, позволяющей выявлять опасность влияния неоднородности деформирования, вызванного геодинамическими движениями, и принимать своевременные меры по предотвращению аварийных ситуаций при дальнейшей эксплуатации.

Использование сформированной методики мониторинга позволяет учитывать фактор влияния геодинамических движений на устойчивость техногенных сложноконструктивных объектов различного назначения.

Основная идея работы заключается в учете неоднородности, дискретности и мозаичности напряженно-деформированного состояния, формирующегося в массиве горных пород и объектах недропользования под действием современных геодинамических движений.

Объектом исследования является система взаимодействия объектов недропользования и промышленной деятельности человека с геодинамическими процессами и явлениями, протекающими в массиве горных пород.

Предметом исследования является неоднородность деформационных процессов, протекающих в объектах недропользования, подверженных воздействию современных геодинамических движений.

Целью проведения исследований является повышение безопасности эксплуатации объектов недропользования за счет проведения на них мониторинга деформационных процессов в условиях воздействия современных геодинамических движений и принятия мер по предотвращению аварийных ситуаций.

Защищаемые научные положения:

1. Применение в качестве критерия величины модуля относительных горизонтальных деформаций позволяет определить место расположения граничных зон вторичных структур, локализуемых в верхней части литосферы массива горных пород и концентрируемых на своей границе современные геодинамические движения.

2. Модули величин относительных горизонтальных деформаций упругой геологической среды, возникающих под воздействием современных геодинамических движений в граничных зонах самоорганизующихся структур массива горных пород, более чем в 3 раза превышают величины относительных горизонтальных деформаций, протекающих во внутриблоковых областях вторичных структур.

Научная новизна работы состоит в том, что разработанная методика мониторинга деформационных процессов позволяет выделить степень воздействия современных геодинамических движений из всей совокупности геомеханических факторов, влияющих на формирование деформационных процессов на объектах недропользования.

Практическое значение заключается в разработке и обосновании системы мониторинга, позволяющей выявлять деформационные процессы, вызванные влиянием современных геодинамических движений, на объектах недропользования различного назначения. Это позволит определять степень воздействия современных геодинамических движений на устойчивость техногенного объекта, обеспечивая возможность своевременного и объективного реагирования на процессы возникновения деформаций на различных стадиях его эксплуатации.

Методы исследования, используемые для достижения результатов диссертационной работы: системный анализ, статистические методы обработки данных, сопоставительный анализ, а также инструментальные методы проведения мониторинга деформационных процессов.

Достоверность научных положений подтверждается результатами анализа сопоставления итогов проведения мониторинга деформационных процессов под воздействием современных геодинамических движений на границах вторичных структурных блоков в различных регионах России с результатами мониторинга, полученными во внутриблоковых областях.

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии в проведении инструментальных измерений, в разработке и обосновании системы мониторинга деформационных процессов, анализе, обобщении и сопоставлении результатов.

Апробация работы. Основные положения результатов исследования докладывались и обсуждались на международных конференциях «Геомеханика в горном деле» (Екатеринбург, 2013, 2017 гг.), «Неделя горняка» (Москва, 2017, 2020 г.г.), «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Геомеханическое обеспечение проектирования и сопровождения горных работ» (Санкт-Петербург, 2017 г.); на технических совещаниях по вопросам проведения геомониторинга в г. Сочи (ПСП ДВП ОАО «РЖД Строй»).

По теме исследования опубликовано 8 печатных работ, в том числе 4 – в ведущих научных рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения. Содержит 150 страниц машинописного текста, в том числе 19 таблиц и 69 рисунков. Список использованных источников включает в себя 107 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю к.т.н. А.А. Панжину за помощь и высокопрофессиональное руководство в работе над диссертацией, коллективу ИГД УрО РАН за помощь и консультации по теме диссертационной работы, В.К. Бушкову, Д.Е. Малофееву, а также сотрудникам лаборатории геомеханики и инженерных исследований ООО «Полюс Проект» за сотрудничество и поддержку, оказанные в период выполнения исследований, Ю.Л. Юнакову за содействие и рекомендации в подготовке диссертационной работы. С особой теплотой автор отмечает большую роль профессора, д.т.н. А.Д. Сашурина – своего первого научного руководителя и наставника, предопределившего общее направление исследования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы.

В первой главе диссертации представлено современное состояние методов мониторинга деформационных процессов на объектах недропользования.

Инструментальные натурные наблюдения начали использоваться с развитием теории горного давления, которую ввел в 1907 г. профессор М.М. Протодяконов. Изначально они применялись в основном на горных предприятиях.

В 1912 году П.М. Леонтовским были выпущены работы, освещающие вопросы сдвижения горных пород и проведения инструментальных наблюдений на Донбассе. Впервые им была представлена программа проведения мониторинга деформационных процессов, возникающих на угольных рудниках Кривого Рога и Донбасса.

Позднее в середине XX века при президиуме Академии наук СССР была развернута обширная программа проведения геодезических измерений движений земной коры. С этого времени изучением современных движений литосферы начали заниматься непосредственно на геодинамических полигонах различного целевого назначения.

В России и за рубежом весомый вклад в развитие геомеханики в целом, а также в развитие геомеханического мониторинга деформационных процессов внесли такие ученые, как Г.Л. Фисенко, А.М. Гальперин, И.М. Бахурин, С.Г. Авершин, Н.П. Влох, А.Д. Сашурин, А.В. Зубков, О.В. Зотеев, С.В. Корнилков, Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, А.Б. Макаров, А.Е. Балек, А.А. Панжин, Ю.О. Кузьмин, А.А. Козырев, Д.В. Жиров, В.В. Рыбин, Ю.Л. Юнаков, П.С. Шпаков, Ю.А. Кашников, М.А. Иофис, О.Н. Малинникова, В.А. Трофимов, Ю.И. Кутепов, М.Д. Ильинов, В.Н. Опарин, А.В. Леонтьев, Ю.И. Рассказов, А.А. Карлсон, А. Костехель (Румыния), Х. Бок, Абузар Вакили, Ф. Дайт и др.

На основе существующих методов, благодаря развитию высокоточной измерительной аппаратуры разрабатываются новые методики, позволяющие решать геомеханические задачи контроля смещений и деформаций с более высокой точностью, тщательно оцениваются существующие средства измерений.

Так, учеными лаборатории геодинамики и горного давления ИГД УрО РАН во главе с А.В. Зубковым на основе выявления связи изменения параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород с циклическими сжатием и расширением Земли, определены преимущества применения средств измерений деформационных процессов, основанных на физических принципах измерений.

На земной поверхности при отработке месторождений активно применяется метод измерений по профильным линиям. Суть этого метода заключается в определении отметок и координат рабочих реперов относительно исходных с заданной периодичностью. В основе этого подхода лежит методика тригонометрического нивелирования. Использование современных электронно-оптических тахеометров позволяет существенно сократить скорость выполнения съемочных работ и увеличить точность результатов измерений.

Внедрение GPS-технологий позволило значительно расширить границы исследуемых областей влияния горных работ, что, в результате, позволяет сегодня изучать деформирование земной поверхности, вызванное техногенными и другими факторами, на качественно новом уровне.

В начале XXI века в ИГД УрО РАН разработан метод площадных инструментальных исследований сдвижений горных пород (автор А.А. Панжин), позволяющий получить объемный тензор деформаций, характеризующий напряженно-деформированное состояние массива горных пород.

С помощью технологий лазерного сканирования учеными ИГД УрО РАН (С.В. Усанов, В.И. Ручкин, О.Д. Желтышева и др.) получен опыт выявления нелинейных деформаций зданий и сооружений, попадающих в зону влияния подземной подработки и испытывающих воздействие техногенных и геодинамических факторов.

В последнее время активно используются также геодезические и геомеханические методы мониторинга, применяемые в совокупности с геофизическими. В России этим вопросом занимаются такие ученые, как А.М. Линьков, А.А. Доброскок, В.В. Зубков и др. За рубежом – С. Максвелл, М.Д.Г. Саламон, Т. Уайлз, Е. Дж. Селлерс и др.

На сегодняшний день совокупность методов мониторинга вполне пригодна для сбора данных о смещениях и деформациях, протекающих в объектах недропользования и массиве горных пород. Однако, несмотря на высокий уровень развития методов мониторинга деформационных процессов, используемые методики не учитывают характер воздействия деформационных процессов массива горных пород и земной поверхности, формирующихся под воздействием современных геодинамических движений, на объекты недропользования. Не принимается во внимание неоднородность полей напряженно-деформированного состояния массива горных пород, вызывающая неравномерные деформации на объектах недропользования. Поэтому очень редко удается выделить степень влияния современных

геодинамических движений на устойчивость и безопасность эксплуатации объектов недропользования из всей совокупности геомеханических и природных факторов.

Стоит отметить, что большинством исследователей подтверждается значимость влияния тектонических разломных зон на устойчивость и безопасность процессов недропользования. Некоторыми авторами (Д.В. Жиров, В.В. Рыбин и др.) указывается возрастание влияния разрывной тектоники на устойчивость с переходом от отработки приповерхностной части месторождений к глубоким горизонтам с 20 до 35%. На Ковдорском месторождении учеными КНЦ РАН выполняется инженерно-структурное районирование массива, позволяющее в трехмерном виде получить информацию о расположении тектонических разломов различных рангов и структурных доменов трещиноватости в массиве горных пород.

Отличительной чертой обоснованной в диссертационной работе методики от указанных выше систем мониторинга является учет современных геодинамических движений, концентрирующихся на границах вторичных структур, как одного из решающих факторов в нарушении устойчивости объектов недропользования, независимо от стадии их проектирования или эксплуатации.

Задача диссертационной работы заключается в обосновании системы мониторинга деформационных процессов, возникающих в объектах недропользования с учетом современных геодинамических движений, которая позволит своевременно выявлять опасность их воздействия.

Для достижения поставленной в работе цели решены следующие научно-практические задачи:

1. Обоснована необходимость анализа относительных горизонтальных деформаций по модулю, что позволяет выявить степень воздействия современных геодинамических движений на устойчивость объектов недропользования, и определяемых с помощью мониторинга деформационных процессов;

2. Определены требования к конструкции наблюдательной станции, необходимой для выявления воздействия современных геодинамических движений на устойчивость и безопасность объектов недропользования;

3. Выявлены зависимости величин параметров деформаций, протекающих на границах вторичных структурных блоков и формирующихся под воздействием современных геодинамических движений, от деформаций, протекающих во внутрив блоковых областях массива горных пород;

4. Выполнена апробация основных положений разработанной системы мониторинга на горнодобывающих и промышленных объектах.

Во второй главе диссертации рассмотрены теоретические и модельные основы развития деформационных процессов, возникающих под действием современных геодинамических движений. Описаны параметры современных геодинамических движений. Проанализированы особенности взаимодействия массива горных пород с объектами недропользования с учетом действия современных геодинамических движений.

До 70-х годов XX века массив горных пород представлялся в виде сплошной линейно-упругой среды. На основе инструментов из механики сплошных сред в науке были достигнуты важнейшие успехи при решении таких фундаментальных проблем, как изучение строения Земли, разработка методов геофизической разведки полезных ископаемых и др.

Однако, попытки использовать модель сплошной среды массива горных пород для решения вопросов, связанных с изучением процессов, происходящих в литосфере под воздействием геодинамических явлений, оказались менее удачными. Сама идея использования представлений сплошности для описания процессов самоорганизации среды оказалась сомнительной. Появилась мысль о необходимости поиска модели среды, адекватной новейшим на то время задачам геомеханики.

В начале 80-х годов XX века в геомеханике сформировалось представление о массиве горных пород, которое является доминирующим и в настоящее время. В соответствии с этим представлением массив горных пород представляет из себя блочно-иерархическую среду, разделенную на блоки и микроблоки различных масштабных уровней. Данные блоки существуют в положении неустойчивого равновесия, находящегося под воздействием эндогенных и экзогенных процессов. Вследствие влияния этих процессов, иерархические блоки находятся в непрерывном движении, характеризующемся различной направленностью и интенсивностью.

Размеры блоков имеют определенную зависимость между собой. Отношение размера блока высшего порядка к блоку низшего порядка представляет из себя число K , которое никак не зависит от физико-механических свойств горных пород или от характера формирования раздельностей: $L_{i+1} / L_i = K$.

Изначально предполагалось, что число K варьируется в пределах от 2 до 5. Позднее, один из основоположников представлений о массиве как о блочно-иерархической среде, М.А. Садовский, установил, что число K близко к постоянству, и составляет $L_{k+1} / L_k \approx 3,5$.

Экзогенные и эндогенные факторы, воздействующие на массив горных пород, вызывают в нем деформационные процессы и движения. Под воздействием деформационных процессов происходит формирование и изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород. В свою очередь, является общеизвестным факт, что напряженно-деформированное состояние играет решающую роль в формировании трещиноватости массива горных пород.

Накопленный опыт исследований показывает, что выявление закономерностей распределения и изменчивости полей напряжений в горных породах должно основываться на анализе геологических структур. Повышенная неоднородность и изменчивость поля напряжений массива горных пород обусловлена локальными тектоническими структурами. Вместе с тем, в горных породах, расположенных вне зоны влияния тектонических разломов, также проявляется неоднородность поля напряжений, выраженная в меньшей степени.

Структурные блоки массива горных пород имеют разнообразную многогранную форму, обусловленную взаимным расположением трещин и тектонических разломов, которые служат для блоков контактами, а также являются местом локализации и концентрации современных геодинамических движений.

Напряженно-деформированное состояние, характеризующее массив горных пород, имеет неоднородное, дискретное строение, обусловленное расположением вблизи поверхностей раздела, в качестве которых выступают тектонические разломы и трещины, а также взаимной подвижностью блоков, слагающих массив горных пород. Этим фактом обусловлена сложность заблаговременного выявления очагов возникновения деформаций в горном массиве и объектах недропользования. Эту проблему можно решить посредством применения методики мониторинга деформационных процессов в техногенных объектах, позволяющей учитывать влияние современных геодинамических движений на их устойчивость и безопасность.

Современные геодинамические движения распределены в массиве горных пород повсеместно, независимо от сейсмической активности региона, сохраняя наибольшую концентрацию на границах вторичных структурных блоков. В межграничных блоковых областях современные геодинамические движения также присутствуют, но проявляются уже в меньшей степени, по сравнению со степенью их локализации в граничных зонах.

Концентрация современных геодинамических движений на границах вторичных структур вызывает изменчивость и неоднородность напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Под воздействием современных геодинамических движений массив горных пород и присутствующие в нем объекты недропользования деформируются неравномерно, локально. Этот факт затрудняет своевременное выявление начала процесса нарушения устойчивости техногенных сооружений. По причине своей цикличности и разнонаправленности современные геодинамические движения являются одним из наиболее опасных природных факторов, влияющим на сохранение устойчивости и обеспечение геомеханической безопасности объектов недропользования.

Сформированная в диссертационной работе методика мониторинга деформационных процессов учитывает неоднородность и мозаичность поля напряжений массива горных пород и объектов недропользования, а также их неравномерное деформирование, обусловленное влиянием современных геодинамических движений.

В третьей главе диссертации представлена экспериментальная система мониторинга деформационных процессов объектов недропользования, формирующихся под воздействием современных геодинамических движений.

Описаны требования к конструкции наблюдательной станции, формируемой для мониторинга деформаций, протекающих под воздействием современных геодинамических движений. Определено, что конструкция наблюдательной станции должна учитывать следующие особенности действия современных геодинамических движений:

1. Непрерывность современных геодинамических движений. Современные геодинамические движения протекают в массиве горных пород непрерывно, с изменяющимися во времени скоростью и амплитудами. Конструкция наблюдательной станции, помимо влияния горных работ и процесса сдвижения, должна обеспечивать непрерывную в течение времени съемочного процесса фиксацию деформаций массива горных пород или техногенного объекта, происходящих под воздействием современных геодинамических движений.

2. Неоднородность, неравномерность деформационного процесса, протекающего под воздействием современных геодинамических движений.

Наблюдательная станция, используемая для мониторинга деформационных процессов под воздействием современных геодинамических движений, состоит из сети исходных и рабочих реперов.

Выбор места расположения сети реперов производится на основе геолого-структурной характеристики исследуемого участка массива горных пород. Для обеспечения наименьшей подвижности исходных реперов их необходимо располагать в междублоковых областях на максимальном удалении от разломных зон, являющихся границами вторичных структурных блоков. Также, необходимо избегать размещения исходных реперов в границах зоны сдвижения горных пород, вызванного техногенными факторами.

Рабочую сеть реперов целесообразно обустраивать максимально близко к граничным зонам вторичных структурных блоков, а также в местах горного массива, которым присуща неоднородность напряженно-деформированного состояния. Это позволит выявить деформации, возникающие под влиянием концентрирующихся на границах структурных блоков современных геодинамических движений с учетом их специфики. Рабочие реперы необходимо располагать попарно – в границах зоны сдвижения и за ее пределами, что будет способствовать фильтрации деформаций, возникающих под воздействием геомеханических (техногенных) процессов.

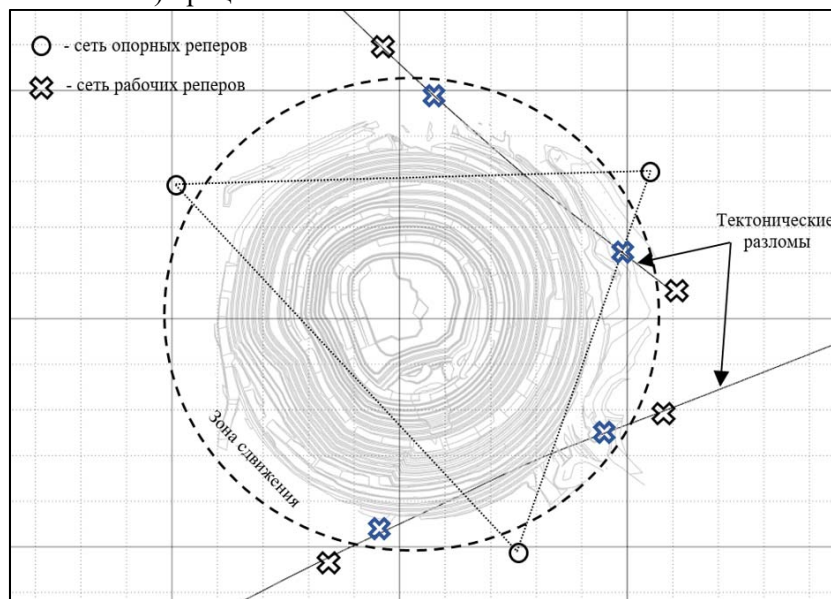
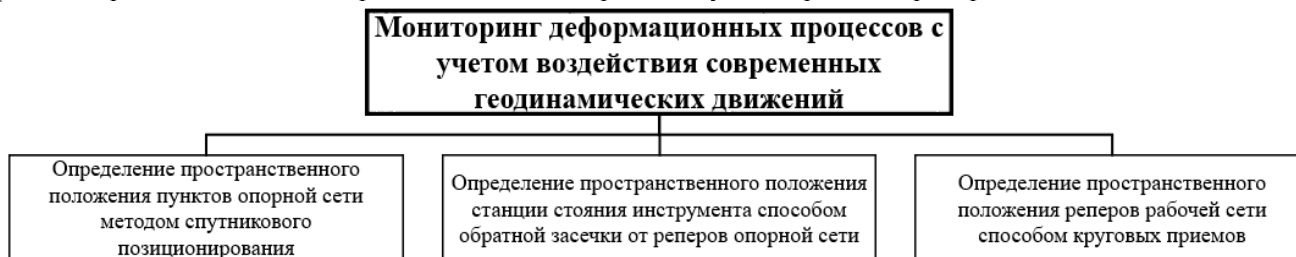


Рисунок 1 – Вариант наблюдательной станции на карьере

Учитывая непрерывность и неравномерность протекания деформаций под воздействием современных геодинамических движений, суть инструментальных измерений в сформированной системе мониторинга заключается в обеспечении непрерывности получения данных о смещениях с опорных и рабочих реперов.

Для этого на исходных реперах одновременно производится определение их всех трех пространственных координат с помощью GPS-приемника, а также съем координат с исходных реперов высокоточным роботизированным тахеометром для привязки точки стояния последнего.

Также в цикл измерений входит непрерывное (с заданным интервалом) определение с помощью роботизированного тахеометра абсолютных координат пунктов рабочих реперов.



Данные процессы протекают одновременно. При этом, величина временного интервала определения пространственного положения пунктов рабочей сети соответствует минимальному значению временного цикла действующих в исследуемой области современных геодинамических движений

Рисунок 2 – Принципиальная схема сформированной системы мониторинга на этапе производства измерений

Таким образом, в соответствии с разработанной методикой мониторинг деформационных процессов под воздействием современных геодинамических движений состоит из 3-х одновременно протекающих циклических процессов:

1. Определение пространственного положения пунктов опорных реперов с помощью спутниковых измерений;
2. Определение пространственного положения станции роботизированного тахеометра способом обратной засечки от опорных реперов;
3. Определение пространственного положения рабочих реперов роботизированным тахеометром способом круговых приемов.

Определение положения рабочих реперов выполняется с заранее заданным временным интервалом t . Вычисление пространственного положения реперов опорной сети в выбранный интервал времени t позволит оценить вектор их перемещений за определенный цикл, присущий современным геодинамическим движениям.

Возможность применения различных временных интервалов для оценки деформационных процессов под воздействием современных геодинамических движений различной периодичности является особенностью сформированной системы мониторинга. Например, при использовании временных интервалов менее 1 минуты сохраняется возможность фиксации деформаций, произошедших под воздействием современных геодинамических движений с большей продолжительностью цикла. Важным условием здесь является использование минимальных значений временных интервалов при мониторинге, так как при проведении измерений с заданным временным интервалом, равном, например, 1 час, не получится определить действие современных геодинамических движений с меньшим интервалом времени, равным, например, 5 минут.

Таким образом, сформированная методика мониторинга деформационных процессов позволяет определить деформации, вызванные влиянием современных геодинамических движений на техногенных объектах различного целевого назначения.

Достоинством сформированной методики является возможность определения деформаций, возникающих вследствие неравномерности и разнонаправленности действия современных геодинамических движений на различных временных циклах. Методика обеспечивает выявление неоднородных, локальных деформационных процессов, вызванных современными геодинамическими движениями.

Сопоставление предложенной в работе методики с существующими представлено в таблице 1.

Для сравнения рассмотрены следующие методики мониторинга деформационных процессов: А – методика мониторинга по профильным линиям; Б – метод площадных инструментальных исследований (разработал А. А. Панжин); В – радарное или лазерное сканирование; Г – представленная в работе методика.

Таблица 1 – Сравнение разработанной методики с существующими

Возможности	Методика			
	А	Б	В	Г
Методика позволяет выделить воздействие современных геодинамических движений	-	+	-	+
Применение методики на открытых полигонах	+	+	+	+
Применение методики в условиях ограниченной видимости (мониторинг зданий и сооружений, лес)	+	-	-	+
Применение методики на коротких базах для мониторинга деформаций сооружений	+/-	-	+	+
Применение методики на больших базах	-	+	+/-	-

Преимуществами сформированной методики по сравнению с методикой мониторинга по профильным линиям является возможность выявления воздействия современных геодинамических движений на безопасность объектов недропользования.

Сравнительно с методом площадных исследований разработанная методика может использоваться в условиях ограниченной видимости, а также для мониторинга деформационных процессов под воздействием современных геодинамических движений в техногенных сооружениях.

К недостаткам предложенной в работе методики мониторинга можно отнести затруднительность в использовании ее при измерениях на больших базах, а также трудоемкость инструментальных измерений, ввиду одновременного использования нескольких геодезических методов. Однако, автоматизация данных процессов позволяет значительно упростить решение данной задачи, что является перспективным

направлением для развития мониторинга деформационных процессов, возникающих под воздействием современных геодинамических движений.

В четвертой главе диссертации приведены результаты опытно-промышленной апробации сформированной методики мониторинга на объектах недропользования в различных регионах России.

С помощью предложенной в работе методики установлено действие современных геодинамических движений на горнодобывающих предприятиях, функционирующих в Красноярском крае, а также на объектах гражданского высотного строительства, расположенных в Краснодарском крае.

На карьере «Восточный» Олимпиадинского месторождения произведен анализ сдвижения 13-ти реперов, формирующих кольцевую наблюдательную станцию. При анализе результатов мониторинга на карьере «Благодатный» Благодатнинского месторождения использованы данные сдвижения 5-ти реперов, формирующих 4 наблюдательные линии.

При сопоставлении результатов анализа деформаций со структурной характеристикой массива горных пород на Олимпиадинском и Благодатнинском месторождениях установлено, что участки проявления максимальных величин деформаций приурочены к тектоническим разломным зонам, являющимся границами вторичных структурных блоков (рисунки 3-6). Повышенные величины модулей относительных горизонтальных деформаций в этих зонах свидетельствуют о том, что на наблюдаемых границах вторичных структур проявляется действие современных геодинамических движений.

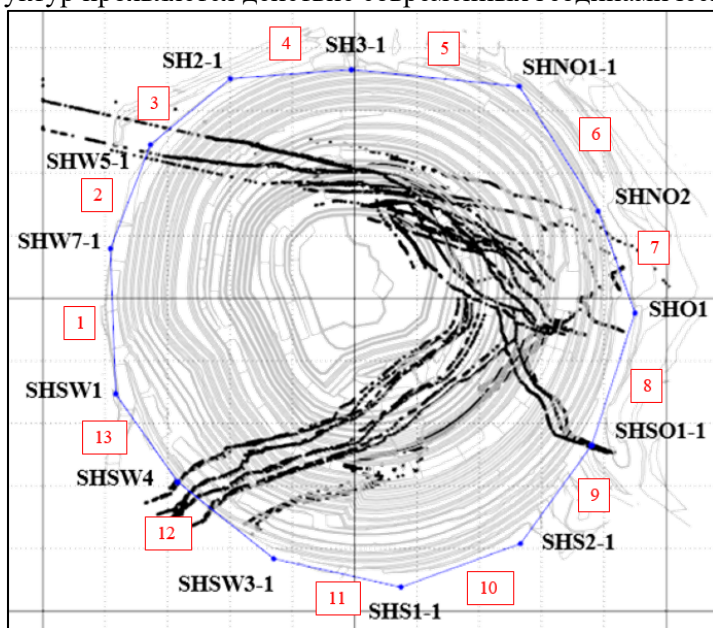


Рисунок 3 – Наблюдательная станция на карьере «Восточный» Олимпиадинского месторождения, где: SHSW1 – название репера, 2 - номер интервала



Рисунок 4 – График средних значений модулей относительных горизонтальных деформаций на карьере «Восточный»

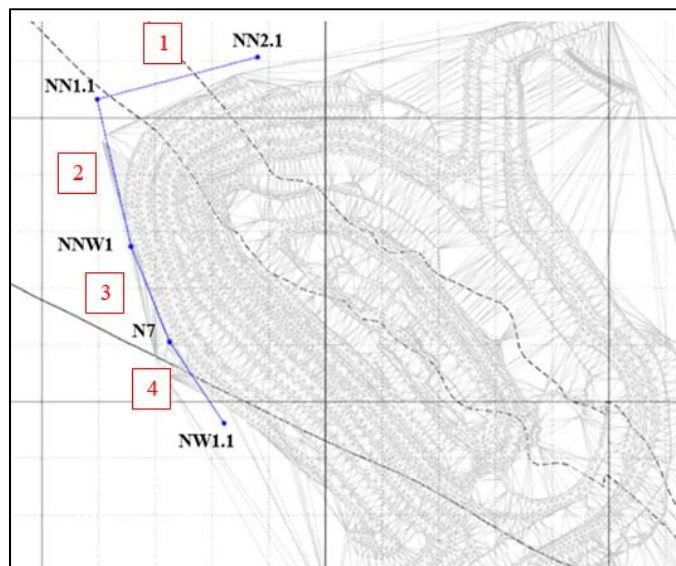


Рисунок 5 – Наблюдательная станция на карьере «Благодатный» Благодатнинского месторождения

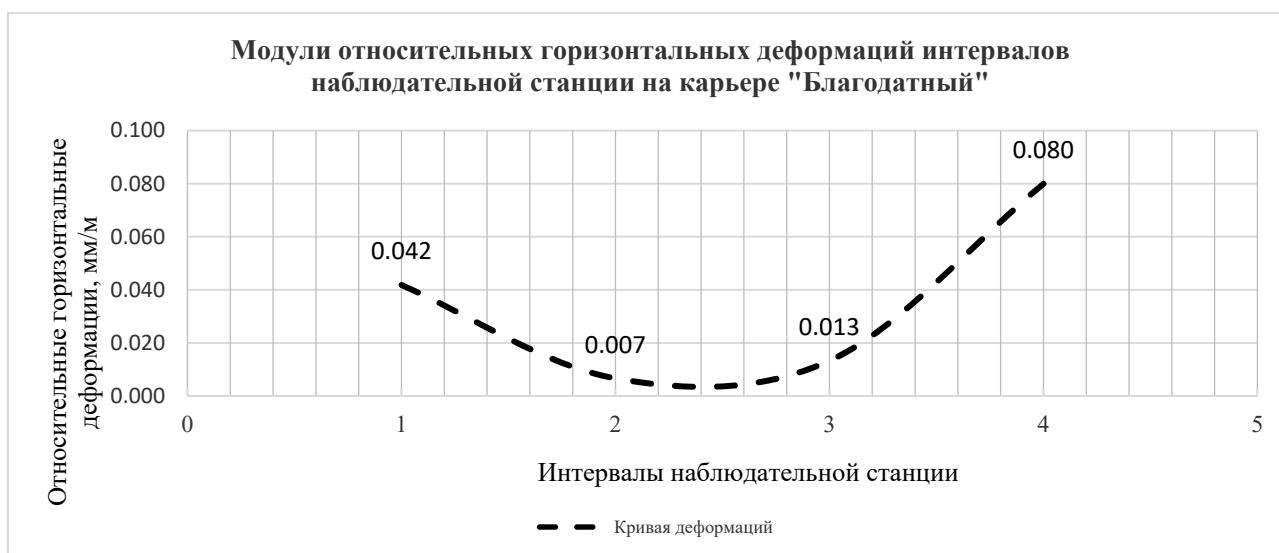


Рисунок 6 – График средних значений модулей относительных горизонтальных деформаций на карьере «Благодатный»

В Краснодарском крае мониторинг деформационных процессов проведен при строительстве сложноконструктивных Олимпийских объектов в городе Сочи. Измерения проведены на высотных сооружениях А и Б, расположенных на различных площадках.

Наблюдательные станции на указанных сооружениях представлены в виде замкнутых кольцевых линий. Наблюдательная станция на сооружении А представлена 4-мя линиями, на сооружении Б – 6-ю линиями.

При сопоставлении результатов измерений деформаций на техногенных объектах в городе Сочи со структурной характеристикой вмещающего массива установлено, что на сооружении Б максимальные значения модулей относительных горизонтальных деформаций присущи интервалам 2 и 6, расположенным в зоне влияния тектонического разлома, выявленного по результатам проведения инженерно-геологических изысканий (рисунок 7). Это характеризует степень влияния современных геодинамических движений, сконцентрированных на границе структурного блока, на величины деформаций техногенного объекта, протекающих под их воздействием.

На сооружении А деформации достаточно равномерны, и не превышают свои величины по отношению друг к другу более, чем в 1.6 раза.

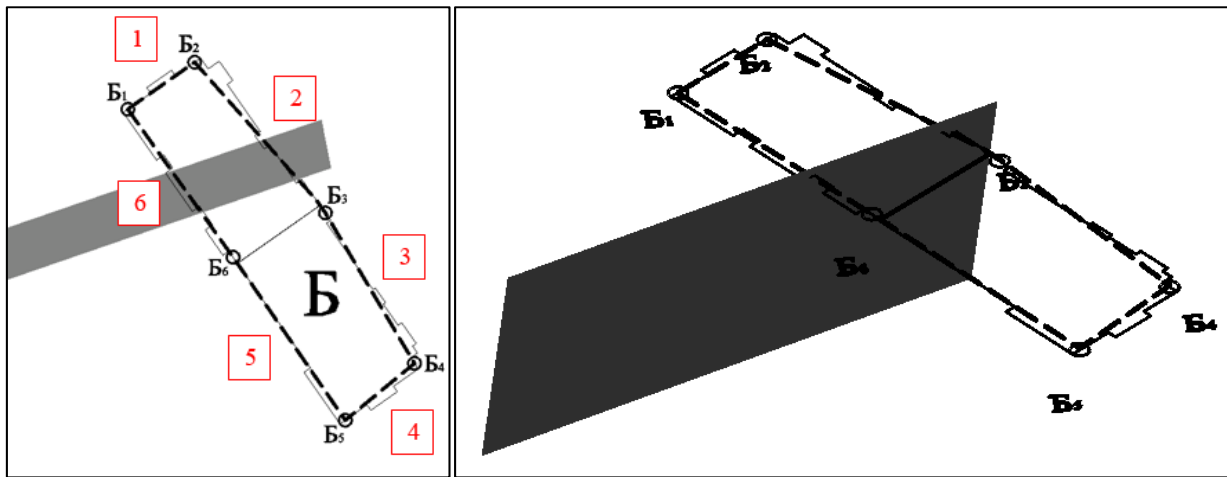


Рисунок 7 – Расположение тектонического разлома на объекте в г. Сочи

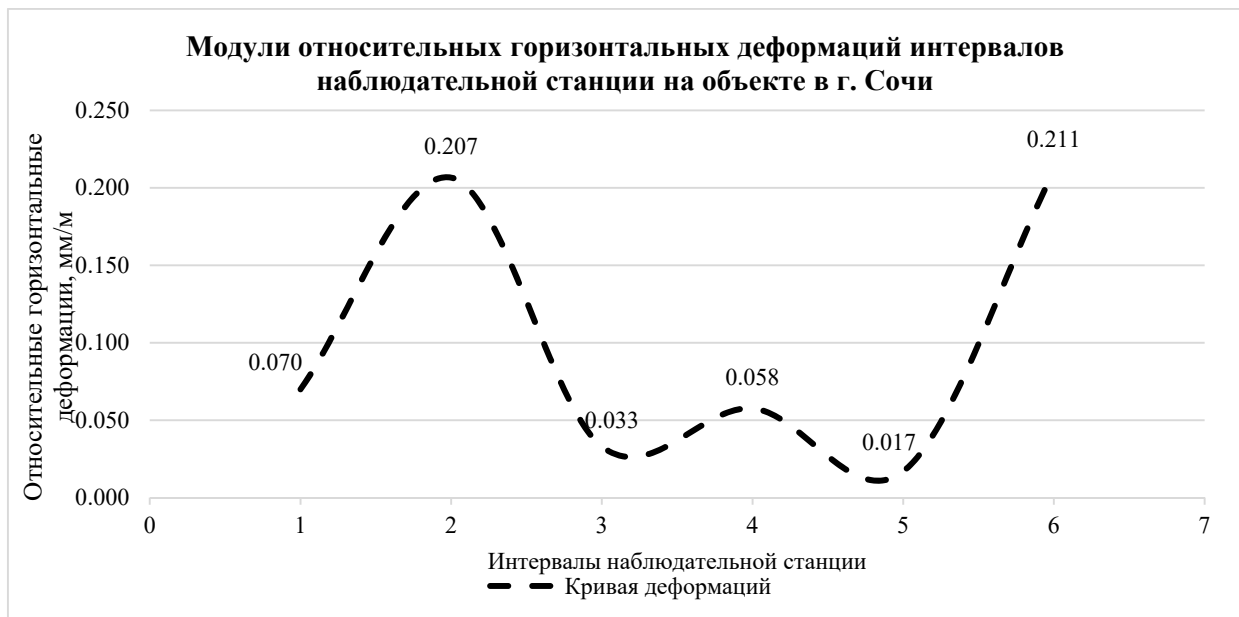


Рисунок 8 – Относительные горизонтальные деформации на объекте в г. Сочи

Как видно из результатов мониторинга, использование параметра модуля относительных горизонтальных деформаций позволяет достоверно установить наличие активных тектонических разломов в массиве горных пород.

Таким образом, применение в качестве критерия величины модуля относительных горизонтальных деформаций позволяет определить место расположения граничных зон вторичных структур, локализирующихся в верхней части литосферы массива горных пород и концентрирующих на своей границе современные геодинамические движения.



Рисунок 9 – Относительные вертикальные деформации на карьере «Восточный»

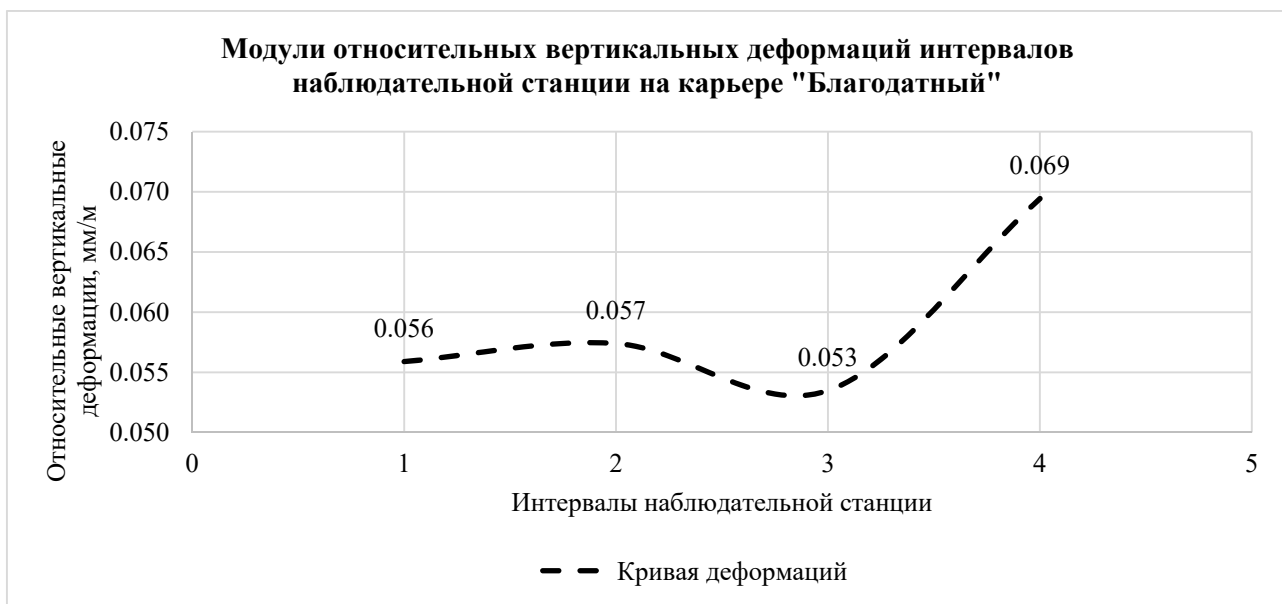


Рисунок 10 – Относительные вертикальные деформации на карьере «Благодатный»



Рисунок 11 – Относительные вертикальные деформации на объекте в г. Сочи

При рассмотрении результатов мониторинга вертикальной компоненты сдвижения установлено, что относительные вертикальные деформации распределены по наблюдательной станции относительно равномерно (рисунки 9-11). Пиковые значения вертикальных деформаций присутствуют на графиках, зачастую можно их привязать к расположению зон тектонических разломов (как, например, на графике вертикальных деформаций на Олимпиадинском месторождении). Однако, зависимости величин вертикальных относительных деформаций, локализующихся в зонах вторичного структурирования и внутриблоковых областях, не установлено.

Сводные результаты превышения модулей относительных горизонтальных деформаций, протекающих на границах вторичных структурных блоков, относительно максимальных значений деформаций во внутриблоковых областях, показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры горизонтальных деформаций, определенные на объектах недропользования

Объект исследования	Максимальные деформации во внутриблоковых областях, мм/м	Деформации на границах структурных блоков под воздействием СГД, мм/м	Превышение деформаций под воздействием СГД над максимальными деформациями во внутриблоковых областях, кол-во раз
Относительные горизонтальные деформации			
Техногенный объект в г Сочи	0.070	0.207	3.0
		0.211	3.0
Карьер «Восточный»	0.076	0.472	6.2
		0.444	5.8
		0.226	3.0
Карьер «Благодатный»	0.013	0.042	3.2
		0.08	6.2

Полученные на различных объектах недропользования результаты говорят о том, что величины модулей относительных горизонтальных деформаций, возникающих в объектах недропользования под воздействием современных геодинамических движений, расположенных в граничных зонах вторичного структурирования массива горных пород, более чем в 3 раза превышают величины модулей относительных горизонтальных деформаций во внутриблоковых областях вторичных структур.

Таким образом, модули величин относительных горизонтальных деформаций упругой геологической среды, возникающих под воздействием современных геодинамических движений в граничных зонах самоорганизующихся структур массива горных пород, более чем в 3 раза превышают

величины относительных горизонтальных деформаций, протекающих во внутриблоковых областях вторичных структур.

При сопоставлении результатов определения относительных горизонтальных и вертикальных деформаций установлено, что в граничных зонах вторичного структурирования величины относительных горизонтальных деформаций превышают или сопоставимы с величинами относительных вертикальных деформаций, протекающих в этих же зонах (рисунки 12-14). Во внутриблоковых областях, можно утверждать, что величины относительных вертикальных деформаций в большей части превышают величины относительных горизонтальных деформаций.

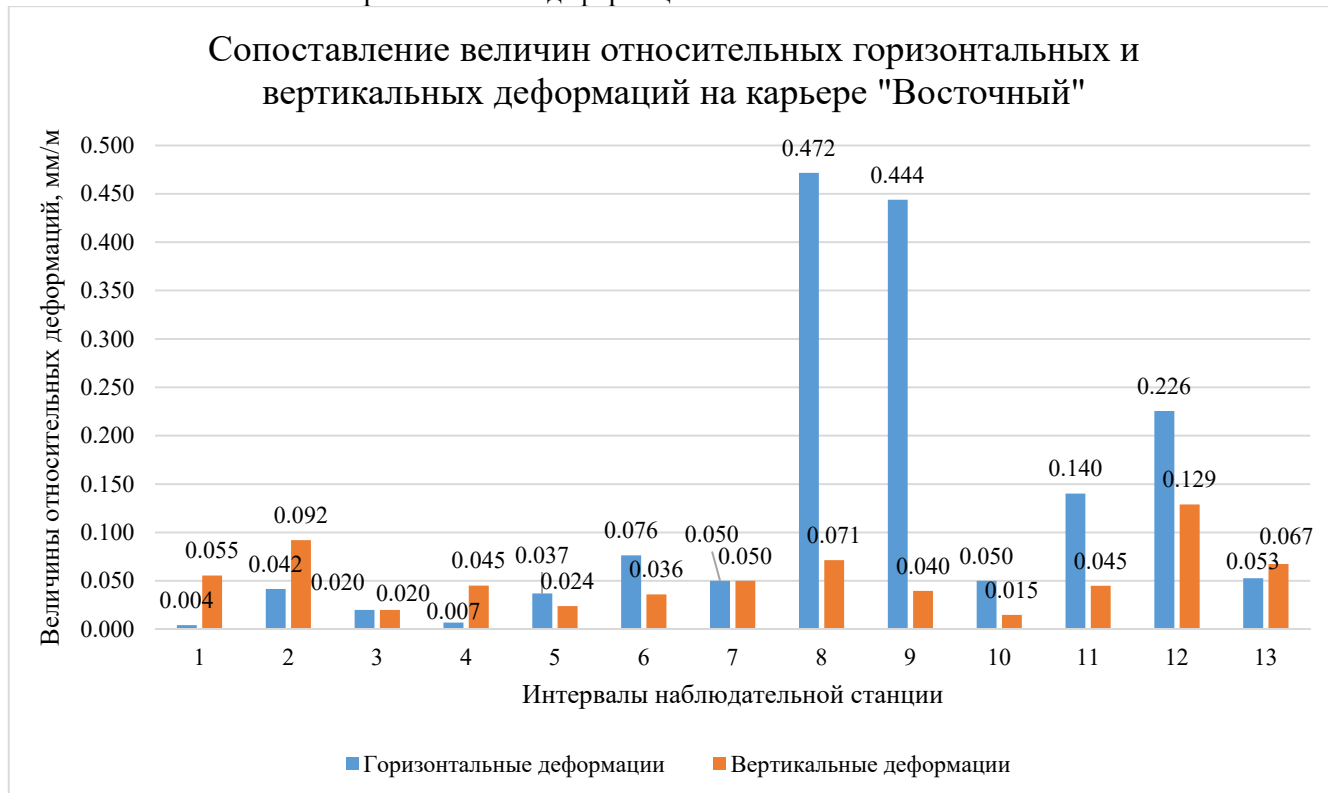


Рисунок 12 – Сопоставление величин относительных горизонтальных и вертикальных деформаций на карьере «Восточный»



Рисунок 13 – Сопоставление величин относительных горизонтальных и вертикальных деформаций на карьере «Благодатный»

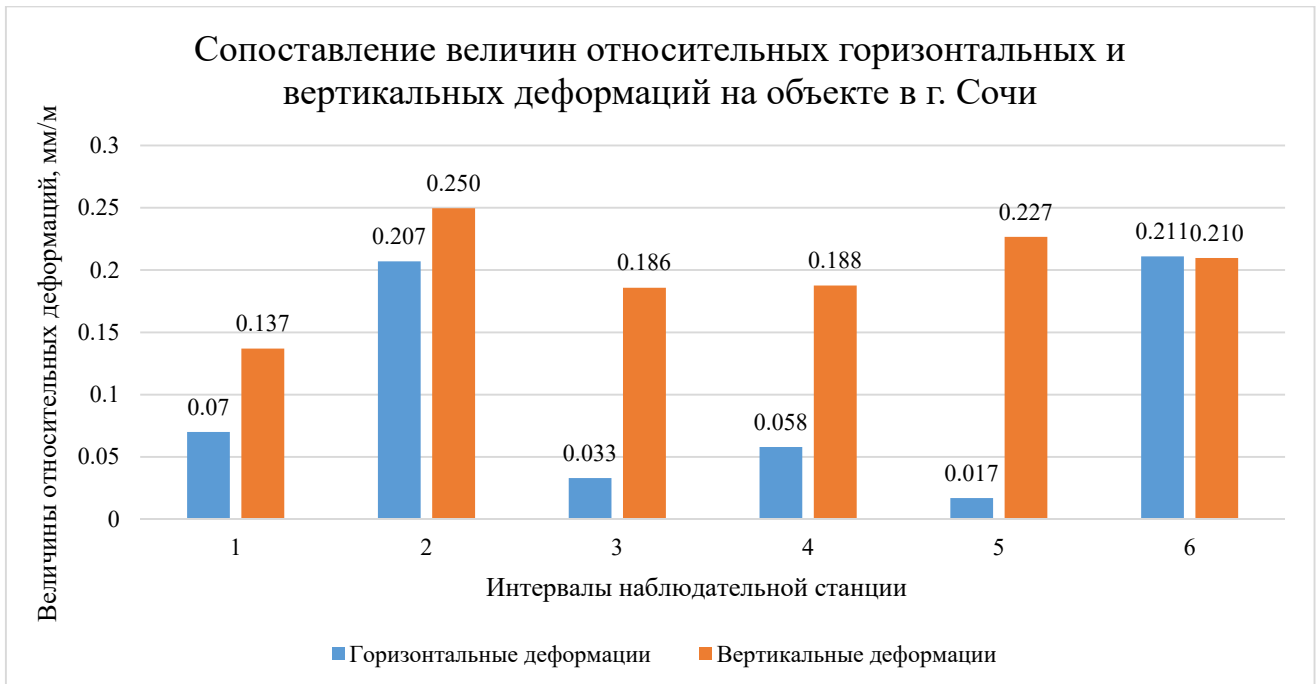


Рисунок 14 – Сопоставление величин относительных горизонтальных и вертикальных деформаций на объекте в г. Сочи

По результатам исследований, выполненных в диссертационной работе, на рисунке 15 приведена методика мониторинга деформационных процессов.

В данном виде разработанная методика позволяет определить наличие и степень воздействия современных геодинамических движений в массиве горных пород, что позволяет обеспечить безопасность эксплуатации и устойчивость объектов недропользования и техногенных объектов независимо от стадии проектирования или эксплуатации.

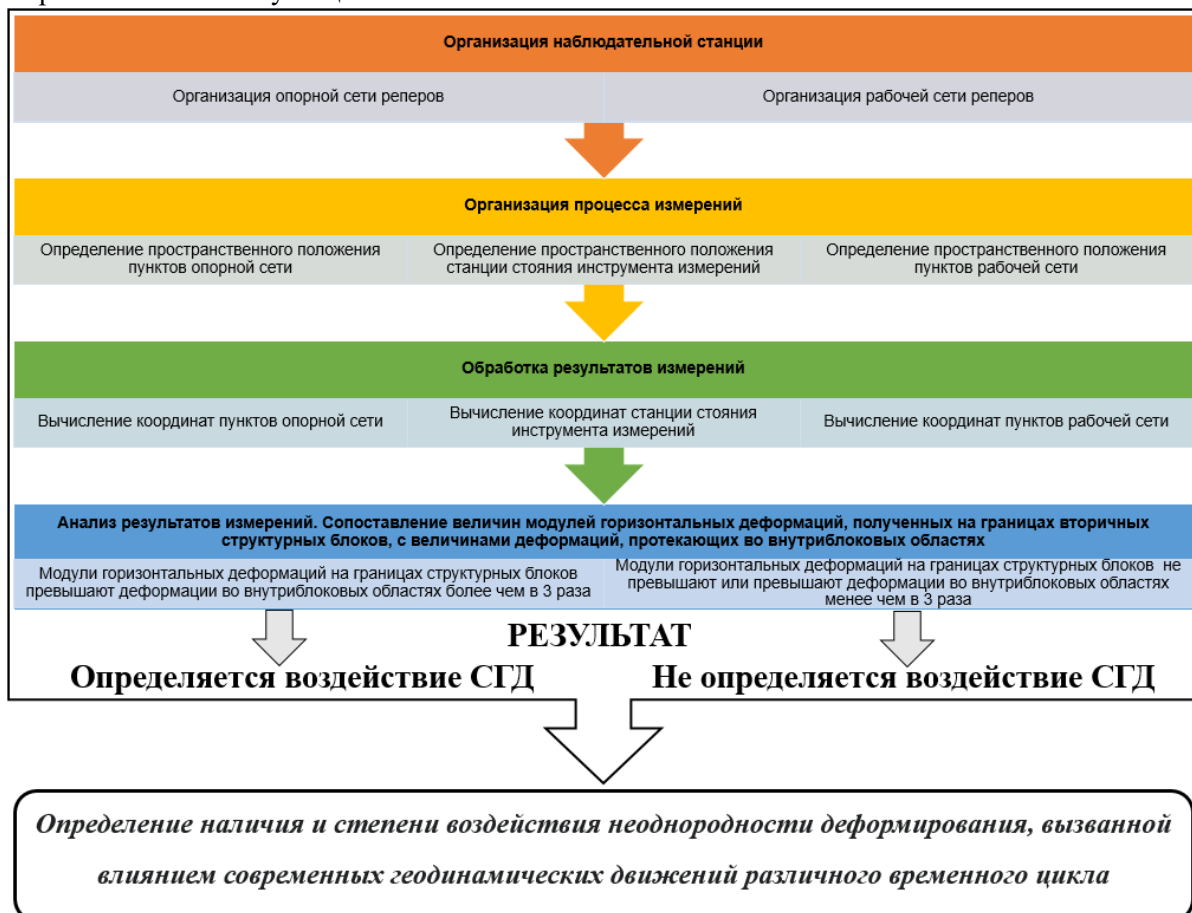


Рисунок 15 – Разработанная методика мониторинга

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей в себе решение важной научно-технической задачи: разработка методики мониторинга деформационных процессов, формирующихся на объектах недропользования под воздействием современных геодинамических движений, имеющей существенное значение для развития горнопромышленного комплекса.

Сформированная методика позволяет оперативно выявлять опасность воздействия современных геодинамических движений на безопасность и целостность объектов недропользования, а также принимать своевременные меры по предотвращению аварийных ситуаций в процессе их дальнейшей эксплуатации.

Основные научные и практические результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, заключаются в следующем:

1. Установлено, что применение разработанной методики мониторинга деформационных процессов позволяет определить место расположения граничных зон вторичных структур, локализуемых в верхней части литосферы массива горных пород и концентрируемых на своей границе современные геодинамические движения.

2. Предложено и обосновано использование критерия модуля относительных горизонтальных деформаций, способного выделить степень влияния современных геодинамических движений на устойчивость и безопасность эксплуатации объектов недропользования.

3. Определены требования к конструкции наблюдательной станции, необходимой для выявления воздействия современных геодинамических движений на устойчивость и безопасность объектов недропользования. Наблюдательная станция должна учитывать непрерывный характер действия современных геодинамических движений, а также неоднородность и неравномерность деформационного процесса, протекающего под их воздействием.

4. Выявлен характер воздействия современных геодинамических движений на деформационные процессы, формирующиеся в техногенных объектах. Выявлена зависимость, в соответствии с которой величины относительных горизонтальных деформаций, возникающих под воздействием современных геодинамических движений в граничных зонах вторичного структурирования массива горных пород, более чем в 3 раза превышают величины деформаций, протекающих во внутриблоковых областях вторичных структур.

5. Определен характер взаимодействия относительных горизонтальных и вертикальных деформаций под влиянием современных геодинамических движений. Установлена закономерность, в соответствии с которой величины относительных горизонтальных деформаций, возникающих под воздействием современных геодинамических движений в граничных зонах вторичного структурирования массива горных пород, сопоставимы с величинами относительных вертикальных деформаций в этих же зонах. А величины относительных вертикальных деформаций, возникающих во внутриблоковых областях вторичных структур массива горных пород, в большей части превышают величины относительных горизонтальных деформаций, протекающих в этих же зонах.

6. Проведена апробация разработанной методики на объектах недропользования. Апробация показала, что:

- предложенная методика мониторинга позволяет достоверно оценить наличие и степень воздействия современных геодинамических движений в составе совокупности геомеханических и природных факторов на целостность объекта недропользования;

- установлены зависимости между величинами относительных горизонтальных деформаций, формирующихся на границах вторичных структурных блоков под воздействием современных геодинамических движений, с величинами деформаций в междублоковых областях, где их действие не столь значительно;

- использование полученных зависимостей позволяет диагностировать действие современных геодинамических движений в массиве горных пород, а также степень их влияния на объекты недропользования.

Применение результатов, полученных в диссертационной работе, а также внедрение их в практику позволяет своевременно выявлять опасные деформационные процессы, формирующиеся в областях концентрации современных геодинамических движений.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Шеметов, Р.С. Интерпретация результатов проведения мониторинга деформационных процессов сложноконструктивных объектов в предгорье Северного Кавказа / Р.С. Шеметов // Маркшейдерия и недропользование. – 2015. – №1 – с. 54-58.

2. Шеметов, Р.С. Обоснование выбора места расположения наблюдательной станции для проведения геомониторинга деформаций сооружений / Р.С. Шеметов, Ю.А. Филиппов // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2017. – №10. – с. 205-211.

3. Шеметов, Р.С. Требования к размещению наблюдательной станции для мониторинга деформационных процессов под воздействием современных геодинамических движений / Р.С. Шеметов // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2020. – №3-1. – с. 275-284.

4. Шеметов, Р.С. Определение устойчивости и обоснование систем крепления горных выработок при переходе к отработке Олимпиадинского месторождения подземным способом / В.К. Бушков, Р.С. Шеметов // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2020. – №9. – с. 40-54.

В сборниках трудов и материалах конференций:

1. Шеметов, Р.С. Требования к размещению наблюдательной станции для мониторинга деформационных процессов под воздействием современных геодинамических движений / Н.И. Сартаков, В.К. Бушков, К.Г. Ищенко, В.И. Спиринов, П.Ю. Ворошилов, Р.С. Шеметов // 8-я Международная научно-техническая конференция "Современные технологии освоения минеральных ресурсов" 23-25 апреля 2010г. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2010. – с. 113-123.

2. Шеметов, Р.С. Результаты мониторинга деформационных процессов в геодинамически активном регионе России / Р.С. Шеметов // Геомеханика в горном деле: доклады всероссийской научно-технической конференции с международным участием 1-3 октября 2013г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. – с. 86-96.

3. Шеметов, Р.С. Методика мониторинга деформаций зданий и сооружений в регионах с современными геодинамическими движениями / Р.С. Шеметов // Проблемы недропользования – 2017. – №4 (15). – с. 96-102.

4. Шеметов, Р.С. Особенности мониторинга деформационных процессов объектов недропользования, подверженных воздействию современных геодинамических движений / Р.С. Шеметов // Проблемы недропользования – 2019. – №1 (20). – с. 57-61.