

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

На правах рукописи

Соловицкий Александр Николаевич



Разработка методологии моделирования напряженно-деформированного
состояния блоков земной коры для геодезического мониторинга районов
освоения угольных месторождений

1.6.22. Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени доктора
технических наук

Научный консультант –
доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Каленицкий Анатолий Иванович

Новосибирск – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ МОНИТОРИНГА КИНЕМАТИКИ И ДЕФОРМАЦИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПРИ ОСВОЕНИИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	15
1.1 Анализ изучения кинематики поверхности земной коры в районах освоения месторождений традиционными методами геодезического мониторинга.....	15
1.1.1 Традиционные методы определения кинематических характеристик поверхности земной коры при создании геодезического мониторинга	25
1.1.2 Инструментальные наблюдения движений земной поверхности на границах блоков земной коры при создании геодезического мониторинга традиционными методами	31
1.2 Камеральная оценка новейших движений блоков земной коры в районах освоения месторождений	48
1.3 Исследование техногенных движений земной поверхности при традиционном геотехническом (маркшейдерско-геодезическом) мониторинге.....	57
1.4 Задачи разработки методологии моделирования напряженно- деформированного состояния блоков земной коры для ГМНДСЗК при освоении угольных месторождений.....	65
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОГО МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА РЕАЛИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГМНДСЗК	76
2.1 Разработка новых целевого и функционального принципов для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений.....	77
2.2 Разработка нового структурно-организационного принципа методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений	102
2.3 Разработка новых пространственного и временного принципов для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений	120

3 РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГМНДСЗК В РАЙОНАХ ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ НОВЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРИНЦИПОВ	129
3.1 Разработка теоретических положений формирования пространственной структурной модели ячейки построений ГДП как типовой основы многоуровневых геодезических построений и получения информации для динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений	130
3.2 Разработка теоретических основ взаимообусловленной и взаимосвязанной системы постоянных наблюдений динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений	155
3.3 Разработка теоретических положений взаимодействия между подсистемами динамической модели ГМНДСЗК	175
3.4 Разработка теоретических положений для реализации подсистемы контроля и прогноза напряженно-деформированного состояния блоков земной коры и подсистемы частоты наблюдений и сбора информации во времени	195
4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ГЕОДИНАМИКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ КУЗБАССА	204
4.1 Анализ применения функционального принципа методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК при освоении ряда угольных месторождений Кузбасса	204
4.2 Анализ применения целевого принципа методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК при освоении ряда угольных месторождений Кузбасса	212
4.3 О перспективах дальнейших исследований	223
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	228
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	230
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	232

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Современной тенденцией передовых геодезических технологий является дальнейшее повышение точности, оперативности, автоматизации процессов измерений и разработка новых способов сбора, хранения и обработки полученной информации на новой методологической и технологической информационной основе. Поэтому их востребованность для изучения природных и техногенных геодинамических процессов при освоении угольных месторождений соответствует приоритетному направлению развития науки и техники РФ – «возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан» и имеет важное научное и практическое значение.

Информация о техногенных угрозах является важнейшей в аспекте прогноза катастрофических геодинамических явлений (ГДЯ) при освоении угольных месторождений: горных ударов, внезапных выбросов, землетрясений. При этом страдают не только горнопромышленные предприятия, но и люди. Так, например, в крупнейшем угольном регионе в Кузбассе число смертельных случаев оценивается зависимостью: один человек на 12 млн тонн добычи угля, а ежегодный материальный ущерб – более 500 млн рублей. Однако, несмотря на материальные и людские потери, комплексная система геодезического мониторинга природных и техногенных геодинамических процессов при освоении угольных месторождений до настоящего времени все еще не разработана. В то же время эпизодически выполняемые повторные геодезические наблюдения на техногенных геодинамических полигонах, обеспечивающие основной объем информации о состоянии природных и техногенных геодинамических процессов угольных бассейнов, неоднозначны, трудоемки, недостаточно детальны и оперативны.

Традиционные технологии геодезическо-маркшейдерского мониторинга на подработанных территориях в районах освоения угольных месторождений в насто-

ящее время ориентированы главным образом на изучение кинематики и деформаций поверхности земной коры при доминирующей роли геотехнического мониторинга, а используемые модели геодезического мониторинга не обеспечивают как адресность информации, так и адекватность структурам земной коры. В то же время более успешный опыт мониторинговых систем на месторождениях углеводородов, атомных и гидроэлектростанциях в полной мере на угольных месторождениях не используется.

В условиях сложившейся проблемной ситуации в районах освоения угольных месторождений между передовыми технологическими возможностями геодезической науки и недостаточностью полноценных теоретических разработок и моделей в области получения, сбора, регистрации, обработки и анализа информации об изменении состояния земной коры, а также чрезвычайно большого разнородного ее объема в рассматриваемой предметной области, который слабо систематизирован и обобщен, мало изучен и утрачивается в условиях имеющего место снижения преемственности знаний между поколениями, — настоятельно требуется разработка новых теоретических и информационных принципов формирования нового методологического подхода для комплексного мониторинга природных и техногенных геодинамических процессов в условиях освоения угольных месторождений.

Поэтому разработка методологии моделирования напряженно-деформированного состояния блоков земной коры для геодезического мониторинга районов освоения угольных месторождений в целях обеспечения безопасности их освоения является *решением научной проблемы*, имеющей важное социально-экономическое значение в области геодинамической безопасности при освоении недр, снижения риска и уменьшения последствий геодинамических катастроф природного и техногенного характера.

В традиционных системах геодезического мониторинга моделирование чаще используется для анализа результатов. Поскольку параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) земной коры путем непосредственных измерений геодезическими методами недоступны, то моделирование необходимо использовать во

всех составляющих геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры (ГМНДСЗК): регистрации, оценке и прогнозе информации. Поэтому для решения вышеуказанной научной проблемы соискателем предлагается разработка динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, базирующейся на новых теоретических и информационных принципах, которые формируют новый методологический подход. Новые теоретические принципы включают теоретические основы и моделирование строения, кинематики, напряженно-деформированного состояния и его прогноза, иерархии земной коры угольных месторождений. Новый методологический подход заключается в реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений и базирующийся на новых пяти теоретических и информационных принципах, которые определяются автором как целевой, функциональный, структурно-организационный, пространственный и временной и формируют новый методологический подход. Разработка теоретических принципов и обоснование нового методологического подхода связано с введением новых понятий: «динамические параметры блока земной коры» и «пространственная структурная модель ячейки геодезических построений ГДП блока земной коры», расширяющих современный понятийный аппарат геодезии.

Изложенное выше позволяет считать разработку методологии моделирования напряженно-деформированного состояния блоков земной коры для геодезического мониторинга районов освоения угольных месторождений на основе реализации его динамической модели, базирующейся на новых теоретических и информационных принципах, актуальной и своевременной. Важнейшим практическим значением разработанных автором новых теоретических и информационных принципов является не только гибкость и экономическая эффективность реализации ГМНДСЗК, но и решение народно-хозяйственных задач, нацеленных на повышение уровня геодинамической безопасности при освоении недр, снижение риска и уменьшение последствий геодинамических катастроф природного и техногенного характера.

Степень разработанности темы исследований. Весомый вклад в развитие исследований по изучению природных и техногенных геодинамических процессов при освоении месторождений путем создания мониторинговых систем внесен научными сотрудниками Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэрофотосъемки и картографии; Научно-исследовательского института горной геомеханики и маркшейдерского дела; Института физики Земли имени О. Ю. Шмидта Российской Академии Наук (РАН); Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А. А. Трофимука Сибирского отделения РАН; Московского государственного университета геодезии и картографии; Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева; институтов горного дела Сибирского и Уральского отделений РАН; Горного института Кольского научного центра РАН; Московского государственного горного университета; Пермского государственного научно-исследовательского университета, Сибирского государственного университета геосистем и технологий. Решение проблемы контроля напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения месторождений для обеспечения безопасности их освоения основано на результатах исследований многих отечественных и зарубежных ученых, имеющих фундаментальный характер исследований, среди них: Баранов В. Н., Батугина И. М., Батугин А. С., Бузук В. В., Бровар Б. В., Бровар В. В., Брынь М. Я., Герасименко М. Д., Гольдин С. В., Гуляев Ю. П., Егоров П. В., Есиков Н. П., Еремеев В. Ф., Журавков М. Н., Каленицкий А. И., Касахара К., Кафтан В. И., Кашников Ю. А., Константинова С. А., Козырев А. А., Колмогоров В. Г., Кузьмин Ю. О., Курленя М. В., Леонтьев А. В., Лисицкий Д. В., Лобанова Т. В., Магницкий В. А., Мазуров Б. Т., Макаров А. Б., Мещеряков Ю. А., Маркузе Ю. И., Машимов М. М., Мустафин М. Т., Опарин В. Н., Панкрушин В. К., Певнев А. К., Пелленен Л. П., Проворов К. Л., Петухов И. М., Сагитов М. У., Садовский М. А., Сашурин А. Д., Серебрякова Л. И., Сидоров В. А., Стеблов Г. М., Сурков В. С., Тимофеев В. Ю., Теркот Д., Уставич Г. А., Франк Ф. С., Хасимото Макабу, Хачай О. А., Шайдеггер А., Шуберт Дж., Щербаков В. В., Юркина М. И., Ямбаев Х. К. и др. Однако, несмотря на вклад этих ученых, вышеуказанная про-

блемная ситуация полностью не решена из-за неоднозначности кинематических характеристик амплитуд движений, отсутствия типовых систем сбора, обработки и представления разнородной информации на ГДП, плоских моделей блоков земной коры, отдельного изучения вертикальных и горизонтальных движений и т. п.

Цели и задачи исследований. Целью исследований является разработка методологии моделирования напряженно-деформированного состояния блоков земной коры для геодезического мониторинга районов освоения угольных месторождений, базирующейся на новых теоретических и информационных принципах и формирующих новый методологический подход.

Основные задачи исследований:

1 Выполнить анализ проблемной ситуации, заключающийся в существовании объективного противоречия между передовыми технологическими возможностями геодезической науки и недостаточностью полноценных теоретических разработок и моделей в области сбора, регистрации, обработки и анализа изменения состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений.

2 Обосновать содержание и ввести в научный оборот понятия: «динамические параметры блока земной коры» и «пространственная структурная модель ячейки геодезических построений ГДП блока земной коры».

3 Теоретически обосновать новый методологический подход, базирующийся на новых теоретических и информационных принципах, для реализации динамической модели ГМНДСЗК с целью формирования полноценной системы сбора информации о напряженно-деформированном состоянии блоков земной коры разных рангов.

4 Разработать теоретические основы контроля напряженно-деформированного состояния блоков земной коры для формирования прогнозных оценок его развития с последующей выработкой профилактических мер и рекомендаций для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений (*целевой принцип*).

5 Теоретически обосновать взаимосвязанность и взаимообусловленность системы постоянных наблюдений, оценки, прогноза и контроля для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений (*функциональный принцип*).

6 Теоретически обосновать основные положения взаимодействия динамической модели ГМНДСЗК с другими системами и ее подсистемами (*структурно-организационный принцип*).

7 Разработать теоретическое обоснование пространственной структурной модели ячейки построений геодинамического полигона (ГДП) блока земной коры как основы многоуровневных геодезических построений и получения информации для создания динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений (*пространственный принцип*).

8 Разработать теоретическое обоснование частоты наблюдений и сбора информации во времени для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений (*временной принцип*).

9 Теоретически обосновать применимость разработанной динамической модели ГМНДСЗК для решения фундаментальной и прикладных задач геодинамики месторождения.

Объект и предмет исследований. Объектом исследования является напряженно-деформированное состояние земной коры, а предметом – методология его моделирования для геодезического мониторинга районов освоения угольных месторождений.

Научная новизна состоит в следующем.

1 Новые теоретические и информационные принципы формируют новый методологический подход для разработки динамической модели ГМНДСЗК, включающей системы контроля изменения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры, постоянных наблюдений, оценки, прогноза и контроля их кинематики и динамических параметров, что в отличие от предложенных ранее моделей позволяет обеспечить более надежное и адресное определение состояния структур земной коры.

2 Разработанная на новых теоретических и информационных принципах динамическая модель ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений формирует полноценную систему сбора информации о напряженно-деформированном состоянии блоков земной коры разных рангов, ее оценки, прогноза и контроля и позволяет внедрить на угледобывающих предприятиях новый подход к исследованию их геодинамики.

3 Теоретически обоснован новый методологический подход, базирующийся на новых теоретических и информационных принципах для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, характеризующийся поэтапностью, типовой структурой и экономической эффективностью и позволяющий обеспечить решение задач геодинамической безопасности.

4 Разработан научно-обоснованный прогноз состояния блоков земной коры, базирующийся на унифицированном подходе проведения прикладных геодинамических исследований и решении фундаментальной задачи геодинамики месторождения, позволяющий обеспечить управление их развитием.

5 Предложены понятия: «динамические параметры блока земной коры» и «пространственная структурная модель ячейки геодезических построений ГДП блока земной коры», расширяющие современный понятийный аппарат геодезии при формализации решения фундаментальной задачи геодинамики месторождения.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в том, что предложенные новые теоретические и информационные принципы, формирующие новый методологический подход, создали теоретические предпосылки для разработки динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений. А разработанные теоретические основы полноценной системы сбора информации о напряженно-деформированном состоянии блоков земной коры разных рангов, ее оценки, прогноза и контроля позволяют реализовать новый методологический подход в процессе ее разработки. Предложенные новые понятия могут быть использованы специалистами как в об-

ласти геодезии, так и смежных наук о Земле. Это увеличивает возможности специалистов при анализе многоуровневой и разнородной информации ГМНДСЗК, а также включают в оборот геодезии новейшие достижения смежных наук о Земле.

Практическая значимость реализации нового методологического подхода при разработке динамической модели ГМНДСЗК состоит в обеспечении гибкой и экономически эффективной системы геодезического мониторинга в процессе решения задач геодинамической безопасности. Результаты исследований предполагается использовать на угледобывающих предприятиях, в образовательных учреждениях и организациях, связанных с изучением геодинамики месторождений.

Методология и методы исследований основывались на теоретических обобщениях и заключениях, методологии системного подхода, теории построения и математической обработки геодезических сетей и теории упругости, статистических методах обработки данных. Определение динамических параметров блоков земной коры выполнялось по авторским программам в среде программирования *QBASIC*. При этом использовались методы статистического анализа и наименьших квадратов. Для проверки теоретических положений, алгоритмов, программного обеспечения использовались как результаты модельных построений и расчетов, так и фактические результаты натурных наблюдений на территории шахт, разрезов и ГДП. На поисковом этапе исследований привлекались материалы и фактические данные натурных геодезических и гравиметрических наблюдений на Саяно-Шушенском, Междуреченском, Токтогульском, Североуральском геодинамических полигонах, в которых автор диссертации принимал личное участие.

Положения, выносимые на защиту:

1 Теоретически обоснованный новый методологический подход, базирующийся на новых теоретических и информационных принципах при реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений позволяет обеспечить решение фундаментальной и прикладных задач для оценки возможного риска проявления ГДЯ и повышения уровня геодинамической безопасности при их освоении.

2 Реализованная на новых теоретических и информационных принципах динамическая модель ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений обеспечивает получение полноценной информации об объемной деформации земной коры, повышает ее адекватность структурам земной коры и достоверность регистрации проявлений геодинамических процессов.

3 Предложенные определения понятий: «динамические параметры блока земной коры» и «пространственная структурная модель ячейки геодезических построений ГДП блока земной коры» – обеспечивают формулирование и решение задач изучения геодинамики месторождения.

4 Разработанный научно-обоснованный прогноз состояния блоков земной коры обеспечивает целенаправленность и фундаментальность изучения развития их деформаций с учетом степени опасности формирования очага ГДЯ и унифицированности использования геодезической информации.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационное исследование по содержанию и характеру полученных результатов соответствует следующим областям исследования: 2 – Создание геодезической координатно-временной основы различного назначения с использованием геодезических, астрономических, гравиметрических и других (космических, наземных и подземных) методов измерений; оценка их степени устойчивости и характера изменений, вопросы их проектирования и оптимизации. Геодезические системы координат; 8 – Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры и ее поверхности, зданий и сооружений, вызванного природными и техногенными факторами, с целью контроля их устойчивости, снижения риска и последствий природных и техногенных катастроф, в том числе землетрясений; 11 – Теория и практика математической обработки результатов геодезических измерений и информационное обеспечение геодезических работ. Автоматизированные технологии создания цифровых трехмерных моделей технологических объектов, процессов и явлений по геодезическим данным паспорта научной специальности 25.00.32 – Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечена применением известных методов моделирования, механики сплошной среды, удовлетворительной сходимостью результатов аналитических и экспериментальных исследований, многочисленными и длительными комплексными измерениями в натурных условиях кинематических параметров блочного массива горных пород на месторождениях, положительными результатами проверки основных положений диссертационной работы на материалах повторных наблюдений на ГДП.

Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях Кузбасского государственного технического университета (Кемерово, 1986–2010 гг.), I, IV, VIII, IX Российско-Китайском симпозиуме «Строительство шахт и городских подземных сооружений» (Кемерово-Тайань, 2000, 2006, 2016, 2018 гг.), IV, V, VII, X Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах» (Кемерово, 2000, 2002, 2007, 2013 гг.), IX, X, XI, XII Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» (Кемерово, 2001, 2004, 2006, 2008, 2012 гг.), научно-технических конференциях Московского государственного горного университета «Неделя горняка–2004, 2007, 2009» (Москва, 2004, 2007, 2009 гг.), VI, VII, VIII, XI Международных научных конгрессах «Интерэкспо ГеоСибирь–2010, 2011, 2012, 2015, 2018, 2019» (Новосибирск, 2010, 2011, 2012, 2015, 2018 гг.), II и III Международном инновационном горном симпозиуме (Кемерово, 2017, 2018 гг.).

Результаты исследований используются в учебном процессе в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кемеровский государственный университет» и в Шаньдунском Научно-техническом университете. Разработанная автором программа «ВМ» нашла применение при изучении НДС блоков земной коры в Шерегешском рудоуправлении и на шахтах «Чертинская» и «Костромовская».

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 28 научных публикациях, из них 11 – в из-

даниях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора наук, 3 – свидетельства о регистрации программ для электронных вычислительных машин и 3 статьи – в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus.

Структура диссертации. Диссертация состоит: из введения, 4 разделов, заключения, библиографического списка, списка принятых сокращений. Общий объем диссертации 266 страниц, включая 69 таблиц и 72 рисунка. Библиографический список включает 267 наименований.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ МОНИТОРИНГА КИНЕМАТИКИ И ДЕФОРМАЦИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПРИ ОСВОЕНИИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Теория динамической модели ГМНДСЗК районах освоения угольных месторождений Кузбасса является комплексной. Ее разработка учитывает как состояние развития предшествующих этапов геодезической науки, так и особенности геодинамических исследований при освоении месторождений. При этом учитывается, что ГМНДСЗК является не только одним из множества видов и систем мониторинга, но и одним среди геодезических [7,11,13, 14, 36, 37, 40, 53, 54, 71, 86, 88, 92, 100, 101, 106, 111,124, 128, 134, 136, 165, 181, 184, 185, 188, 189, 201, 204, 215, 216, 219, 232, 240, 249, 250, 267]. По мнению соискателя, одним из ключевых предшествующих этапов геодезической науки является изучение кинематики поверхности земной коры в районах освоения месторождений, включая как современные движения поверхности земной коры (СВДПЗК), так и выделение ее структуры и взаимодействия на их границах.

1.1 Анализ изучения кинематики поверхности земной коры в районах освоения месторождений традиционными методами геодезического мониторинга

К настоящему времени есть определенные достижения в изучении кинематики поверхности земной коры в районах освоения месторождений традиционными методами геодезического мониторинга, который является многообразным. Классифицируя его общность, можно отметить следующее:

- теоретические и методические основы;
- регистрацию и интерпретацию;
- прогноз и учет.

Главной теоретической и методической основой геодезического мониторинга кинематики поверхности земной коры является переоценка традиционного представления о роли и месте геодезии, которая в настоящее время имеет трехуровневую иерархию [135]:

- статическая (классическая);
- кинематическая;
- динамическая.

Кинематическая геодезия предполагает изучение (определение) данных об объектах на Земле в четырехмерном пространстве (X, Y, H, t) и изучает изменения положения точек земной поверхности и характеристик гравитационного поля во времени, а динамическая геодезия занимается изучением причин этих изменений. Поэтому задачей геодезии в настоящее время становится не только регистрация изменений положений земной поверхности, но и изучение процессов ее деформации.

Кроме этого, теоретической и методической основой является следующая особенность. Естественное состояние земной коры характеризуется природными геодинамическими процессами, а ее состояние при подземной, открытой и строительной геотехнологии освоения недр – совместным влиянием техногенных и естественных факторов. В статическом состоянии она представляет собой энергетически уравновешенную систему с определенным запасом накопленной упругой энергии. При освоении подземного пространства это равновесие нарушается, и могут образовываться энергетические очаги. Если такой очаг формируется вблизи поверхности обнажения, то появляется опасность хрупкого разрушения приконтурной породной области, то есть горного удара [5, 6, 24, 25, 27, 44, 85, 97, 98, 109, 110, 132, 142, 145, 157, 158]. При формировании очага в глубине массива возможно проявление геодинамического явления большего масштаба – техногенного землетрясения [5, 6, 24, 27, 142].

При разработке месторождений Урала, Кузбасса и Горной Шории, Кольского полуострова в России, а также на зарубежных месторождениях происходят горно-тектонические удары, вызывающие разрушения на поверхности, образование прова-

лов, появление трещин, отмечается техногенная сейсмичность при разработке нефтяных и газовых месторождений, строительстве многоэтажных зданий в городах, происходят землетрясения в районах санации шахт. В России возникло несколько горнопромышленных районов, в которых техногенная сейсмичность стала социальным фактором, и для которых исследования механизмов очагов землетрясений представляют значительный научный и практический интерес. За рубежом таким исследованиям уделено значительное внимание в работах Шайдеггера А., а в нашей стране методика решения механизмов очагов землетрясений описана Введенской А. В., Широковой Е. И., Кейлис-Борок В. И. и др. Анализ полей напряжений с использованием данных об очаговых механизмах приведен в исследованиях Соболевой О. В., Балакиной Л. М., Мячкина В. И., Юнга С. П., Кострова Б. В. и др. [2, 243, 251, 261, 262].

Регистрации кинематики поверхности земной коры и ее прогнозу посвящены работы отечественных и зарубежных ученых [1, 3, 8, 12, 13, 14, 18, 19, 26, 52, 59, 64, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 76, 79, 80, 81, 83, 90, 95, 96, 159, 160, 166, 176, 177, 197, 266]. Кроме этого, значительное число работ отражает результаты систематизации и совершенствования профилактических мер на основе интерпретации и учета влияния выявленных природных и техногенных геодинамических процессов на ГДП [4, 5, 6, 7, 15, 20, 23, 78, 87, 107, 108, 118, 123, 134, 170, 240, 245, 247, 256, 257, 259]. Так, для профилактики горных ударов на рудных и нерудных месторождениях предложен метод геодинамического районирования недр (Батугина И. М., Петухов И. М.). Кроме этого, получили развитие исследования, направленные на количественную оценку геодинамической опасности, мерой которой выступает геодинамический риск (Алымов В. Т., Батугин А. С., Вовк И. Г., Кофф Г. Л., Рагозин А. Л., Степанов В. В. и др.) [5, 9, 155, 175, 254].

Следует отметить, что развитие прикладных геодинамических исследований для обеспечения безопасности освоения недр прошло путь от эпизодического использования их результатов до планомерного управления массивом горных пород.

Эпизодическое проведение таких исследований характерно до 70-х гг XX в., а управление массивом горных пород началось позже – в 1980-е гг. Однако это достижение в настоящее время не базируется на геодезическом мониторинге.

Следует отметить, что развитие как прикладных геодинамических исследований, так и геодезического мониторинга определено достижениями наук о Земле:

- геологии (Вегенер А., Белоусов В. В., Петухов И. М. и др. [2, 142]);
- геоморфологии (Мещеряков Ю. А. [118, 119, 120], Николаев П. Н. [125], Орлова А. В. [129] и др. [35, 40, 89, 144, 258]);
- геофизики (Арнаутов Т. П., Гзовский М. В., Козырев А. А., Курленя М. В., Леонтьев А. В., Лобанова Т. В., Магницкий В. А., Опарин В. Н., Осокина Д. Н., Рамберг Х., Сагитов М. С., Садовский М. А., Стеблов Г. М., Турчанинов И. А., Шерман С. И., Шкуратник В. Л., Хачай О. А. и др. [21, 28, 29, 30, 33, 94, 95, 104, 105, 113, 115, 121, 122, 156, 161, 162, 163, 164, 178, 242, 252, 253]);
- геодинамики (Артюшков Е. В., Буланже Н. П., Есиков Ю. Д., Касахара К., Косыгин Ю. А., Пиотровская Т. Ю., Сашурин А. Д., Суворов А. И., Тимофеев В. Ю., Тейлор Дж., Шайдеггера А., Цирихова Э. М. и др. [2, 16, 22, 31, 42, 43, 69, 82, 114, 125, 146, 153, 154, 241, 248]);
- геодезии (Баранов В. Н., Бузук В. В., Бровар Б. В., Бровар В. В., Брынь М. Я., Вовк И. Г., Герасименко М. Д., Гуляев Ю. П., Еремеев В. Ф., Каленицкий А. И., Кашников Ю. А., Кафтан В. И., Колмогоров В. Г., Кузьмин О. Ю., Мазуров Б. Т., Хасимото Макабу, Маркузе Ю. И., Машимов М. М., Мустафин М. Т., Панкрушин В. К., Певнев А. К., Пелленен Л. П., Проворов К. Л., Савиных В. П., Серебрякова Л. И., Сидоров В. В., Тимофеев Ю., Уставич Г. А., Frank F. С., Хорошилов В. С., Щербаков В. В., Юркина М. И., Ямбаев Х. К. и др. [7, 13, 14, 17, 26, 36, 37, 38, 39, 41, 45, 46, 51, 60, 61, 62, 63, 66, 67, 75, 81, 84, 88, 91, 93, 103, 106, 111, 124, 130, 131, 137, 138, 139, 140, 143, 147, 152, 160, 165, 171, 172, 173, 174, 176, 249, 264, 265, 266]).

Примерами крупных потерь в Кемеровской области, обусловленных неучетом деформаций блоков земной коры, являются:

- искривление ствола рудника «Сибиряк», заложенного в зону разлома;

- неустойчивость фундамента Петровской ТЭЦ, «попавшего» также в зону разлома;
- высокий уровень травматизма при проявлениях ГДЯ (40 % от всех несчастных случаев в области).

Блочная структура земной коры отражает одно из устойчивых его состояний, а переход в иерархии от одного размера к другому означает смену одного устойчивого состояния на другое [22, 164, 243, 245, 246]. Однако, несмотря на достигнутые успехи, деформации блоков земной коры при освоении месторождения мало изучены [7, 10, 24, 25, 27, 38, 65, 72, 73, 77, 85, 88, 97, 99, 100, 109, 110, 117, 128, 243, 244, 261, 263]. В настоящее время доминирует раздельный подход к изучению современных и новейших природных и техногенных процессов, горизонтальных и вертикальных движений, инструментальными и иными методами [26, 54, 67, 81, 91, 96, 133, 172, 175, 197, 266].

Кроме этого, дополнительно приходится учитывать следующие обстоятельства:

- более масштабное освоение недр России и Кузбасса в XXI в. (свыше 300 млн тонн угля в год);
- кардинальное изменение условий ведения горных работ (например, длина лавы по падению может достигать 300 м, а по простиранию – до 6 км, скорость подвигания очистного забоя превышает 15 м в сутки, глубина разработки может быть 400 м и более);
- угроза внезапных выбросов, горных ударов;
- активизация геомеханических процессов в призабойной зоне;
- аварийность.

В результате возрастает травматизм (шахта «Листвяжная» – погибло 13 шахтеров; «Тайжина» – 47; «Распадская» – более 100 и т. д.).

Изучение кинематики земной поверхности инструментальными методами широко используется в традиционных технологиях геодезического мониторинга в районах освоения месторождений [7, 24, 25, 32, 36, 46, 47, 59, 64, 67, 74, 78, 79,

88, 100, 101, 256, 261]. Анализ таких исследований в различных масштабах инструментальными методами выполнен в монографии [180]. При этом установлено:

- к зонам геодинамической активности приурочена сейсмическая активность, изучение которой проводят на специальных научно-прогностических геодинамических полигонах;
- из-за непродолжительного ряда наблюдений результаты экспериментальных исследований до сих пор не позволяют разрешить спор между фиксизмами и мобилистами и сократить число гипотез механизма геодинамических процессов.

Одной из главных составляющих исследования кинематики земной поверхности является проблема изучения современных движений поверхности земной коры (СДПЗК) можно решать только комплексным путем. Это подтверждают результаты исследований Юркиной М. И и Серебряковой Л. И. (ЦНИИГАиК) [67, 170, 171, 161, 172, 173, 175, 265]. Установлено, что СДПЗК подразделяются на медленные (вековые) и быстрые. Прогнозируемость коровых и подкоровых процессов по их геодинамическим проявлениям на поверхности Земли достаточно проблематична, хотя их связь с геодинамическими процессами, протекающими в земной коре и в верхней мантии, прослеживается благодаря взаимосвязи современных вертикальных движений поверхности земной коры с изменениями во времени геофизических полей, рельефа, русел рек, взаимодействием структур блоков. В связи с этим следует отметить значение первого Международного геодинамического исследовательского проекта [61, 62, 63, 67, 114], который содержал три раздела:

- мировая карта вертикальных движений земной коры;
- создание сети прогностических геодинамических полигонов;
- изучение дрейфа материков.

В реализации этого проекта создание карты СВДПЗК на территории бывшего СССР являлось значительным событием.

Использование результатов повторного нивелирования для картографирования СВДПЗК в нашей стране началось с 1945 г. [61, 62]. При этом впечатляют масштабы территории и объема выполненных работ: общая протяженность линий по-

вторного нивелирования составляет 215 тысяч километров, включающих 676 узловых, и 23 тысячи промежуточных реперов и 41 уровнемерную станцию. Интервал между повторным нивелированием в среднем равен 26 годам. Средние квадратические погрешности определения скоростей вертикальных движений для Европейской части территории бывшего СССР не превышают 1,5 мм/год, а для Азиатской – 2,5 мм/год [61, 62, 63]. В рамках международного сотрудничества в 1973–1989 гг. на территорию государств Восточной Европы изданы сводные карты СВДЗК [62], кроме этого на территории Северной Америки, Японии и ряда других государств проведено повторное нивелирование и созданы карты СВДЗК.

Систематические комплексные геодинамические исследования в течение нескольких десятков лет позволили накопить обширный материал, обобщение которого способствовало не только теоретическому решению фундаментальных проблем, но и практическому применению. На основе этих исследований изучаются кинематические характеристики СВДПЗК горных и равнинных территорий, морских побережий, механизмы современной геодинамической и сейсмической активности. Выявлены пространственно-временные закономерности движений и их связь с геолого-геофизическими параметрами [156, 257]. Хорошим примером, иллюстрирующим связь землетрясений с СВДПЗК, является землетрясение 1966 г. в Синтае (Китай) с магнитудой в 7,2 балла. Сильные толчки в этом районе связаны с зонами высоких градиентов СВДЗК [67].

Из анализа результатов изменений координат геодезических пунктов, в эпицентрах сильных землетрясений было установлено, что подготовка очага землетрясения, которая заключается в упругом изгибе горных пород, сопровождается изгибом земной поверхности, который может быть определен по результатам повторных геодезических измерений. При этом считается, что изгиб является единственным достоверным признаком, однозначно сигнализирующим о подготовке очага крупного землетрясения [137, 138]. Результатом этого анализа является разработка геодезического метода прогноза землетрясений, предложенного Певневым А. К. [136, 137, 138, 139].

Выполненный выше анализ геодезического мониторинга кинематики поверхности земной коры в районах освоения месторождений традиционными геодезическими методами свидетельствует об успехах инструментальных исследований на ГДП и позволяет отметить следующее.

1 Высокую мобильность развития технологий проведения повторных наблюдений на ГДП за короткий период. Для таких исследований используются американская спутниковая навигационная система GPS и отечественная система ГЛОНАСС. До создания отечественного приемника в основном использовались зарубежные модели «Тримбл» (США) и «Лейка» (Швейцария). Отечественный опыт использования спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС невелик, зарубежный значительно шире – разработан ряд проектов [1, 26, 38, 39, 52, 67, 70, 71, 75, 88, 134, 174, 247].

2 Повышение точности инструментальных методов наблюдений и оперативность их проведения, что подтверждают результаты исследований, проведенных в ЦНИИГАиК [67, 131, 160, 172, 173, 174], а также другими авторами [26, 79]. В настоящее время реальная точность определения изменений координат и высот классическими геодезическими методами оценивается величиной порядка $(1-2) \cdot 10^{-6}$, с применением современных спутниковых технологий ее можно повысить на порядок [1, 67, 75, 171, 174]. Средняя квадратическая погрешность (СКП) определения изменений во времени приращений силы тяжести не превышает 20–30 мкГал, а для абсолютных определений изменений силы тяжести с баллистическими гравиметрами – на порядок выше [33, 67, 95, 121, 175, 191, 235].

Инструментальные наблюдения кинематических характеристик земной поверхности в районах освоения месторождений полезных ископаемых проводились на техногенных ГДП и являются предшественником геодезического мониторинга деформаций земной коры. Они позволили установить следующие закономерности.

1 Значимость результатов повторных наблюдений на ГДП имеет явный характер в случае, если они носят неэпизодический характер [12, 170, 172]. Техногенные движения земной коры характеризуются большими величинами амплитуд и скоростей, чем аналогичные движения, обусловленные природной геодинамикой (на

нефтяных и газовых месторождениях величины значений такого же порядка, как на угольных месторождениях) [4, 12, 19, 20, 24, 25, 38, 46, 51, 52, 78, 79, 92, 98, 100, 101, 103, 133, 145, 157, 165, 214, 259, 266]. Вместе с тем, на месторождениях жидких и газообразных полезных ископаемых геодинамические исследования на ГДП более представительны [54, 67, 175, 176]. В первую очередь, следует отметить, что первые повторные наблюдения на ГДП были начаты в нашей стране на нефтяных месторождениях Апшеронского полуострова [266]. Анализ первых повторных результатов нивелирования 1928 и 1937 гг. позволил выявить мелкоблоковый характер деформаций Апшеронского полуострова и узколокальный характер техногенного воздействия [266].

2 Изученность блоковых структур в долине реки Припяти и на ряде месторождений Сибири, Поволжья очень высока, что обеспечивает полученным результатам практическую направленность. Поставлен вопрос о геодинамической разведке [67, 175, 176].

3 Установлены зависимости масштабов современных вертикальных движений земной поверхности над нефтяными и газовыми месторождениями от мощности пластов. Максимальные амплитуды современных вертикальных движений земной поверхности на Верхнекамских нефтяных месторождениях за период 20-летней эксплуатации составили 40 мм, а в зонах разломов, которые контролируют зоны нефтегазонакопления, их величины выше в 1,5–2,0 раза [67].

4 Установлены зависимости увеличения сейсмоактивности в результате добычи углеводородов. Еще в 1920-е гг. зафиксирована серия землетрясений на нефтяном месторождении Гус-крик в США. На газовом месторождении Лак (Франция) с 1967 по 1989 г. зарегистрировано свыше тысячи землетрясений, а в Италии добыча газа на месторождении Кавьяга явилась причиной землетрясения с магнитудой 5,5. С большей магнитудой (7 баллов) зарегистрированы три землетрясения в районе газового месторождения Газли, кроме этого, повышение сейсмической активности характерно и для старых нефтедобывающих районов [56]. Усиление сейсмической активности недр происходит при отработке 40–50 % запасов, что свя-

зано с изменением начальных пластовых давлений. На сейсмическую активность оказывает влияние наличие разломов.

5 Экспериментальным подтверждением зависимостей изменений силы тяжести от нарушения термодинамических условий в земной коре являются результаты повторных совместных гравиметрических и газометрических наблюдений на Демидовском и Суводском ГДП в Волгоградской области.

6 Установлены локальные и региональные закономерности кинематических характеристик движений земной коры. Так, Сидорову В. А. и Кузьмину Ю. О. удалось обнаружить по результатам повторных наблюдений устойчивые типы локальных аномалий по отношению к региональным движениям [175, 176]. Аномалии были подразделены на три типа:

- β – региональный изгиб протяженностью 15–20 км с амплитудой 5–15 мм;
- γ – локальный изгиб протяженностью 1,5–2,0 км с амплитудой 30–40 мм;
- S – сдвиговые вертикальные смещения протяженностью 5–7 км с амплитудой 10–20 мм.

Первый тип аномалий характеризуется изменчивостью ширины, которая может изменяться в широком диапазоне: от 6–8 км до 15–20 км. Данный тип аномалий характеризуется изгибом кривой современных вертикальных движений земной поверхности. Второй тип имеет достаточно устойчивую ширину и очень изменчивую амплитуду. Третий тип – ступенеобразное изменение движений, с устойчивым параметром – шириной. Аномалии типа β и S проявляются в условиях горизонтального сжатия над надвигами, а в условиях растяжения зарегистрированы аномалии S и γ . На основе решения обратной задачи определены глубины источников деформаций, составляющие 10 км.

7 Ученые ИГД УРО РАН выявили пульсационный и знакопеременный характер движений в разломных зонах [180, 194], а их коллеги из ИГД СО РАН установили волны маятникового типа и возможность «эффекта домино» в иерархическом блочном массиве горных пород при импульсном воздействии от взрывов, горных ударов или землетрясений [94, 128]. Исследования Криворожско-Кременчугского

и Центрально-Донецкого разломов позволили обнаружить тенденцию отставания межблоковых структур земной коры по отношению к движениям бортов. В зонах разломов обнаружены градиенты вертикальных движений до 10–15 мм/год, горизонтальных – до 50 мм/год и вариации гравитационного и магнитного полей до 0,25 мГал и 8 нТл, соответственно.

8 Установлено, что при освоении любого месторождения имеется предел, при достижении которого влияние техногенных процессов на напряженное состояние массива горных пород становится доминирующим. При этом в процесс деформирования вовлекаются новые удаленные от месторождения участки. Таким образом, происходит вовлечение влияния блочного строения земной коры в геодинамический процесс, которое заканчивается скачкообразным выравниванием напряжений с выделением сейсмической энергии [67, 194, 243, 254].

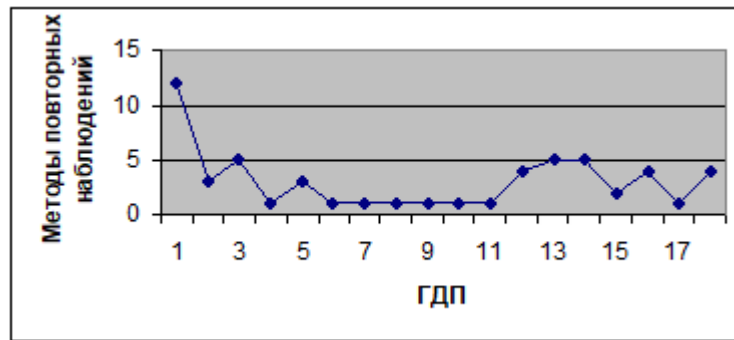
9 Методология построений на ГДП зависит от вида техногенной деятельности на месторождениях жидких и газообразных полезных ископаемых [67, 180, 194, 259, 266]. Оценка взаимодействия блоков земной коры выполняется не только по линиям разломов (на профилях), также используются результаты площадных повторных наблюдений с определенным шагом расположения пунктов [67, 131, 138, 172, 173, 264].

1.1.1 Традиционные методы определения кинематических характеристик поверхности земной коры при создании геодезического мониторинга

Главной основой для определения кинематических характеристик поверхности земной коры при создании геодезического мониторинга традиционными методами является ГДП. Для оценки количественных характеристик вертикальных движений поверхности земной коры на ГДП используют результаты повторного геометрического, тригонометрического, гидростатического нивелирования или их комбинации. Горизонтальные движения земной коры оценивают по результатам повторных измерений главным образом в линейно-угловых сетях и других комбинированных построениях [26, 67, 180]. Кроме перечисленных классических мето-

дов, для этих целей используются спутниковые геодезические приемники GPS [1, 38, 39, 49, 52, 66, 68, 88, 103, 130, 134, 171, 247], а также стационарные системы наблюдений, работающие в автономном режиме [67].

Количество методов повторных измерений на ГДП приведено на рисунке 1.1.



1 – Ашхабадский; 2 – Кузбасский; 3 – Кольский; 4 – Апшеронский; 5 – Тогтогульский; 6 – Верхнекамского месторождения минеральных солей (ВКМКС); 7 – Северо-Муйский; 8 – Самгори; 9 – Уренгойский; 10 – Оренбургский; 11 – Ново-Кальинский; 12 – Распадский; 13 – Саяно-Шушенский; 14 – Красноярский; 15 – АЭС; 16 – Венесуэльский (Маракайбо); 17 – Польский; 18 – Анжеро-Судженский

Рисунок 1.1 – Количество методов повторных наблюдений на ГДП

В экспериментальных исследованиях на ГДП, математической обработке полученных результатов и их интерпретации принимал участие целый ряд отечественных ученых: Блюмин М. А., Бровар В. В., Буланже Ю. Д., Бузук В. В., Вовк И. Г., Волгина А. И., Волков В. И., Герасименко М. Д., Гуляев Ю. П., Есиков Н. П., Каленицкий А. И., Кашников Ю. А., Кафтан В. И., Козырев А. А., Колмогоров В. Г., Кузьмин Ю. О., Мазуров Б. Т., Макаров А. Б., Маркузе Ю. И., Машимов М. М., Остач О. М., Панкрушин В. К., Певнев А. К., Пеллинен Л. П., Проворов К. Л., Савиных В. П., Сагитов М. У., Сашурин А. Д., Серебрякова Л. И., Сидоров В. И., Тимофеев В. Ю., Юркина М. И., Ямбаев Х. К., Яценко В. Р. и многие другие.

На ГДП обычно проводятся комплексные геодинамические исследования [3, 13, 26, 38, 49, 50, 67, 72, 74, 92, 106, 180, 194, 264, 266], при которых совместно с повторными геодезическими измерениями выполняются повторные гравиметриче-

ские, электро- и магнитометрические, геохимические, а также производится контроль за динамикой во времени уровня подземных вод и др. [18, 108, 180]. Высокоточные повторные измерения на различных участках земного шара выявили изменения длин линий $\Delta S[t-t_0]$, превышений $\Delta h[t-t_0]$ и углов $\Delta \beta[t-t_0]$

$$\begin{aligned}\Delta S[t-t_0] &= S[t] - S[t_0]; \\ \Delta \beta[t-t_0] &= \beta[t] - \beta[t_0]; \\ \Delta h[t-t_0] &= h[t] - h[t_0],\end{aligned}\tag{1.1}$$

где $S[t]$, $S[t_0]$ – длина одной и той же линии, полученная по результатам измерений в эпохи t и t_0 ;

$\beta[t]$, $\beta[t_0]$ – угол, полученный по результатам измерений в эпохи t и t_0 ;

$h[t]$ и $h[t_0]$ – превышения, полученные по результатам измерений в разные эпохи.

Полученные по результатам повторных измерений изменения координат $\Delta X[t-t_0]$, $\Delta Y[t-t_0]$ и высот $\Delta H[t-t_0]$ интерпретировались как горизонтальные и вертикальные движения земной поверхности согласно критерию, предложенному Проворовым К. Л. [152], если они втрое превышали погрешности их определения:

$$\begin{aligned}\Delta X[t-t_0] &= 3m(\Delta X[t-t_0]); \\ \Delta Y[t-t_0] &= 3m(\Delta Y[t-t_0]); \\ \Delta H[t-t_0] &= 3m(\Delta H[t-t_0]).\end{aligned}\tag{1.2}$$

Следует отметить, что полученные движения земной поверхности носили относительный и дискретный характер [180].

Количественными характеристиками вертикальных и горизонтальных движений земной коры являются амплитуды [180], определяемые по формулам:

- для горизонтальных и вертикальных смещений

$$\begin{aligned}
\Delta X[t-t_0] &= X[t] - X[t_0]; \\
\Delta Y[t-t_0] &= Y[t] - Y[t_0]; \\
\Delta H[t-t_0] &= H[t] - H[t_0];
\end{aligned}
\tag{1.3}$$

- для скорости движений v_j

$$\begin{aligned}
v_x &= \Delta X[t-t_0]/[t-t_0]; \\
v_y &= \Delta Y[t-t_0]/[t-t_0]; \\
v_H &= \Delta H[t-t_0]/[t-t_0];
\end{aligned}
\tag{1.4}$$

- для временных горизонтальных градиентов

$$\begin{aligned}
v_{xt} &= (v_x[t+1] - v_x[t])/([t+1] - t); \\
v_y &= (v_y[t+1] - v_y[t])/(t+1 - t);
\end{aligned}
\tag{1.5}$$

- для горизонтальных пространственных градиентов

$$v_{js} = (v_{jk} - v_{ji})/s_{ik}, \tag{1.6}$$

где $j=x, y, z$.

Наиболее распространенные представления количественных характеристик движений блоков земной коры по результатам выполненного анализа приведены в таблице 1.1.

Особенности определения количественных характеристик движений поверхности земной коры проанализированы в ряде работ [8, 17, 21, 38, 52, 54, 67, 72, 80, 91, 180, 194, 266], а общая характеристика инструментальных наблюдений при проведении прикладных геодинамических исследований на ГДП приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Представление количественных характеристик движений земной коры

Вид представления количественных характеристик	
Табличный	Таблицы
Амплитуды	Графики
Скорости	Векторные схемы
Градиенты	Карты

Таблица 1.2 – Исследование деформаций земной поверхности на основе повторных наблюдений на ГДП

Название ГДП	Комплекс повторных наблюдений	Количественные характеристики
Ашхабадский ГДП Курбанов М.К. и др. [67]	Повторные угловые и линейные, нивелирование, гравиметрические, магнитометрические наблюдения; гидростатический нивелир, электросопротивление, температура, уровень подземных вод, выделение газов, сейсмические станции «Земля»	Графики амплитуд, наклонов
Таштагольский ГДП Колмогоров В. Г. и др. [79]	Повторное нивелирование	Графики изменений высот реперов
Кузбасский ГДП Карташов М. П. и др. [64]	Повторное нивелирование, угловые и линейные измерения	Карта-схема компонентов деформации земной поверхности
Кольский ГДП Козырев А. А. и др. [77, 78]	Повторное нивелирование, гравиметрические, наклономерные, мареографические, геофизические наблюдения	Графики относительных изменений превышений
Апшеронский ГДП Лилиенберг Д. А. и др. [67]	Повторное нивелирование	Графики скоростей вертикальных движений земной коры
ГДП нефтяное месторождение Самгори Волгина А. И. и др. [18, 19]	Повторные гравиметрические наблюдения	Графики амплитуд изменений приращений силы тяжести
ГДП Уренгойское газовое месторождение Габриэлянц Г. А. и др. [67]	Повторные гравиметрические наблюдения	Графики амплитуд. Зависимости изменения силы тяжести от подъема газовой контакта

Название ГДП	Комплекс повторных наблюдений	Количественные характеристики
ГДП Оренбургское газоконденсатное месторождение Габриэлянц Г. А. и др. [67]	Повторные гравиметрические наблюдения	Графики амплитуд. Зависимости изменения силы тяжести от обводнения пласта
ГДП шахты «Ново-Кальинская» Ростовцев В. Н. и др. [159]	Повторное нивелирование	Графики компонентов деформации
ГДП шахты «Распадская» Бузук Р. В. и др. [12]	Повторные угловые и линейные измерения, геометрическое и тригонометрическое нивелирование	Векторные схемы движений
ГДП Саяно-Шушенской ГЭС Карлсон А. А. и др. [67]	Повторное нивелирование, система гидростатического нивелирования, прямые и обратные отвесы, струнный метод	Графики амплитуд вертикальных движений
Тогтогульский ГДП Цурков В. Е. [67]	Повторные угловые и линейные измерения, нивелирование	Графики амплитуд вертикальных движений
ГДП Красноярской ГЭС Карлсон А. А. и др. [67]	Повторное нивелирование, система гидростатического нивелирования, прямые и обратные отвесы, струнный метод	Графики амплитуд вертикальных движений
ГДП АЭС Волков А. В. и др. [21]	Повторное нивелирование, система гидростатического нивелирования	Графики амплитуд
ГДП нефтяное месторождение близ озеро Маракаибо (Венесуэла) [67] Drewes D. и др.	Повторные гравиметрические, линейные, угловые наблюдения, нивелирование	Амплитуды изменений силы тяжести, вертикальных и горизонтальных движений
ГДП медное месторождение (Польша) Baran W. др. [67]	Спутниковые геодезические приемники GPS	Амплитуды вертикальных и горизонтальных движений
Анжеро-Судженский ГДП [5]	Повторные угловые и линейные измерения, нивелирование, спутниковые геодезические приемники GPS	Амплитуды вертикальных движений, компоненты деформации

Окончание таблицы 1.2

Название ГДП	Комплекс повторных наблюдений	Количественные характеристики
ВКМКС Кашников Ю. А. и др. [74]	Спутниковые геодезические приемники GPS	Амплитуды движений, компоненты деформации
ГДП в горной Шории Лобанова Т. В. и др. [100, 101, 103]	Спутниковые геодезические приемники GPS	Амплитуды движений, компоненты деформации
ГДП Урала Панжин А. А., Сашурин А. Д. и др. [133, 134]	Спутниковые геодезические приемники GPS	Амплитуды движений, компоненты деформации

Анализ результатов исследований (см. таблицу 1.2) позволяет сделать следующий вывод. Несмотря на разнообразие инструментальных методов для регистрации вертикальных и горизонтальных движений поверхности земной коры, отсутствует единый подход к их проведению. Количественные характеристики в большинстве случаев характеризуют раздельное определение горизонтальных и вертикальных движений поверхности земной коры, являясь кинематическими. Становится очевидным, что определение динамических параметров блоков земной коры актуально, обладает новизной и имеет научный и практический интерес.

1.1.2 Инструментальные наблюдения движений земной поверхности на границах блоков земной коры при создании геодезического мониторинга традиционными методами

Установлено, что в настоящее время наиболее распространенным методом оценки границ взаимодействия блоков земной коры при создании геодезического мониторинга традиционными методами является графический, основанный на анализе векторных схем движений пунктов земной поверхности.

Поскольку результаты геодезических измерений носят относительный характер, то чаще всего определяют условно-стабильный пункт, относительно которого оценивают амплитуды движений других пунктов. При создании карт за начало отсчета вертикальных движений обычно принимается средний уровень Мирового океана. Необходимо отметить, что подход к оценке взаимодействия блоков в МГРМПИ и при создании геодезического мониторинга традиционными методами различен. В МГРМПИ сначала выделяют блоки, а затем оценивают амплитуды их движений и взаимодействие [5, 6, 27, 142]. При создании геодезического мониторинга традиционными методами по амплитудам движений выделяют мобильные и стабильные пункты, а далее относят их к разным блокам [26, 38, 67, 92, 180, 194]. Разделение пунктов на стабильные и мобильные выполняют на основе критерия (1.2), предложенного Проворовым К. Л.

Анализ результатов геодезического мониторинга традиционными методами в районах интенсивной техногенной деятельности (освоение месторождений жидких, газообразных и твердых полезных ископаемых, строительство водохранилищ крупных ГЭС) показывает, что выделение мобильных и стабильных зон или отнесение пунктов к различным блокам, а также оценка их взаимодействия осуществляются с различным комбинационным подходом:

- в локальном и региональном масштабах;
- непосредственно по результатам повторных измерений;
- по изменениям во времени координат пунктов;
- с учетом априорно известной информации.

Для специалистов наук о Земле стала все очевидной возрастающая роль инструментальных наблюдений. Для этого стала развиваться соответствующая приборная и методологическая база. Анализ повторных инструментальных наблюдений показывает, что в первую очередь это относится к линейным объектам (железные дороги, газо- и нефтепроводы), когда изучение деформаций поверхности земной коры дает положительные результаты. Так на Транссибирской магистрали, эксплуатируемой свыше 100 лет, 62 % поврежденных труб приходится на

зоны влияния разломов, 38 % – на участки поднятия блоков земной коры, а на опускающихся участках повреждения отсутствуют. Вместе с тем, 51 % повреждений мостов приходится на участки опускания блоков земной коры, 48 % – на участки разломов, и практически повреждения отсутствуют на участках равномерного поднятия. Просадки и провалы насыпей проявляются практически только в местах разломов (границ раздела блоков земной коры), в них зарегистрировано до 70 % расстройств геометрии рельсовой колеи и до 90 % – сходов порожнего подвижного состава [15]. Приуроченность аварийных участков к зонам влияния разломов определяет методологию проводимых исследований:

- на магистральных трубопроводах (Западная Сибирь);
- на Московской железной дороге (станция Бологое);
- на зданиях (пос. Малино);
- на инженерных коммуникациях (г. Реутов);
- в местах формирования техногенных горизонтов подземных вод (Московская область);
- на участках с активизацией суффозионных и оползневых процессов (Московская область, г. Москва).

Математическая обработка результатов повторных наблюдений выполнялась методами [7, 26, 38, 39, 46, 49, 52, 59, 67, 68, 74, 75, 88, 91, 93, 103, 106, 107, 108, 131, 135, 140, 147, 159, 160, 171, 180, 194, 255, 262]:

- наименьших квадратов;
- коллокации;
- динамической фильтрации;
- трансформирования;
- идентификации динамических систем;
- конечных элементов;
- комбинацией перечисленных методов.

Для анализа и интерпретации взаимодействия блоков земной коры использовались как количественные характеристики движений, так и компоненты деформации.

ции, определенные непосредственно по изменениям углов и линий, либо по изменениям координат, а также различные приемы вычислительной математики [38, 39, 46, 49, 52, 180]:

- методы проверки статистических гипотез;
- моделирование;
- полиномы;
- сплайн-функции;
- теория случайных стационарных процессов;
- спектральный анализ.

Оценить деформацию участка земной коры при действии только вертикальных движений на примере построений ГДП в виде прямоугольного треугольника $A[t_0]B[t_0]C[t_0]$, можно согласно рисунку 1.2 [42, 180].

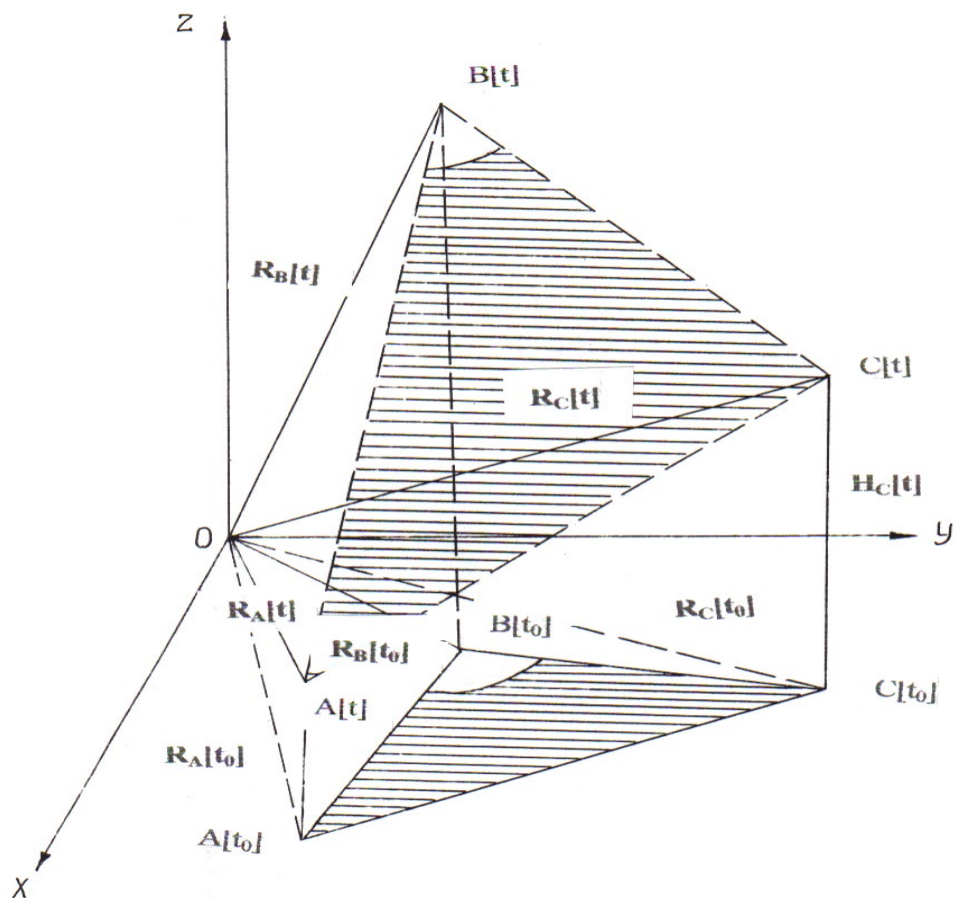


Рисунок 1.2 – Аппроксимация блока земной коры построениями ГДП в виде треугольника [42]

При этом следует отметить, что стороны построений на ГДП (векторы соединения пунктов наблюдения) ориентировались перпендикулярно направлению разломов, являющихся границами блоков земной коры. Их взаимодействие оценивалось по профилям (плоские модели). Плоские модели характеризуются простотой интерпретации, но являются часто первым простейшим приближением отражения реальных процессов

$$R_i[t] = R_i[t_0] + H_i[t], \quad (1.7)$$

где $R_i[t]$ – радиусы-векторы вершин треугольника $A[t]B[t]C[t]$, построенного после вертикальных движений соответствующих вершин треугольника $A[t_0]B[t_0]C[t_0]$;

$R_i[t_0]$ – радиусы-векторы вершин треугольника $A[t_0]B[t_0]C[t_0]$.

Разности радиусов-векторов $\Delta R_{AB}[t-t_0]$ и $\Delta R_{BC}[t-t_0]$ согласно рисунку 1.2 соответственно равны

$$\begin{aligned} \Delta R_{AB}[t-t_0] &= R_B[t] - R_A[t]; \\ \Delta R_{BC}[t-t_0] &= R_C[t] - R_B[t]. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Изменения во времени дилатации $\Theta[t-t_0]$ и главного сдвига $\Delta\gamma[t-t_0]$ за период $t-t_0$ определяются с использованием известных выражений скалярного и векторного произведения векторов. Для нахождения изменения во времени главного сдвига используем следующую формулу [42, 180, 194]:

$$\Delta\gamma[t-t_0] = tg[0,5\pi - \alpha[t]], \quad (1.9)$$

где

$$\alpha[t] = \arccos \{ \Delta R_{AB}[t-t_0] \cdot \Delta R_{BC}[t-t_0] / [\Delta R_{AB}[t-t_0]] \cdot [\Delta R_{BC}[t-t_0]] \}. \quad (1.10)$$

Величина изменения во времени дилатации $\Theta[t-t_0]$ равна

$$\Theta[t-t_0] = (S[t] - S[t_0]) / S[t_0], \quad (1.11)$$

где $S[t]$ – площадь треугольника $A[t]B[t]C[t]$ на эпоху t ;

$S[t_0]$ – площадь треугольника $A[t_0]B[t_0]C[t_0]$ на эпоху t_0 .

Площадь треугольника $A[t]B[t]C[t]$ на эпоху t равна

$$S[t] = 0,5[\Delta R_{AB}[t-t_0]] \cdot [\Delta R_{BC}[t-t_0]] \sin \alpha. \quad (1.12)$$

Следовательно, компоненты изменения во времени деформации поверхности земной коры дилатация $\Theta[t-t_0]$ и главный сдвиг $\Delta\gamma[t-t_0]$ могут быть определены по выражениям (1.9)–(1.11).

Для анализа взаимодействия блоков земной коры в настоящее время широко используется механика сплошной среды, из которой наибольшее распространение получил метод конечных элементов (МКЭ, примененный впервые в Японии [255]. Теория и результаты применения метода конечных элементов для различных регионов бывшего СССР представлены в монографиях Есикова Н. П. [41, 42]. При этом интерпретация изменений во времени деформаций участка поверхности земной коры носила иллюстративный характер и не имела конкретного прикладного применения. Чтобы установить основные недостатки такого подхода, изучим наиболее широко используемые модели. Первая модель учитывает только вертикальные движения пунктов ГДП, образующие прямоугольный треугольник [180, 194].

На рисунках 1.3 и 1.4 показаны компоненты изменения во времени деформации земной поверхности в районе дамбы отстойника № 3 шахты «Егозовская».

Техногенная геодинамика участка земной коры в районе дамбы отстойника № 3 шахты «Егозовская» связана с ее подработкой следующими пластами, мощностью m :

- дальним ($m = 2,1$ м, глубина подработки 40 м);

- поддальним ($m = 1,3$ м, глубина подработки 73 м);
- горелым ($m = 1,3$ м, глубина подработки 120 м);
- геолкомовским ($m = 1,3$ м, глубина подработки 100 м);
- наджуринским 2 в.п. ($m = 2,05$ м, глубина подработки 140 м);
- наджуринским 2 н.п. ($m = 1,6$ м, глубина подработки 170 м);
- журинским ($m = 4,5$ м, глубина подработки 200–300 м).

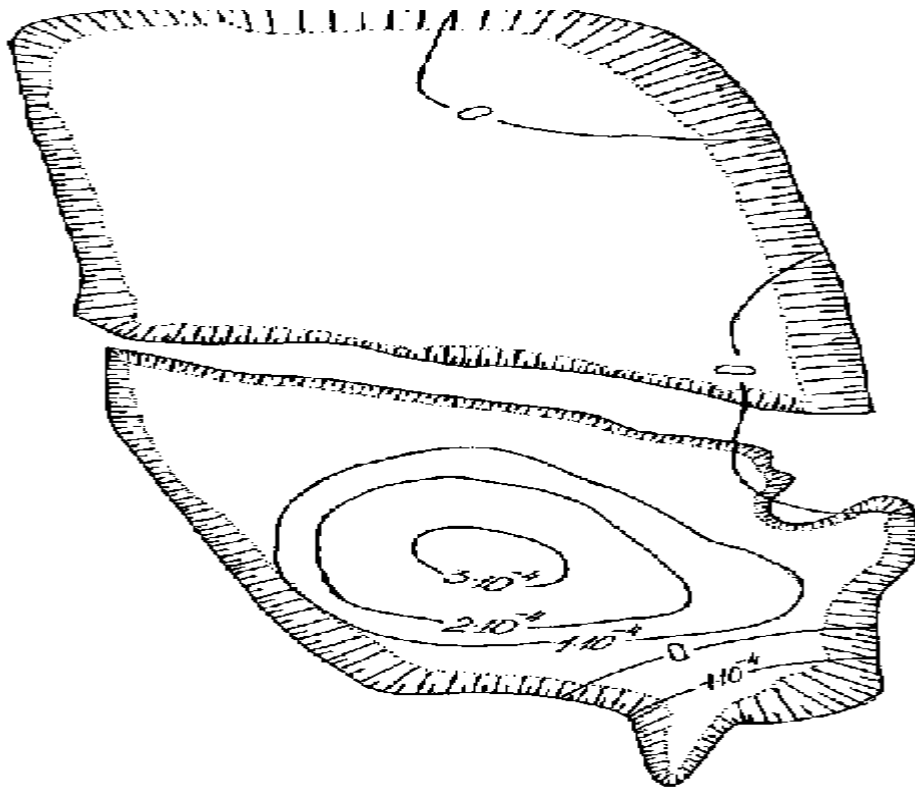


Рисунок 1.3 – Пространственные вариации изменений во времени сдвига дамбы отстойника № 3 ГТС шахты «Егозовская»

Пространственные вариации изменений во времени сдвига и дилатации на участке земной коры в дамбы отстойника № 3 ГТС шахты «Егозовская» характеризуют совместное влияние процессов естественной и техногенной геодинамики [180, 194]. Влияние естественной геодинамики обусловлено расположением в зоне разлома (рисунок 1.5).

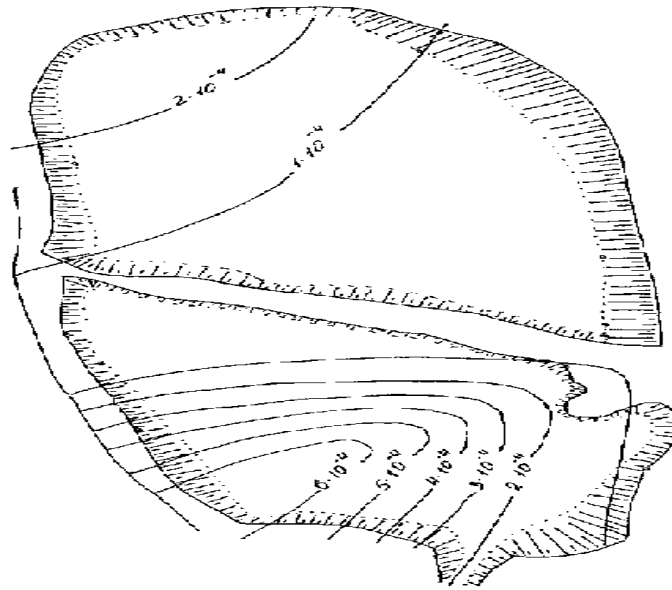


Рисунок 1.4 – Пространственные вариации изменений во времени дилатации на участке земной коры в районе дамбы отстойника № 3 ГТС шахты «Егозовская»

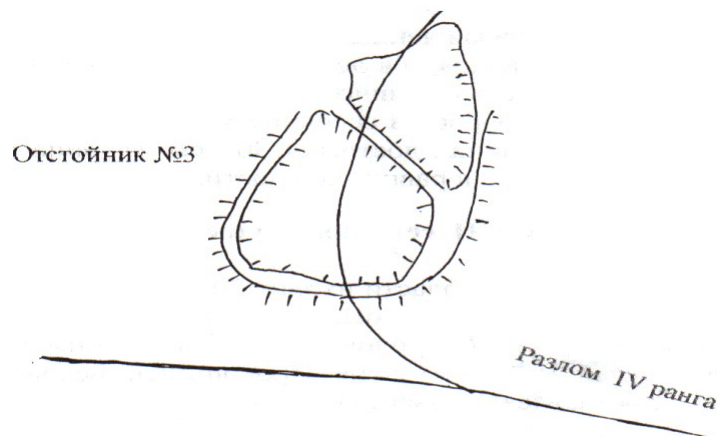


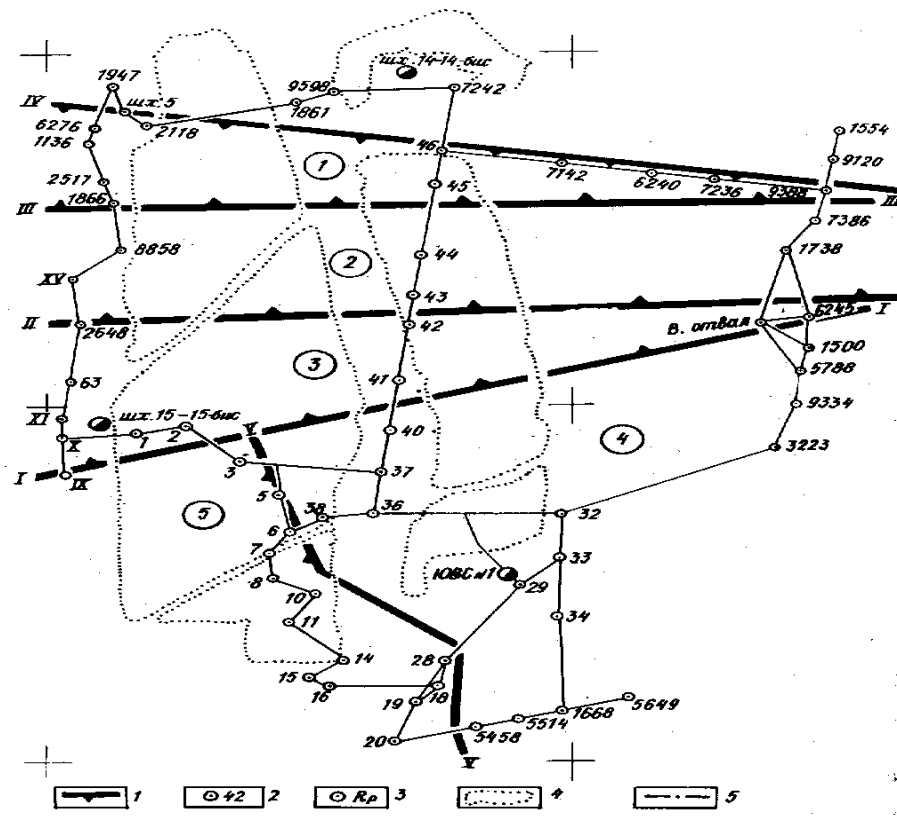
Рисунок 1.5 – Схема блочной структуры на участке земной коры в районе дамбы отстойника № 3 ГТС шахты «Егозовская»

Второй пример использования первой модели характеризует аппроксимацию блоков ранга треугольниками в районе шахт 14–14-бис и 15–15-бис Северо-уральского бокситового рудника [145, 180]. В таблице 1.3 приведены величины компонентов изменения во времени деформации земной поверхности, обусловленные современными вертикальными движениями за период времени, равный 1 году, с учетом влияния ведения горных работ. Повторные наблюдения выполнены сотрудни-

ками Проблемной научно-исследовательской лаборатории КузГТУ [22], а интерпретация – автором [145, 180]. На рисунке 1.6 приведена аппроксимация блоков земной коры IV ранга треугольниками районе шахт 14–14–бис и 15–15–бис Североуральского бокситового рудника (СУБР) в горизонтальной плоскости. Длина сторон треугольников достигает 3 км.

Таблица 1.3 – Изменения во времени компонентов изменения во времени деформации земной поверхности ($1 \cdot 10^{-12}$) в районе шахт 14–14-бис и 15–15-бис СУБРа

№ треугольника	$\Theta[t-t_0]$	$\Delta\gamma[t-t_0]$
1	1,82	0,49
2	1,64	-0,22
3	0,69	0,08



1 – разломы IV ранга; 2–3 – пункты ГДП; 4 – границы горных работ; 5 – геологические нарушения

Рис. 1.6 – Модель аппроксимации блоков IV ранга построениями
ГДП районе шахт 14–14–бис и 15–15–бис СУБРа

В таблице 1.4 приведены величины изменения во времени деформации земной поверхности на границах блоков земной коры IV ранга.

Таблица 1.4 – Изменения во времени деформации земной поверхности ($1 \cdot 10^{-12}$) на границах блоков земной коры IV ранга в районе шахт 14–14–бис и 15–15–бис СУБРа

№ треугольника	$\Theta[t-t_0]$	$\Delta\gamma[t-t_0]$
4	4,32	0,85
5	8,08	1,20
6	6,69	0,52

Из комбинации результатов наземных и подземных повторных инструментальных наблюдений получены величины изменения во времени деформации блочного массива горных пород (рисунок 1.7, таблица 1.5).

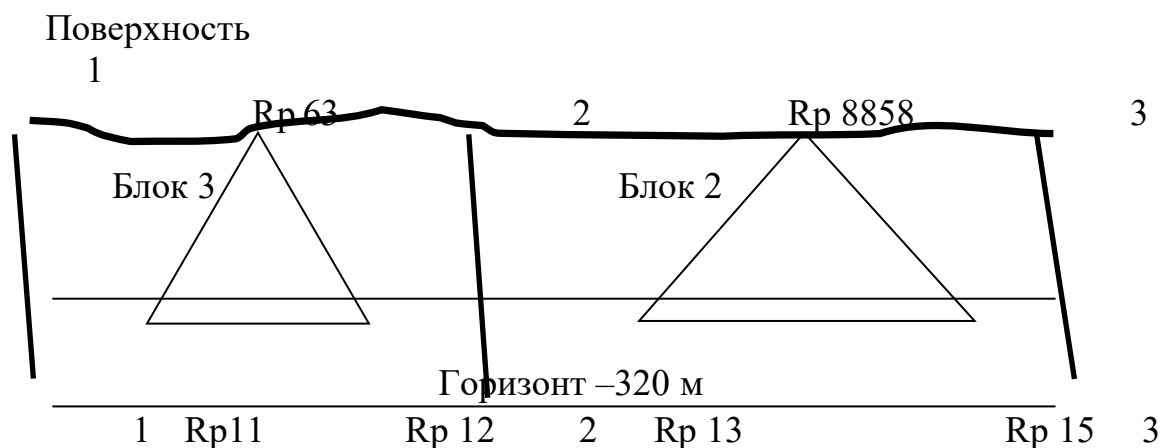


Рисунок 1.7 – Аппроксимация блочного массива горных пород построениями ГДП, полученная из комбинации наземных и подземных повторных наблюдений

Из анализа формул (1.9)–(1.11) установлено, что форма и размеры треугольников при аппроксимации блоков земной коры построениями ГДП должны быть близкими. Аппроксимация блоков земной коры треугольниками, размеры которых значительно отличаются, будет приводить к неоднозначности результатов.

Для представления блочного массива горных пород построениями ГДП использованы равнобедренные треугольники в вертикальной плоскости.

Таблица 1.5 – Величины компонентов изменения во времени деформации блочного массива горных пород в районе шахт 14–14-бис и 15–15-бис СУБРа ($1 \cdot 10^{-6}$)

Участок земной коры	Изменения во времени дилатации	Изменения во времени сдвига
12–11–63 блок 3	–9,80	2,09
15–13–8858 блок 2	50,10	–8,72

Величины изменения во времени деформации, характеризующие состояние блоков земной коры 2 и 3, резко дифференцированы по величине и знаку. При этом блок земной коры 3 относится к зоне сжатия, а блок земной коры 2 – к зоне растяжения.

Третья модель учитывает вертикальные и горизонтальные движения пунктов ГДП, образующие треугольник [169, 182].

Изменения во времени за период $t-t_0$ дилатации равны

$$\Theta[t-t_0] = e_{11}[t-t_0] + e_{33}[t-t_0], \quad (1.13)$$

а изменения во времени главного сдвига представляют

$$\Delta\gamma[t-t_0] = ((e_{11}[t-t_0] - e_{33}[t-t_0])^2 + (e_{11}[t-t_0] + e_{31}[t-t_0])^2)^{0.5}. \quad (1.14)$$

В таблице 1.6 приведены величины компонентов изменения во времени за период $t-t_0$ деформации блочного массива горных пород $\Theta[t-t_0]$ и $\Delta\gamma[t-t_0]$.

Таблица 1.6 – Изменения во времени деформации на участке № 1 разреза «Вахрушевразрезуголь» по результатам наземных инструментальных наблюдений

Номера пунктов	Изменения во времени деформации (горизонтальные и вертикальные смещения)	
	$\Theta[t-t_0]$	$\Delta\gamma[t-t_0]$
5	цикл № 2	$2,71 \cdot 10^{-3}$
4	$1,21 \cdot 10^{-3}$	
3	цикл № 3	$5,02 \cdot 10^{-3}$
	$0,3 \cdot 10^{-3}$	
	цикл № 4	$8,56 \cdot 10^{-3}$
	$1,34 \cdot 10^{-3}$	

Величины горизонтальных смещений вершин треугольника в цикле № 2 находятся в пределах от +1 до +343 мм, а цикле № 4 – от +33 до +806 мм.

Изменения во времени компонентов деформации блочного массива горных пород получены по результатам математической обработки наземных инструментальных наблюдений циклов № 2, № 3 и 4 вертикальных и горизонтальных движений на разрезе «Вахрушевразрезуголь». В четвертой модели для определения изменения во времени компонентов деформаций блока земной коры использованы не изменения координат, а изменения углов на пунктах ГДП [180, 194].

Изучение изменения во времени компонентов деформаций блоков земной коры в Горной Шории было выполнена в связи с землетрясением 1988 г., магнитуда которого оценивается в 4 балла (рис. 1.8). Величины изменений во времени сдвига $\Delta\gamma_1, \Delta\gamma_2$ и $\Delta\gamma_m$ определены непосредственно по изменениям углов $\delta\beta$ (таблица 1.7) [180, 194].

Выделение блочной структуры земной коры в районе г. Таштагола было выполнено сотрудниками Проблемной научно-исследовательской лаборатории КузГТУ. Начальный цикл наблюдения выполнен предприятием № 8 ГУГК при СМ СССР в 1976 г., повторные наблюдения выполнены нами в 1990 г.

$$\Delta\gamma_1 = \frac{(\partial\beta_i / \sin\beta_j) \sin(A_{ij} + A_{ik}) - (\partial\beta_i / \sin\beta_i) \sin(A_{ji} + A_{jk})}{\sin\beta_k};$$

$$\Delta\gamma_2 = \frac{(\partial\beta_j / \sin\beta_j) \cos(A_{ij} + A_{ik}) - (\partial\beta_i / \sin\beta_i) \cos(A_{ij} + A_{jk})}{\sin\beta_k}; \quad (1.15)$$

$$\Delta\gamma_m = (\Delta\gamma_1^2 + \Delta\gamma_2^2)^{1/2},$$

где A – азимуты сторон;

β_i – значения углов в начальную эпоху.

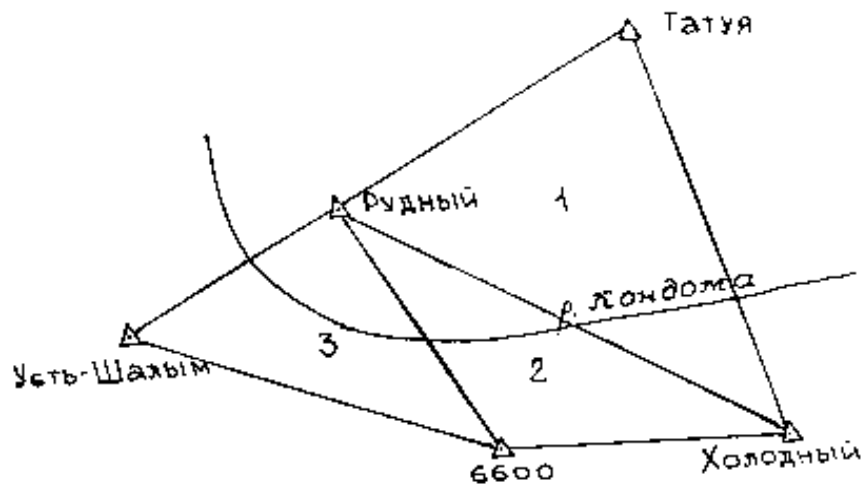


Рисунок 1.8 – Схема участка ГДП в районе г. Таштагола

Таблица 1.7 – Величины компонентов изменения во времени сдвига в треугольниках сети ГДП ($1 \cdot 10^{-6}$)

Номер треугольника	γ_1	γ_2	γ_m	τ , МПА
1	-1,31	0,40	-1,38	-0,02
2	1,67	-3,61	-3,98	-0,05
3	-18,30	3,67	-18,66	-0,22

Анализируя результаты, приведенные в таблице 1.7, следует отметить, что экстремальные значения изменений сдвиговых деформаций приурочены к эпицентру землетрясения 1988 г., который находился вблизи пункта Усть-Шалым (см. рисунок 1.8).

Обобщая изложенное выше, можно отметить следующее.

1 Изучены наиболее широко используемые модели традиционного подхода к интерпретации результатов повторных наблюдений ГДП:

- с отдельной регистрацией вертикальных и горизонтальных движений;
- с представлением в виде плоских геометрических фигур – треугольников;
- с применением результатов непосредственно измеренных величин, в частности углов.

2 Выделены следующие особенности такого подхода:

- отдельный анализ вертикальных и горизонтальных движений;
- попытка приурочить к реальным геологическим структурам по их разрезам;
- получение простых формул, отражающих получение компонентов деформации в конечном виде;
- неадекватность блокам земной коры, имеющим объемный трехмерный характер.

Характеристика определения изменений во времени деформаций от использования различных вариантов пунктов опорных сетей и ГДП с отождествлением их блоками земной коры на ряде месторождений при разделении их вертикальных и горизонтальных движений приведена в таблице 1.8. Анализ результаты выполненных исследований показывает следующее:

- использование традиционных построений ГДП в виде правильных плоских геометрических фигур не обеспечивает учет конфигурации, взаимодействия и проникновения блоков земной коры, поэтому величины компонентов изменений во времени деформации для них следует считать оценочными;
- величины компонентов изменений во времени деформации блоков земной коры, обусловленные их движениями, зависят от аппроксимации блока земной коры построениями ГДП и объема информации о его движениях.

Таким образом, доминирующий подход при традиционном изучении изменений во времени деформаций блоков земной коры, основанный на отдельных движениях, неоднозначен и имеет ограниченное применение.

В связи с реструктуризацией угольной промышленности в Кузбассе на ликвидируемых шахтах «Анжерская» и «Судженская» созданы ГДП, основные задачи которых сформулированы следующим образом [5]:

- выявление и локализация всех источников сейсмичности в затапливаемых шахтах на территории полигона;
- установление влияния затапливаемых шахт на сейсмическую и геодинамическую активность;
- проведение контроля за сдвижением земной поверхности, образованием провалов и оползней и миграцией подземных вод;
- определение момента окончания геодинамических процессов, связанных с закрытием шахт.

Таблица 1.8 – Характеристика определения компонентов изменений во времени деформаций в зависимости от вида аппроксимации блоков земной коры для различных месторождений

Участок земной коры	Традиционные построения ГДП с пунктами			Отношение параметров
	в отвесной плоскости		в субгоризонтальной плоскости	
	вертикальные движения	комбинированные движения	вертикальные движения	
СУБР Блок 2	$\Theta[t-t_0]=$ $-1,69 \cdot 10^{-6}$ $\gamma[t-t_0]=$ $-1,69 \cdot 10^{-6}$	$\Theta[t-t_0]=$ $50,1 \cdot 10^{-6}$ $\gamma[t-t_0]=$ $-8,72 \cdot 10^{-6}$	$\Theta[t-t_0]=$ $1,64 \cdot 10^{-12}$ $\gamma[t-t_0]=$ $-0,22 \cdot 10^{-12}$	$\Theta[t-t_0]$ 1:29,6: $0,003 \cdot 10^{-12}$ $\gamma[t-t_0]$ 1:5,2: $0,03 \cdot 10^{-12}$
Блок 3	$\Theta[t-t_0]=$ $0,09 \cdot 10^{-6}$ $\gamma[t-t_0]=$ $-1,60 \cdot 10^{-6}$	$\Theta[t-t_0]=$ $-9,80 \cdot 10^{-6}$ $\gamma[t-t_0]=$ $2,09 \cdot 10^{-6}$	$\Theta[t-t_0]=$ $0,69 \cdot 10^{-12}$ $\gamma[t-t_0]=$ $0,08 \cdot 10^{-12}$	$\Theta[t-t_0]$ 1:108,9: $0,06 \cdot 10^{-12}$ $\gamma[t-t_0]$ 1:1,3: $0,04 \cdot 10^{-12}$

Участок № 1 разреза «Вахрушев- разрезуголь»	$\Theta[t-t_0]=$ $-13,76 \cdot$ 10^{-3} $\gamma[t-t_0]=$ $-14,30 \cdot$ 10^{-3}	$\Theta[t-t_0]=$ $1,21 \cdot 10^{-3}$ $\gamma[t-t_0]=$ $2,71 \cdot 10^{-3}$		$\Theta[t-t_0]$ $11,4:1$ $\gamma[t-t_0]$ $5,3:1$
--	--	--	--	---

Решение поставленных задач на указанных техногенных ГДП связано с необходимостью выделения блоковых структур и оценкой их взаимодействия.

Примером учета априорно известной информации при выделении границ блоков и оценки их взаимодействия является выбор стабильных пунктов Кузбасского ГДП вне зоны подработки [59].

При моделировании взаимодействия блоков земной коры существуют два основных подхода [37, 38, 44, 106, 107, 108, 135, 180]:

- имитационный;
- на основе идентификации систем.

Имитационное моделирование заключалось в построении модели на основе анализа физических процессов (например, закон сохранения импульса, энергии). Построение модели с позиций идентификации систем использовался метод «черного ящика», когда без знания физической природы и механизма процесса из ряда выдвигаемых конкурирующих моделей выбирается адекватная модель оптимальной структуры, представляющая результаты наблюдений наилучшим образом.

Решение упомянутой задачи предполагало следующие этапы ее реализации [135]:

1 Формирование качественных альтернативных моделей закономерностей СДЗК.

2 Формирование математических моделей пространственно-временных закономерностей СДЗК.

3 Решение прямой задачи математической физики.

4 Решение обратной задачи с целью интерпретации наблюдений в форме оптимального оценивания параметров.

5 Активная идентификация изучаемого динамического объекта с позиций оптимального планирования эксперимента.

6 Решение задачи структурной идентификации на основе выбора из конкурирующих гипотетических моделей современных движений земной коры адекватной изучаемому процессу путем выяснения соответствия модели результатам наблюдений.

Наиболее эффективное решение этой задачи обеспечивал аппарат рекуррентного фильтра Кальмана – Бьюси. Методология анализа позволяла исследовать не только кинематику и динамику объекта, но и параметры случайных и систематических воздействий модели объекта и системы наблюдений [98, 99, 126].

Анализ результатов геодезического мониторинга традиционными методами в районах освоения месторождений полезных ископаемых позволяет сделать следующие выводы:

1 Несмотря на значимые результаты исследований, полученные на основе инструментальных наблюдений на ГДП в нашей стране и за рубежом, единая методология их проведения и математической обработки разнородной информации отсутствует. Доминирующим подходом является получение на основе повторных инструментальных наблюдений отдельно вертикальных и горизонтальных движений земной поверхности и их интерпретация. При интерпретации количественных характеристик результатов повторных инструментальных наблюдений наиболее широко используются векторные схемы движений.

2 В настоящее время независимо от иерархии строения земной коры исследования производятся на локальных участках по разломам, исходя из принципа минимума затрат. На территории Кузбасса – крупнейшего угольного бассейна Российской Федерации – в настоящее время нет регулярно действующих систем регистрации кинематики блоков земной коры, поэтому информация о количественных характеристиках минимальна, что косвенно свидетельствует о новизне таких ис-

следований. При этом при подземной геотехнологии освоения месторождений изучению геодинамических процессов на ГДП уделяется большее внимание, чем при открытой. Худшее положение на месторождениях, разрабатываемых одновременно шахтами и разрезами. Вопрос о построениях на ГДП, соответствующих иерархии строения блоков земной коры, является слабо изученным.

3 Установлена различная степень востребованности указанных результатов при освоении недр жидких, твердых и газообразных полезных ископаемых (наибольшая – при освоении недр жидких и газообразных полезных ископаемых).

4 Установлено, что возможности современной измерительной и вычислительной техники (в первую очередь с учетом точности и оперативности) применительно к ГДП используются неэффективно.

1.2 Камеральная оценка новейших движений блоков земной коры в районах освоения месторождений

При освоении месторождений полезных ископаемых внимание уделяется не только развитию инструментальных методов контроля деформаций поверхности земной коры, но и камеральным прикладным геодинамическим исследованиям. Так, для выделения структур земной коры, их ранжирования и разделения по количественным или качественным признакам применяется геодинамическое районирование. Геодинамическое районирование является многоцелевым и позволяет выделить блоки земной коры:

- по истории их формирования;
- по особенностям формирования их структур;
- по амплитудам суммарных или поэтапных движений.

Для изучения особенностей геодинамического районирования был выполнен анализ результатов его становления и проведения. Для выделения структур блоков земной коры при проведении геодинамического районирования чаще используется морфоструктурный или морфометрический анализ, выполняемый на общедоступных топографических материалах [24, 117, 120, 125, 129, 180]. Развивая мор-

морфоструктурное направление, Мещеряков Ю. А. отмечал [120], что морфоструктуры – это крупные и целостные орографические структурно-геологические образования, которые хорошо видны на сводных орографических и гипсометрических картах, а также мелкие формы рельефа, которые являются отражением небольших структур. Симоновым Ю. Г. в 1972 г. было выполнено фундаментальное обобщение по морфоструктурному анализу [120]. Следует отметить не только многозначность термина «морфоструктура», число определений которого достигает 90 [120], но и расхождение по сути, так как ряд авторов характеризуют геометризацию геологических тел, а другие понимают его как структурные преобразования, обусловленные геодинамической активностью.

По методу Орловой А. В. соседние участки относят к разным блокам [129], если разность их высот превышает H_0 (H_0 – принятая минимальная разность высот). Выбор H_0 неоднозначен [169]. В качестве H_0 рекомендовалось принимать следующую величину [27]:

$$H_0 = 0,1(H_{\max} - H_{\min}), \quad (1.16)$$

где $H_{\max}$ – максимальная отметка на исследуемом участке;

$H_{\min}$ – минимальная отметка.

В работе [129], исходя из эмпирических предпосылок, рекомендуются следующие значения минимальной разницы высот:

- 200 м – для молодых горных систем;
- 100 м – для эродированных горных систем и среднегорья;
- 50 м – для областей эродированного среднегорья, сводовых возвышенностей или участков молодых прогибов;
- 10–25 м – для прогибов, в пределах которых тектонические формы завуалированы эрозионными процессами.

Методика выделения блоков на основе морфоструктурного анализа при проведении геодинамического районирования на топографических материалах вклю-

чает определение и разметку опорных высот водоразделов, тектонических уступов, а также равнинных участков [129]. Отметки склонов и врезов речных долин при отнесении участков к соседним блокам не используются. Каждая выделенная высота помечается условным знаком, показывающим, к какому уровню высот относится тот или иной участок. Для разграничения блоков используются качественные признаки элементов рельефа: спрямленные участки речных долин, цепочки озер и болот, седловинные перегибы, подножие склонов [129]. Орловой А. В., автором упомянутого метода, выполнено геодинамическое районирование ряда территорий. Эти результаты широко известны в открытой печати [129]. При этом отмечается, что разные территории нашей страны имеют свои особенности дифференцированности блоков. Геодинамическое районирование по методу Орловой А. В. часто использовали другие авторы для решения различных прикладных задач. Так Цириховой Э. М. выполнено геодинамическое районирование для территории Центрального Кавказа [258]. При этом в качестве минимальной разности высот принята величина 100 м. Выделение блоков проводилось последовательно от высоких к низким.

При геодинамическом районировании проводится ранжирование структур. Большой вклад в развитие этого направления геодинамического районирования внесли Герасимов И. П., Дэвис В. М., Мещеряков Ю. А., Николаев Н. И., Николаев П. Н., Пенк В., Пиотровская Т. Ю., Цирихова Э. М. и другие ученые. Успешному применению морфоструктурного анализа способствует высокая топографическая изученность территории России.

Наряду с картографическим методом морфоструктурного анализа при геодинамическом районировании широко используются материалы дистанционного зондирования [11, 35, 89, 102, 126]. Индикаторами структур земной коры на материалах дистанционных съемок являются линеаменты, их изучению уделяется серьезное внимание во многих регионах. Основой использования таких геоиндикаторов как показателей геодинамических процессов является отражение механических перемещений земной коры в ландшафте. Таким образом, анализ линеаментов, выде-

ленных по материалам дистанционных съемок, широко используется как для изучения расположения, так и ранжирования структур земной коры. Вместе с тем, анализ космических тепловых снимков позволяет исследовать поля потока уходящего инфракрасного излучения Земли, которые характеризуются стационарными и нестационарными положительными аномалиями.

Составной частью геодинамического районирования является геофизический метод, а наиболее распространенный вид информации для его проведения – гравиметрическая. Данная информация позволяет достаточно уверенно выделять блоки земной коры и разделяющие их разломы. Обычно при геодинамическом районировании комплексно используют карты гравитационных аномалий и магнитных полей. В 1987 г. Тяпкиным К. Ф. по мелкомасштабным картам аномального гравитационного и магнитных полей по разработанной им методике построены схемы признаков шести разломных систем на юге Восточно-Европейской платформы. Дальнейшее изучение систем разломов выполнено по картам масштаба 1 : 500 000 [242]. Качественными признаками разломов в аномальном гравитационном и магнитном поле являются [121]:

- линейные ступени;
- линейные аномалии обоих знаков;
- линейные нарушения изолиний полей;
- линейные границы областей с разным рисунком изолиний этих полей.

По результатам проведенных исследований построены карты разломных структур первого и второго порядков с интервалом между ними 70 км. Установлены закономерности в ориентировании разломов, а в средней части территории отмечен общий сдвиг системы разломов до 7–10 км.

Интерпретация гравимагнитных аномалий, выполненная в Центральной геофизической экспедиции ЗГСУ Душиным А. Н., Томилиным П. А. и Сучковым В. П., позволила выделить на юге Кемеровской области Северо-Таштагольский разлом и ряд блоковых структур [27]. При выделении Северо-Таштагольского разлома использовались результаты выделения локальных аномалий силы тяжести, при исклю-

чении фоновой составляющей (поля, пересчитанного на высоту 1000 м) и наземной магниторазведки. На основе полученных таким образом данных были выделены:

- зоны высоких градиентов гравимагнитных полей и их максимальных значений;
- различия в простираии изолиний гравимагнитных полей.

Этот разлом субширотного направления разделяет Таштагольско-Кочуринскую зону Кондомской синклинали на следующие блоковые структуры:

- Северо-Таштагольскую;
- Таштагольскую;
- Каменушинскую.

При районировании указанных блоковых структур земной коры использовались следующие качественные признаки:

- знак аномалий и их интенсивность;
- величина горизонтального градиента;
- форма аномалий;
- степень изрезанности аномалий.

Северо-Таштагольский блок земной коры характеризовался положительным магнитным полем и выдержанным градиентом гравитационного поля в топографической редукции, равным 2,5 мГал/м. Отличительной особенностью Таштагольского блока являются положительное поле силы тяжести до 2 мГал и северо-западное простираие аномалий. Над центральной частью этого блока наблюдалась отрицательная аномалия силы тяжести, которая обусловлена отработкой железных руд и залеганием большого количества тел меньшей плотности. В магнитном поле в северо-западной части блока выделялась самая крупная во всем железнорудном районе аномалия. Каменушинский блок имел магнитное поле, аналогичное Северо-Таштагольскому блоку, и отрицательное поле аномалий силы тяжести. Вместе с тем, следует отметить, что теоретические и методические принципы комплексного анализа геофизических и геологических данных были разработаны в СНИИГ-ГиМСе под руководством Суркова В. С. и реализованы при тектоническом райо-

нировании Алтае-Саянской складчатой области. Результаты этих работ отражены в [242].

Прикладной характер геодинамического районирования имеет свои особенности. Это видно на примере метода геодинамического районирования месторождений полезных ископаемых (МГРМПИ) [5, 6, 27, 142], который разработан в Кузбасском политехническом институте (ныне КузГТУ) совместно с ВНИМИ.

МГРМПИ позволяет решать следующие основные задачи [5, 6, 27, 142]:

- выделение элементов блочной структуры горного массива и оценка их взаимодействия;
- выделение активных разломов и определение степени их активности;
- оценка напряженного состояния горного массива;
- выделение тектонически напряженных зон и склонных к динамике участков угольных пластов;
- разработка и внедрение комплекса профилактических мер по обеспечению геодинамической безопасности при ведении горных работ;
- разработка и внедрение комплекса методов геофизического, геомеханического мониторинга на стадиях прогноза и контроля геодинамического состояния горного массива.

В качестве основного метода выявления блочной структуры используется морфоструктурный анализ рельефа земной поверхности. Однако на исследуемых территориях шахтных полей выполняется более детальное выделение блочной структуры до V и VI рангов при использовании крупномасштабных топографических материалов. Выявление блочной структуры горного массива производится не только на поверхности, но и в горных выработках, поэтому рекомендуется использовать и сопоставлять широкий спектр информации о положении границ выделенных блоков земной коры о геологическом картировании, тектоническом районировании, по геофизическим данным, а также по материалам космической съемки. Автором изучен опыт проведения МГРМПИ, который применялся на ряде месторождений Кузбасса,

Урала, Норильска, а также ряда зарубежных стран (таблица 1.9). Анализ указанного опыта показал:

- уменьшение степени изученности блочной структуры месторождений по мере увеличения ее детальности (рисунок 1.9);

- доминирование расчета напряжений (рисунок 1.10).

Отметим следующие преимущества реализации МГРПИ:

- с учетом использования общедоступных топографических, геологических и геофизических материалов снижаются затраты на проведение исследований;

- значительный объем исследований может быть выполнен камерально, причем задолго до освоения месторождения.

Таблица 1.9 – Исследование деформаций блоков земной коры на основе применения МГРМПИ

Месторождение Автор	Используемые материалы	Ранг блоков	Оценка взаимодействия блоков земной коры
Сулуктянское Шурабское Кызыл-Кийское угольные место- рождения, Рахимов В. Р. и др. [158]	Топографические карты масштабов 1 : 10 000 1 : 2 000	I–VI	Тектонофизический метод (ось максимального сжатия имеет се- веро-восточную ориентировку; ось минимального сжатия направлена се- веро-запад; $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = 1,5:1,0:0,8$) Расчет напряжений методом граничных интегральных уравнений (ГИУ)
Хинганское рудное место- рождение, Рассказов И. Ю. [157]	Топографические карты	I–IV	Расчет напряжений методом конечных элементов
Ткибули-Шаорское угольное место- рождение, Гала- швили Г. М. и др. [24]	Топографические карты масштаба 1 : 25 000	I–IV	По кинематическому типу разломов (сжимающие напряжения запад-юго-за- падного направления)
Хибинские апатито-нефе- линовые место- рождения, Тряпицын В. М. [245]	Топографические карты масштабов 1 : 2 500 000 1 : 500 000 1 : 100 000 1 : 25 000	I–IV	Измерение напряжений методом раз- грузки (максимальная величина гори- зонтальных напряжений составляет 60– 80 МПа)

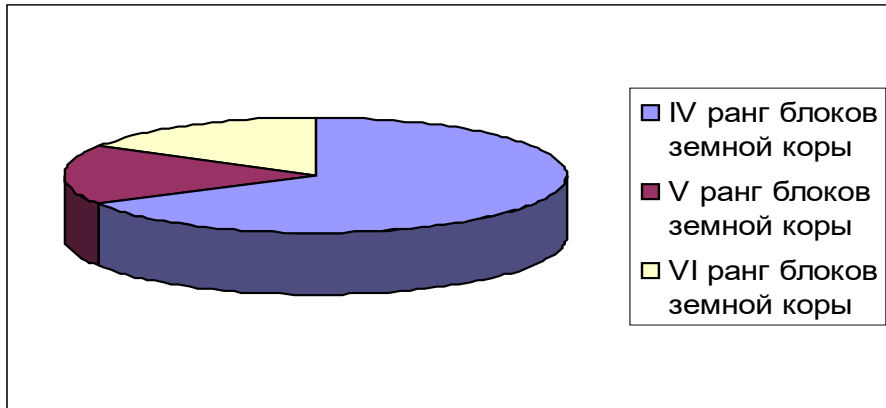


Рисунок 1.9 – Уменьшение степени изученности блочной структуры месторождений при проведении геодинамического районирования

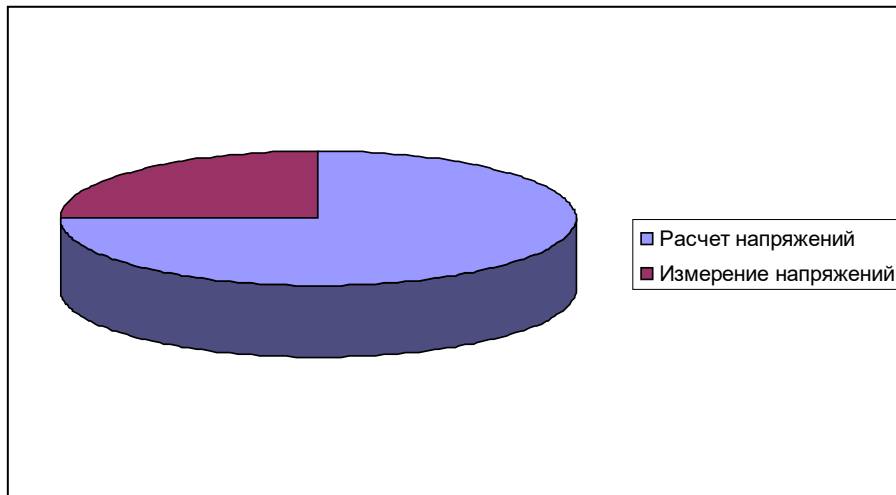


Рисунок 1.10 – Соотношение расчета и натурных измерений при проведении геодинамического районирования месторождений

После выделения границ блоков определяется их взаимодействие:

- характер подвижности (поднятие, опускание, скручивание);
- условия нагружения (сжатие, растяжение, сдвиг);
- вид напряженного состояния нетронутого массива.

Для оценки характера подвижности блоков предлагался ряд методов, использующих данные:

- анализа рельефообразующих движений;

- геоморфологического анализа;
- повторного нивелирования;
- повторной аэрофотосъемки.

Анализ результатов применения указанного метода на ряде месторождений Кузбасса, Урала, Норильска и других (согласно таблице 1.9) показал следующее:

1 Применение МГРМПИ на подавляющем большинстве месторождений было обусловлено влиянием проявления геодинамических явлений, характер которых различен.

2 Применение МГРМПИ повышало безопасность и эффективность ведения горных работ.

3 Изучение новейших движений и учет их влияния основывались на картографических материалах (что свидетельствовало о их высокой информативности), проверка преемственности новейших движений в современный период обычно не предполагалась в целях обеспечения оперативности исследований и уменьшения затрат на их проведение.

4 Вместе с тем, в действующих нормативных документах [26, 109, 139, 140] в настоящее время предусматривалось проведение комплекса геофизических, геохимических и геодезических наблюдений на потенциально опасных участках в целях уточнения их границ и дифференциации по степени геодинамической активности.

5 Главным недостатком данного метода является получение разнородных характеристик, что затрудняет сопоставимость полученных результатов, а также единой методологии проведения повторных комплексных высокоточных наблюдений.

Таким образом, применение МГРМПИ, который был разработан во второй половине прошлого века, не реализовало в полной мере современные возможности вычислительных и измерительных технологий, так как оценка напряжений, обусловленных взаимодействием блоков земной коры, в основном выполнялась аналитическими методами [5, 6, 117, 142].

1.3 Исследование техногенных движений земной поверхности при традиционном геотехническом (маркшейдерско-геодезическом) мониторинге

Исследование техногенных движений земной поверхности при традиционном геотехническом (маркшейдерско-геодезическом) мониторинге является составной частью контроля за состоянием массива горных пород, методы которого подразделяются на четыре группы [7, 109, 110, 148, 246]:

- аналитические;
- экспериментально-аналитические;
- экспериментальные (натурные);
- лабораторные.

Аналитические методы контроля базируются на методах механики сплошной среды, теории упругости и пластичности. При этом долгое время они ограничивались стадией решения наиболее простых задач для выработок, имеющих правильную форму и располагаемых в однородной среде, что является крайне редким случаем в горной практике.

Их развитию препятствовали ограниченные возможности вычислительной техники. При реализации возможностей современной компьютерной техники все ограничения, связанные с объемами вычислений, устранены.

Экспериментально-аналитические методы контроля представляют собой аналитические методы по сути, но с граничными условиями, полученными в естественных условиях. Это позволяет существенно повысить достоверность контроля и наиболее обоснованно подходить к принятию практических решений.

Лабораторные методы контроля основаны на законах кинематического и динамического подобия процессов, происходящих в массиве горных пород и модели, и позволяют воспроизводить многообразие натурных условий.

Экспериментальные (натурные) методы контроля основаны на взаимосвязи того или иного параметра массива пород в естественных условиях с тем или иным

его состоянием, отражаемых в особенностях изменения физических полей и вариациях пространственных координат точек на его поверхности и внутри.

Экспериментальные (натурные) методы контроля при освоении недр решают следующие основные задачи [116]:

- определение физических свойств и структурных характеристик пород в массиве;
- определение параметров сдвижения горных пород (таблица 1.10);
- исследование напряженного состояния горных пород и его изменений (см. таблицу 1.10);
- изучение взаимодействия пород с крепью и давления обрушенных пород.

Таблица 1.10 – Декомпозиция задач натурных измерений [246]

Изучаемые процессы	Детализация задач
Определение параметров сдвижения горных пород	Измерение оседаний горных пород и земной поверхности Измерение горизонтальных сдвижений горных пород и земной поверхности Измерение относительных смещений и микродеформаций Измерение сдвижений пород в выработках Измерение наклонов
Исследование напряженного состояния горных пород и его изменений	Определение абсолютных деформаций и напряжений Наблюдения за изменениями деформаций и напряжений

Маркшейдерские методы контроля получили свое название в связи с тем, что в качестве инструментальной базы как средства наблюдения за перемещением точек массива пород используют приборы, применяемые при выполнении маркшей-

дерских работ. В точках массива, за которым ведется наблюдение, закрепляют марки-реперы. По способам установки реперов различают три метода: метод контурных реперов, метод глубинных реперов и метод парных реперов [109]. Метод контурных реперов применяется при наблюдении за деформированием больших объемов пород. В основном его используют при изучении процессов движения. По этой причине реперы устанавливают как на поверхности, так и в горных выработках. Частота наблюдения зависит от интенсивности процесса сдвижения и решаемых задач (таблица 1.11). Обычно она колеблется от четырех-восьми дней до двух лет [47, 116, 149].

Таблица 1.11 – Периодичность наблюдений в зависимости от скоростей смещения прибортового массива

Скорость смещения, мм/сут	Периодичность наблюдений, сут
0,1	730
0,5	150
1,0	75
2,0	40
5,0	15
10,0	8
20,0	4

Средняя квадратическая погрешность определения смещения согласно нормативным требованиям не должна превышать 15 мм [48, 149]. По инструментальным наблюдениям определяют количественные характеристики: направления и скорости смещения реперов, а также протяженность и ширину трещин. Реперы объединяют в профильные линии, длина которых может достигать сотен метров, что формирует наблюдательную станцию в соответствии с задачами и условиями наблюдений. Следует отметить, что началом наблюдений на практике служат визуальные признаки. Как правило, наблюдательные станции состоят из нескольких профиль-

ных линий грунтовых реперов. Профильная линия состоит из опорных и рабочих реперов. Опорные реперы закладываются вне зоны деформаций, их количество должно быть не менее двух при расстоянии между ними 20 м и более. Опорные реперы увязываются с исходными, положение которых в течение всего время наблюдений должно быть неизменным.

Основными величинами (параметрами), характеризующими процесс деформирования массива при изучении его этим методом, являются значения [47, 48, 149, 150]:

- оседания

$$\eta = Z_{i-1} - Z_i; \quad (1.17)$$

- горизонтального движения

$$\xi = D_2 - D_1; \quad (1.18)$$

- наклона

$$i = (\eta_i - \eta_{i-1})/l; \quad (1.19)$$

- кривизны

$$k = (i_i - i_{i-1})/l_{cp}; \quad (1.20)$$

- горизонтальных деформаций

$$\varepsilon = (d_2 - d_1)/l, \quad (1.21)$$

где Z_i, Z_{i-1} – отметки рабочих реперов соответственно из предыдущего и последующих наблюдений, м;

η_i, η_{i-1} – переднего (по ходу вычислений) и заднего отрезков интервала, мм; l – длина интервала, мм;

i_i, i_{i-1} – величины наклонов последующего и предыдущего интервалов, $l \cdot 10^{-3}$;
 $l_{\text{ср.}}$ – полусумма длин последующего и предыдущего интервалов, мм;

D_1, D_2 – расстояние от опорного до рабочего репера из предыдущего и последующего наблюдений, мм;

d_1, d_2 – горизонтальные проекции интервала из предыдущего и последующего измерений, мм.

Для того чтобы установить связь между (1.9) и (1.19), предположим, что каждый репер нивелирного хода является вершиной прямоугольного равнобедренного треугольника, у которого расстояние между вершинами основания, параллельного оси x , равно $2h$, а высота h и который расположен в плоскости вертикального разреза земной коры (рисунок 1.11).

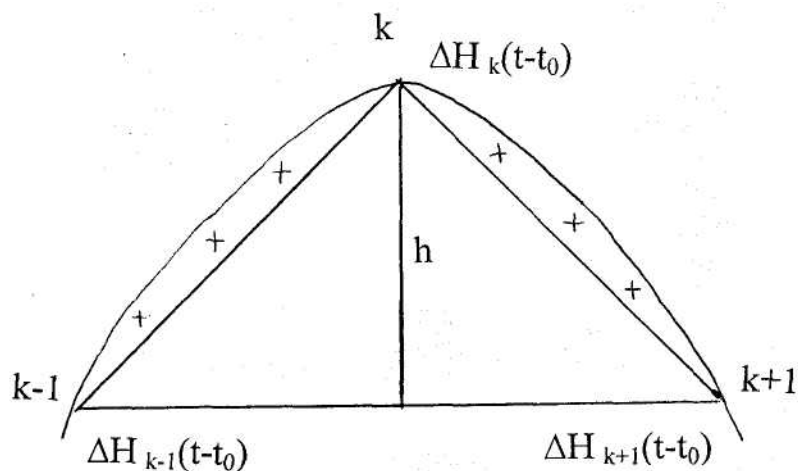


Рисунок 1.11 – Аппроксимация блока земной коры построениями ГДП в виде равнобедренного прямоугольного треугольника в отвесной плоскости

Определим изменения во времени деформации, полагая, что на глубине h м по отвесной линии смещения вершин треугольника равны смещениям соответствующих точек земной поверхности, а деформация подобного треугольника локально-однородна [41, 165, 182].

Обозначим вершины треугольного элемента через $k-1, k, k+1$ (см. рисунок 1.11). Вершины треугольника, очевидно, будут иметь следующие координаты:

$$k-1(x_k-h; z_k-h), k(x_k; z), k+1(x_k+h; z_k-h). \quad (1.22)$$

Если $\Delta H_{k-1}[t-t_0], \Delta H_k[t-t_0], \Delta H_{k+1}[t-t_0]$ – смещения вершин треугольника, то, используя формулу (1.22), его дилатация найдется из следующего соотношения [40]:

$$\Theta[t-t_0] = \frac{\Delta H_{k-1}(t-t_0) - 2\Delta H_k(t-t_0) + \Delta H_{k+1}(t-t_0)}{-2h}, \quad (1.23)$$

$$\text{где } \Delta_{Ak} = \frac{\Delta H_k(t-t_0) - \Delta H_{k-1}(t-t_0)}{x_k - x_{k-1}} h;$$

$$\Delta = \frac{\Delta H_{k+1}(t-t_0) - \Delta H_k(t-t_0)}{x_{k+1} - x_k} h.$$

Из формул (1.23) после простых преобразований получим [41]

$$\Theta[t-t_0] = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta H_k(t-t_0) - \Delta H_{k-1}(t-t_0)}{\Delta x_{k,k-1}} - \frac{\Delta H_{k+1}(t-t_0) - \Delta H_k(t-t_0)}{\Delta x_{k+1,k}} \right], \quad (1.24)$$

$$\text{где } \Delta x_{k,k-1} = x_k - x_{k-1};$$

$$\Delta x_{k+1,k} = x_{k+1} - x_k.$$

Сравнивая выражения (1.24) и (1.19), следует отметить следующее. Формулы (1.19) являются упрощением (1.24), что свидетельствует об общности подхода к оценке деформаций земной поверхности.

Изменение во времени $\Theta[t-t_0]$ равно полуразности «разделенных разностей 1-го порядка». Поскольку расстояние между смежными реперами можно считать примерно одинаковыми, то его числовые значения, независимо от распределения

скорости по глубине, характеризуют изгибную деформацию дневной поверхности, возникшую в результате ее вертикальных перемещений [42].

Разновидностью метода контурных реперов является метод парных реперов, который отличается тем, что измерение деформирования массива в одном из направлений производится с помощью только двух реперов. В зависимости от необходимой информации, реперы могут устанавливаться на одной их стенок выработок, либо на противоположных. Во втором случае замеряется конвергенция (сближение) стенок выработок. Расстояние между реперами, устанавливаемыми на одной стенке, составляет, как правило, 1–1,5 м. Расстояние между реперами, устанавливаемыми на противоположных стенках, определяется размером поперечного сечения выработки. В связи с небольшим расстоянием между реперами, расстояние между ними измеряют не только с помощью рулетки, но и с помощью специально разработанных для этих целей во ВНИМИ приспособлений (микрометрические стойки СУИ-2 и СУИ-3, производящие измерения с погрешностью до 0,01 мм).

Суть метода глубинных реперов в том, что в исследуемой области массива горных пород пробуривают скважины (из горных выработок или с земной поверхности), в которых на определенных расстояниях от устья закрепляют глубинные реперы, а по изменению расстояний между ними судят о перемещениях соответствующих точек массива, или о деформациях соответствующих интервалов. Если в качестве глубинных реперов применяют скважинные деформометры, то одновременно получают сведения о радиальных смещениях стенок скважин. Достоинством метода является то, что он позволяет изучать деформации и перемещения участков массива горных пород в глубине, на достаточном удалении от обнажения, то есть вне зоны влияния горных выработок, из которых пробурены скважины. С помощью глубинных реперов можно наблюдать как деформации растяжения, так и сжатия.

В настоящее время на горных предприятиях внедряются системы геотехнического мониторинга [149, 150, 180], включающие изучение процессов сдвижения земной поверхности на основе:

- выполнения полного расчета основных характеристик процесса сдвижения и его прогноза во времени;

- определения и классификации участка земной поверхности, подвергающегося деформациям вследствие ведения горных работ;
- расчета критических величин характеристик процесса сдвижения и установление поверхностных объектов и участков земной поверхности, находящихся в опасных зонах;
- расчета и выдачи предложений по мерам охраны объектов и собственно земной поверхности от процессов подработки;
- инструментального контроля и наблюдений за процессами сдвижения земной поверхности и сооружений.

Однако, несмотря на определенные успехи геотехнический (маркшейдерско-геодезический) мониторинг обеспечивает учет и контроль состояния горного массива пород под влиянием только геомеханических процессов, а его изменения при воздействии геодинамических процессов – нет [48, 49, 116, 149, 150]. Этот неучет, по мнению соискателя, сдерживает развитие геодезической науки, так как амплитуды движений земной поверхности под влиянием геомеханических процессов достаточно велики (их скорости достигают нескольких см/месяц), и их регистрация легко достижима и не требует применения высокоточных измерений.

Следует отметить ориентирование указанного мониторинга на решение узких задач учета сдвижений земной поверхности [48, 49], обусловленных только влиянием горных работ, хотя для их решения используются современные геодезические спутниковые и ГИС-технологии [7, 133, 134]. Профессором Егоровым П. В. отмечено [180], что перспективы контроля состояния массива горных пород в будущем связаны с системным подходом в изучении эволюции среды с динамикой ее свойств, неучет которых приводит к неоправданным потерям. Исследование техногенных движений земной поверхности при маркшейдерско-геодезическом обеспечении геотехнологии освоения недр является составной частью контроля за состоянием массива горных пород, обусловленном в основном геомеханическими процессами. По мнению автора, в существующей традиционной теории геотехнического (маркшейдерского-геодезического) мониторинга отсутствуют как фунда-

ментальные постулаты геодинамики о блоковом строении земной коры и ее кинематике, которые необходимо отразить, так и адекватные модели геодезических построений [47, 48, 109, 110, 116, 148, 149, 150]. По мнению автора, на горных предприятиях Кузбасса и других угольных бассейнов необходимо развивать комплексный мониторинг, включающий контроль напряженно-деформированного состояния как геомеханических процессов, так и геодинамических процессов, который возможен в настоящее время при современном уровне развития геодезической науки, техники и технологий.

1.4 Задачи разработки методологии моделирования напряженно-деформированного состояния блоков земной коры для ГМНДСЗК при освоении угольных месторождений

Еще в 30-е гг. прошлого века Бакурин И. М. поставил задачу развития визуальных и инструментальных подземных наблюдений. Обобщение результатов исследований по применению инструментальных наблюдений в основных горнопромышленных районах Советского Союза в предвоенные годы XX в. отражено в трудах Бакурина И. М. и Авершина С. Г. [132]. В Кузбассе инструментальные наблюдения за сдвижением горных пород на подработанных территориях начаты в 1928 г. под руководством профессора Галахова Ф. В. Несмотря на значительный период времени (более 70 лет), кардинальных перемен в концепции по применению инструментальных наблюдений в Кузбассе и других угольных бассейнах не произошло. До сих пор традиционно применяются, в основном, геотехнический (маркшейдерско-геодезический) мониторинг геомеханических процессов (подпункт 1.3). Суть указанных процессов заключается в следующем.

На угольных шахтах отработка пластов в большинстве случаев осуществлялась с обрушением пород кровли. Этот процесс характеризуется сначала медленным прогибом кровли пласта, а затем, по мере увеличения площади выработанного пространства, в движение приходят все большие участки подработанной толщи пород кровли, и увеличивается прогиб слоев. Потом происходит отделение нижеле-

жащих слоев от вышележащих и их разрушение на отдельные куски и глыбы. При полной подработке породы зона сдвижений достигает земной поверхности с образованием плоского дна мульды (опускания). При этом масштаб полной подработки соизмерим с размерами блока земной коры низшего ранга.

При полной подработке с полным обрушением максимальное вертикальное опускание дневной поверхности по Кузбассу достигает величины $(0,7-0,75) m$ (m – мощность пласта), а при полной закладке выработанного пространства эта величина составляет $0,1-0,45 m$.

Общая продолжительность T процесса сдвижения равняется [116]

$$T = KH/U, \quad (1.25)$$

где K – коэффициент, зависящий от свойств массива, для Кузбасса равный $0,9-1,5$;

H – глубина горных работ;

U – скорость подвигания очистного забоя.

В условиях шахт Кузбасса общая продолжительность процесса сдвижения T происходит в течение 5–36 месяцев. Маркшейдерский метод контроля за сдвижением земной поверхности на подработанных территориях при подземной геотехнологии освоения недр построен аналогичным образом – путем создания наблюдательной станции [110, 149, 150, 151].

Для иллюстрации результатов маркшейдерского контроля за сдвижением земной поверхности на подработанных территориях приведем два примера. В таблице 1.12 приведены величины горизонтальных смещений рабочих реперов (1.21), полученные по результатам математической обработки инструментальных наблюдений циклов 1–5 на разрезе «Вахрушевразрезуголь». Приведенные результаты маркшейдерского контроля отражают специфику производства измерений посредством создания наблюдательной станции (профили) и показывают узость его характера, заключающегося в определении деформаций в заданном направлении.

Главными достоинствами классического подхода к математической обработке подобных результатов инструментальных наблюдений за смещениями подработанного массива горных пород и их интерпретации является простота и наглядность (см. таблицы 1.12, 1.13), однако эта методика основана на минимуме затрат и применении простейших вычислительных средств, которыми были оснащены горнодобывающие предприятия в середине прошлого века. Современные возможности вычислительной техники при математической обработке результатов инструментальных наблюдений по традиционной методике полностью не реализуются.

Таблица 1.12 – Результаты инструментальных наблюдений горизонтальных смещений на участке № 1 разреза «Вахрушевразрезуголь»

Номера реперов	Горизонтальные смещения (м) в циклах						
	2-1	3-2	3-1	4-3	4-1	5-4	5-1
1	0,028	0,010	-0,062	0,381	0,319	-0,165	0,154
3	0,343	-0,017	0,326	0,480	0,806	0,040	0,846
4	0,001	-0,146	-0,145	0,178	0,033	-0,214	-0,181
5	0,094	-0,266	-0,172	0,131	-0,041	-0,012	-0,113
6	0,052	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	0,214	-	0,130	-
8	0,128	-0,313	-0,185	0,433	0,248	-0,124	0,124
9	0,092	-0,168	-0,076	0,175	0,099	-0,112	-0,013
10	-0,622	0,087	-0,535	0,214	-0,321	-	-

В таблице 1.13 приведены значения оседания земной поверхности при отработке лавы № 735 под поймой реки Кайгур.

Методологической основой маркшейдерских методов контроля за сдвижением земной поверхности на подработанных территориях являются представления 1950-х гг. о том, что земная кора находится в равновесном состоянии и единственной причиной напряжений в горных породах является гравитационная сила.

Таблица 1.13 – Результаты инструментальных наблюдений оседания земной поверхности при отработке лавы № 735 под поймой реки Кайгур

Ордината, м	η, мм	Ордината, м	η, мм	Ордината, м	η, мм
0	-39	132	-1384	258	-889
12	-51	142	-1376	269	-761
22	-47	152	-1337	279	-694
32	-68	162	-1309	289	-596
42	-118	172	-1279	399	-493
52	-140	181	-1274	308	-399
62	-192	191	-1263	318	-298
72	-314	201	-1238	328	-191
82	-613	211	-1217	338	-115
92	-1238	221	-1204	348	-69
102	-1495	229	-1166	355	-40
112	-1430	239	-1090		

Формулы для вычисления компонентов тензора напряжений в массиве горных пород σ_z и бокового распора σ_x и σ_y в условиях действия гравитационных сил были получены Динником А. [246]:

$$\sigma_x = \sum_0^H \gamma h_i; \quad (1.26)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \nu \gamma H / (1 - \nu),$$

где h_i – мощность i -го слоя;

γ – объемный вес i -го слоя пород;

H – глубина от дневной поверхности;

ν – коэффициент поперечной деформации массива пород.

Возможность существования сил, природа которых отлична от гравитационных, была предсказана академиком Гзовским М. Г. в 1954 г. [28, 29, 30], которые

позже были названы тектоническими [246], поэтому наряду с (1.26) стали использовать их новое математическое представление:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi\gamma H & 0 & 0 \\ 0 & \xi\gamma H & 0 \\ 0 & 0 & \gamma H \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{T1} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{T2} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{T3} \end{pmatrix}, \quad (1.27)$$

где σ_i – тензор главных напряжений;

H – глубина;

ξ – коэффициент бокового распора;

γ – объемный вес пород;

σ_{Ti} – тензор главных тектонических напряжений.

В середине 60-х гг. прошлого века были получены первые результаты обнаружения повышенных горизонтальных напряжений по инструментальным наблюдениям. На Таштагольском рудном месторождении на глубине 890 м тектоническая составляющая максимальных напряжений по простиранию равна 49,5 МПа, гравитационная составила 8,0 МПа, вкрест простирания тектоническая составляющая достигает 17,5 МПа. На Казском руднике на глубине 540 м гравитационная составляющая равна 4,9 МПа, тектонические – 48,8 МПа и 31,1 МПа – соответственно по простиранию и вкрест его [261].

Такое изменение представлений о действии напряжений в земной коре не привело к массовому внедрению на горнодобывающих предприятиях современных систем сбора информации о кинематике геодинамических процессов.

Вместе с тем, стало очевидным, что в рамках частных задач по наблюдению за состоянием подработанного массива горных пород и параметрами сдвижений земной поверхности под влиянием ведения горных работ получение новых знаний о них невозможно, так как классические маркшейдерские методы контроля (см. подраздел 1.3) не обеспечивают получение информации о совместном развитии природных и техногенных геодинамических процессов блоков земной коры

в районе освоения месторождения – сказывается разнородность информации и малый размер базы измерений.

Ведомственный подход характерен и для применения МГРМПИ при освоении месторождений Кузбасса. Он полагается обязательным только для пластов, опасных по горным ударам. При этом подходе реализован принцип, также основанный на минимуме затрат. При этом камерально изучаются новейшие движения блоков земной коры и моделируются поля их напряжений для принятия проектных решений, а регистрация их современных движений по кинематическим характеристикам на основе инструментальных наблюдений носит рекомендательный характер. Это приводит к отсутствию надежного контроля совместного развития природных и техногенных геодинамических процессов при освоении месторождения (см. подраздел 1.2). Открытая и подземная геотехнологии освоения недр не только являются сложным и опасным видом техногенной деятельности, но и характеризуются особенностью проявления ГДЯ в глубине массива горных пород [5, 6]. Такое проявление ГДЯ показывает недостаточную эффективность использования широко проверенных в других сферах техногенной деятельности методов регистрации сдвигов и движений земной поверхности (см. подраздел 1.1.2)

В настоящее время в Кузбассе разрабатывается 19 пластов, опасных по горным ударам. На этих пластах зарегистрировано 145 горных ударов, кроме этого, имеется 201 угольных пласта, угрожаемых по горным ударам. Проявление динамических явлений на шахтах Кузбасса обусловлено, прежде всего, технологией ведения горных работ. Так на всех горнодобывающих предприятиях Кузбасса ежедневно взрывалось до 400 т зарядов взрывных веществ, энергия которых оценивается в $2 \cdot 10^{10}$ Дж [97, 98]. Вызываемые этими взрывами мощные импульсные нагрузки на земную кору рассматриваются как дополнительный фактор сейсмической опасности. Проявления динамических явлений на горнодобывающих предприятиях Кузбасса во второй половине XX в. приведены в таблице 1.14 [97, 98].

Таблица 1.14 – Динамические явления на шахтах Кузбасса

Годы	Угольные шахты		Рудники	
	Горные удары	Горно-тектонические удары	Горные удары	Горно-тектонические удары
1951–1955	16			
1956–1960	14		1	
1961–1965	28		23	
1966–1970	11		28	
1971–1975	10		86	
1976–1980	21		142	
1981–1985	32	2	154	
1986–1990	11	3	465	2
1991–1995		1	365	
1996–2000	57	1	500	2

Энергетический показатель K ($K = \lg E$, Дж) горных ударов, приведенных в таблице 1.14, изменяется в диапазоне от 0,5 до 5, а для горнотектонических ударов – от 3 до 10. Естественное сейсмическое состояние Кузбасса определялось его положением вблизи северной окраины Алтае-Саянской зоны сейсмичности. Указанная зона простирается от южных окраин области до города Ленинска-Кузнецкого.

Изучение проявлений динамических явлений на шахтах Кузбасса и роста землетрясений требует не только современных систем сбора информации об их кинематических характеристиках, но и их математической обработки и интерпретации, то есть новых технологических решений этой задачи. Динамика роста землетрясений в Кемеровской области приведена в таблице 1.15.

В п. 26 Инструкции по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях [47] рекомендованы методы проведения регионального прогноза удароопасности, включая создание ГДП. Однако в приложениях к инструкции указанный метод не раскрыт, поэтому единый подход к его реализации отсутствует. ГДП в районе шахты «Распадская» является типичным примером воплощения принципа минимума затрат [12].

Таблица 1.15 – Динамика роста землетрясений в Кемеровской области (по данным Новосибирской и Таштагольской сейсмостанций [98])

Годы	Количество землетрясений	Годы	Количество землетрясений
1943–1950	1	1976–1980	37
1951–1955	1	1981–1985	86
1956–1960	1	1986–1990	114
1961–1965	19	1991–1995	266
1966–1970	22	1996–2000	280
1971–1975	26		

Здесь проводились только повторные геодезические наблюдения на пунктах государственной геодезической сети и маркшейдерско-геодезической опорной сети, стороны которой расположены перпендикулярно разломам. По их результатам получены векторы движений пунктов с погрешностью 5 мм.

Потребности геодинамического обеспечения геотехнологии освоения месторождений, по реализации указанного выше нормативного требования, диктуют необходимость решения следующих задач:

- установления типа геодинамической ситуации;
- обеспечения контроля изменений во времени ориентирования главных осей деформации (напряжений);
- ранжирования блоков земной коры;
- выявления и оценки степени опасности очагов формирования ГДЯ.

Решение приведенных выше задач призвано не только выполнить всестороннюю оценку изменений во времени деформаций блоков земной коры, но и регламентировать правовой режим ответственности при недропользовании в современных условиях.

Принципиальными отличиями такого подхода на основе правового режима ответственности при освоении месторождения являются:

- переход от визуальных обследований к инструментальным;
- учет не только геомеханических, но и геодинамических процессов;
- контроль взаимодействия горного предприятия с подрядными организациями.

Расследование причин крупных аварий на шахтах Кузбасса («Тайжина», «Листвяжная», «Есаульская», «Распадская» и др.) не основывалось на результатах повторных инструментальных наблюдений кинематики блоков земной коры, поэтому нет полной картины произошедшего и меры ответственности.

Таким образом, существующая практика изучения проявления ГДЯ при освоении месторождений Кузбасса, основанная на традиционном подходе регистрации кинематики земной поверхности (см. подраздел 1.1) и использовании маркшейдерского (геотехнического) метода контроля (см. подраздел 1.3), имеет узконаправленный характер и не реализует современные высокоточные и высокоэффективные геодезические технологии. Назрела необходимость кардинального изменения методологии его проведения на основе комплексного геодезического мониторинга техногенной и природной геодинамики, включая все его составляющие: регистрацию, оценку и прогноз и моделирование напряженно-деформированного состояния блоков земной коры районов освоения угольных месторождений.

В связи с этим целью диссертации является разработка методологии моделирования напряженно-деформированного состояния блоков земной коры для геодезического мониторинга районов освоения угольных месторождений, базирующейся на новых теоретических и информационных принципах и формирующих новый методологический подход.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие *задачи*.

1 Выполнить анализ проблемной ситуации, заключающийся в существовании объективного противоречия между передовыми технологическими возможностями геодезической науки в области инструментальной точности и практически отсут-

ствием полноценных теоретических разработок и моделей в области сбора, регистрации, обработки и анализа состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений.

2 Обосновать содержание и ввести в научный оборот понятия: «динамические параметры блока земной коры» и «пространственная структурная модель ячейки геодезических построений ГДП блока земной коры».

3 Теоретически обосновать новый методологический подход, базирующийся на новых теоретических и информационных принципах, для реализации динамической модели ГМНДСЗК с целью формирования полноценной системы сбора информации о напряженно-деформированном состоянии блоков земной коры разных рангов.

4 Разработать теоретические основы контроля за напряженно-деформированным состоянием блоков земной коры для формирования прогнозных оценок их развития с последующей выработкой профилактических мер и рекомендаций для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений (*целевой принцип*).

5 Теоретически обосновать взаимосвязанность и взаимообусловленность системы постоянных наблюдений, оценки, прогноза и контроля для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений (*функциональный принцип*).

6 Теоретически обосновать основные положения взаимодействия динамической модели ГМНДСЗК с другими системами и ее подсистемами (*структурно-организационный принцип*).

7 Разработать теоретическое обоснование пространственной структурной модели ячейки построений ГДП блока земной коры как основы многоуровневых геодезических построений и получения информации для динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений (*пространственный принцип*).

8 Разработать теоретическое обоснование частоты наблюдений и сбора информации во времени для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений (*временный принцип*).

9 Теоретически обосновать применимость разработанной динамической модели ГМНДСЗК для решения фундаментальной и прикладных задач геодинамики месторождения.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОГО МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА РЕАЛИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГМНДСЗК

Динамическая модель ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, являясь иерархической и многоуровневой системой, по мнению соискателя, отражает изменение состояния блоков земной в год и базируется на следующих новых пяти принципах [86, 127, 128, 192, 194, 260].

Целевой принцип – теоретические основы контроля изменения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры обеспечивают обоснование прогнозных оценок их развития с последующей выработкой профилактических мер и рекомендаций. Целевой принцип построения системы мониторинга с учетом достижения конечной цели – контроль НДС блоков земной коры.

Функциональный принцип – теоретическое обоснование взаимосвязанности и взаимообусловленности системы постоянных наблюдений, оценки и прогноза динамической модели ГМНДСЗК представляет собой целенаправленную деятельность, состоящую из упорядоченного набора процедур, организованных в циклы. Функциональный принцип и следует из определения ГМНДСЗК – как комплексной триединой системы геодезического контроля состояния земной коры, предусматривающая регистрацию ее кинематики с учетом их строения и иерархии, определение динамических параметров и оценку степени опасности развития деформаций и возможного риска проявления ГДЯ.

Структурно-организационный принцип – теоретические основы положений взаимодействия между подсистемами динамической модели ГМНДСЗК определяются структурой и иерархией земной коры. Структурно-организационный принцип динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений и заключается в ее взаимодействии с другими системами (на основе ее вложения) и между ее подсистемами.

Пространственный принцип – теоретическое обоснование пространственной структурной модели ячейки построений ГДП основывается на ее адресности и адекватности блоку земной коры, а его взаимодействие с соседними блоками земной коры разных рангов определяет многоуровненность геодезических построений как основы получения информации для создания динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений. Пространственный принцип, который определяет пространственную систему пунктов получения информации и базируется на типовой пространственной ячейке геодезических построений ГДП блока земной коры, мобильные пункты (МП) которой имеют определенную схему, как расположения, так и закрепления, и отражающую как его конфигурацию, так и глубину проникновения ограничивающих разломов.

Временной принцип – теоретическое обоснование актуализации регистрируемой информации определяется частотой наблюдений и сбора информации во времени. Временной принцип и отражает своевременность актуализации регистрируемой информации.

2.1 Разработка новых целевого и функционального принципов для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений

Целевой принцип включает: разработку профилактических мер и решение задач геодинамики месторождений. Динамическая модель ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений построена с учетом достижения конечной цели – контроль НДС блоков земной коры, что достигается на базе прогнозных оценок их развития путем выработки профилактических мер и рекомендаций. Поэтому сам процесс наблюдения не является непосредственной целью: наблюдения кинематики блоков земной коры, последующий их анализ и оценка – это лишь средство достижения цели указанной модели. Главной целью динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений является разработка прогноза НДС блоков земной коры на основе функционального зонирова-

ния, в рамках которого устанавливается степень опасности его развития и возможный риск проявления ГДЯ. Теоретическое обоснование целевого принципа заключается в следующем: сам процесс наблюдения не является непосредственной целью, регистрация кинематики блоков земной коры, последующий их анализ и оценка – это лишь средство достижения цели динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений. Разработка профилактических мер основывается на методе функционального зонирования, в рамках которого устанавливается степень опасности его развития. Теоретической основой реализации метода зонирования блоков земной коры по степени опасности развития деформаций является фундаментальная гипотеза об учете медленных скоростей деформаций земной коры, не приводящих к проявлению геодинамических явлений [194]. Метод функционального зонирования позволяет, прежде всего, выполнить оценку состояния блоков земной коры, по результатам наблюдения. По степени опасности развития деформаций блоки земной коры предлагается подразделять на четыре группы (класса) [179, 180, 193, 194, 195, 196, 204, 205, 207, 208, 210, 212, 218, 221, 226, 229, 238]:

- I – ГНАБ ЗК;
- II – ГАБ ЗК;
- III – ГАБ ЗК, в котором формируется очаг геодинамического явления (ФО ГДЯ);
- IV – ГАБ ЗК, в котором сформирован очаг геодинамического явления (О ГДЯ), определяющий оценку предельного энергонасыщения (или произошедшее проявление ГДЯ).

Критерием выявления ГАБ ЗК при проведении зонирования является выполнение следующего неравенства, предложенного соискателем:

$$Ve_{ii}[t-t_0] \geq 3Ve_n[t-t_0], \quad (2.1)$$

где $Ve_{ii}[t-t_0]$ – скорость деформации исследуемого блока земной коры;

$V_{\epsilon_n}[t-t_0]$ – скорость деформации земной коры, не приводящая к проявлению геодинамических явлений, равная $1 \cdot 10^{-6}$ в год.

Основой критерия (2.1) является реализация фундаментальной гипотезы об оценке медленных скоростей деформаций блока земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ. В предлагаемом автором целевом принципе методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений разработан метод функционального зонирования, в рамках которого устанавливается не только степень опасности развития напряженно-деформированного состояния блоков земной коры, но и возможный риск проявления ГДЯ [155, 180, 194, 200, 209, 220, 222, 223, 226, 226]. Предлагаемая оценка указанного риска основывается на результатах контроля и анализа факторов безопасности освоения месторождения, обусловленных как влиянием развития деформаций блоков земной коры разрушительного характера, так и условиями его эксплуатации. Под факторами безопасности понимаются количественные и качественные характеристики такого состояния месторождения, при котором анализируются допустимые воздействия развития деформаций блоков земной коры с проявлениями ГДЯ разрушительного характера и ожидаемого от них ущерба. В целом, под безопасностью понимают обеспечение комплексного учета неблагоприятных факторов, обусловленных совместным влиянием природных и техногенных геодинамических процессов при освоении месторождения, вызывающих чрезвычайные ситуации.

Состояние горнодобывающего предприятия, как любого инженерного объекта, характеризуется тремя группами факторов:

- влиянием развития деформаций блоков земной коры с проявлениями ГДЯ разрушительного характера;
- конструктивными особенностями;
- возможным экономическим и социальным ущербом в случае аварии.

Технология оценки возможного риска проявления ГДЯ при освоении угольного месторождения включает следующее [180, 194, 200, 209, 222, 223, 226].

- 1 Зонирование блоков земной коры.
- 2 Обследование состояния горного предприятия.
- 3 Установление опасности развития деформаций блоков земной коры.
- 4 Экспертный анализ степени опасности и степени уязвимости.
- 5 Установление степени возможного риска проявления ГДЯ разрушительного характера.

Опасность развития деформационных процессов блоков земной коры при освоении месторождения заключается в возможном проявлении ГДЯ разрушительного характера, а также опосредованным их влиянием, вызывающем чрезвычайные ситуации [155, 180, 194, 200, 209, 222, 225, 226]. Для оценки опасности развития деформаций блоков земной коры с проявлениями ГДЯ разрушительного характера предлагается применять теорию риска аварий [155, 180, 194, 200, 209, 222, 225, 226], которая представляет собой ее вероятностные меры, устанавливаемые для горного предприятия в виде возможных потерь за определенное время в экологической, экономической и социальной сферах.

Риск аварии – вероятностная мера опасности, установленная для инженерного сооружения определенной уязвимости в виде возможных потерь. Оценка риска такого проявления включает экспертный анализ степени опасности (О) и степени уязвимости (У), который количественно выражается коэффициентом риска (Р) [155, 180, 194, 200, 209, 222, 225, 226]

$$P = OU. \quad (2.2)$$

Применительно к опасным геодинамическим (природным и техногенным) процессам понятия «опасность» и «риск» относятся к возможным воздействиям на объект, а «уязвимость» характеризует его реакцию на эти воздействия.

Опасность – это процессы, протекающие в сооружениях и в зоне их расположения, представляющие угрозу для жизни или условий жизнедеятельности людей, промышленных объектов или окружающей среды.

Уязвимость – свойство объекта терять способность выполнения естественных или заданных функций в результате негативных воздействий

Оценка риска основывается на результатах контроля и анализа факторов безопасности, наиболее существенных для этого сооружения, и условий его эксплуатации. Комплексной характеристикой объекта является оценка суммарного риска, позволяющая произвести сравнительный анализ ситуации с позиций возможных потерь для рассматриваемых объектов [155, 180, 194, 200, 209, 224, 225, 226].

Примером реализации зонирования по степени опасности развития деформации блоков земной коры в районе освоения месторождения является Прокопьевско-Киселевский угольный район [180, 194]. Этот район характеризуется как территория с развитой угледобычей, а также с геодезической изученностью ее кинематики. Здесь на территории городов Киселевска и Прокопьевска (Кузбасский ГДП) было выполнено зонирование (рисунок 2.1). Площадь Кузбасского ГДП составляет 800 км². Она включает 23 шахты. Начальный цикл наблюдений выполнен в 1975 г., а повторный – в 1977 г. Повторные наблюдения на ГДП были выполнены предприятием № 8 ГУГК при СМ СССР. Для угловых наблюдений использовался теодолит ОТ-02, а для линейных – светодальномер «Кварц». Результаты проведенного зонирования свидетельствуют о том, что территория ГДП характеризуется II степенью опасности развития деформаций для блоков земной коры IV ранга. Основной причиной региональной геодинамической активности территории является интенсивная добыча угля на 23 шахтах. Целевой принцип методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений Кузбасса является многоаспектным: обеспечивает не только ее развитие, но и является важным инструментом решения различных задач освоения месторождения. Рассмотрим это подробнее. Прежде всего, степень опасности развития деформаций блоков земной коры и возможный риск проявления ГДЯ позволяют рассмотреть различные альтернативы интенсивности горных работ как основного источника техногенного воздействия и выявить наиболее оптимальные варианты. Полученная информация может быть использована для выявления оперативного источ-

ника возможного ущерба, а также критических факторов воздействия и соответствующих мер защиты, то есть допустимой техногенной нагрузки.

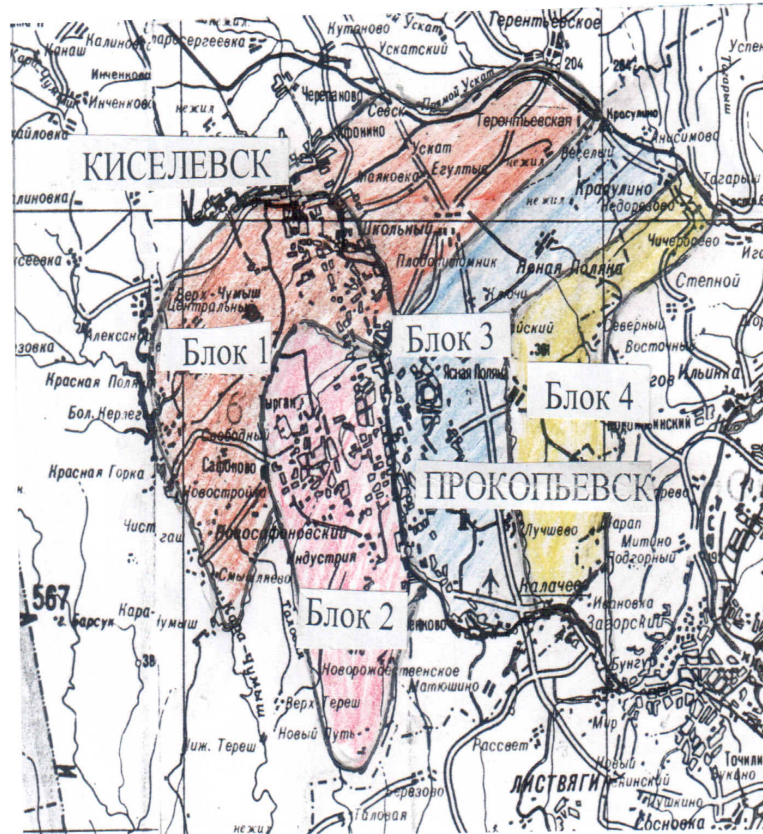


Рисунок 2.1 – ГАБ ЗК IV ранга

Управление развитием динамической модели ГМНДСЗК, начинает действовать, когда установлена II степень опасности развития деформаций блока земной коры. В этом случае необходим контроль соседних блоков земной коры такого же ранга, как и исследуемый, на предмет геодинамической активности, критерием которой является неравенство (2.1) [179, 180, 187, 192, 194, 196, 204, 205, 213, 215, 219, 220, 229]. При этом наблюдается развитие динамической модели в пространстве или территориальное (рисунок 2.2). Процесс развития динамической модели ГМНДСЗК соискателем предлагается проводить поэтапно, что свидетельствует об экономической эффективности. При расширении геодинамической активности за границы блоков одного ранга r потребуются многоуровневные построения ГДП,

опирающие на действие критерия (2.1) [55, 180, 181, 183, 186, 187, 193, 194, 195, 196, 202, 205, 208, 214]. Чтобы результаты проводимых исследований были однозначны, соискателем предлагается типовая схема построений ГДП в виде структурной пространственной модели для каждого исследуемого блока земной коры как элементарной ячейки сети.

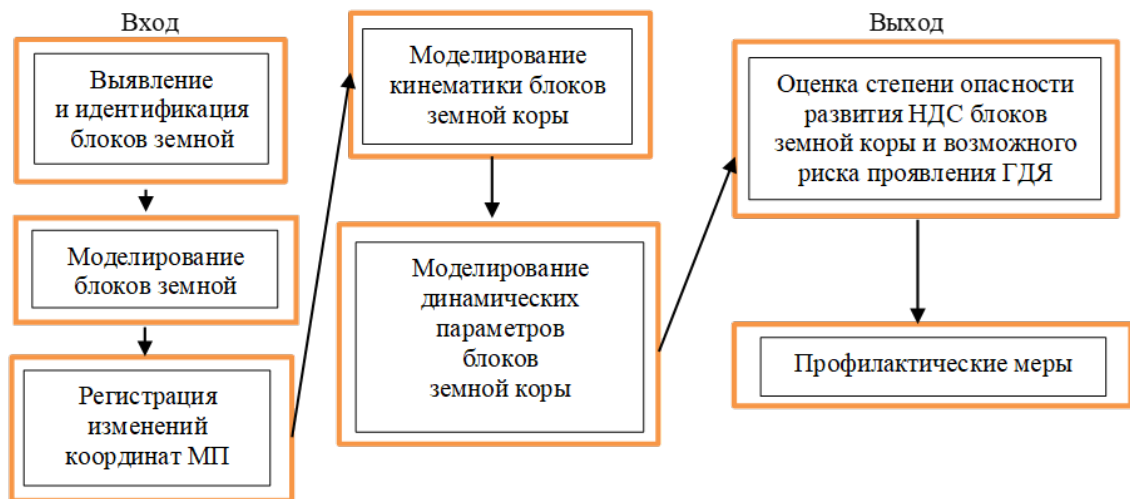


Рисунок 2.2 – Схема достижения цели динамической модели ГМНДСЗК

Поэтому, с одной стороны, подсистема режимных повторных наблюдений позволяет получать оперативную информацию о НДС блоков земной коры, с другой стороны, целевое назначение подсистемы прогноза состоит в накоплении, переработке и выдаче информации о текущем и будущем состоянии. Эта информация используется для выработки профилактических мер.

Кроме профилактических мер, целевой принцип реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений Кузбасса нацелен на решение фундаментальной и прикладных задач геодинамики месторождения. Прикладные задачи включают:

- определение типа геодинамической ситуации;
- контроль изменения во времени главных направлений деформаций;
- ранжирование изменений во времени деформаций;
- контроль накопления потенциальной энергии деформирования блоков земной коры.

Рекомендуемые соискателем решения прикладных задач геодинамики угольных месторождений при геомеханическом обеспечении геотехнологии освоения недр приведены на рисунке 2.3.

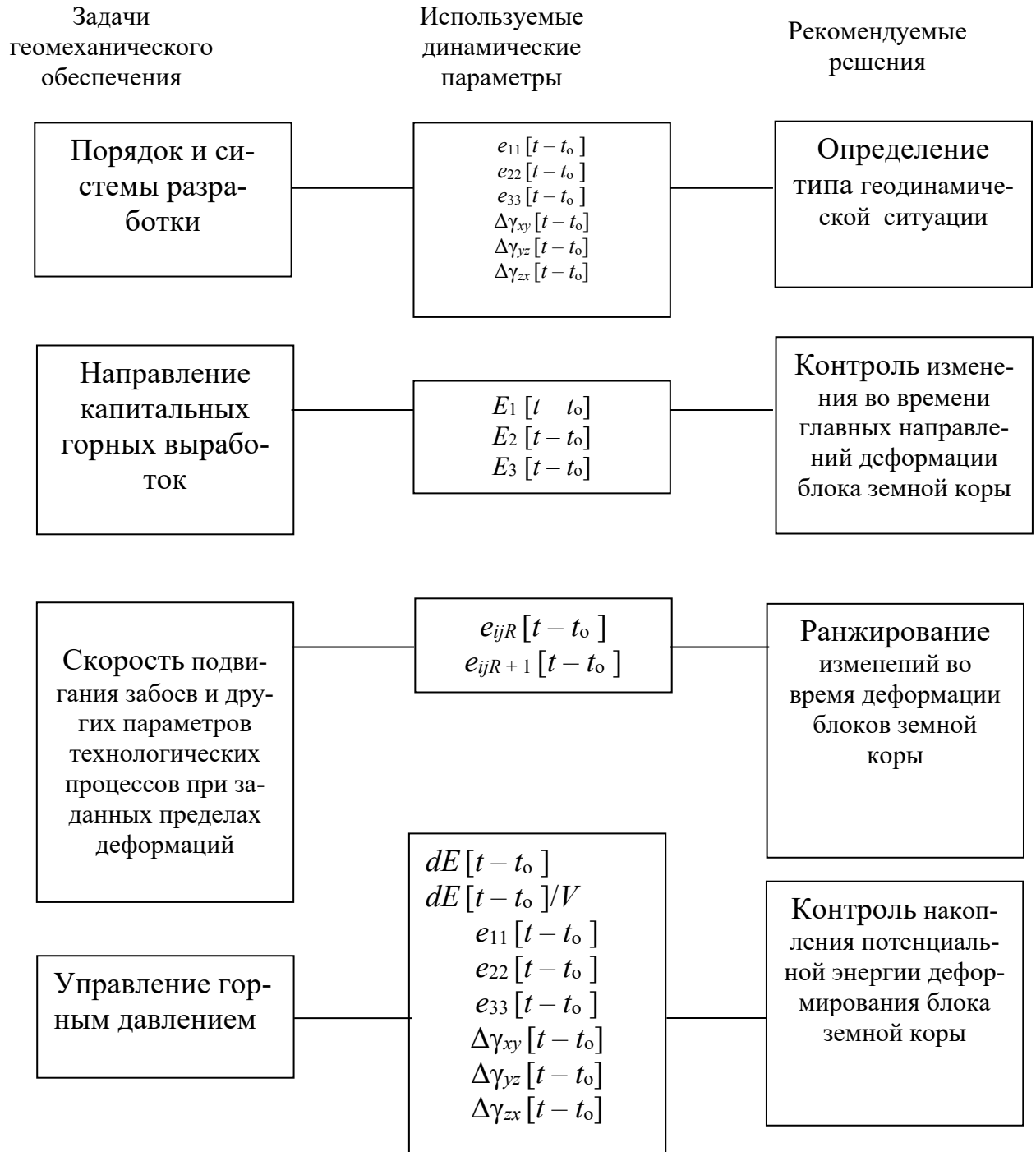


Рисунок 2.3 – Технологическая схема рекомендуемых решений прикладных задач геодинамики угольного месторождения

Решение таких задач не может быть выполнено широко распространенными традиционными методами (створов, сдвигов и другими), описанными в подразделах 1.1 и 1.2. Рекомендуемые соискателем решения прикладных задач геодинамики угольных месторождений при геомеханическом обеспечении геотехнологии освоения недр обеспечивают целенаправленность и унифицированность изучения деформаций блоков земной коры в районах освоения месторождения, которое заключается в использовании динамических параметров [56, 59, 60, 179, 180, 184, 192, 193, 194, 195, 196, 198, 204, 205, 207, 208, 210, 211, 212, 213, 216, 218, 219, 220, 221, 225]. Метод функционального зонирования развития деформаций блоков земной коры направлен на решение следующих задач геомеханического обеспечения геотехнологии освоения недр:

- установление порядка и систем разработки;
- ориентирование направления капитальных горных выработок;
- планирование скорости подвигания забоев и других технологических параметров;
- управление горным давлением.

Охарактеризуем рекомендуемые решения подробнее.

Определение типа геодинамической ситуации. Основными типами геодинамической ситуации являются:

- зона сжатия;
- зона растяжения;
- зона сдвига.

Выделение указанных зон заключается в следующем [180, 194]:

- 1 Установление границ блоков земной коры.
- 2 Определение условно-стабильного блока земной коры.
- 3 Определение согласно (1.3) вертикальных и горизонтальных движений каждого блока земной коры относительно условно-стабильного за период повторных наблюдений на ГДП с учетом изменений во времени силы тяжести. Определение

изменений во времени деформаций сдвига $\Delta\gamma_{xy}[t-t_0]$, $\Delta\gamma_{yz}[t-t_0]$ и $\Delta\gamma_{zx}[t-t_0]$ блока земной коры по разработанной соискателем программе «ВМ» [167].

4 Определение изменений во времени дилатации $\theta[t-t_0]$ блока земной коры по программе «ВМ».

Исходной информацией для определения типа геодинамической ситуации блоков земной коры являются результаты моделирования кинематики блоков земной коры.

Контроль ориентирования главных напряжений определяется по соответствующим изменениям углов относительно принятой прямоугольной системы координат $\Delta\varphi_{oxi}[t-t_0]$, $\Delta\varphi_{oyi}[t-t_0]$, $\Delta\varphi_{ozi}[t-t_0]$.

1 Определение границ блоков земной коры.

2 Определение условно-стабильного блока земной коры.

3 Определение согласно (1.3) вертикальных и горизонтальных движений блока земной коры за период повторных наблюдений на ГДП.

4 Определение компонентов изменения во времени деформаций (напряжений) по разработанной соискателем программе «ВМ».

5 Определение изменений во времени значений главных деформаций блока земной коры за период повторных наблюдений.

6 Определение изменений во времени направлений главных осей деформаций блока земной коры за период повторных наблюдений.

Исходной информацией для определения типа геодинамической ситуации блоков земной коры являются результаты моделирования кинематики блоков земной коры.

В таблице 2.1 приведены соответствующие величины изменений во времени главных деформаций (напряжений) двух блоков земной коры в северной части Кемеровской области (Яйский район), обусловленные их взаимодействием в современный период. Для анализа полученных результатов (см. таблицу 2.1) определены пренебрегаемо малые значения угла $\Delta\Psi[t-t_0]$ в соответствии с (2.1) (таблица 2.2). При этом

$$\cos(\Delta\Psi[t-t_0]) = (\varepsilon_1[t_0] \varepsilon_1[t] + \varepsilon_2[t_0] \varepsilon_2[t] + \varepsilon_3[t_0] \varepsilon_3[t]) / (((\varepsilon_1[t_0])^2 + (\varepsilon_2[t_0])^2 + (\varepsilon_3[t_0])^2)^{0,5} ((\varepsilon_1[t])^2 + (\varepsilon_2[t])^2 + (\varepsilon_3[t])^2)^{0,5}), \quad (2.3)$$

где $\varepsilon_1[t_0]$, $\varepsilon_2[t_0]$, $\varepsilon_3[t_0]$ – величины главных деформаций блока земной коры на эпоху t_0 ;
 $\varepsilon_1[t]$, $\varepsilon_2[t]$, $\varepsilon_3[t]$ – величины главных деформаций блока земной коры на эпоху t .

Таблица 2.1 – Величины изменений во времени главных деформаций (напряжений) двух блоков земной коры в северной части Кемеровской области

Блок 1		Блок 2	
изменения во времени главных деформаций $1 \cdot 10^{-5}$	изменения во времени главных напряжений, МПа	изменения во времени главных деформаций	изменения во времени главных напряжений, МПа
9,99	0,035	0,00102	0,354
54,7	-0,190	0,00057	0,200
92,4	-0,320	-0,00015	-0,051

Таблица 2.2 – Пренебрегаемо малые значения угла $\Delta\Psi[t-t_0]$

Скорости деформации земной коры, в год	Пренебрегаемо малые значения угла $\Delta\Psi[t-t_0]$, в секундах	
	$T = 1$ год	$T = 25$ лет
$1 \cdot 10^{-6}$	0,1	2,5
$1 \cdot 10^{-5}$	0,7	17,5

Таким образом, полученные углы $\Delta\Psi[t-t_0]$ между величинами изменений во времени главных деформаций указанных двух блоков земной коры нельзя считать значимыми, так как они находятся в пределах интервала утроенных значений пренебрегаемо малых величин.

Контроль накопления потенциальной энергии деформирования блоков земной коры определяется, по мнению соискателя, изменением во времени энергетического состояния блока земной коры $dE[t-t_0]$ за период $[t-t_0]$ объемом V , которое рассчитывается по полученным компонентам тензора изменений во времени напряжений $\sigma_{ij}[t-t_0]$ и изменений во времени деформаций $\epsilon_{ij}[t-t_0]$

$$dE[t-t_0] = dE_\sigma[t-t_0] + dE_\tau[t-t_0], \quad (2.4)$$

где $dE_\sigma[t-t_0] = V / E \sum (\sigma_{ii}[t-t_0])^2$;

$$dE_\tau[t-t_0] = V / E \sum (\tau_{ii}[t-t_0])^2.$$

1 Определение с помощью программы «ВМ» компонентов изменения во времени деформаций (напряжений) [167].

2 Определение с помощью программы «ВМ» изменений во времени потенциальной энергии блока земной коры при деформировании.

3 Оценка предельного энергонасыщения блока земной коры. Предельный запас упругой энергии E_0 для блока земной коры объемом V равен [254]

$$E_0 = \epsilon_y V, \quad (2.5)$$

где ϵ_y – предельная энергоемкость.

Уровень накопления потенциальной энергии в блоке земной коры объемом V , превышающий предельный запас упругой энергии E_0 , определяется критерием формирования очага ГДЯ блочного массива горных пород месторождения.

Ранжирование изменений во времени деформаций заключается в определении смещений $\Delta X_R[t-t_0]$, $\Delta Y_R[t-t_0]$, $\Delta H_R[t-t_0]$ любой точки M блока земной коры в районе освоения месторождения с координатами X , Y и H , обусловленных изменениями во времени компонентов деформациями $\Delta \epsilon_{ijR}[t-t_0]$ блоков других рангов R [228, 233]

$$\begin{aligned}
\Delta X_R[t-t_0] &= \Delta e_{11R}[t-t_0]X + \Delta e_{12R}[t-t_0]Y + \Delta e_{13R}[t-t_0]H + a_R; \\
\Delta Y_R[t-t_0] &= \Delta e_{21R}[t-t_0]X + \Delta e_{22R}[t-t_0]Y + \Delta e_{23R}[t-t_0]H + b_R; \\
\Delta H_R[t-t_0] &= \Delta e_{31R}[t-t_0]X + \Delta e_{32R}[t-t_0]Y + \Delta e_{33R}[t-t_0]H + c_R,
\end{aligned} \tag{2.6}$$

где a_R , b_R и c_R – коэффициенты.

Фундаментальная задача геодинамики месторождения заключается в исследовании закономерностей перераспределения потенциальной энергии деформирования в блоках земной коры разных рангов и формирования в них очага ГДЯ, теоретическим обоснованием которого является IV степень опасности развития деформаций блока земной коры и накопление плотности энергии не менее $12 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{м}^3$.

Теоретической значимостью указанной методологии является учет зависимости развития геодезических построений на ГДП от степени опасности развития деформаций блоков земной коры, а практическая значимость заключается в территориальном или временном их развитии. Такой подход обеспечивает поэтапность построений ГДП, что свидетельствует об экономической эффективности. При этом территориальное развитие выполняется на основе предложенной автором типовой схемы, что упрощает технологию проектирования и реализации. Обоснованность теоретической и практической значимости использования этого метода функционального зонирования в качестве инструмента управления развитием ГДП подтверждается предложенным автором критерием (2.1). Выполнение неравенства (2.1) характеризует контроль НДС блоков земной коры с системой стандартных критериев и показателей.

Функциональный принцип методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений Кузбасса заключается в взаимосвязанной и взаимообусловленной системе постоянных наблюдений, оценки, прогноза и контроля. Реализация динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений представляет целенаправленную де-

тельность, состоящую из упорядоченного набора процедур, организованного в циклы:

- наблюдения;
- оценки состояния блоков земной коры, по результатам наблюдения;
- прогноза развития системы;
- контроля.

Динамическая модель ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений Кузбасса представляет целенаправленную деятельность, состоящую из упорядоченного набора процедур, организованного в циклы: наблюдения; оценки состояния блоков земной коры, по результатам наблюдения; прогноза развития системы и контроля. Функциональный принцип следует из определения ГМНДСЗК – как комплексной триединой системы геодезического контроля состояния земной коры, предусматривающей регистрацию ее кинематики с учетом их строения и иерархии, определение динамических параметров и оценку степени опасности развития деформаций и возможного риска проявления ГДЯ (см. рисунок 2.2). Теоретическим обоснованием указанного принципа является связь кинематики блоков земной коры с параметрами проявления ГДЯ посредством определения их динамических параметров $ДП(e_{ij}(t-t_0), \sigma_{ij}(t-t_0), E(t-t_0))$

$$\begin{aligned} ДП(e_{ij}(t-t_0), \sigma_{ij}(t-t_0), E(t-t_0)) = \\ = F(\Delta X_{km}(t-t_0), \Delta Y_{km}(t-t_0), \Delta H_{km}(t-t_0)), \end{aligned} \quad (2.7)$$

где $\Delta X_{km}(t-t_0), \Delta Y_{km}(t-t_0), \Delta H_{km}(t-t_0)$ – количественные характеристики кинематики блока земной коры k .

«Динамические параметры блока земной коры» – это новое понятие, предложенное соискателем. Теоретическое обоснование динамических параметров заключается в следующем. В настоящее время (согласно изложенному в подразделе 1.1) основными количественными характеристиками их состояния в районе освоения месторождения являются кинематические (1.2), (1.3)–(1.6). В подразделе 1.1 соискате-

лем установлена неоднозначность кинематических количественных характеристик блоков земной коры. Для изучения закономерностей неоднозначности кинематических количественных характеристик блоков земной коры Кузбасса соискателем был проведен лабораторный вычислительный эксперимент, на основе которого получены зависимости их изменения от ранга [180, 194]. На рисунках 2.4, 2.5 приведены зависимости компонентов изменений во времени деформаций блоков земной коры разных рангов от скоростей их движений.

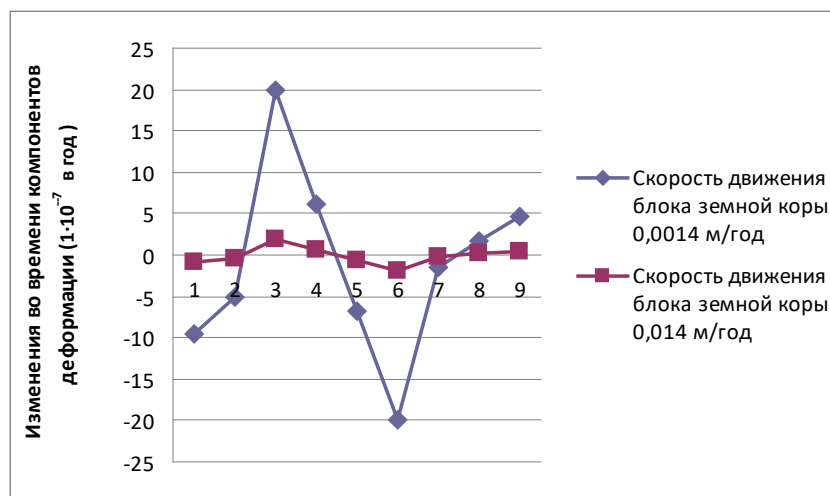


Рисунок 2.4 – Зависимость компонентов изменений во времени деформации блока IV ранга Кузбасса от его кинематики

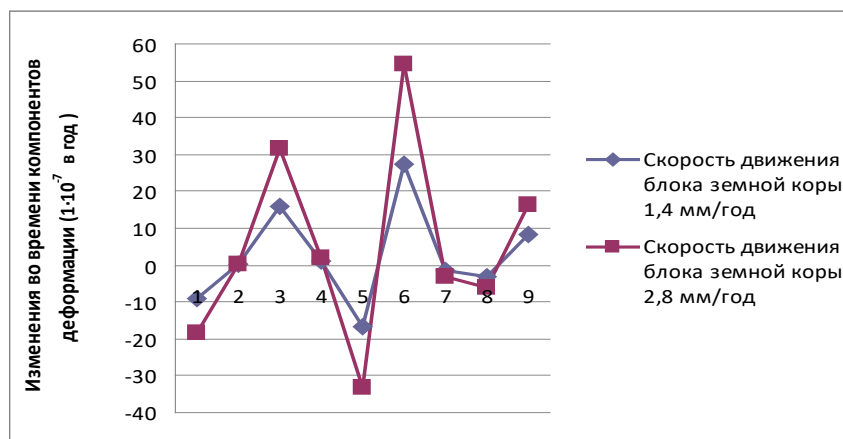


Рисунок 2.5 – Зависимость компонентов изменений во времени деформации блока VI ранга Кузбасса от его кинематики

На рис. 2.4 и 2.5 обозначены: 1 – $e_{11}[t-t_0]$; 2 – $e_{12}[t-t_0]$; 3 – $e_{13}[t-t_0]$; 4 – $e_{21}[t-t_0]$; 5 – $e_{22}[t-t_0]$; 6 – $e_{23}[t-t_0]$; 7 – $e_{31}[t-t_0]$; 8 – $e_{32}[t-t_0]$; 9 – $e_{33}[t-t_0]$.

Но, несмотря на различие рангов и местоположения, прямо пропорциональная зависимость компонентов изменений во времени деформаций блоков земной коры от их скоростей движений сохраняется. Полученные зависимости по результатам исследований подтверждают, что одинаковым значениям изменения во времени деформации блоков земной коры разных рангов соответствуют различные величины скоростей их движений. Поэтому кинематические характеристики блоков земной коры не могут быть положены в качестве единых ввиду их неоднозначности. Для преодоления их неоднозначности в качестве обобщенных количественных характеристик блоков земной коры предложены динамические параметры, имеющие интегральный характер. Установление спектра таких параметров позволяет установить связь с данными других наук о Земле. Для установления спектра динамических параметров блоков земной коры при изучении их деформаций составим обобщенную классификацию (из принятой в геомеханике массива горных пород и блоков земной коры, используемой в геодинамике [16, 110, 180, 186, 194, 203, 246]). При выполнении обобщения учтем дополнительные признаки четырех основных классификационных показателей массива горных пород (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Обобщенная классификация

Массив горных пород	Блочный массив горных пород	
	дополнительные признаки	характеристики
Состав	Условия формирования и развития	Энергия
Строение	Структурно-морфологические	Размеры. Форма. Ориентирование в пространстве. Характер ограничивающих поверхностей. Формации пород
Свойства	Кинематические	Вертикальные и горизонтальные движения
Состояние	Динамические	Сила. Напряжения
	Исторические	Время

Результаты обобщения свидетельствует о следующем:

- изучение вертикальных и горизонтальных движений определяет кинематические свойства блоков земной коры;
- динамическое состояние блока земной коры характеризует напряжения, которые аналитически связаны с деформациями, а условия их формирования и развития – энергия;
- оценка динамического состояния блока земной коры на основе регистрации его вертикальных и горизонтальных движений – это не только новый подход к интерпретации указанных движений, но и обеспечение принципа единства и преемственности наук о Земле (геомеханики, геоморфологии, геодинамики и геодезии) и их информационного взаимодействия.

Поэтому в качестве динамических параметров блока земной коры в районе освоения месторождения принимаются изменения во времени деформаций (напряжений) и потенциальной энергии, обуславливающие его кинематику. Основой определения динамических параметров блока земной коры является связь перемещений его с компонентами тензора деформаций, описываемая с помощью уравнений Коши [42]

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_x[t-t_0] &= \frac{\partial u[t-t_0]}{\partial x}; \\
 \varepsilon_y[t-t_0] &= \frac{\partial v[t-t_0]}{\partial y}; \\
 \varepsilon_z[t-t_0] &= \frac{\partial w[t-t_0]}{\partial z}; \\
 \gamma_{xy}[t-t_0] &= \frac{\partial u[t-t_0]}{\partial y} + \frac{\partial v[t-t_0]}{\partial x}; \\
 \gamma_{yx}[t-t_0] &= \frac{\partial v[t-t_0]}{\partial z} + \frac{\partial w[t-t_0]}{\partial y}; \\
 \gamma_{zx}[t-t_0] &= \frac{\partial w[t-t_0]}{\partial x} + \frac{\partial u[t-t_0]}{\partial z},
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

где $u[t-t_0]$, $v[t-t_0]$, $w[t-t_0]$ – перемещения вдоль осей OX, OY, OZ.

Для изучения закономерностей изменения динамических параметров блоков земной коры Кузбасса соискателем был проведен лабораторный вычислительный эксперимент, на основе которого получены зависимости их изменения от ранга, кинематики и иерархии строения [180, 194, 233]. Выделение блоков земной коры было выполнено в рамках геодинамического районирования Кузбасса с использованием как топографических, так и геофизических карт, а также аэро- и космоснимков и других материалов. Результаты вычислительного эксперимента получены с помощью ПК по разработанной программе «ВМ» [167, 180, 194]. При этом скорость движения блоков земной коры полагалась одинаковой и не превышала 1,4 мм/год. Для Кузбасса такие результаты получены впервые (рисунки 2.6–2.8).

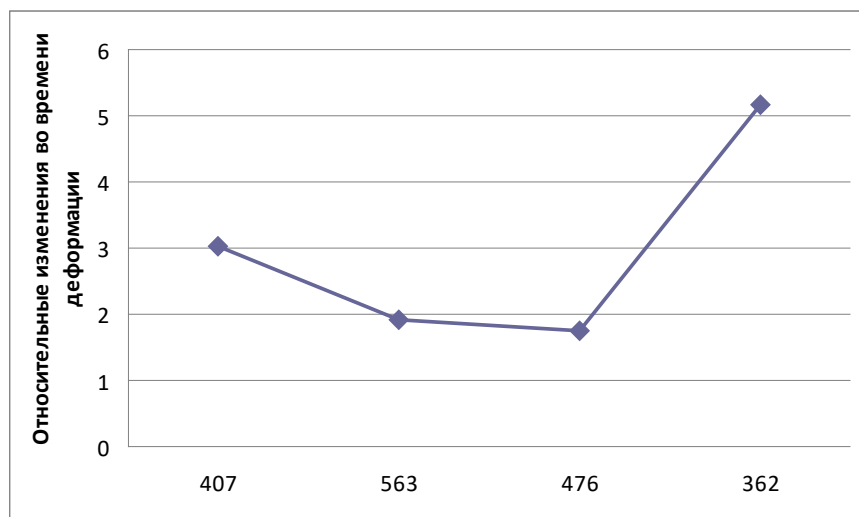


Рисунок 2.6 – Отношение изменения во времени деформации блоков земной коры Кузбасса (II ранга 737 и III ранга 407, 563, 476, 362)

На рисунке 2.7 приведены отношения изменений во времени дилатации блоков земной коры IV ранга (252–1, 252–2 и 252–3) к соответствующим параметрам блока земной коры III ранга (252).

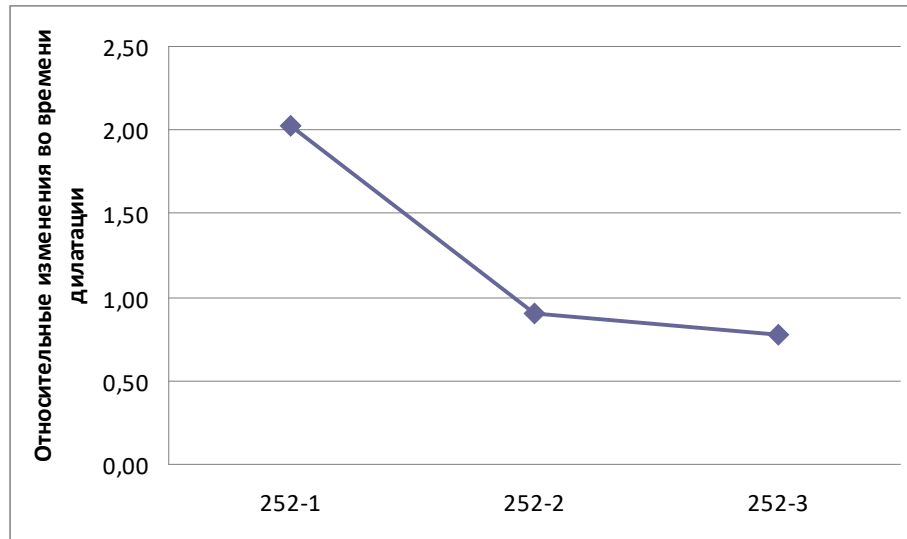


Рисунок 2.7 – Отношение изменения во времени дилатации блоков земной коры III ранга (252) и IV ранга 252-1, 252-2, 252-3

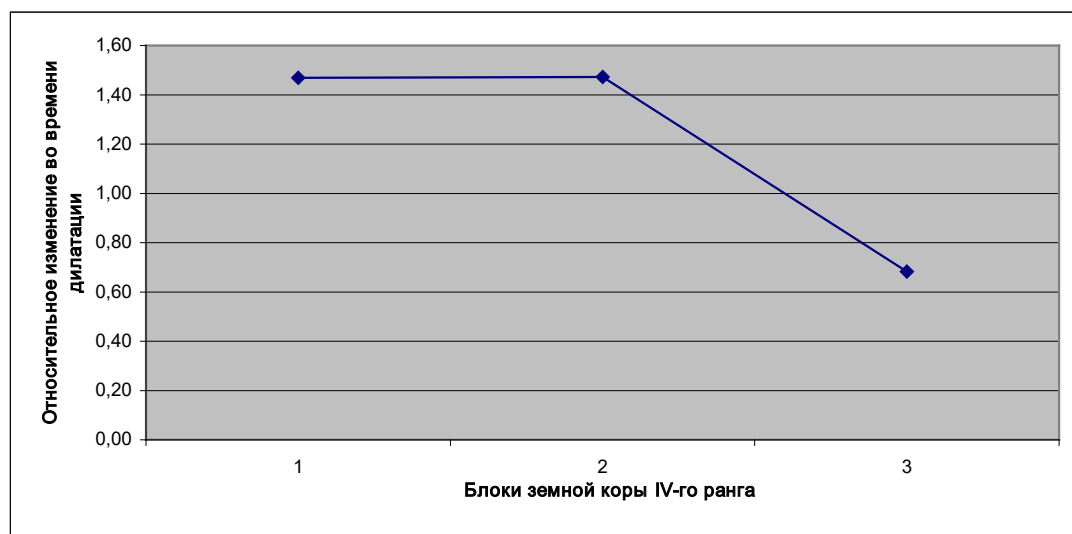


Рисунок 2.8 – Отношение изменения во времени дилатации блоков земной коры III ранга (362) и IV ранга: 1– 362-1; 2– 362-2; 3– 362-3

На рисунке 2.9 приведены изменения во времени дилатации блоков земной коры IV ранга (252– 1, 252–2 и 252–3) и их отношение к соответствующей величине блока земной коры II ранга (489).

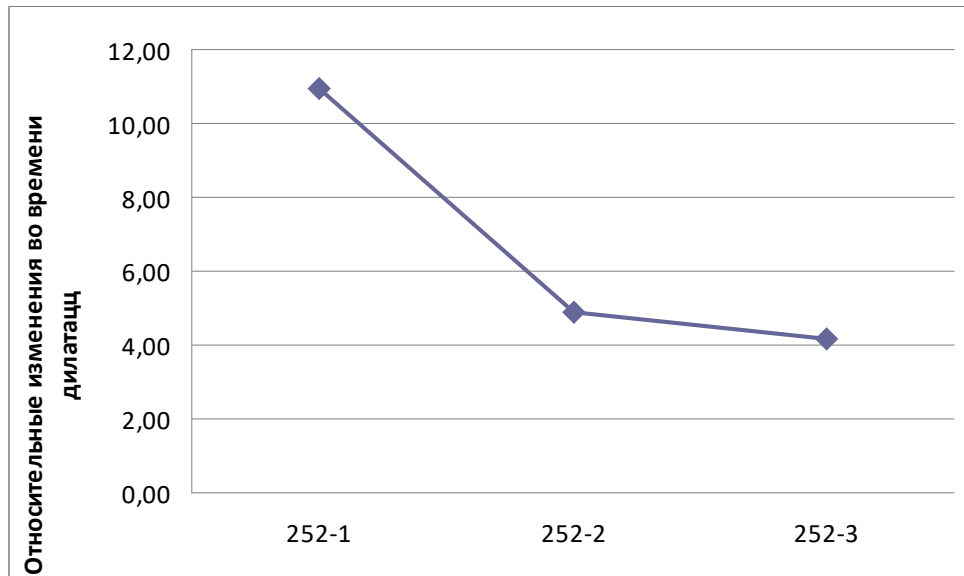


Рисунок 2.9 – Отношение изменения во времени дилатации блоков земной коры II ранга (489) и IV ранга 252– 1, 252-2, 252-3

Полученные результаты исследований показывают, что отношения компонентов изменения во времени деформации блоков земной коры:

- для III ранга по отношению к соответствующим величинам II ранга достигают 5;
- для IV ранга по отношению к соответствующим величинам III ранга – 2;
- для IV ранга по отношению к соответствующим величинам II ранга – 11.

Выполненное изучение закономерностей изменений во времени компонентов деформации блоков земной коры Кузбасса включает [169, 172, 182, 184, 186, 204]:

- пространственные вариации;
- влияние скоростей движений.

В таблице 2.4 приведены величины компонентов изменений во времени деформаций блоков земной коры Кузбасса III ранга. Для сравнения указанных величин скорости движений структурно ориентированных пунктов построений ГДП разных блоков земной коры приняты одинаковыми и не превышающими 1,4 мм/год (с учетом погрешностей их определения).

Таблица 2.4 – Компоненты изменения во времени деформации блоков земной коры при равной скорости движений пунктов ГДП ($1 \cdot 10^{-6}$)

Величина	Блоки земной коры			
	401	296	252	315
$e_{11}[t-t_0]$	0,006	-0,035	-0,089	-0,104
$e_{12}[t-t_0]$	0,083	0,020	-0,101	0,014
$e_{13}[t-t_0]$	0,055	0,179	0,110	0,191
$e_{21}[t-t_0]$	-0,023	0,015	-0,015	0,045
$e_{22}[t-t_0]$	-0,090	-0,067	-0,130	-0,092
$e_{23}[t-t_0]$	0,030	0,090	0,092	0,128
$e_{31}[t-t_0]$	-0,001	0,004	0,020	0,026
$e_{32}[t-t_0]$	-0,020	-0,016	-0,044	-0,011
$e_{33}[t-t_0]$	0,013	0,021	0,039	0,055

При этом блоки земной коры Кузбасса и их количественные характеристики кинематики установлены на основе результатов исследований, выполненных Проблемной научно-исследовательской лабораторией Кузбасского государственного технического университета (КузГТУ) [6]. Они достаточно наглядно характеризуют природные геодинамические процессы.

В таблице 2.5 приведены величины компонентов изменений во времени деформации этих же блоков земной коры при разных скоростях движений структурно ориентированных пунктов построений ГДП. Результаты исследований, приведенные в таблицах 2.4 и 2.5, свидетельствуют о следующем:

- величины компонентов изменений во времени деформации блока земной коры прямо пропорциональны скоростям движений структурно ориентированных пунктов построений ГДП;
- при одинаковой скорости движения структурно ориентированных пунктов построений ГДП в 1,4 мм/год изменения во времени компонентов деформации блоков земной коры III ранга Кузбасса составляют от $0,25 \cdot 10^{-7}$ до $1,36 \cdot 10^{-7}$.

Таблица 2.5 – Компоненты изменения во времени деформации блоков земной коры при разных скоростях движений пунктов ГДП ($1 \cdot 10^{-6}$)

Величина	Блоки земной коры			
	401	296	252	315
Скорость движения пунктов ГДП	2,8 мм/год	2,0 мм/год	1,2 мм/год	1,8 мм/год
$e_{11}[t-t_0]$	0,012	-0,050	-0,076	-0,134
$e_{12}[t-t_0]$	0,1663	0,029	-0,087	0,018
$e_{13}[t-t_0]$	0,110	0,2569	0,094	0,246
$e_{21}[t-t_0]$	-0,046	0,021	-0,013	0,058
$e_{22}[t-t_0]$	-0,180	-0,096	-0,111	-0,118
$e_{23}[t-t_0]$	0,060	0,0129	0,079	0,165
$e_{31}[t-t_0]$	-0,002	0,006	0,017	0,033
$e_{32}[t-t_0]$	-0,040	-0,023	-0,038	-0,014
$e_{33}[t-t_0]$	0,026	0,030	0,033	0,071

Для подтверждения прямо пропорциональной зависимости компонентов изменений во времени деформаций блоков земной коры от их скоростей движений эксперимент был продолжен на блоках земной коры низших рангов.

Исследуемые блоки земной коры расположены в разных частях Кузбасса:

- в районе города Белово – IV ранга;
- в районе Новокузнецка (шахта «Есаульская») – VI ранга.

Но, несмотря на различие рангов и местоположения, прямо пропорциональная зависимость компонентов изменений во времени деформаций блоков земной коры от их скоростей движений сохраняется.

На рисунках 2.10–2.14 приведены зависимости компоненты изменения во времени деформации блоков земной коры от скорости их движений.

Полученные зависимости по результатам исследований подтверждают, что одинаковым значениям изменения во времени деформации блоков земной коры разных рангов соответствуют различные величины скоростей их движений. Поэтому кинематические характеристики блоков земной коры не могут являться кри-

терием многоуровненности структурно ориентированных построений ГДП ввиду их неоднозначности.



Рисунок 2.10 – Зависимость изменения во времени деформации ($1 \cdot 10^{-6}$) блока земной коры 489 II ранга Кузбасса от скорости его движения (мм/год)

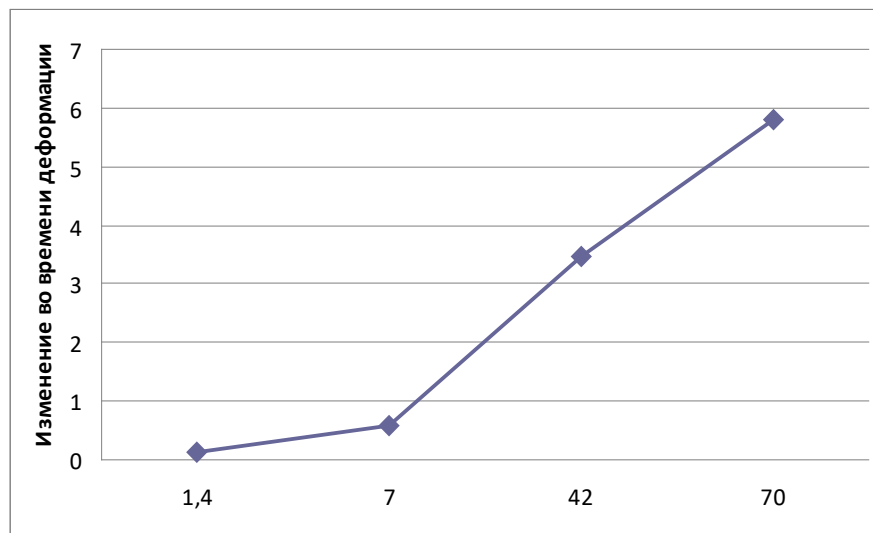


Рисунок 2.11 – Зависимость изменения во времени деформации ($1 \cdot 10^{-6}$) блока земной коры 498 III ранга Кузбасса от скорости его движения (мм/год)

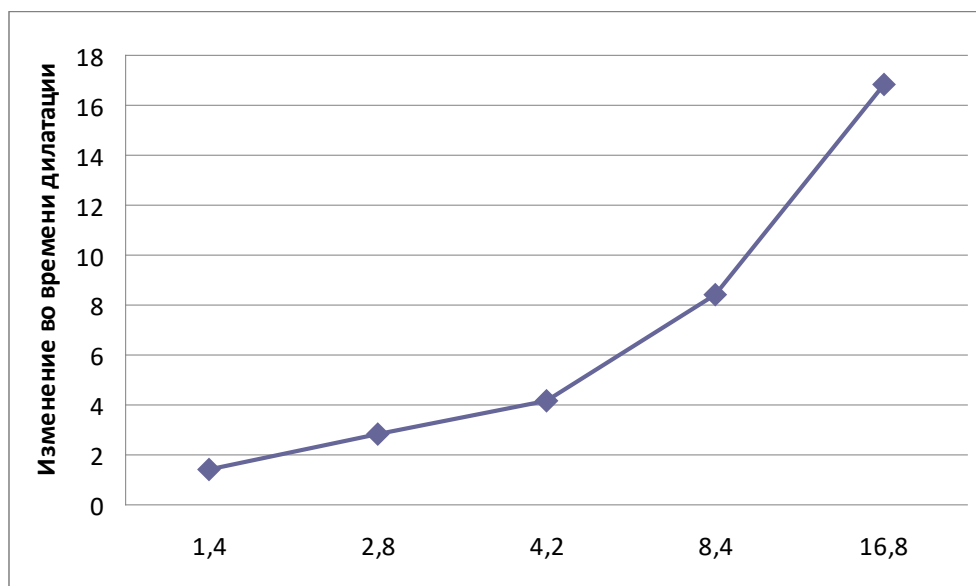


Рисунок 2.12 – Зависимость изменения во времени дилатации ($1 \cdot 10^{-6}$) блока земной коры VI ранга в районе шахты «Есаульская» от скорости его движения (мм/год)

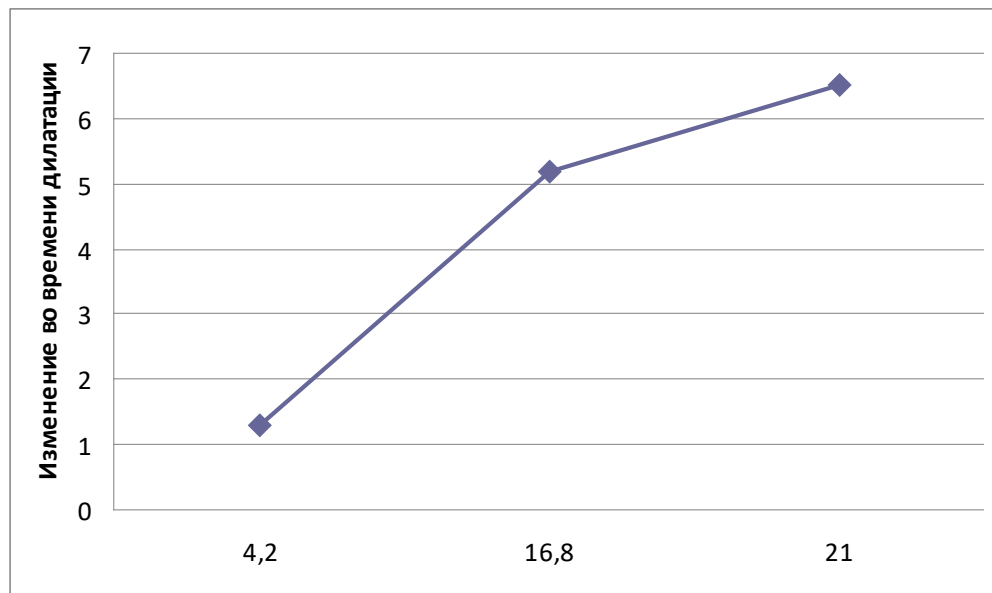


Рисунок 2.13 – Зависимость изменения во времени дилатации ($1 \cdot 10^{-6}$) блока земной коры V ранга в районе шахты «Есаульская» от скорости его движения (мм/год)

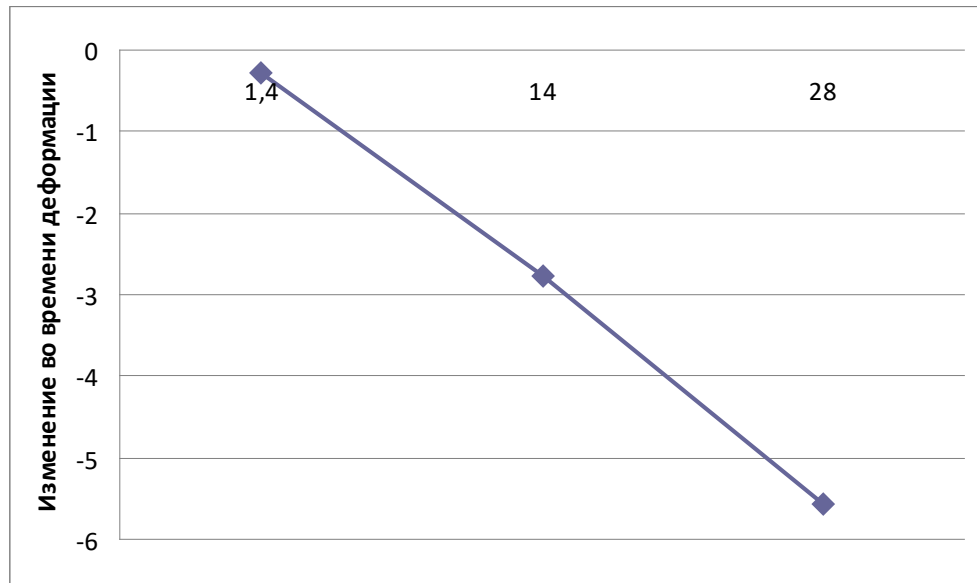


Рисунок 2.14 – Зависимость изменения во времени дилатации блока земной коры ($1 \cdot 10^{-6}$) IV ранга Кузбасса от скорости его движения (мм/год)

Более приемлемым вариантом указанного критерия являются изменения во времени деформаций блоков земной коры. При этом эти изменения отражают влияние как природных, так и техногенных геодинамических процессов, то есть являются интегральными характеристиками. Такие изменения предлагается принять в качестве динамических параметров блока земной коры. Кроме этого, изменения во времени деформаций блоков земной коры выражаются аналитически в зависимости от соответствующих изменений напряжений и потенциальной энергии, то есть от всего спектра рассмотренных параметров.

Предложенные соискателем динамические параметры блока земной коры играют ключевую роль в указанном цикле, так как они являются основой для анализа, прогноза и контроля (рисунок 2.15).

Цикличность обеспечивает итерационный подход к повышению точности и надежности результатов наблюдений, последовательных прогнозов и прогнозных рекомендаций, а последовательные профилактические меры со временем становятся все более оптимальными. Таким образом, функциональный принцип определяет сложно построенную, циклически работающую на итерационном под-

ходе и развивающую во времени постоянно действующую динамическую модель ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений.

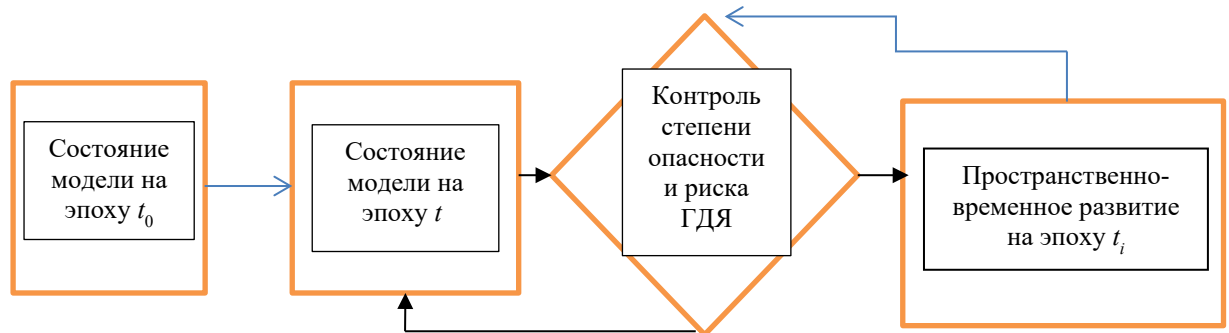


Рисунок 2.15 – Схема цикличности динамической модели ГМНДСЗК

Общая схема функционирования систем ГМНДСЗК начинается и заканчивается в определенные временные интервалы (циклы). Параллельно этим временным интервалам соискатель выделяет его функциональные цепи, отражающие его содержательную часть. Это цепь последовательных наблюдений, последовательных оценок состояния блоков земной коры, последовательных прогнозов и рекомендаций. При этом цепи последовательных прогнозов и рекомендаций со временем становятся все более точными и надежными. Поэтому цепи последовательных профилактических мер и рекомендаций по контролю за состоянием блоков земной коры становятся более оптимальными. Таким образом, динамическая модель ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений представляет собой сложную циклически построенную и развивающую во времени постоянно функционирующую систему.

2.2 Разработка нового структурно-организационного принципа методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений

Теоретические основы основных положений взаимодействия между подсистемами динамической модели ГМНДСЗК интерпретируются как структурно-организационный ее принцип. Его теоретической основой является структура и иерархия

земной коры. Соискателем принята блочная структура земной коры и предложена следующая классификация ее иерархии, соответствующая строению земной коры в следующем: детальный уровень (месторождение (шахта)) – блоки земной коры VI и V рангов; локальный уровень (геолого-экономический (административный) район) – блоки земной коры IV и III рангов, региональный уровень (Кузбасс) – блоки земной коры II ранга. Теоретическим обоснованием структурно-организационного принципа является, прежде всего, взаимодействие блоков земной коры разных рангов. Взаимодействие блоков земной коры происходит по разломам, поэтому в традиционной технологии его регистрация реализована с помощью построений ГДП (поперечников), ориентированных перпендикулярно этому направлению. При оценке деформаций блоков земной коры соискателем предлагается системный подход [53, 54, 60, 180, 194, 220, 221, 234, 237], который комплексно регистрирует их взаимодействие, включая начальный этап – его формирование. Таким образом, в качестве методологической основы предлагается следующая фундаментальная гипотеза: о пренебрегаемо малых скоростях деформаций земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ. Оценка медленных скоростей деформаций земной коры, не приводящих к проявлению геодинамических явлений, выполнена на основе результатов исследований Института физики Земли. Реализация этой гипотезы обосновывает качественные изменения технологии построения ГДП, которые учитывают не только взаимодействие блоков земной коры, но и их строение, а также иерархию. Итак, требуется учет конфигурации блоков земной коры, которая формируется как пересечение разломов. Для Кузбасса (Западной Сибири) рекомендуется использование следующих зависимостей:

- расстояния между разломами M (км) заданной длины L (км) [263]

$$M = 0,44L^{0,95}, \quad (2.9)$$

- зоны влияния разлома t (км) [203]

$$m = r L^c, \quad (2.10)$$

где r и c – коэффициенты;

величина $r = 0,3–0,5$;

$c = 0,5–0,95$.

Кроме этого блок земной коры является трехмерным геологическим телом, поэтому необходимо учитывать глубину проникновения разломов (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Глубина проникновения разломов во внутренние оболочки по Санькову [31]

Ранг	Проникновение во внутренние оболочки Земли	Глубина проникновения
I	в литосферу	60–120 км
II	сквозь земную кору	30–40 км
III	в нижнюю половину земной коры	15–20 км
IV	до половины земной коры	до 15 км
V	в верхнюю половину земной коры	до 5 км
VI	в верхние слои	до сотен метров

Из анализа глубины проникновения разломов установлена ее закономерность от протяженности. Так, для локальных разломов это отношение составляет 0,55–1,0; для разломов, проникающих сквозь земную кору, – 0,25–0,30; для более протяженных разломов это отношение уменьшается до 0,01 [31]. В настоящее время разлом представляется трехмерным геологическим телом, поэтому кроме протяженности и глубины проникновения еще одной характеристикой является зона влияния. Характерным признаком зоны влияния разломов является приразломное смятие, оно зависит от протяженности.

Разделение разломов может быть связано не только с их масштабами, но и с физической природой [124, 194, 241, 263]. Классификация положения разломов в пространстве и их наклона, а также сил, вызывающих движение блоков земной коры и разломов, приведена в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Классификация положения разломов в пространстве и их наклона, а также сил, вызывающих движение блоков и разломов [124]

Подкласс	Классификация
Положение разломов в пространстве	Меридиональный Широтный Диагональный
Наклон плоскости разлома	Вертикальный Наклонный Комбинированный
Силы, вызывающих движение блоков и разломов	Эндогенные Ротационные Изменение фигуры и размеров Земли Внеземного происхождения

По результатам инструментальных измерений на Расвумчоррском, Юкспорском и Кукисвумчоррском месторождениях установлено, что максимальные горизонтальные напряжения вблизи разломов возрастают до 70–80 МПа, а отношение промежуточного и максимального напряжений достигает 0,7–0,8, против 0,4–0,6 на удалении от разлома [244].

Кроме этого, на указанных месторождениях установлено, что 33 % сейсмических событий приурочены к зонам влияния разломов; 18 % из них приурочены к зоне влияния очистных работ; а 8 % произошли в зонах совместного влияния разломов и очистных работ. Для Верхнекамского блока (ВКМКС) среднее напряжение $1,03\gamma H$, а максимальное – касательное $(0,2–0,3)\gamma H$. При этом субширотное главное напряжение больше субмеридионального, геодинамическая обстановка определяется зоной сжатия [73, 74, 67]. Разломы тесно связаны друг с другом и образуют выдержанные динамические системы. Для Ольжерасского разреза (г. Междуреченск), расположенного в зоне сжатия на юге области, выявлено пять разрывных нарушений типа надвига и взброса. Для Североуральского бокситового рудника характерными являются две разновидности: взбросы и сбросы, а редко встречающийся вид – надвиг.

Установлена закономерность разломов по механизму образования по величине отношения глубины проникновения H к его протяженности L :

- для сдвигов отношение минимально;
- для надвигов — максимально;
- для сбросов и взбросов данное отношение имеет промежуточное значение между сдвигами и надвигами.

Одной из качественных характеристик разломов является их геоморфологическая выраженность. Загораживающие хребты (рисунок 2.16) могут служить выражением зоны сдвига в рельефе.

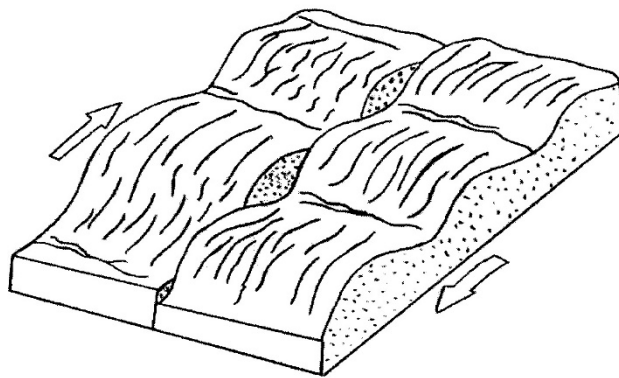


Рисунок 2.16 – Загораживающие хребты [156]

Загораживающие хребты представляют крутые уступы, запирающие речные долины и образованные при горизонтальных смещениях параллельных хребтов на величину, равную половине расстояния между ними. Ярко выражены в рельефе земной поверхности нормальные сбросы. Плановый рисунок нормальных сбросов обычно параллелен, серии разломов образуют взаимосвязанные одним полем напряжений системы нарушений. Классическим примером, характеризующим зону растяжения, является Рейнский грабен. Согласно оценкам Иллиса Д. [110, 125] растяжение здесь составило 4,8 км за 45 млн лет. Грабенообразные формы рельефа имеются на территории горных отводов Талнахнского рудника в долине реки Хараелах, а также на Бачатском разрезе, расположенном на границе Беловского и Гурьевского районов Кемеровской области, где один из участков имеет форму своеобразного грабена. Красноуфимский разлом в районе ВКМКС имеет жело-

бообразный профиль глубиной до 40 м [74]. Остальные типы разломов менее выражены в рельефе.

Прежде чем конкретизировать приуроченность шахт и разрезов Кузбасса к зонам влияния разломов (рисунки 2.17 и 2.18), рассмотрим некоторые показатели Кузнецкого угольного бассейна [180, 261].

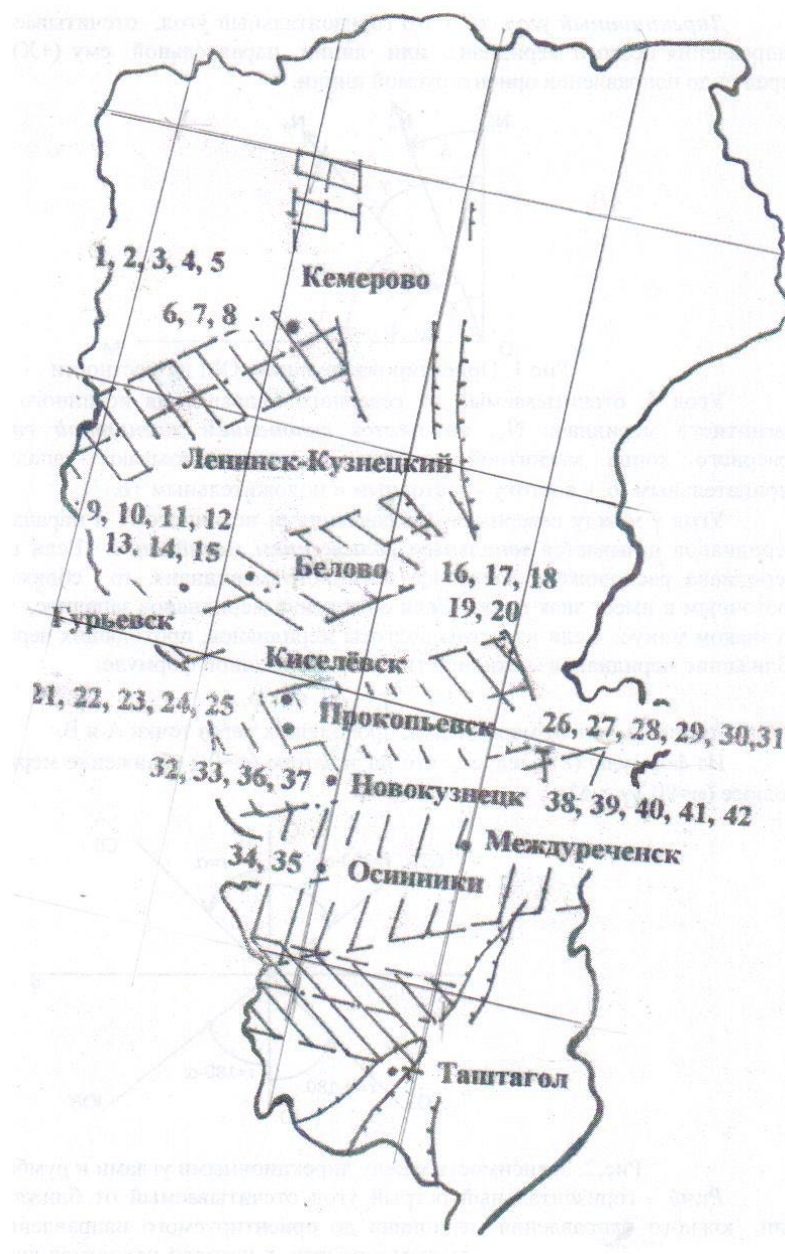


Рисунок 2.17 – Приуроченность шахт Кузбасса к зонам влияния разломов:

номера шахт согласно их расположению в таблице 2.7;

зоны влияния разломов заштрихованы



Рисунок 2.18 – Приуроченность разрезов Кузбасса к зонам влияния разломов

Его балансовые запасы до глубины 600 м составляют 58,8 млрд т. Наибольший объем добычи в прошлом веке приходился на 1988 г. – 159,3 млн т на 103 горных предприятиях. С 1989 г. началось падение добычи угля, которое достигло минимума 87,2 млн т. в 1997 г. Затем рубеж в 100 млн т вновь перейден в 1999 г. В настоящее время отмечается дальнейший рост добычи угля, который превышает 255 млн т. Такие увеличение объемов добычи связано с освоением открытой и подземной геотехнологий освоения недр, а также их комбинацией, что обуславливает особенности как перераспределения плотности масс, так и формирования тех-

ногенного рельефа. Согласно рисункам 2.17 и 2.18 практически все угольные шахты и разрезы Кузбасса и рудники Казско-Темиртауского рудного поля находятся в зонах влияния разломов II ранга. Основные характеристики шахт ряда Кузбасса, как действующих в настоящее время, так и закрытых при реформировании угольной отрасли в 1990-е гг., изображенных на рисунке 2.17, приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Основные характеристики ряда шахт Кузбасса (действующих и закрытых)

№	Название шахты	Год пуска	Добыча угля, тыс. т	№	Название шахты	Год пуска	Добыча угля, тыс. т
1	Первомайская	1975	1800	23	Дальние Горы	1943	1300
2	Бирюлинская	1965	1000	24	Тайбинская	1951	900
3	Березовская	1958	1200	25	Черкасовская	1944	650
4	Южная	1942	300	26	Красногорская	1949	650
5	Бутовская	1942	750	27	Калинина	1934	1100
6	Северная	1939	750	28	Зенковская	1948	1800
7	Волкова	1950	750	29	Красный углекоп	1939	1000
8	Ягуновская	1947	450	30	Ноградская	1930	550
9	Кольчугинская	1931	1700	31	Коксовая	1936	1150
10	Ярославская	1958	2000	32	Бунгурская	1956	850
11	Кирова	1935	3250	33	Димитрова	1934	1050
12	Комсомолец	1933	2400	34	Высокая	1961	700
13	7 Ноября	1931	3500	35	Капитальная	1954	3560
14	Октябрьская	1951	3000	36	Нагорная	1954	1500
15	Заречная	1959	650	37	Юбилейная	1965	1400
16	Пионерка	1933	500	38	Распадская	1977	6500
17	Инская	1956	2300	39	Томская	1963	1200
18	Краснокаменская	1934	1300	40	Ленина	1953	2640
19	Чертинская	1952	1650	41	Усинская	1965	600
20	Новая	1956	1500	42	Шевякова	1962	1150
21	Карагайлинская	1964	900	43	Шушталепская	1950	600
22	Киселевская	1935	1300	44	Увальная	2017	4900

Следовательно, при проектировании, эксплуатации и санации необходим учет этого влияния. Поэтому для безопасной эксплуатации горных предприятий рекомендуется изучение закономерностей деформаций блоков земной коры. Известно, что 70 % всех шахт Кузбасса ведут горные работы на глубине до 300 м, 27,5 % – на глубине до 600 м, а остальные – свыше 600 м. По известной протяженности блоков земной коры L можно оценить глубину проникновения разлома H [31]

$$H=3,89 L^{0,76}. \quad (2.11)$$

В таблице 2.9 приведены оценки глубины проникновения разломов H в зависимости от протяженности блоков земной коры L , полученные автором.

Таблица 2.9 – Глубина проникновения разломов H в зависимости от протяженности блоков земной коры L

Глубина проникновения H , м	Протяженность блоков земной коры L , м
200	376
300	600
400	835
500	1080
600	1331
700	1590

Многие блоки земной коры Кузбасса имеют полигональную форму (89 % блоков III ранга). Блоки земной коры размером в пределах нескольких километров чаще имеют простую форму (треугольник, трапеция и т. д.), более крупные блоки земной коры ограничиваются ломаными линиями и дугами. Для Анжерского района Кузбасса расстояния между разломами VI и IV рангов находятся в интервале от 0,1 до 14 км.

Выполненный анализ свидетельствует о необходимости учета при реализации динамической модели ГМНДСЗК следующих признаков разломов:

- количественных характеристик их формирования (отношения глубины проникновения к протяженности);
- качественных характеристик (геоморфологической выраженности);
- механизма образования (сбросы, взбросы, сдвиги и надвиги);
- изменения напряжений в зонах разломов.

В настоящее время в Кузбассе разрабатываются более 430 шахтопластов [261]. По мощности эти пласты подразделяются:

- на мощные;
- средней мощности;
- тонкие.

Около 66 % шахт разрабатывают пологие пласты. Мощность пластов колеблется от 0,8 до 15 м и более, ее средняя величина равна 3 м.

Реализация гипотезы о преемственности новейших движений в современный период определяет морфоструктурный анализ рельефа как основной метод выделения блоков земной коры. Геодинамическое районирование земной коры многоаспектно, но в этом конкретном случае доминирующим является указанный метод, отражающий как историю их формирования, так и релаксацию напряжений. Методология применения морфоструктурного анализа разработана рядом ученых: Герасимовым И. П., Дэвисем В. М., Мещеряковым Ю. А., Николаевым Н. И., Николаевым П. Н., Орловой А. В., Пенком В., Пиотровской Т. Ю., Цириховой Э. М. и многими другими [25, 32, 33]. На территории Кузбасса, а также на ряде отечественных и зарубежных горных предприятий, геодинамическое районирование с применением морфоструктурного анализа было выполнено Батугиной И. М., Петуховым И. М. и Батугиным А. С. [5, 6, 27, 142]. Для его проведения широко использовались топографические и геофизические материалы, а также аэрофото- и космоснимки. Метод, разработанный указанными авторами, обеспечивал камеральную оценку удаороопасности месторождения [27, 117].

По этой методике на исследуемой территории в районе шахты «Увальная» выделен блок земной коры III ранга, который состоит из трех блоков земной коры IV ранга (рисунок 2.19).



Рисунок 2.19 – Блоки земной коры III (выделен красным цветом) и IV рангов (I-III)

Эта шахта станет одним из флагманов угольной промышленности региона – ее годовая мощность по добыче и обогащению угля составит 4,5 млн тонн в год особо ценного для металлургов коксующегося угля марки «ГЖ». Весь уголь будет обогащаться на собственной обогатительной фабрике, а полученный концентрат – направляться российским металлургам и на экспорт. Всего в лицензионных границах содержится 36 принятых к подсчету угольных пластов. Средние значения мощности пластов изменяются от 0,42 до 4,30 м. Все угольные пласты участков имеют преимущественно сложное строение, а некоторые из них склонны к расщеплению. Исследуемая территория находится в залесенной горно-таежной местности на правом борту реки Томь за пределами ее водоохранной зоны (1 000 м). Рельеф представлен положительными (увалы) и отрицательными (долины рек, ручьев, ло-

гов и временных водотоков) формами. Высотные отметки изменяются от 180 до 467 м над уровнем моря. Непосредственно на площади шахты протекают речки Заломаева с притоками, Глинка, притоки реки Афанасова. Кроме этого, гидрография исследуемой территории представлена реками: Средняя Терсь и Верхняя Терсь, Тутуяс и другими [261].

Основные характеристики разломов, разграничивающих блоки земной коры, приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Основные характеристики разломов, разграничивающие блоков земной коры

№	Разлом	Протяженность разлома, км	Признак выделения разлома
1	1-2	18,0	По спрямленным руслам рук Средняя Терсь и Верхняя Терсь
2	2-3	13,4	По спрямленным руслам рук Верхней Терси и Чексу
3	3-7	15,2	По спрямленному руслу реки Уса
4	7-6	8,6	По спрямленному руслу реки Томи
5	6-3	14,6	По спрямленному руслу реки Тутуяс
6	6-5	7,2	По спрямленному руслу реки Томи
7	5-2	15,2	По спрямленному руслу реки Абашева
8	5-4	18,4	По спрямленному руслу реки Томи
9	4-1	12,0	По спрямленному руслу реки Томи

Доминирующим признаком выделения блоков земной коры на рисунке 2.19 являются спрямленные русла рек, то есть гидрография, обусловленная формированием современного рельефа. На рисунке 2.20 приведен фрагмент выделения блоков земной коры III и IV рангов на территории Кузбасса, а в таблице 2.11 приведены основные характеристики разломов, которые ограничивают их.

Таблица 2.11 – Основные характеристики разломов, разграничивающих блоки земной коры

№	Разлом	Протяженность участка разлома, км	Признак выделения разлома
1	1-2	80	По руслу реки Томи
2	2-3	15	По спрямленному руслу реки Уньга
3	3-4	30	По спрямленному руслу реки Южная Уньга
4	4-5	50	По спрямленным руслам рек Южная Уньга и Каменка
5	5-1	70	По спрямленным руслам рек Малая Топки и Большой Корчуган
6	6-7	25	По спрямленным руслам рек Северная Уньга и Мазуровка
7	7-5	20	По спрямленному руслу реки Искитим
8	1-8	40	По спрямленным руслам рек Таловка и Прямая
9	7-8	7	По спрямленному руслу реки Северная Уньга
10	8-4	10	По спрямленному руслу реки Северная Уньга

Выделенные таким образом блоки земной коры определяют геометрические особенности геодезических построений ГДП. Размеры и конфигурация блоков земной коры задают как форму геодезических построений, так их геометрические параметры. Причины напряжений могут быть как приурочены к месту развития деформаций, так и являться внешними по отношению к ним. Формирование струк-

тур – это результат деформаций, вызванных напряжениями. Существует иерархия поля напряжений, которая обуславливает дальнейшую раздробленность земной коры, характеризующуюся вовлечением в этот процесс сначала более мелких структур, затем – крупных. По вертикали действие напряжений направлено снизу вверх, достигая поверхности Земли [2].



1, 2, 3, 4, 5 – узлы пересечения разломов III рангов; — разломы, ограничивающие блок земной коры III ранга; — разломы, ограничивающие блоки земной коры IV ранга

Рисунок 2.20 – Фрагмент выделения блоков земной коры III и IV рангов на территории Кузбасса:

Установленные связи полей напряжений со структурой массива горных пород определенным образом отражают особенности его блочного строения, которые связаны:

- с иерархией структуры;

- с зонами разломов;
- с особенностями рельефа местности;
- с типами взаимодействия;
- с особенностями формирования структур.

Современное поле напряжений проявляет себя по-разному:

- фиксируется в шахтах и туннелях;
- его разрядкой являются землетрясения;
- выражается в геологических структурах и рельефе.

Поля напряжений имеют иерархическую структуру, в которой выделяют глобальный, региональный, крупномасштабный и локальный уровни.

На основе проведенного анализа установлено [120, 125]:

- формирование естественного поля напряжений происходит в условиях взаимодействия сложной системы геолого-тектонических и физико-географических факторов;
- вектор напряжений зависит от размеров блока;
- закон распределения напряжений в блоке меньшего ранга близок к нормальному, поэтому действующее в нем напряжение определяется напряжениями к более крупному блоку, случайно отклоняясь от среднего значения под действием местных факторов.

Ранее определение величин главных напряжений массива горных пород и соответствующих их главных направлений являлось основной задачей геомеханики при освоении недр. Количественные характеристики напряжений определяют выбор направления, по которому ориентируют капитальные выработки. Таким образом, на стадии проектирования должен решаться вопрос о том, чтобы возникающие при проходке зон концентрации напряжений не приводили к опасным перегрузкам крепи. Так, на шахтах ОАО «Ростовуголь» отмечались особенности поведения горного массива при его отработке в разных направлениях. На шахтах Краснодонского шахтоуправления, а также шахтах «Аютинской» и «Южной» отработка пласта оказалась более благоприятной в восточном направлении, чем в западном, что под-

тверждалось снижением показателей производственного травматизма (до 40 %) и увеличением объема добычи от 5 до 18 % [10].

Изучение закономерностей распределения полей деформаций, обусловленных формированием или взаимодействием блоков земной коры при совместном воздействии природной и техногенной геодинамики, представляет интерес для ряда наук о Земле. В настоящее время оценить природу и взаимодействие блоков земной коры под воздействием геодинамических процессов позволяют геодезические и гравиметрические методы. При этом возможно определение не только изменения количественных характеристик напряжений, но и поворота осей, в направлении которых они действуют. Таким образом, обобщая вышеизложенное, соискателем предлагается принять в качестве методологической основы ГМНДСЗК фундаментальную гипотезу о действии и релаксации напряжений. А реализация указанной гипотезы позволяет расширить область применения современных геодезических и гравиметрических технологий, что не только обеспечивает получение новых знаний, но и имеет прикладную направленность, предполагающую новый подход к решению проблемы современного геомеханического обеспечения геотехнологии освоения месторождений. При этом качественно новой особенностью реализации этой гипотезы может быть непосредственная интерпретация напряжений (деформаций) отдельного блока земной коры по результатам повторных высокоточных геодезических и гравиметрических наблюдений на пунктах ГДП вместо формальной оценки их смещений, как было ранее. Таким образом, предлагается заменить традиционную модель движений новой – моделью деформаций.

На основании вышеизложенного, сделаны следующие выводы.

1 Блоки земной коры Кузбасса размером, измеряющимся в плане в пределах нескольких километров, имеют, как правило, простую форму (треугольник, трапеция и т. д.), более крупные блоки земной коры ограничиваются ломаными линиями и дугами.

2 На территории Кузбасса среди блоков земной коры III ранга доминирует полигональная форма (89 %).

3 Особенность географического положения Кузбасса, заключающаяся в его меридиональном расположении, дифференцирует выраженность блоков земной коры в рельефе; наиболее ярко в горной и предгорной частях, и менее – в равнинной.

Идентификация (установление границ на местности) блоков земной коры, заключающаяся в определении их положения на местности и в горных выработках, проводится двумя методами:

- визуально;
- инструментально.

Как показано в работе [27], визуальный метод основан на опознавании границ блоков земной коры на местности и в горных выработках по их качественным признакам. В горных выработках границами блоков земной коры служат зоны трещиноватости, смятости, несогласий залегания пород. В случае отсутствия таких признаков применяются инструментальные методы. Однако, применение инструментальных методов в вышеуказанной работе не раскрыто. В связи с этим была разработана идентификация блоков земной коры на основе применения инструментальных методов, выбор которых зависит наличия приборной и информационной базы. Геодезическим методом положение разлома на местности или в горной выработке выявляется на основе использования разбивочных элементов, которые определяются относительно ближайших пунктов геодезической основы.

Применение гравиметрического метода заключается в следующем. Перпендикулярно к оси разлома разбивается профиль с шагом S , равным 5–15 м. Выбор шага зависит от ранга разлома. В каждой точке профиля (пикете) проводятся гравиметрические наблюдения. По их результатам рассчитывают градиенты приращений силы тяжести

$$\Delta g_s = \Delta g_i / S, \quad (2.12)$$

где Δg_i – приращение ускорения свободного падения (силы тяжести) между соседними точками профиля.

Зона разлома характеризуется аномальными градиентами приращений силы тяжести, которые оценивают по выполнению условия

$$\Delta g_s \geq 3 m_i, \quad (2.13)$$

где m_i – погрешность определения Δg_s .

Положительные результаты апробации данных методов получены различными авторами на месторождениях Урала и Западной Сибири [6, 24, 99, 142, 194].

Теоретическим обоснованием детального уровня подсистемы являются результаты моделирования связи изменения во времени потенциальной энергии и ее плотности, и ранга блоков земной коры, выполненные соискателем (рисунки 2.21, 2.22).

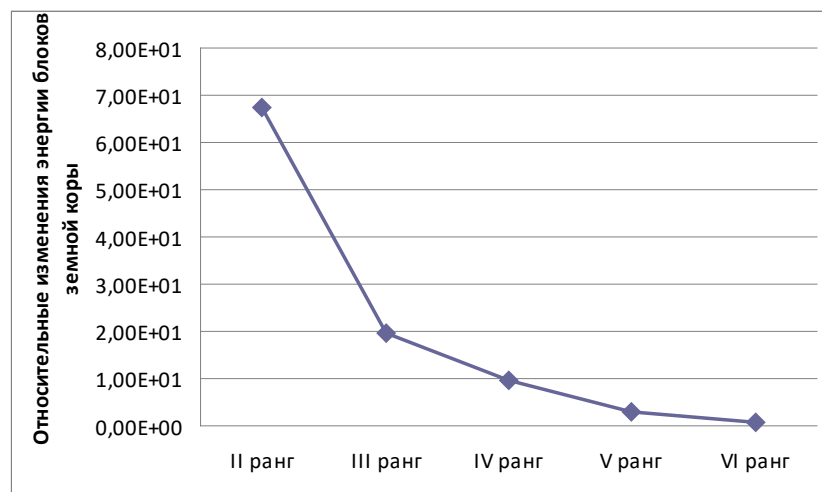


Рисунок 2.21 – Зависимость изменения во времени потенциальной энергии от ранга блоков земной коры

Результаты, приведенные на рисунках 2.21 и 2.22, свидетельствуют о том, что изменения во времени потенциальной энергии деформирования блоков земной коры Кузбасса находятся в обратной зависимости от их ранга (67 % в блоке II ранга и 1 % в блоке VI ранга), а соответствующие изменения ее плотности (64 % в блоке VI ранга и 0,5 % в блоках II и III ранга) – в прямой. Полученные зависимости ре-

гламентируют масштаб изучения динамических параметров блоков земной коры в районе освоения месторождения. Согласно полученным соискателем результатам, приведенным на рисунках 2.21 и 2.22, наиболее востребованными будут построения из двух уровней: блоков земной коры V и VI рангов.

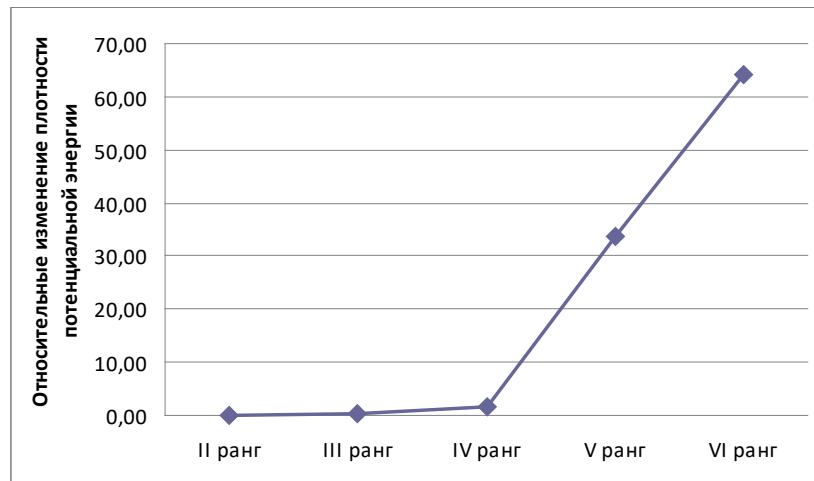


Рисунок 2.22— Зависимость изменения во времени потенциальной энергии и ее плотности от ранга блоков земной коры

2.3 Разработка новых пространственного и временного принципов для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений

Теоретическое обоснование структурной пространственной модели ячейки построений ГДП как основы многоуровневых геодезических построений и получения информации для динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений интерпретируется как пространственный принцип, который определяет пространственную систему пунктов получения информации и базируется на типовой пространственной ячейке геодезических построений ГДП блока земной коры, мобильные пункты которой имеют определенную схему как расположения, так и закрепления, и отражающую как его конфигурацию, так и глубину проникновения ограничивающих разломов. Теоретическим обоснованием струк-

турной пространственной модели ячейки построений ГДП служит предложение соискателя о формировании полноценной системы сбора информации о напряженно-деформированном состоянии структуры земной коры путем обеспечения адекватности указанных ячеек реальным блокам земной коры разных рангов, являющихся трехмерными геологическими телами и типизации геодезических построений ГДП в районах освоения угольных месторождений. «Пространственная структурная модель ячейки геодезических построений ГДП блока земной коры» – это новое понятие, предложенное соискателем. Пространственная структурная модель ячейки геодезических построений ГДП блока земной коры кардинально отличается от традиционной принципом формирования, геометрическими параметрами и закреплении пунктов (рисунок 2.23) [55, 56, 141, 180, 181, 183, 184, 186, 187, 192, 193, 194, 195, 196, 198, 205, 207, 213, 219 221, 229, 234].

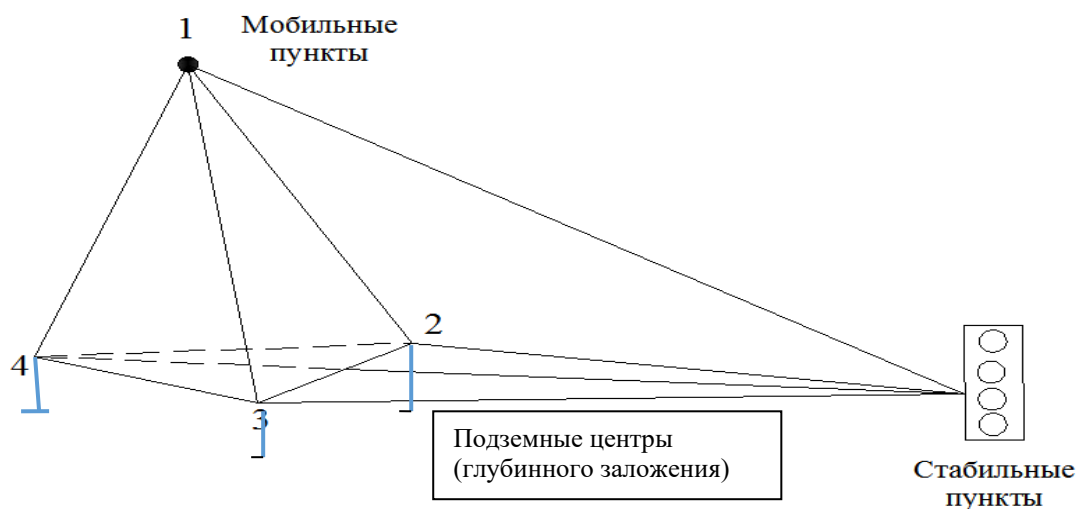


Рисунок 2.23 – Схема элементарной ячейки геодезических построений ГДП

Эти отличия обусловлены комплексным учетом признаков разломов (см. подраздел 2.2). Кардинальное отличие принципа формирования заключается в следующем. Каждый блок земной коры предлагается закреплять на местности мобильными пунктами ГДП в вершине (на господствующей высоте) и в узлах пересечения разломов, при этом простейшей фигурой, которую они образуют, будет являться

тетраэдр (см. рисунок 2.23). В этом случае число мобильных пунктов любого блока земной коры зависит от его взаимодействия, то есть на один больше, чем количество узлов пересечения разломов (таблица 2.12). Минимальное количество этих пунктов – четыре. Ранее геодезические построения обычно характеризовались плотностью пунктов. В предлагаемом подходе их количество определяется индивидуально, исходя из объекта изучения. Тетраэдр является аналогом известной плоской типовой фигуры – центральной системы. Геометрические параметры такого построения не являются конечными (жесткими), нормативно заданными, они обусловлены взаимодействием и иерархией блока земной коры.

Таким образом, пространственная структурная ячейка геодезических построений ГДП для каждого блока земной коры проектируется, исходя из особенностей его строения и выраженности в рельефе земной поверхности и геофизических полях.

Таблица 2.12 – Количество мобильных пунктов и узлов пересечения разломов блоков земной коры III ранга Кузбасса

Количество узлов пересечения разломов	3	4	6
Частота появления узлов пересечения разломов	2	15	1
Количество мобильных пунктов	4	5	7

Для отдельного блока земной коры, выраженного в рельефе местности, рекомендуется следующая схема расположения пунктов ГДП (рисунок 2.24).

Возможна и более сложная пространственная структурная ячейка геодезических построений ГДП, чем приведенные на рисунке 2.24, имеющие большее количество мобильных пунктов. Число этих пунктов зависит от взаимодействия с соседними блоками земной коры, то есть от узлов пересечения разломов. Структурно ориентированные построения ГДП блоков земной коры реализуют оценку влияния релаксации напряжений в новейший период. Предложенные построения с геодези-

ческой точки зрения более логичны и эффективны, чем поперечники и аналогичные предложения, оценивающие кинематику разломов.

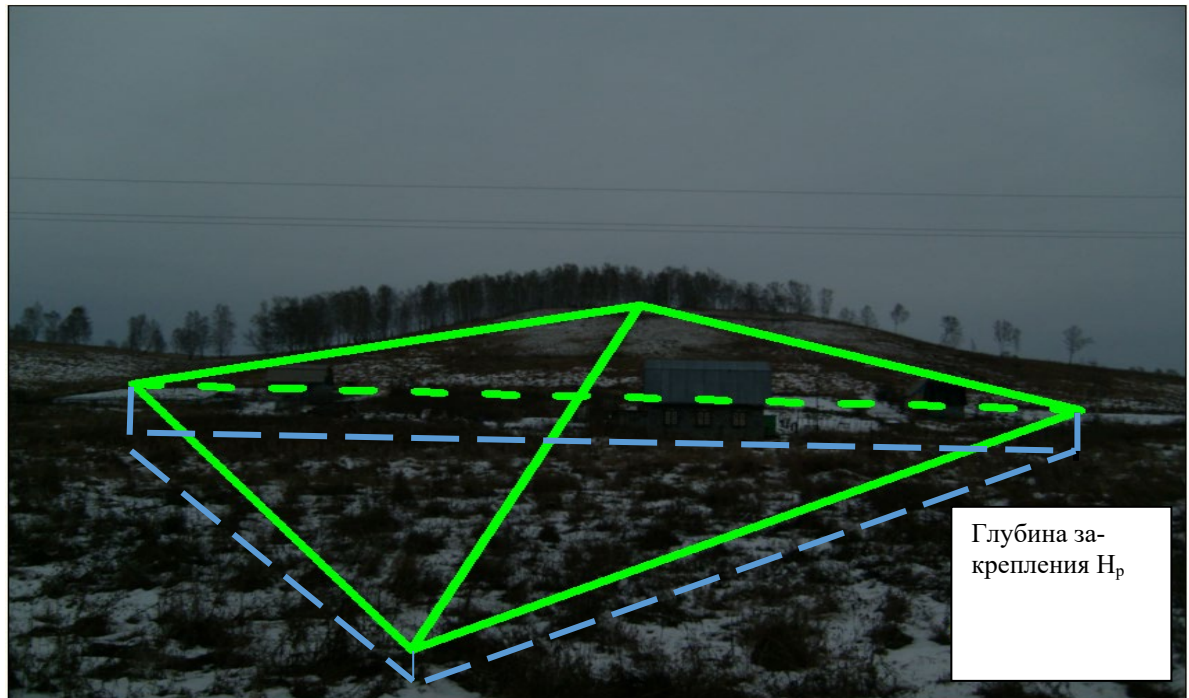


Рисунок 2.24 – Общий вид пространственной структурной ячейки геодезических построений ГДП блока земной коры на местности, состоящей из мобильных пунктов

По целевому назначению такие построения на ГДП подразделяются на две группы:

- одноуровневые;
- многоуровневые (см. раздел 3).

Для подработанного массива горных пород предлагается комбинированная схема (рисунок 2.25).

Примеры пространственных структурных ячеек геодезических построений ГДП блоков земной коры Кузбасса полигональной формы приведены на рисунке 2.26. Построения на ГДП по точности подразделяются на три группы, исходя из величин медленных скоростей деформаций земной коры, не приводящих к проявлению геодинамических явлений (таблица 2.13).

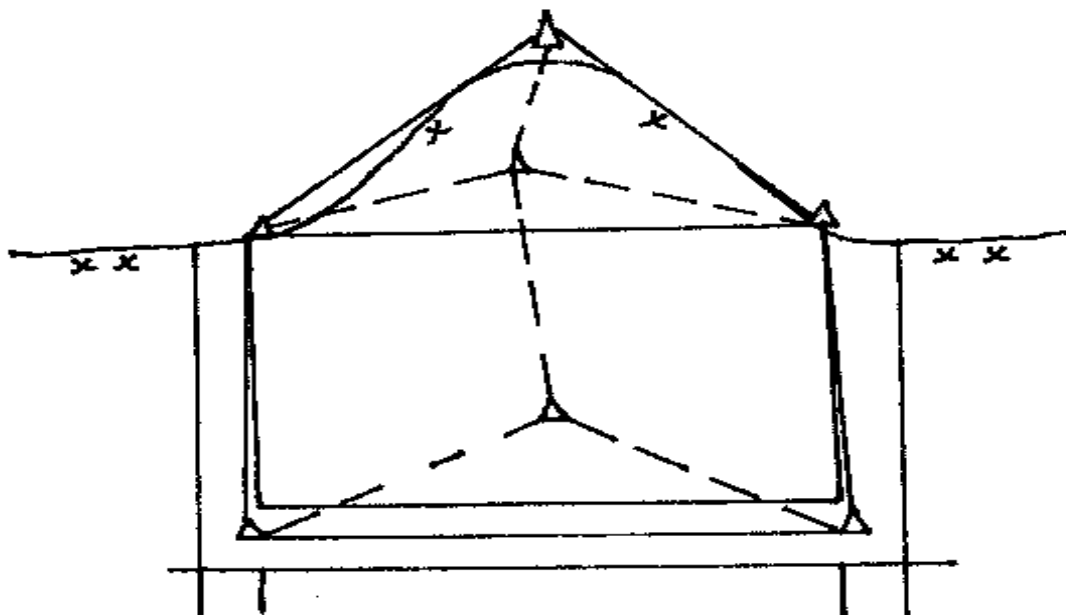


Рисунок 2.25– Схема расположения пунктов ГДП подработанного массива горных пород



Рисунок 2.26 – Схема расположения пунктов ГДП блока земной коры III ранга

Результаты, приведенные в таблице 2.13, свидетельствуют о том, что чем выше точность, тем достовернее полученные результаты и короче период исследований. На рисунках 2.27, 2.28 приведены предлагаемые построения на ГДП для блоков разных рангов.



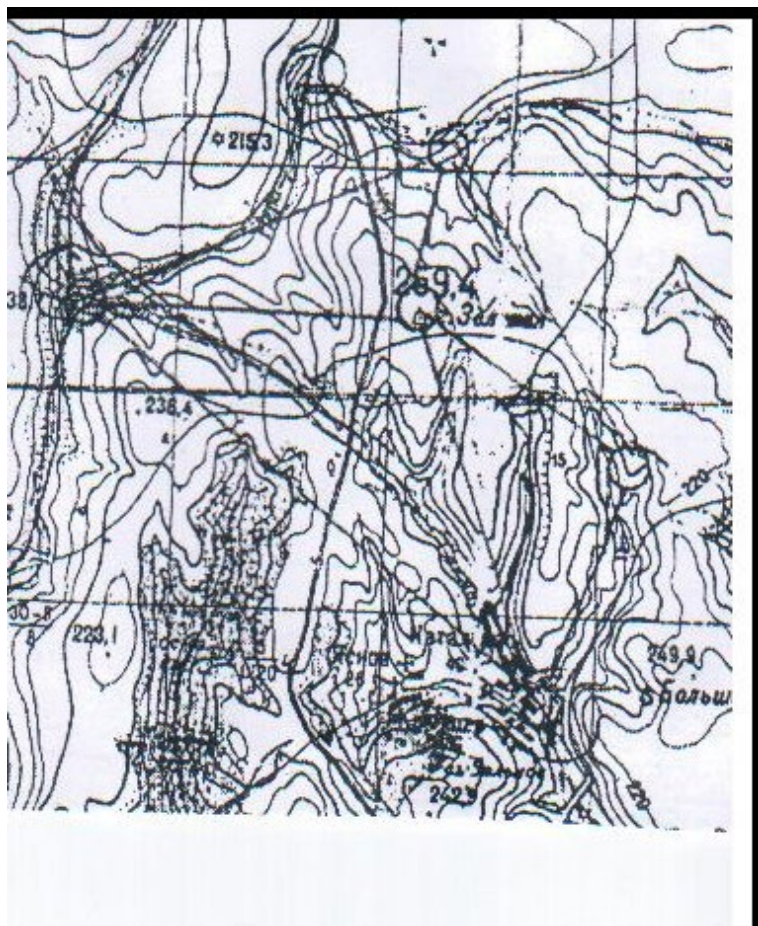


Рисунок 2.28 – Схема расположения пунктов ГДП блока земной коры VI ранга

Выполненные результаты исследований свидетельствуют о том, что пространственная структурная ячейка геодезических построений ГДП характеризуется преемственностью, заключающейся не только в обеспечении жесткости сети, но и качественными совершенствованиями. При этом жесткость предлагаемой сети базируется на аналоге типовой фигуры, имеющей значительное количество взаимосвязей. Качественные совершенствования заключаются в следующем:

- в расположении пунктов не только на господствующих высотах, но и в узлах пересечения разломов;
- в обеспечении соответствия формы сети конфигурации блока земной коры, когда углы в структурной пространственной ячейке геодезических построений ГДП могут значительно отличаться от рекомендуемых нормативными документами для 1-го и 2-го классов традиционных сетей;

- длины сторон определяются иерархией блока земной коры, а не классом сети.

Для обеспечения взаимодействия с другими системами и ее подсистемами и в рамках реализации современного подхода к обеспечению однозначности информации о выделенных блоках земной коры, основанного на использовании информационных технологий, автором предлагается следующий классификатор, который включает код региона, год и метод проведения, а также иерархию строения земной коры [188, 189]. Предлагаемый уникальный номер блока земной коры включает следующее: код региона; год проведения; метод проведения (геологический – 01; геофизический – 02; геоморфологический – 03; картографический – 04; дистанционного зондирования – 05; комплексный – 06), ранг и номер. Код региона определяет субъект Российской Федерации согласно административно-политическому делению. Ранг блока определяется принятой иерархией строения земной коры, так, при геодинамическом районировании Кузбасса применена шестиранговая система, поэтому иерархический номер будет 12-тизначным числом: 42:2018:06: 05: 00000000300.

Теоретическое обоснование частоты наблюдений и сбора информации во времени интерпретируется как временной принцип и отражает своевременность актуализации регистрируемой информации, определяемой частотой опроса T проведения повторных наблюдений, которая получена соискателем [194]

$$T \geq 3mD[t - t_0] / Ve_{ij}[t - t_0], \quad (2.14)$$

где $Ve_{ij}[t - t_0]$ – скорость деформации исследуемого блока земной коры в год;

$$mD[t - t_0] = (m^2D[t] + m^2[t_0])^{0,5};$$

$mD[t], mD[t_0]$ – средние квадратические погрешности определения компонентов изменения во времени деформации $\Delta D[t - t_0]$ в эпохи t и t_0 .

На основе результатов выполненных исследований сделаны следующие выводы:

1 Целевой, функциональный, пространственный, временной и структурно-организационный принципы теоретически обосновывают новый методологический подход для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, характеризующийся поэтапностью, типовой структурой и экономической эффективностью и позволяющий обеспечить решение задач геодинамической безопасности.

2 Предложены новые понятия: «динамические параметры блока земной коры» и «пространственная структурная модель ячейки геодезических построений ГДП блока земной коры», расширяющие современный понятийный аппарат геодезии.

3 РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГМНДСЗК В РАЙОНАХ ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ НОВЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРИНЦИПОВ

Новый методологический подход при разработке динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, как сложной иерархической системы, включающий разработку теоретических положений для реализации ее основных модулей (модули 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 5.1) предложен соискателем на новых принципах (целевом, функциональном, организационно-структурном, пространственном и временном), формирующих новый методологический подход (рисунок 3.1).

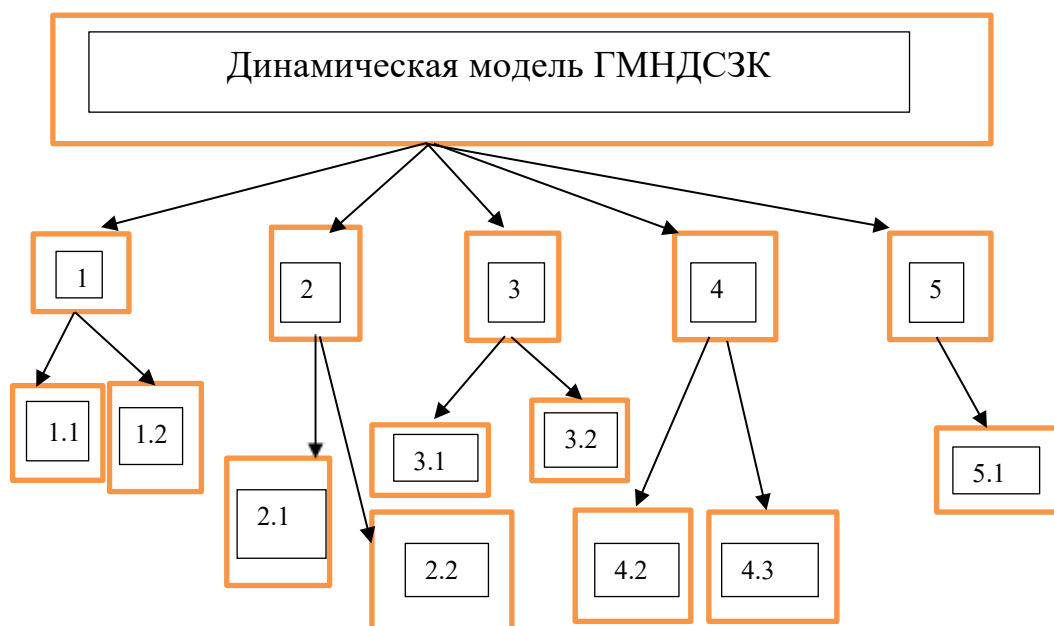


Рисунок 3.1 – Общая схема динамической модели ГМНДСЗК, построенная на новых принципах (подсистемы 1 – 5) и их реализация (модули:

- 1.1 –профилактических мер; 1.2 – задач геодинамики месторождения;
- 2.1 – цикличности; 2.2 – итерационного подхода; 3.1 – структуры; 3.2 – иерархии; 4.1– управление погрешностями выделения блоков земной коры;
- 4.2 – моделирования формы, конфигурации и ранга блоков земной коры;
- 5.1 – актуализации регистрируемой информации)

3.1 Разработка теоретических положений формирования пространственной структурной модели ячейки построений ГДП как типовой основы многоуровневых геодезических построений и получения информации для динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений

Разработка теоретических положений формирования структурной пространственной модели ячейки построений ГДП как типовой основы многоуровневых геодезических построений и получения информации для динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений (подсистема 4) включает: управление погрешностями выделения блоков земной коры с учетом релаксации геодинамических процессов (модуль 4.1) и моделирование формы, конфигурации и ранга блоков земной коры выделения блоков земной коры (модуль 4.2).

Управление погрешностями выделения блоков земной коры с учетом релаксации геодинамических процессов необходимо выполнять для проектирования ГДП в рамках разработанного автором соответствующего геоинформационного обеспечения (ГИО) [188, 189]. ГИО территорий – это новая, но достаточно изученная проблема в отечественной и зарубежной литературе [11, 15, 35, 58, 89, 98, 240]. Обширен спектр исследуемых территорий и решаемых задач [11, 15, 35, 58, 89, 98, 240, 264]. По мнению автора, следует отметить весомый вклад следующих организаций и вузов: Центрального научно-исследовательского института геодезии и картографии, Сибирского научно-исследовательского и производственного центра геоинформации и прикладной геодезии, Московского государственного университета геодезии и картографии; Московского государственного университета и Сибирского государственного университета геосистем и технологий. Указанный вклад – это не только многочисленные научные труды и руководства, но и новые технологии, уже реализованные и создающие базис цифровой экономики России [11, 15, 58, 264]. Основная проблема ГИО связана не только с созданием геодезическо-картографического обеспечения территорий, но и с информацией для нужд всех отраслей народного хозяйства. Эта часть проблемы более многогранна, полностью не

разработана и не отражена достаточно в научной литературе [11, 15, 35, 58, 89, 98, 240, 264]. Рассмотрим эти несовершенства подробнее на частном примере ГИО в районах освоения угольных месторождений, касающегося проектирования ГМНДСЗК. С одной стороны, налицо развитие геодезическо-картографического обеспечения территорий: его точности, оперативности и автоматизации приборной базы. Эти возможности широко востребованы для изучения природных и техногенных геодинамических процессов при освоении угольных месторождений, что имеет важное научное и практическое значение для прогноза катастрофических геодинамических явлений: горных ударов, внезапных выбросов, землетрясений [5, 6, 7, 180, 194]. Традиционные технологии геодезических и маркшейдерских съемок в районах освоения угольных месторождений в настоящее время ориентированы на геодезическо-картографическое обеспечение этих территорий, но такой информации недостаточно для проектирования ГМНДСЗК. До настоящего времени не разработаны требования к ГИО для проектирования ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений [5, 6, 7, 180, 194] из-за отсутствия новых математических моделей структурности и динамики исследуемого геопространства [58, 188, 189]. Целью указанной теории являются требования к координированной информации исследуемого геопространства в цифровой форме, которая является основой для проектирования геодинамического полигона для проведения мониторинга деформаций земной коры. Только таким образом полученные результаты обеспечат информационную основу для получения новых знаний о напряженно-деформированном состоянии блоков земной коры разных рангов при освоении угольных месторождений, которые позволят не только решить проблему создания указанного мониторинга, но и задачи геодинамической безопасности угольной отрасли. Изложение выше позволяет считать актуальной разработку требований к ГИО для проектирования ГМНДСЗК. Практическое использование ее результатов заключается в обеспечении создания геодезических построений локального мониторинга для оценки геодинамической опасности при освоении угольных месторождений.

Основными требованиями к ГИО для проектирования ГМНДСЗК являются [188]:

- точность;

- технологичность;
- соответствие целевому назначению;
- однозначность определения.

В первую очередь для проектирования указанного мониторинга необходимы выделение и идентификация блоков земной коры, что свидетельствует о важной роли информации о рельефе местности, полученной с помощью наземных и дистанционных методов, включая БПЛА-технологии. Известно, что современный рельеф сформировался в новейшее время, поэтому в качестве методологической основы ГМНДСЗК нельзя не учесть гипотезу о действии и релаксации напряжений [182]. Известно, что период релаксации напряжений T_r для земной коры в целом можно оценить отношением [263]

$$T_r = \eta / \mu, \quad (3.1)$$

где η – эффективная вязкость;

μ – модуль твердости.

При $\eta = 10^{24} - 10^{25}$ Па·с и $\mu = 0,3 - 0,4$ дин/см² период релаксации напряжений равен $10^5 - 10^6$ лет. Следовательно, потребуется метод для изучения характера геодинамических процессов, происходивших в районе разработки месторождения не менее одного миллиона лет назад. Таким методом является морфоструктурный анализ [5, 6]. В указанном методе взаимодействие блоков земной коры и оценка их деформаций в исследуемом районе выполняется камерально на основе цифровой картографической информации. Однако, при этом результаты оценки периода времени релаксации деформаций блоков земной коры (при их взаимодействии) в зависимости от используемого картографического материала в традиционной технологии не определены. Авторами предлагается следующая методология. Известно, что погрешность определения отметок по картографическим материалам не превышает 1/3 высоты сечения рельефа. Зная средние скорости вертикальных движений ($V = 0,1$ мм/год), оценим период T , за который изменения высот, обусловленные геодинамическими процессами, не превышают погрешности m_n определения отме-

ток. В цифровых технологиях погрешности картографической информации зависят от разрешающей способности устройств (в исследуемом случае 1 200 пикселей на дюйм). Указанную зависимость представим в следующем виде:

$$T = m_n / V. \quad (3.2)$$

При отсутствии выраженности в рельефе границ блоков земной коры, использование цифровых геофизических карт, по мнению автора, представляет значительный интерес. Для гравиметрических карт погрешности информации оцениваются по полным погрешностям интерполирования $m_{\Delta g}$. Период времени T , за который изменения силы тяжести, обусловленные геодинамическими процессами, не превышают $m_{\Delta g}$ (рисунок 3.2), равен

$$T = m_{\Delta g} / 0,3086 V. \quad (3.3)$$

На рисунке 3.2 представлены периоды времени, обусловленные геодинамическими процессами, которые соответствуют погрешностям цифровых топографических и гравиметрических карт.

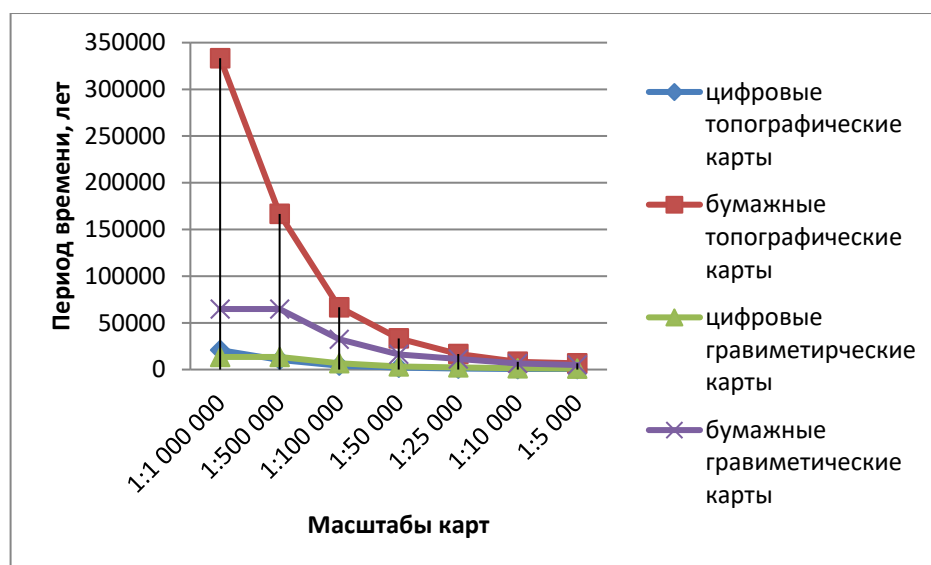


Рисунок 3.2 – Периоды времени релаксации геодинамических процессов, соответствующие погрешностям карт

Результаты, приведенные на рисунке 3.2, показывают, что информация о геодинамических процессах, отраженная в масштабном ряде карт, позволяет оценить значительные их периоды времени, ранжируя их по возрасту. Приведем для сравнения соответствующие периоды релаксации геодинамических процессов для традиционных бумажных карт (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Период времени, за который изменения силы тяжести, обусловленные геодинамическими процессами, не превышают погрешностей их определения

Масштабы гравиметрических карт	Сечение, 10^{-5} мс^{-2}	$m_{\Delta g}$ 10^{-5} мс^{-2}	Период времени T , год	
			Подвижные области $V = 0,01$ мм/год	Платформы $V = 0,001$ мм/год
1 : 1 000 000	5	2	650000	6500000
1 : 500 000	5	2	650000	6500000
1 : 200 000	2	1	320000	3200000
1 : 100 000	1	0,5	160000	1600000
1 : 50 000	0,5	0,35	110000	1100000
1 : 25 000	0,25	0,20	60000	600000
1 : 10 000	0,2	0,15	50000	500000
1 : 5 000	0,1	0,07	20000	200000

Что касается учета погрешностей этого ряда карт, то, если действие напряжений σ_0 прекратилось 1 млн лет назад, доля действующих напряжений σ_T в зависимости от исследуемого периода T_I , соответствующего этим погрешностям, равна [232] (рисунок 3.3)

$$\sigma_T = \sigma_0^{-T_I / T_r} . \quad (3.4)$$

Использование цифрового представления картографической информации более предпочтительно, так как их погрешности обеспечивают минимум релаксации

действовавших напряжений. Сравним это представление с традиционным бумажным (таблица 3.2).

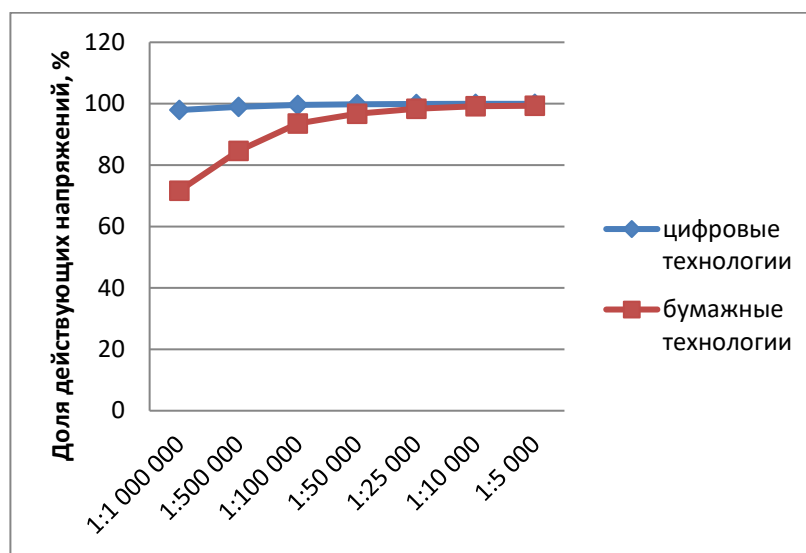


Рисунок 3.3 – Доля действующих напряжений от исследуемого периода, соответствующего погрешностям карт

Таблица 3.2 – Периоды времени, за которые изменения высот, обусловленные геодинамическими процессами, не превышают погрешностей их определения

Масштабы топографических карт	Высота сечения рельефа, м	Период времени, T (год)	
		Подвижные области $V = 0,01$ мм/год	Платформы $V = 0,001$ мм/год
1 : 1 000 000	100	3333333	33333333
1 : 500 000	50	1666667	16666667
1 : 100 000	20	666667	6666667
1 : 50 000	10	333333	3333333
1 : 25 000	5	166667	1666667
1 : 10 000	2,5	83333	833333
1 : 5 000	2	66667	666667
1:2 000	1	33333	333333

Величина скорости вертикальных движений земной коры определена на основе зависимости, полученной Николаевым Н. И. в [116] (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Зависимость средней скорости вертикальных движений земной коры от продолжительности подсчета

Период, годы	Скорость вертикальных движений земной коры, мм/год	
	Платформы	Подвижные области
$10-10^2$	1	1–10
10^3	10^{-1}	1
10^7	10^{-3}	10^{-2}

Гзовский М. В. оценивает скорости новейших движений соответственно в десятых и сотых долях мм/год [28, 29, 30], ряд авторов [120, 125] предлагают другие оценки этих величин. Исходя из оценок скоростей вертикальных движений, полученных Гзовским М. В., периоды времени T , рассчитанные автором, представлены в таблице 3.4.

Результаты, приведенные в таблицах 3.1–3.4, показывают, что масштабный ряд карт позволяет оценить значительные по времени периоды геодинамических процессов, ранжируя их по возрасту. При этом автором сделан вывод, что погрешности отдельных топографических картах, а также полные погрешности интерполирования гравиметрических карт не позволяют характеризовать геодинамические процессы значительного периода времени.

Так, если действие напряжений прекратилось 1 млн лет назад, то за 333 333 лет до исследуемого периода произошла релаксация этих напряжений на 71 %, а судя по погрешностям аномалий силы тяжести за 200 тыс. лет, не произойдет релаксации 18 % действовавших напряжений. В подвижных областях релаксация напряжений оценивается в 96 %, что дает возможность использовать ее для разработки моделей движений блоков в районе месторождения [180, 194]. Поэтому в общем требуется серия карт.

Таблица 3.4 – Период времени, за который изменения высот, обусловленные геодинамическими процессами, не превышают погрешностей их определения

Масштабы топографических карт	Высота сечения рельефа, м	Период времени, T (год)	
		Подвижные области $V = 0,1$ мм/год	Платформы $V = 0,01$ мм/год
1 : 1 000 000	100	333333	3333333
1 : 500 000	50	166667	1666667
1 : 100 000	20	66667	666667
1 : 50 000	10	33333	333333
1 : 25 000	5	16667	166667
1 : 10 000	2,5	8333	83333
1 : 5 000	2	6667	66667
1 : 2 000	1	3333	33333

Анализ рельефа на цифровых картографических материалах, включая полученные методами дистанционного зондирования, имеет большое значение, так как он является индикатором геологических структур [11, 58, 89, 129]. Индикаторами структур земной коры на этих материалах являются линеаменты, их изучению уделяется серьезное внимание для исследования геодинамических процессов. Основой использования таких геоиндикаторов как показателей геодинамических процессов является отражение механических перемещений земной коры в ландшафте. Таким образом, анализ линеаментов, выделенных по материалам дистанционных съемок, широко используется как для изучения расположения, так и для ранжирования структур земной коры [11, 58, 89, 129].

Автором применен системный подход в разработке требованиями к ГИО для проектирования и создания ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, который включает:

- применение компьютерных технологий для выделения линеаментов;

- комплексирование материалов для интерпретации блочной структуры земной коры;
- совершенствование критериев выделения блоков земной коры;
- облегчение идентификация блоков земной коры визуальным методом;
- однозначность нумерации блоков земной коры.

Компьютерные программы обработки рельефа позволяют выделять линеаменты и линеаментные зоны. Центр компьютерного инжиниринга Кемеровского государственного университета оснащен программными пакетами: PhotoScan, Pix4D, QGIS. При этом трехмерные модели рельефа дают наглядное представление об историческом соотношении его форм, а комплексные данные являются источником новой информации. По мнению автора, наиболее эффективно комплексирование с геофизическими материалами. Гравиметрическая информация позволяет достаточно уверенно выделять блоки земной коры и разделяющие их разломы [38, 54, 242, 253, 262].

Выделение блоков земной коры на основе морфоструктурного анализа картографических материалах (см. подраздел 1.3) включает определение максимальных высот водоразделов, тектонических уступов, а также равнинных участков. Для разграничения блоков земной коры используются качественные признаки элементов рельефа и гидрографии: спрямленные участки речных долин (рисунки 3. 4, 3.5), цепочки озер и болот, перевалы, подножие склонов [27, 129].

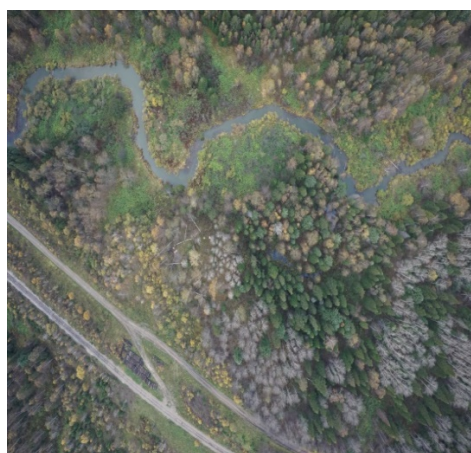


Рисунок 3.4 – Меандрирующая река как индикатор границы блоков земной коры (БПЛА Supercam 250)

Детальные материалы дистанционного зондирования (в масштабах 1 : 500–1 : 10 000), особенно полученные с помощью БПЛА-технологий, существенно облегчают этот процесс, так как ГМНДСЗК является локальным, размеры основных исследуемых блоков земной коры V и VI рангов – не более десяти километров. Для установления целевого назначения цифрового картографического обеспечения проектирования и создания ГМНДСЗК автором предложены следующие критерии:

$$T_p \Rightarrow \min ; \quad (3.5)$$

$$m_p \leq 0,05d , \quad (3.6)$$

где T_p – период релаксации геодинамических процессов;

m_p – средняя квадратическая погрешность положения оси разлома;

d – ширина разлома.



Рисунок 3.5 – Рельеф-индикатор установленных границ
на местности блоков земной коры

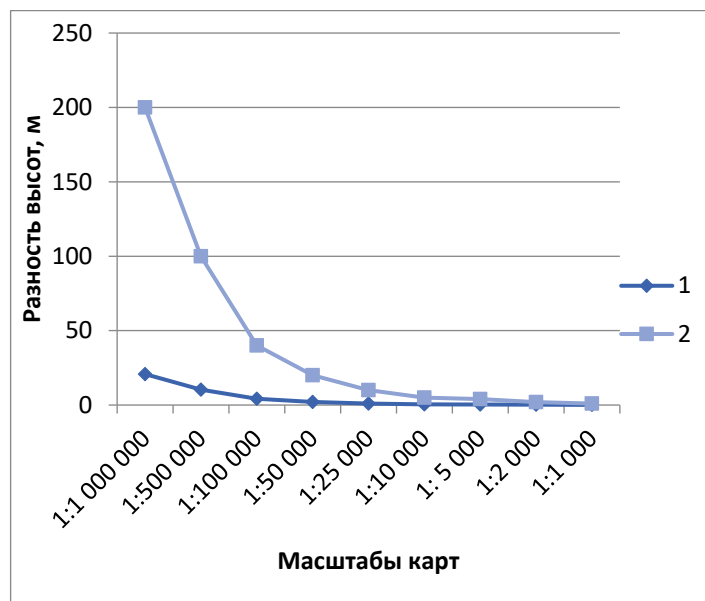
Согласно методологии геодинимического районирования, соседние участки исследуемой территории относят к разным блокам, если разность их высот превышает ΔH_0 (1.16) (ΔH_0 – принятая минимальная разность высот) [6]. Выбор H_0 неоднозначен [6, 194]. Автор предлагает предельно минимальное значение ΔH_0 принять не менее утроенной величины погрешности определения высот на картах m_h , а именно:

$$\Delta H_0 \geq 3m_h. \quad (3.7)$$

Предельно минимальное значение ΔH_0 характеризует экстремальный вариант, с позиций структурного чтения рельефа земной поверхности более оптимальным критерием (рисунок 3.6) является условие

$$\Delta H_0 \geq 2h, \quad (3.8)$$

где h – высота сечения рельефа.



1 – предельно-минимальная разность высот; 2 – оптимальная разность высот

Рисунок 3.6 – Зависимости разностей высот от масштаба карт их погрешностей

На основании выполненных исследований сделаны следующие выводы.

1 Установлено, что методологической основой проектирования ГМНДСЗК является гипотеза о действии напряжений новейшего периода, период релаксации которых равен 10^5 – 10^6 лет. Для его проектирования недостаточно цифрового геодезическо-картографического обеспечения, необходима комплексная информация о месторождении, что требует применения, прежде всего, серий топографических и гравиметрических карт.

2 Установлены зависимости периодов релаксации геодинамических процессов от точности картографической информации, полученной на основе бумажной и цифровой технологии. Показаны преимущества цифровой формы представления картографической информации и ее возможности для выбора минимального периода релаксации напряжений земной коры новейшего периода.

3 Разработанные требования к ГИО для проектирования ГМНДСЗК основываются на компьютерных технологиях, комплексировании геофизических и топографических материалов для интерпретации блочной структуры земной коры, совершенствовании критериев выделения и методов идентификации, однозначности нумерации для использования в информационных технологиях.

Теоретические основы моделирования формы, конфигурации и ранга блоков земной коры по предложению соискателя базируются на типовой пространственной структурной ячейке геодезических построений ГДП, мобильные пункты которой имеют определенную схему как расположения, так и закрепления (см. рис. 2.23 и 2.24). Опыт применения пространственных фигур в геодезических построениях очень мало освещен в технической литературе, особенно при создании техногенных ГДП. Пункты ГДП, как и в традиционной технологии, подразделяются на мобильные и стабильные. Количество стабильных пунктов рекомендуется не менее четырех. Однако их закрепление предлагается проводить в условно-стабильном блоке земной коры. Такое название блока земной коры связано с его состоянием только в новейший период. Кроме этого, предлагается осуществлять идентифика-

цию границ блоков на территории ГДП, что отсутствует в традиционной технологии их создания.

Выделение условно-стабильного блока земной коры основано на реализации фундаментальной гипотезы о действии и релаксации напряжений. При этом его выбор основывается на минимуме вертикальных движений относительно соседних, такая информация легко определима при его выделении по картографическим материалам. Условно-стабильный блок земной коры предлагается выделять из нескольких (в общем случае их число n) одного ранга на основе выполнения критерия $[vv] = \min$, (где v – разности наивысших отметок блоков земной коры) [194].

Выделение условно-стабильного блока земной коры состоит из следующих операций:

- выделение наивысших отметок блоков земной коры одного ранга на исследуемом участке;
- нахождение разности отметок между блоками земной коры v ;
- вычисление суммы квадратов разностей отметок каждого блока земной коры с остальными $[vv]$;
- выбор условно-стабильного блока земной коры на основе выполнения критерия $[vv] = \min$.

Апробация разработанной методики выполнена автором для территории Кузбасса для блоков разных рангов. В первом эксперименте условно-стабильный блок определен для блоков земной коры II ранга (таблица 3.5), разделенных глубинными разломами (рисунок 3.7).

Для блочной структуры Кузбасса, разделенной глубинными разломами, в новейший период условно-стабильным будет блок земной коры 3 (см. таблицу 2.9). Этот выбор подтверждается результатами исследований других авторов, полученными на основе геологической и сейсмической информации [98].

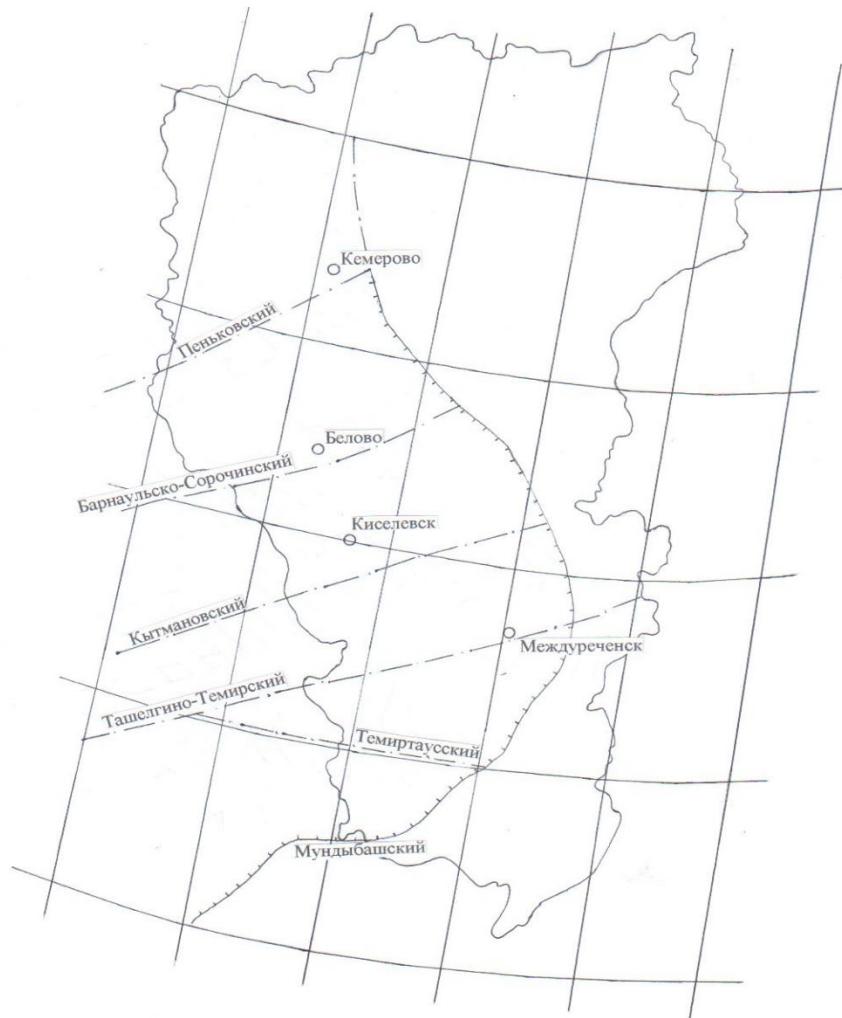


Рисунок 3.7 – Схема глубинных разломов Кемеровской области [27]

Таблица 3.5 – Оценка устойчивости блоков земной коры в новейший период

Блок земной коры	Разности превышений v , в м				$[vv]$
1	415	432	1043	1265	3046923
2	– 415	17	628	850	1289398
3	– 432	– 17	411	833	1254123
4	– 1043	– 628	– 611	233	1909843
5	– 1265	– 85	– 833	– 222	3065898

А во втором эксперименте условно-стабильный блок определен для блоков земной коры следующего III ранга (рисунок 3.8), которые являются составными частями (структурами) блоков земной коры II ранга.

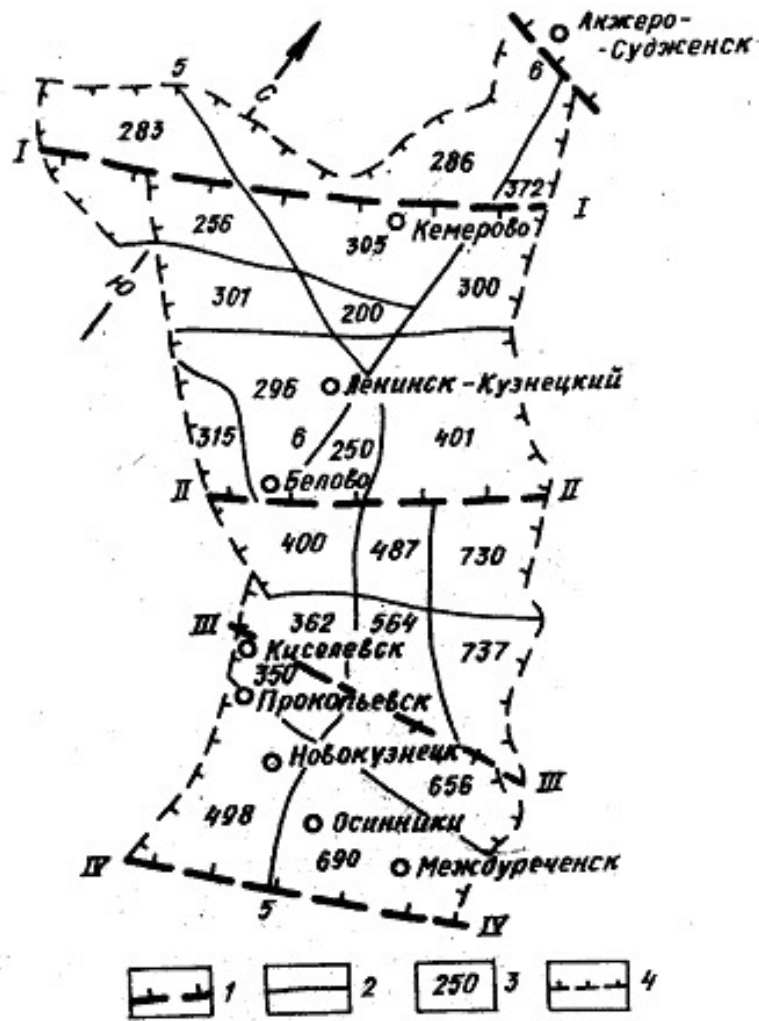
Так как оценка условно-стабильного блока земной коры выполнена для результатов геодинамического районирования Кузбасса [5, 6, 7, 142], то уместно охарактеризовать современный рельеф Кузбасса, геоморфологическая выраженность в котором была использована. Современный рельеф Кемеровской области сформировался в основном в четвертичный период кайнозоя. Он тесно связан с геологическим строением и отличается большим разнообразием. 59 % максимальных отметок блоков земной коры III ранга не превышает 400 м. Кузнецкий Алатау – нагорье, расположенное на востоке и северо-востоке области, имеет протяженность более 500 км, его площадь 37,5 тыс. км². Высота отдельных вершин Кузнецкого Алатау превышает 2 000 м. На юге Кузнецкий Алатау сливается с возвышенностями Горной Шории. Максимальная протяженность этого горного массива равна 170 км, его площадь равна 13,5 тыс. км². Центральной частью этого горного массива является Шорский хребет, который узкой полосой тянется на протяжении 100 км от реки Кондомы до реки Мрассу. Современный рельеф Горной Шории образовался в результате длительного процесса выветривания пород и постепенного поднятия всей ее территории. Салаирский кряж представляет собой слабо расчлененное плоскогорье с высотами 400–500 м, протянувшееся на 300 км с юга на юго-запад.

Кузнецкая котловина представляет собой межгорную тектоническую впадину, образовавшуюся на месте краевого прогиба и окруженную горными сооружениями – Салаиром, Кузнецким Алатау и Горной Шорией. Согласно результатам исследований, приведенным в таблице 3.6, условно-стабильным блоком земной коры является 13, который в свою очередь является структурой блока III (см. таблицу 3.5).

Выполненные результаты исследований свидетельствуют о следующем:

- методологической основой разработанной автором методики выделения условно-стабильного блока земной коры является гипотеза о действии и релаксации напряжений;
- для Кузбасса условно-стабильным блоком земной коры II ранга является блок земной коры III;

- выделение условно-стабильного блока земной коры позволяет не только закреплять стабильные пункты, но и определять амплитуды вертикальных движений блоков одного ранга как разность отметок данного блока земной коры и условно-стабильного;
- выделение условно-стабильного блока земной коры III, II ранга по предложенной методике согласуется с границей сейсмической активности (см. подраздел 1.4).



1 – разломы II ранга; 2 – разломы III ранга, выделенные на основе морфоструктурного анализа; 3 – максимальные отметки блоков; 4 – границы Кузбасса

Рисунок 3.8 – Результаты геодинамического районирования Кузбасса [26]

Таблица 3.6 – Оценка условно-стабильного блока земной коры по результатам геодинамического районирования Кузбасса

Блок земной коры	Отметки, м	Σv	Блок земной коры	Отметки, м	Σv
1	283	934 775	12	250	1 144 391
2	286	918 095	13	400	569 951
3	372	608 323	14	487	702 623
4	256	1 102 715	15	730	2 815 751
5	305	832 716	16	362	627 623
6	300	845 491	17	564	1 091 011
7	301	840 635	18	737	2 915 123
8	200	1 553 291	19	350	656 591
9	296	865 355	20	656	1 897 115
10	401	577 235	21	498	742 135
11	315	777 271	22	690	2 289 271

Кроме этого, выделение условно-стабильного блока по предложенной методике выполнено на локальном уровне для блоков земной коры V ранга (таблица 3.7), которые соответствуют по площади территории освоения отдельного месторождения (рисунок 3.9).

Таблица 3.7 – Выделение условно-стабильного блока земной коры на локальном уровне (V ранга)

Блок земной коры	Разности превышений v , в м			$[v]$
230	0	57,3	45,2	5326,3
287,3	– 57,3	0	-12,1	3429,6
275,2	– 45,2	12,1	0	2189,5

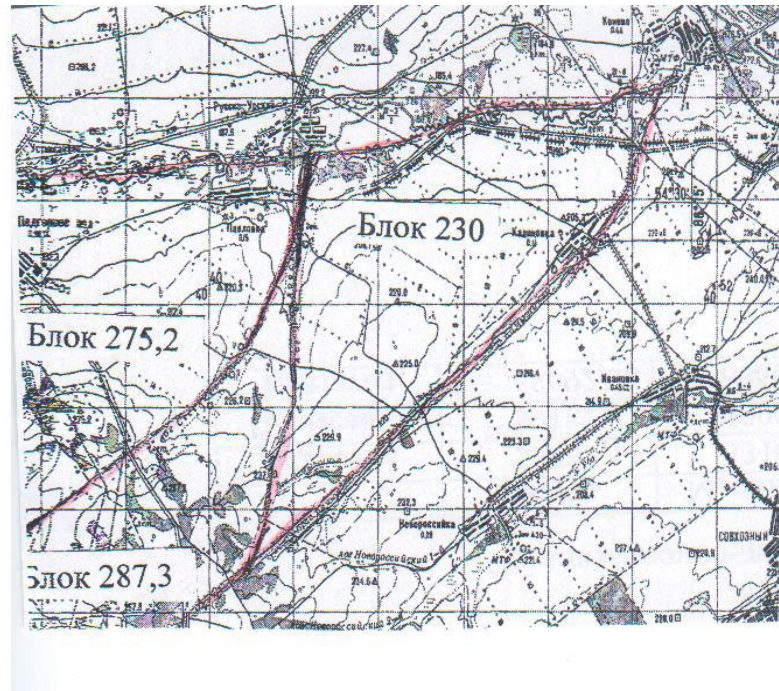


Рисунок 3.9 – Схема расположения блоков земной коры V ранга

Согласно выполненным исследованиям, условно-стабильным блоком земной коры на локальном уровне в районе г. Белово является 275,2. Эти блоки земной коры V ранга являются структурными элементами блока земной коры III ранга – 315 (см. рисунок 2.10). Апробация предложенной методики для блоков земной коры разных рангов свидетельствует о возможности оперативного определения условно-стабильного блока в камеральных условиях при использовании общедоступной картографической информации. Положительные результаты апробации данных методов подтверждаются исследованиями других авторов на месторождениях Урала и Западной Сибири [6, 13, 133, 182, 238, 239].

Теория построений ГДП из мобильных пунктов кардинально отличается от традиционной: принципом формирования, геометрическими параметрами и закреплении пунктов [12, 32, 34, 38, 49, 50, 51]. Эти отличия обусловлены комплексным учетом признаков разломов (см. подраздел 2.1). Кардинальное отличие принципа формирования заключается в следующем. Соискателем предложена структурная пространственная модель построений ГДП для каждого исследуемого блока земной коры как элементарной ячейки сети. На рисунке 3.10 приведена схема связи

мобильных пунктов блока земной коры со стабильными при традиционном подходе построений на ГДП.

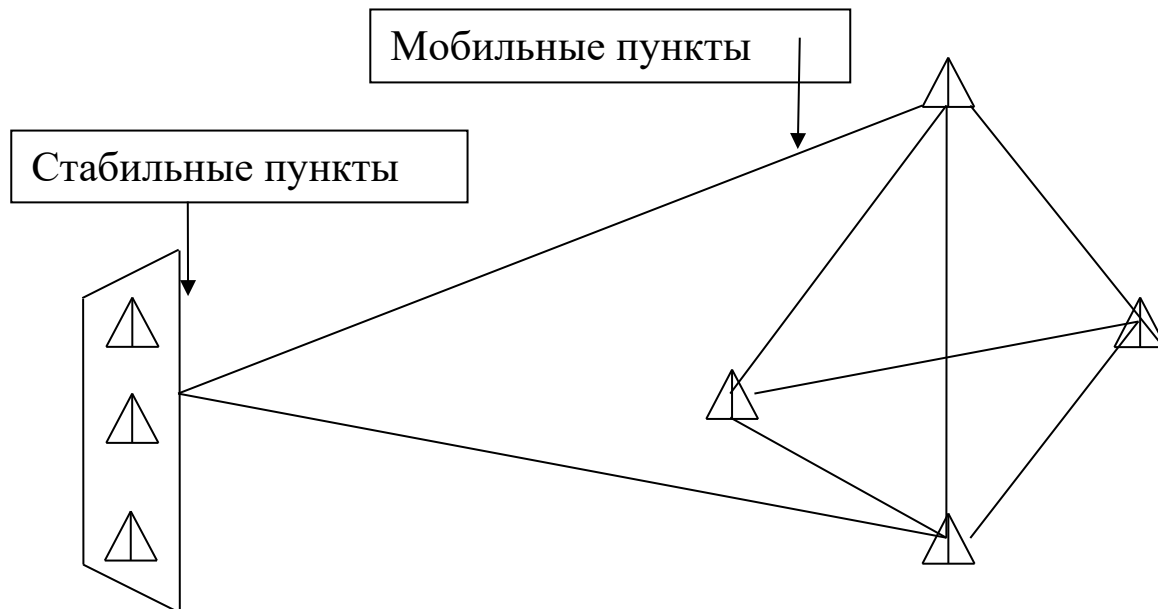


Рисунок 3.10 – Схема традиционного подхода связи мобильных пунктов блока земной коры со стабильными при проведении спутниковых и наземных геодезических наблюдений

Каждый блок земной коры предлагается закреплять на местности мобильными пунктами ГДП в вершине (на господствующей высоте) и в узлах пересечения разломов, при этом простейшей фигурой, которую они образуют, будет являться тетраэдр. Для обеспечения одинаковой точности предлагается типовая схема не только сети мобильных пунктов каждого блока земной коры, но и их связи со стабильными пунктами ГДП (рисунок 3.11). Схема связи мобильных пунктов блока земной коры со стабильными при проведении спутниковых и наземных геодезических наблюдений (см. рисунок 3.11) имеет меньшую величину ошибки (на 20 %) геометрической связи, чем при традиционном подходе (см. рисунок 3.10), основанном на минимуме наблюдений. Типовая схема связи мобильных пунктов блока земной коры со стабильными (см. рисунок 3.11) рекомендована при проведении не

только однородных спутниковых наблюдений, но и комплексных геодезических, включая гравиметрические.

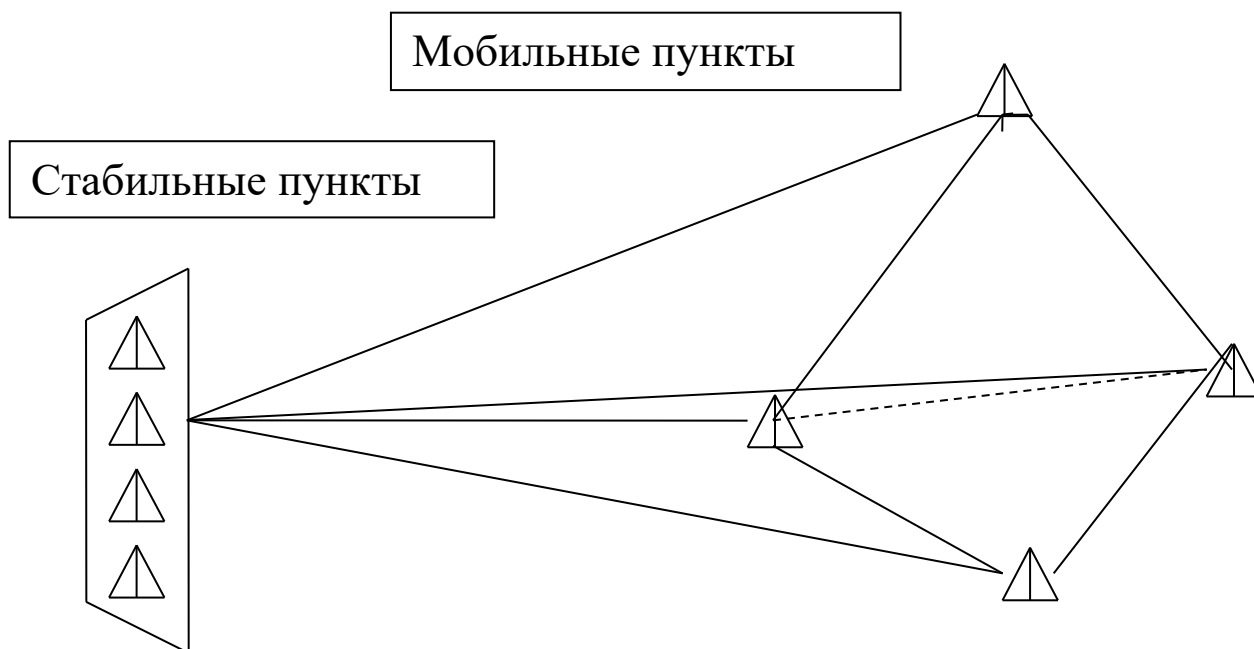


Рисунок 3.11 – Типовая схема связи мобильных пунктов блока земной коры со стабильными

Таким образом, весь комплекс повторных наблюдений выполняется на одних и тех же пунктах, что обеспечивает не только экономическую эффективность, но и упрощение процесса математической обработки.

Изложенное выше свидетельствует о следующем.

1 Обеспечение одинаковой точности мобильных пунктов каждого блока земной коры решено на основе предложенной их типовой схемы связи со стабильными.

2 Предложенная типовая схема построения ГДП является унифицированной, гибкой для реализации, в том числе поэтапной, и рекомендуется для проведения комбинированных наблюдений.

3 Жесткость типовой схемы построения ГДП обеспечивает значительное количество избыточных измерений, что характеризует надежность определения как кинематических, так и динамических параметров блоков земной коры.

4 Поэтапность построения такой сети свидетельствует об экономической эффективности предлагаемой схемы построения, способствует обеспечению минимальных затрат.

В таблице 3.8 приведены вариации геометрических параметров геодезических построений блоков земной коры V и VI ранга.

Таблица 3.8 – Вариации геометрических параметров построений ГДП

Ранг блока	Минимальный угол, градусы	Минимальная длина стороны, км	Максимальная длина стороны, км
VI	10	1,3	4,2
V	8	1,75	13,0
IV	25	7,7	16,7
III	15	18	35,0

При традиционном подходе рекомендовалось, чтобы углы треугольников по величине были близки к 60° , что определяло бы его выгоднейшую форму, отклонения от этого норматива допускались не более 20° . Максимальные и минимальные длины сторон определялись классом сети. Средние значения длин сторон структурно ориентированных построений ГДП для блоков разных рангов соответствуют нормативным требованиям для триангуляции 2, 3 и 4-го классов, однако их минимальные значения значительно меньше установленных.

Выполненные результаты исследований свидетельствуют о том, что пространственные структурно ориентированные построения ГДП характеризуются преемственностью, заключающейся не только в обеспечении жесткости сети, но и качественными совершенствованиями. При этом жесткость предлагаемой сети базируется на аналоге типовой фигуры, имеющей значительное количество взаимосвязей.

Качественные совершенствования заключаются в следующем:

- в расположении пунктов не только на господствующих высотах, но и в узлах пересечения разломов;
- в обеспечении соответствия формы сети конфигурации блока земной коры, когда углы в структурно ориентированных построениях ГДП могут значительно отличаться от рекомендуемых нормативными документами для 1-го и 2-го классов традиционных сетей;
- длины сторон определяются иерархией блока земной коры, а не классом сети.

Традиционно закрепление пунктов осуществляется на глубину 2–4 м [121]. Смещения являются результатом проявления и взаимодействия экзогенных и эндогенных процессов. Вместе с тем, закрепление пунктов на ГДП должно учитывать не только выраженность структур блоков на поверхности, но и их проникновение в земную кору (разноглубинность). Опыт подобного заложения глубинных реперов известен [21, 26, 38, 180, 194]. Учитывая его, следует особое внимание уделять адресности заложения пунктов, в том числе с использованием скважин, горных выработок, туннелей и т. д. Закрепление пунктов сети ГДП предлагается проводить кустами с подземными центрами разной глубины заложения с датчиками для регистрации температуры, что позволит иметь более конкретную информацию о количественных характеристиках движений и деформаций разных структур. Это до настоящего времени не используется в традиционных технологиях. Очевидно, что структурно ориентированные построения ГДП должны отличаться от традиционных, а также геодезических опорных сетей не только разновысотностью, но и глубиной заложения, так как должны учитывать проникновение разлома в земную кору [53, 55, 180, 194]. Глубинные подземные центры не нашли широкого применения в отечественной практике на техногенных ГДП. Поэтому соискателем предлагается закрепление проводить кустами подземных центров в зонах пересечения разломов на соответствующую глубину его проникновения, включая трубчатый

центр с датчиками температуры, закладываемый в обсадную трубу, и дублирующую систему контроля смещений земной коры на основе обратного отвеса.

В таблице 3.9 приведены компоненты изменения во времени деформации блока земной коры VI ранга 1 в районе шахты «Есаульская» в зависимости от глубины заложения пунктов ГДП в узлах пересечения разломов.

Таблица 3.9 – Компоненты изменения во времени деформации блока земной коры 1 в зависимости от глубины заложения пунктов ГДП в узлах пересечения разломов ($1 \cdot 10^{-6}$)

Величина	Глубина, м			
	2	118	318	518
$e_{11}[t-t_0]$	-16,85	-21,65	-22,75	-23,08
$e_{12}[t-t_0]$	-2,24	-0,26	0,19	0,33
$e_{13}[t-t_0]$	37,25	11,02	50,27	32,56
$e_{21}[t-t_0]$	12,99	4,72	2,83	2,27
$e_{22}[t-t_0]$	-45,81	-42,40	-41,61	-41,39
$e_{23}[t-t_0]$	64,04	18,96	86,43	55,98
$e_{31}[t-t_0]$	-0,74	-3,24	-3,81	-3,98
$e_{32}[t-t_0]$	-9,20	-8,16	-7,92	-7,85
$e_{33}[t-t_0]$	19,39	57,39	26,17	16,94

Определение компонентов изменения во времени деформации блоков земной коры 1 и 2 в районе шахты «Есаульская» выполнено с помощью ПК по программе «ВМ». Для сравнения аналогичные исследования выполнены для блока 2 (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Компоненты изменения во времени деформации блока земной коры 2 в зависимости от глубины заложения пунктов ГДП в узлах пересечения разломов ($1 \cdot 10^{-6}$)

Величина	Глубина, м			
	2	260	360	560
$e_{11}[t-t_0]$	-29,57	-29,76	-29,77	-29,78
$e_{12}[t-t_0]$	22,64	22,37	22,36	22,36
$e_{13}[t-t_0]$	140,62	184,19	138,05	91,97
$e_{21}[t-t_0]$	-23,07	-23,17	-23,18	-23,18
$e_{22}[t-t_0]$	-30,34	-30,47	-30,47	-30,43
$e_{23}[t-t_0]$	68,15	89,27	66,91	44,57
$e_{31}[t-t_0]$	1,30	1,26	1,26	1,26
$e_{32}[t-t_0]$	-10,07	-10,11	-10,10	-10,11
$e_{33}[t-t_0]$	20,32	26,62	19,96	13,25

Расхождения компонентов изменения во времени деформации блоков земной коры 2 в районе шахты «Есаульская» в зависимости от глубины заложения пунктов ГДП в узлах пересечения разломов приведены в таблице 3.11. Блоки земной коры VI ранга 1 и 2 в районе шахты «Есаульская» выделены с использованием МГРМПИ по картографическим материалам. Протяженность блоков земной коры 1 и 2 не превышает 1 400 м, а их глубина – 600 м. Шахта «Есаульская» расположена вблизи города Новокузнецка. Рельеф данной территории не является горным, поэтому перепады высот незначительные. Такая схема не только обеспечивает гибкость указанных построений, но и позволяет оценить изменения во времени деформаций (напряжений) не в какой-то плоскости, а на глубине h , характеризующей центр тяжести этого построения. Зависимость изменения деформаций блока земной коры

VI ранга от глубины заложения пунктов структурно ориентированных построений ГДП получена автором по программе «ВМ» (рисунок 3.12).

Таблица 3.11 – Расхождения компонентов изменения во времени деформации блоков земной коры 1 и 2 в зависимости от глубины заложения пунктов ГДП в узлах пересечения разломов (%)

Величина	Блок земной коры		Величина	Блок земной коры	
	1	2		1	2
$e_{11}[t-t_0]$	27,0	0,7	$e_{23}[t-t_0]$	14,4	52,9
$e_{12}[t-t_0]$	778,8	1,3	$e_{31}[t-t_0]$	81,0	3,2
$e_{13}[t-t_0]$	14,4	52,9	$e_{32}[t-t_0]$	17,2	0,4
$e_{21}[t-t_0]$	472,2	0,5	$e_{33}[t-t_0]$	14,5	53,4
$e_{22}[t-t_0]$	10,7	0,3			

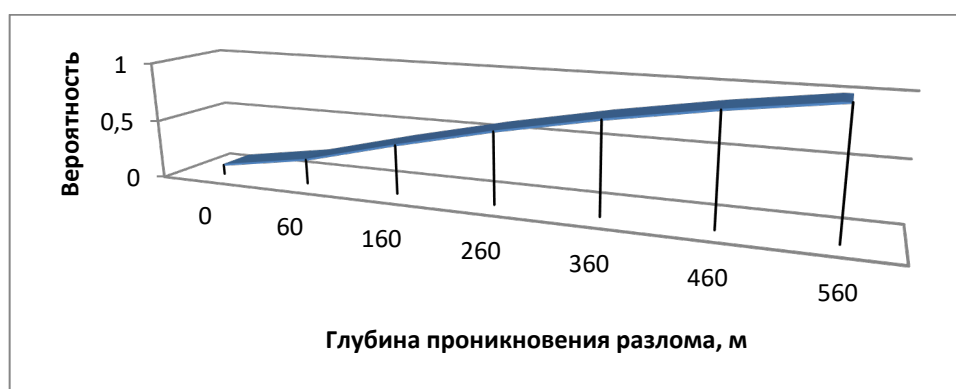


Рисунок 3.12 – Зависимость глубины закрепления пунктов построений ГДП блока земной коры VI ранга от вероятности определения изменений деформаций

На рисунке 3.12 за единицу приняты изменения во времени деформаций блока земной коры VI ранга, соответствующие глубине проникновения разлома в земную

кору, равной 560 м. Результаты, приведенные на рисунке 3.12, свидетельствуют о том, что:

- использование традиционного подхода к построению сетей на ГДП обеспечивает определение количественных характеристик для площадных морфоструктур, а не объемных, какими являются блоки земной коры;
- путем глубинного заложения пунктов структурно ориентированных построений ГДП необходимо обеспечить учет проникновения разлома в земную кору, так, например для определения изменений во времени деформации блока земной коры VI ранга с вероятностью 67 %, ее величина должна быть не менее 300 м;
- приведенные величины расхождений выражены в процентах и в большинстве случаев являются значимыми, так как согласно теории математической обработки результатов измерений пренебрегаемо малым считается расхождение в 5 %.

3.2 Разработка теоретических основ взаимообусловленной и взаимосвязанной системы постоянных наблюдений динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений

Теоретическое обоснование взаимообусловленности и взаимосвязанности системы постоянных наблюдений и оценки динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений (подсистема 2) опираются на цикличность (модуль 2.1) и итерационный подход (модуль 2.2). Началом каждого цикла являются наблюдения, теоретическая основа которых – это моделирование кинематики блоков земной коры. Регистрация развития природных и техногенных геодинамических процессов блоков земной коры на МП, образующих пространственную структурную модель ячейки геодезических построений ГДП, основана на прямо пропорциональной зависимости средних квадратических погрешностей определения координат МП от скорости изменения во времени деформаций блоков земной коры в год, не приводящих к проявлению ГДЯ (менее $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹). Она разработана соискателем на основе фундаментальной гипотезы о медленных скоростях

деформаций земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ [53, 55, 56, 60, 180, 184, 185, 186, 187, 192, 194, 195, 196, 197, 201, 203, 204, 207, 208, 209, 211, 215, 219, 220, 221, 222, 230]. Теоретическое обоснование моделирования кинематики блоков земной коры, по предложению соискателя, заключается в следующем. Для моделирования кинематики блоков земной коры и силы тяжести поля автором выполнен анализ изменений во времени напряжений на простой модели [180, 190, 191, 194, 199, 214]. Эта модель характеризует действия напряжений на участке земной коры, обусловленные геодинамическими процессами. Пусть в эпоху t_0 в блоке земной коры на глубине H в условиях стабильного его состояния действуют только гравитационные силы, по осям координат соответствующие величины напряжений $\sigma_z[t_0]$, $\sigma_x[t_0]$ и $\sigma_y[t_0]$ определяются согласно (1.14). За период $t-t_0$ в результате проявления геодинамических процессов, составляющие напряжения по осям стали равными $\sigma_z[t]$, $\sigma_x[t]$ и $\sigma_y[t]$, их величины определяются согласно (1.15).

Отсюда изменения во времени составляющих напряжения по осям равны

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_x[t-t_0] &= \Delta\sigma_x^{\text{гп}}[t-t_0] + \Delta\sigma_x^{\text{геод}}[t-t_0]; \\ \Delta\sigma_y[t-t_0] &= \Delta\sigma_y^{\text{гп}}[t-t_0] + \Delta\sigma_y^{\text{геод}}[t-t_0]; \\ \Delta\sigma_z[t-t_0] &= \Delta\sigma_z^{\text{гп}}[t-t_0] + \Delta\sigma_z^{\text{геод}}[t-t_0],\end{aligned}\tag{3.9}$$

где $\Delta\sigma_x^{\text{гп}}[t-t_0]$, $\Delta\sigma_y^{\text{гп}}[t-t_0]$, $\Delta\sigma_z^{\text{гп}}[t-t_0]$ – изменения гравитационной составляющей напряжений за период $t-t$;

$\Delta\sigma_x^{\text{геод}}[t-t_0]$, $\Delta\sigma_y^{\text{геод}}[t-t_0]$, $\Delta\sigma_z^{\text{геод}}[t-t_0]$ – изменения напряжений, обусловленные проявлением геодинамических процессов за период $t-t_0$.

Изменения гравитационной составляющей напряжений, согласно (1.14) приведут к изменению объемного веса $\Delta\gamma[t-t_0]$ блока земной коры. Поэтому можно записать

$$\Delta\sigma_z^{\text{гп}}[t-t_0] = \sum_0^H \Delta\gamma[t-t_0] h_i; \quad (3.10)$$

$$\Delta\sigma_x^{\text{гп}}[t-t_0] = \Delta\sigma_y^{\text{гп}}[t-t_0] = \nu \Delta\gamma[t-t_0] H / (1-\nu).$$

Вместе с тем изменения напряжений, обусловленные проявлением геодинамических процессов за период $t-t_0$, приведет к соответствующим изменениям деформаций блока земной коры $\Delta\varepsilon_x, \Delta\varepsilon_y, \Delta\varepsilon_z$. Тогда

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_x^{\text{геод}}[t-t_0] &= E \Delta\varepsilon_x; \\ \Delta\sigma_y^{\text{геод}}[t-t_0] &= E \Delta\varepsilon_y; \\ \Delta\sigma_z^{\text{геод}}[t-t_0] &= E \Delta\varepsilon_z, \end{aligned} \quad (3.11)$$

где E – модуль Юнга.

Таким образом, предложенная физическая модель блока земной коры основана на анализе действия напряжений.

Указанная модель показывает, что для изучения деформаций блоков земной коры в районе освоения месторождения требуется регистрация изменений во времени:

- кинематики;
- силы тяжести.

Следовательно, на ГДП необходимо проведение геодезическо-гравиметрических повторных наблюдений. Поскольку такие наблюдения носят относительный характер, рекомендуется начальный цикл наблюдений проводить до начала освое-

ния месторождения. Проведение повторных наблюдений выполняется комплексом наземных и космических средств – это минимум взаимно обусловленных высокоточных геодезических и геофизических измерений, обеспечивающих корректность приведения результатов наблюдений к одной системе координат и эпохе при высокой степени автоматизации и оперативности. Такой комплекс высокоточных повторных наблюдений на ГДП (наземных, подземных и спутниковых) обеспечивает полноту информации, которая характеризует достаточность и эффективность ее использования [180, 187, 194, 219].

Достаточность информации обеспечивается:

- для последовательного определения динамических параметров блока земной коры;
- для получения адресности определяемых параметров.

Эффективность информации заключена в минимуме комплексных наблюдений, которые обеспечивают корректность приведения к одной системе координат и эпохе при определении, анализе и прогнозе динамических параметров блоков земной коры месторождения.

Инструментальным обеспечением изучения закономерностей этих параметров являются следующие геодезические и геофизические приборы, характеризующиеся точностью:

- электронные нивелиры с автоматическим получением отсчета по рейке на основе цифровой обработки изображения, например, НА 3000 (0,3 мм/км) и ряд других [169, 182];
- высокоточный электронный тахеометр Trimble 5601 IR (угловые – 1", линейные – 1 мм +1,0 мм/км) или аналоги;
- гравиметры CG-3M, CG-5 Auto Grav (1 микрогал);
- баллистический гравиметр ГАБЛ (1 микрогал) и его полевой аналог ГАБЛ-П;
- двухчастотные геодезические спутниковые приемники концерна LEICA, фирмы «Trimble» и аналоги (5 мм+0,5 мм/км в плане, 5 мм+1,0 мм/км по высоте);

- датчики температуры.

Для установления критерия точности регистрации кинематики блоков земной коры в районе освоения конкретного месторождения предложена методика, заключающаяся в следующем.

1 Для блоков земной коры исследуемых рангов в районе освоения месторождения моделируются зависимости изменения во времени деформаций от их кинематики.

2 На основе указанных зависимостей устанавливаются скорости движения этих блоков в год, соответствующие критерию (3.12), характеризующему их геодинамическую активность.

3 С учетом (3.12) определяются соответствующие СКП m определения координат и высот на пунктах структурно ориентированной ячейке геодезических построений ГДП блоков земной коры.

4 На основе полученных величин СКП разрабатываются программы повторных наблюдений на пунктах структурно ориентированной ячейке геодезических построений ГДП.

Для реализации разработанной методики автором смоделированы зависимости изменения во времени деформаций от их кинематики для блоков земной коры Кузбасса разных рангов и установлены скорости движения (таблице 3.12).

Таблица 3.12 – Показатели точности определения координат и высот МП

Ранг блока земной коры	Скорость движения блока земной коры, мм/год	Расчетные СКП определения координат и высот, мм
II	158,0	$\pm 38,0$
III	40,0	$\pm 9,5$
IV	17,0	$\pm 4,1$
V	12, 3	$\pm 3,0$

Установление критерия точности регистрации кинематики блоков земной коры, изменений во времени силы тяжести выполнено на основе реализации гипотезы об учете медленных скоростей деформаций земной коры, не приводящих к проявлению геодинамических явлений. Согласно результатам, приведенным в таблице 3.12, установлено, что геодинамическая активность блоков земной коры разных рангов (превышение скорости деформаций $3 \cdot 10^{-6}$ в год) происходит при неодинаковых скоростях их движений. При этом в блоках низших рангов расчетные скорости в 2–3 раза ниже.

На основе анализа СКП определения координат и высот на пунктах пространственной структурной модели ячейки геодезических построений ГДП в одну эпоху наблюдений (таблица 3.12) можно сформулировать следующие рекомендации.

1 Для регистрации кинематики блоков земной коры II ранга рекомендуется методика определения координат пунктов и высот по программе фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), которая соответствует по точности (2–3 см) предъявляемым требованиям [26, 49, 53, 130, 194]. Местоположение сети мобильных пунктов определено пересечением глубинных разломов и наивысшими отметками указанных блоков (см. рисунок 2.1). Стабильные пункты закладываются в условно-стабильном блоке земной коры II ранга. Однако нормативное расстояние между пунктами ФАГС больше проектного для такого ранга.

2 Для регистрации кинематики блоков земной коры III ранга рекомендуется методика определения координат и высот пунктов с точностью, соответствующей программе высокоточной геодезической сети (ВГС) [26, 49, 53, 130, 194]

$$m_{\text{пл}} = 3 \text{ мм} + 5 \cdot 10^8 D, \quad (3.12)$$

где D – расстояние между пунктами;

$$m_H = 5 \text{ мм} + 7 \cdot 10^8 D. \quad (3.13)$$

При этом нормативное расстояние между пунктами ВГС должно быть больше рекомендуемого для данного ранга.

3 Для регистрации кинематики блоков низших рангов нет нормативно определенных программ определения координат и высот пунктов, соответствующих им по точности [121,182]. Для обеспечения регистрации кинематики блоков земной коры IV, V и VI рангов предлагается комбинированная методика, суть которой заключается в следующем.

Определение плановых координат рекомендуется выполнять согласно программе ВГС, а высот – геометрическим нивелированием, погрешность (m_h) которого оценивается по следующей формуле [49, 53, 194]

$$m_h = 0,3 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (3.14)$$

где L – расстояние между пунктами.

Такая методика позволит достичь требуемой точности (таблица 3.13)

Таблица 3.13 – Показатели точности определения координат и высот на пунктах пространственной структурной модели ячейки геодезических построений ГДП блоков земной коры низших рангов на основе комбинированного подхода

Ранг блока земной коры	СКП m определения координат и высот, мм
IV	$\pm 4,0$
V	$\pm 3,5$
VI	$\pm 3,1$

Ограниченность точности наблюдений классическими наземными методами заключается в следующем. Классические наземные методы угловых и линейных измерений в настоящее время становятся все менее востребованными ввиду низкой автоматизации процессов. При этом считается, что современная точность линей-

ных измерений в пять и более раз выше угловых [37], поэтому их использование предпочтительнее. Значения СКП угловых и линейных измерений, необходимых для выявления медленных скоростей деформаций земной коры, не приводящих к проявлению геодинамических явлений, классическими наземными методами приведены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Показатели точности угловых и линейных измерений, необходимых для выявления медленных скоростей деформаций земной коры $1 \cdot 10^{-6}$

Период времени, в годах	Погрешности угловых наблюдений, с	Погрешности линейных измерений, мм
1	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$

Результаты исследований, приведенные в таблице 3.14, свидетельствуют о том, что в настоящее время рекомендуемая точность линейных измерений при их проведении наземными классическими методами достижима, а угловых – нет ($0,3''$), что требует совершенствования геодезического приборостроения.

Обобщая изложенное выше, соискателем предлагается предрасчет точности определения координат и высот на пунктах пространственной структурной модели ячейки геодезических построений ГДП в одну эпоху наблюдений выполнять на основе следующей зависимости:

$$m = 6^{4-R} + 3, \quad (3.15)$$

где R – ранг блока земной коры; m , в мм.

Высокоточные повторные гравиметрические наблюдения дают возможность получить изменения во времени силы тяжести, обусловленные перераспределением плотности масс при активизации геодинамических процессов.

Изменения приращения силы $\delta\Delta g[t-t_0]$ регистрируются при изменении плотности блока земной коры, обусловленной геодинамическими процессами. Величину указанных изменений можно оценить, представляя блок земной коры в виде шара [194]

$$\delta\Delta g[t-t_0] = f\Delta\rho[t-t_0] V/h^2, \quad (3.16)$$

где f – гравитационная постоянная;

$\Delta\rho[t-t_0]$ – изменение плотности;

V – объем блок земной коры;

h – глубина залегания.

Точность гравиметрических наблюдений одной эпохи $m\delta\Delta g[t]$, необходимая для определения $\delta\Delta g[t-t_0]$, характеризуется СКП, составляющей [182, 187]

$$m\delta\Delta g[t] \leq \delta\Delta g[t-t_0]/4,2. \quad (3.17)$$

При определении точности гравиметрических наблюдений по формуле (3.17) учтем результаты исследований Магницкого В. А. [104, 105], согласно которым медленные скорости деформаций земной коры менее $1 \cdot 10^{-6}$ в год не могут приводить к существенным ее деформациям и проявлению других геодинамических явлений. Изменение плотности масс блока земной коры, обусловленное такими скоростями деформаций, равно

$$\Delta\rho[t-t_0] = 1 \cdot 10^{-6} \rho[t_0]. \quad (3.18)$$

где $\rho[t_0]$ – плотность массива пород на эпоху t_0 .

Полученные изменения плотности (3.18) позволяют оценить точность гравиметрических наблюдений, необходимую для выявления изменений силы тяжести, характеризующих перераспределение плотности масс, не приводящих к суще-

ственным деформациям земной коры. При размерах блока земной коры $1\,200 \times 600 \times 300$ м, его плотности $\rho[t_0] = 2\,540$ кг/м³ и глубине залегания 20 м точность гравиметрических наблюдений одной эпохи характеризуется СКП, равной 2,2 микрогала. Выполненная оценка свидетельствует о том, что влияние геодинамических процессов на изменение плотности блока земной коры, характеризующее проявление его деформации со скоростью, равной $1 \cdot 10^{-6}$ в год, может быть выявлено при современной точности гравиметрических наблюдений. Критерии (3.17) и (3.18) характеризуют чувствительность учета кинематики блоков земной коры и соответствующих изменений гравитационного поля при изучении изменений во времени деформаций блоков земной коры месторождения, не приводящих к проявлению геодинамических явлений.

Итерационный подход для оптимизации профилактических мер основан на моделировании динамических параметров блоков земной коры и заключается в следующем. Каждый блок земной коры независимо от размеров принимается за конечный элемент, так как он перемещается как единое целое, изменяя объем и форму. Распределение деформаций внутри блока считается однородным. Исследуемые деформации блоков земной коры рассматриваются как изменения конфигурации и сплошности, которые представляют собой однозначные геометрические преобразования, в которых координаты, полученные в эпоху t , являются функциями координат, отнесенных к начальной эпохе t_0 . Такой подход характеризуется аппроксимацией непрерывной функции дискретной моделью, которая представляет собой множество значений в некотором конечном числе точек области ее определения в совокупности с кусочным представлением этой функции на конечном числе подобластей [42, 43, 53, 180, 194], в рассматриваемом случае – блоков земной коры. Применение этого подхода позволило перейти от дифференциальных уравнений в частных производных (2.5) к системе алгебраических уравнений. Такой переход характерен при исследовании конечных деформаций физически нелинейных анизотропных тел любой геометрической формы, каким является блочный массив горных пород в районе освоения месторождения. Считая перемещения пунктов $u[t-t_0]$, $v[t-t_0]$, $w[t-t_0]$, заложенных в блоке земной коры, равными изменениям их координат $\Delta X[t-t_0]$,

$\Delta Y[t-t_0]$, $\Delta H[t-t_0]$, получим линейные функции их зависимости от деформаций. Такие зависимости согласно (2.5) имеют следующий вид [42, 180, 194]:

$$\begin{aligned}\Delta X[t-t_0] &= e_{11}[t-t_0]x + e_{12}[t-t_0]y + e_{13}[t-t_0]z + a; \\ \Delta Y[t-t_0] &= e_{21}[t-t_0]x + e_{22}[t-t_0]y + e_{23}[t-t_0]z + b; \\ \Delta H[t-t_0] &= e_{31}[t-t_0]x + e_{32}[t-t_0]y + e_{33}[t-t_0]z + c.\end{aligned}\tag{3.19}$$

Выбор математического аппарата основывается на результатах исследований института геологии и геофизики Сибирского отделения Академии наук (Есиков Н. П. и другие [42, 43]). Для нахождения 12 неизвестных в (3.19) составляется система из 12 нормальных уравнений (от $n = 4$). Эти уравнения представляют собой линейную зависимость между радиусом-вектором пунктов, заложенных в блоке земной коры, и соответствующим радиусом-вектором их смещений

$$\begin{aligned}\sum x^2 e_{11}[t-t_0] + \sum xy e_{12}[t-t_0] + \sum xz e_{13}[t-t_0] + \sum x a + \sum x \Delta X_1[t-t_0] &= 0; \\ \sum xy e_{21}[t-t_0] + \sum y^2 e_{22}[t-t_0] + \sum yz e_{23}[t-t_0] + \sum y b + \sum y \Delta Y_1[t-t_0] &= 0; \\ \sum xz e_{31}[t-t_0] + \sum yz e_{32}[t-t_0] + \sum z^2 e_{33}[t-t_0] + \sum z c + \sum z \Delta H_1[t-t_0] &= 0; \\ \sum x^2 e_{11}[t-t_0] + \sum xy e_{12}[t-t_0] + \sum xz e_{13}[t-t_0] + \sum x a + \sum x \Delta X_2[t-t_0] &= 0; \\ \sum xy e_{21}[t-t_0] + \sum y^2 e_{22}[t-t_0] + \sum yz e_{23}[t-t_0] + \sum y b + \sum y \Delta Y_2[t-t_0] &= 0; \\ \sum xz e_{31}[t-t_0] + \sum yz e_{32}[t-t_0] + \sum z^2 e_{33}[t-t_0] + \sum z c + \sum z \Delta H_2[t-t_0] &= 0; \\ \sum x^2 e_{11}[t-t_0] + \sum xy e_{12}[t-t_0] + \sum xz e_{13}[t-t_0] + \sum x a + \sum x \Delta X_3[t-t_0] &= 0; \\ \sum xy e_{21}[t-t_0] + \sum y^2 e_{22}[t-t_0] + \sum yz e_{23}[t-t_0] + \sum y b + \sum y \Delta Y_3[t-t_0] &= 0; \\ \sum xz e_{31}[t-t_0] + \sum yz e_{32}[t-t_0] + \sum z^2 e_{33}[t-t_0] + \sum z c + \sum z \Delta H_3[t-t_0] &= 0; \\ \sum x^2 e_{11}[t-t_0] + \sum xy e_{12}[t-t_0] + \sum xz e_{13}[t-t_0] + \sum x a + \sum x \Delta X_4[t-t_0] &= 0; \\ \sum xy e_{21}[t-t_0] + \sum y^2 e_{22}[t-t_0] + \sum yz e_{23}[t-t_0] + \sum y b + \sum y \Delta Y_4[t-t_0] &= 0; \\ \sum xz e_{31}[t-t_0] + \sum yz e_{32}[t-t_0] + \sum z^2 e_{33}[t-t_0] + \sum z c + \sum z \Delta H_4[t-t_0] &= 0.\end{aligned}\tag{3.20}$$

Коэффициенты $e_{ij}[t-t_0]$ будут компонентами тензора 2-го ранга. Полученные компоненты тензора 2-го ранга будут отнесены к центру тяжести пространственной геометрической фигуры, составленной этими пунктами.

В матричном виде уравнение (3.20) имеет вид [194]

$$R[t_0]D[t-t_0] = -\Delta R[t-t_0], \quad (3.21)$$

где $D[t-t_0]$ – компоненты тензора 2-го ранга;

$[e_{ij}[t-t_0]]$; $R[t_0]$ – координаты пунктов ($X[t_0]$, $Y[t_0]$, $H[t_0]$);

$\Delta R[t-t_0]$ – изменение координат во времени за период $t-t_0$.

В общем виде решение системы линейных уравнений (3.21) по методу наименьших квадратов выражается в виде:

$$D[t-t_0] = -R[t_0]^{-1} \Delta R[t-t_0], \quad (3.22)$$

где $R[t_0]^{-1}$ – обратная матрица $R[t_0]$.

Представление (3.22) в матричном виде ориентирует на его решение с помощью ПК и обеспечивает применение встроенных программ (Microsoft Excel и др.).

Полученные 9 величин $e_{ij}[t-t_0]$ при решении системы уравнений (3.22) являются компонентами несимметричного тензора второго ранга. После симметрирования и альтернирования из него выделяются две части: симметричная $(0,5(e_{ij}[t-t_0] + e_{ji}[t-t_0]))$ и кососимметричная $(0,5(e_{ij}[t-t_0] - e_{ji}[t-t_0]))$, которые согласно принципу Коши – Гельмгольца характеризуют чистую деформацию блока земной коры и вращение его как абсолютно твердого тела за период $t-t_0$.

Для нахождения главных значений деформаций $\varepsilon_1[t-t_0]$, $\varepsilon_2[t-t_0]$, $\varepsilon_3[t-t_0]$ выражение матрицы-вектора (3.22) представим в следующем виде:

$$(D[t-t_0]-D_0)X[t_0]=0, \quad (3.23)$$

где $D_0 = \lambda EM$;

λ – собственное (главное) значение;

EM – единичная диагональная матрица.

Чтобы система (3.23) имела ненулевые решения необходимо и достаточно, чтобы определитель Δ системы был равен нулю, то есть решение уравнения (3.23) сводится к решению характеристического уравнения

$$\Delta (D[t-t_0]-D_0)=0. \quad (3.24)$$

Если корни кубического уравнения не равны, то получаем единственную систему главных значений деформаций $\varepsilon_1[t-t_0]$, $\varepsilon_2[t-t_0]$, $\varepsilon_3[t-t_0]$, состоящую из трех ортогональных направлений. В случае равенства корней тензор деформаций будет шаровой. В случае неравенства двух первых корней и равенства второго и третьего два главных направления будут определяться двумя взаимно ортогональными направлениями, перпендикулярными первому.

Компоненты изменения во времени угловых деформаций $\Delta\gamma_{xy}[t-t_0]$, $\Delta\gamma_{yz}[t-t_0]$ и $\Delta\gamma_{zx}[t-t_0]$, характеризующие искажения прямых углов между направлениями, параллельными соответствующим осям координат, равны [36]

$$\begin{aligned} \Delta\gamma_{xy}[t-t_0] &= 0,5(\varepsilon_{12}[t-t_0] + \varepsilon_{21}[t-t_0]); \\ \Delta\gamma_{yz}[t-t_0] &= 0,5(\varepsilon_{23}[t-t_0] + \varepsilon_{32}[t-t_0]); \\ \Delta\gamma_{zx}[t-t_0] &= 0,5(\varepsilon_{13}[t-t_0] + \varepsilon_{31}[t-t_0]). \end{aligned} \quad (3.25)$$

Относительное изменение во времени объема $\theta[t-t_0]$ (дилатация) блока земной коры равно

$$\theta[t-t_0] = e_{11}[t-t_0] + e_{22}[t-t_0] + e_{33}[t-t_0]. \quad (3.26)$$

Дилатация блока земной коры (3.27) позволяет оценить тип геодинамической ситуации. Компоненты кососимметричного тензора совпадают с компонентами изменений во времени вращения блока $\omega_{ij}[t-t_0]$ как абсолютно твердого тела по осям координат

$$\begin{aligned} \Delta\omega_{xy}[t-t_0] &= 0,5(e_{21}[t-t_0] - e_{12}[t-t_0]); \\ \Delta\omega_{yz}[t-t_0] &= 0,5(e_{32}[t-t_0] - e_{23}[t-t_0]); \\ \Delta\omega_{zx}[t-t_0] &= 0,5(e_{31}[t-t_0] - e_{13}[t-t_0]). \end{aligned} \quad (3.27)$$

Соответствующие величины изменений во времени напряжений вычисляются по известным значениям модулей упругости и коэффициента Пуассона, величины которых определяют в соответствии с рекомендациями ВНИМИ. Связь между изменениями во времени напряжений $\Delta\sigma_{ij}[t-t_0]$ и изменениями во времени деформаций $\Delta e_{ij}[t-t_0]$ согласно обобщенному закону Гука выражается в виде следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{11}[t-t_0] &= 2G(e_{11}[t-t_0] + \theta[t-t_0] \nu / (1 - 2\nu)); \\ \Delta\sigma_{22}[t-t_0] &= 2G(e_{22}[t-t_0] + \theta[t-t_0] \nu / (1 - 2\nu)); \\ \Delta\sigma_{33}[t-t_0] &= 2G(e_{33}[t-t_0] + \theta[t-t_0] \nu / (1 - 2\nu)), \end{aligned} \quad (3.28)$$

где G – модуль сдвига;

ν – коэффициент Пуассона.

Вместе с тем, связь для изменений во времени касательных напряжений $\Delta\tau_{ij}[t-t_0]$ и изменений во времени деформацией сдвига $\Delta\gamma_{ij}[t-t_0]$ определяется как

$$\Delta\tau_{ij}[t-t_0]=G\Delta\gamma_{ij}[t-t_0]. \quad (3.29)$$

Следовательно, аппроксимируя блок земной коры пространственной структурно ориентированной моделью в виде системы n пунктов и регистрируя изменения их координат, можно оценить изменения во времени деформаций участка земной коры, а затем их скорости и напряжения. Комплексные повторные высокоточные наблюдения на ГДП дают возможность получить динамические параметры блока земной коры в районе месторождения. Контроль ориентирования главных напряжений определяется по соответствующим изменениям углов относительно принятой прямоугольной системы координат $\Delta\varphi_{oxi}[t-t_0]$, $\Delta\varphi_{oyi}[t-t_0]$, $\Delta\varphi_{ozi}[t-t_0]$:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{oxi}[t-t_0] &= \arccos(A_{oxi}/[A_i]); \\ \Delta\varphi_{oyi}[t-t_0] &= \arccos(A_{oyi}/[A_i]); \\ \Delta\varphi_{ozi}[t-t_0] &= \arccos(A_{ozi}/[A_i]), \end{aligned} \quad (3.30)$$

где A_{oxi} , A_{oyi} , A_{ozi} – компоненты векторов, определяющие главные направления тензора деформации за период $t - t_0$;

$$[A_i] = (A_{oxi}^2 + A_{oyi}^2 + A_{ozi}^2)^{0,5};$$

i – направление оси координат.

Величины A_{oxi} , A_{oyi} , A_{ozi} находятся из решения следующих уравнений:

$$\begin{aligned} (e_{11}[t-t_0] - \lambda_i)A_{oxi} + e_{12}[t-t_0]A_{oyi} + e_{13}[t-t_0]A_{ozi} &= 0; \\ e_{21}[t-t_0]A_{oxi} + (e_{22}[t-t_0] - \lambda_i)A_{oyi} + e_{23}[t-t_0]A_{ozi} &= 0; \\ e_{31}[t-t_0]A_{oxi} + e_{32}[t-t_0]A_{oyi} + (e_{33}[t-t_0] - \lambda_i)A_{ozi} &= 0, \end{aligned} \quad (3.31)$$

где λ_i – корни характеристического уравнения (3.31).

Изменения энергетического состояния блоков земной коры во времени связаны с проявлением катастрофических геодинамических явлений — горных ударов и землетрясений. Специалисты по горным ударам обычно сравнивают состояние массива пород до и после потери устойчивости, что позволяет им выработать профилактические мероприятия. Для этого оценивается баланс энергии [109, 110]:

$$E_{\Gamma} + E_{\text{м}} + E_{\text{п}} = E_{\text{р}} + E_{\text{к}} + E_{\text{с}} + E_{\text{в}} + E_{\text{б}}, \quad (3.32)$$

где E_{Γ} — энергия газов;

$E_{\text{м}}$ — энергия упругих деформаций разрушаемого материала;

$E_{\text{п}}$ — приток энергии из вмещающих пород;

$E_{\text{р}}$ — энергия разрушения;

$E_{\text{к}}$ — кинетическая энергия;

$E_{\text{б}}$ — энергия, поглощенная боковыми породами;

$E_{\text{с}}$ — энергия сейсмических колебаний;

$E_{\text{в}}$ — энергия на образование ударной воздушной волны.

При проявлении динамических явлений в соответствии с законом сохранения энергии происходит ее изменение в массиве горных пород. Следовательно, для оценки степени подготовки динамического явления требуется изучение изменения энергии во времени. А изменение во времени напряжений структур земной коры и других оболочек характеризует динамику во времени их энергетического состояния. Представим изменения во времени энергетического состояния блока земной коры $dE[t]$ в виде полного дифференциала

$$dE[t] = dE_{\text{р}}[t] + dE_{\text{к}}[t] + dE_{\text{г}}[t], \quad (3.33)$$

где $dE_{\text{р}}[t]$ — изменение во времени потенциальной энергии; $dE_{\text{к}}[t]$ — изменение во времени кинетической энергии; $dE_{\text{г}}[t]$ — изменение во времени гравитационного потенциала.

Если скорость, характеризующая движение участка земной коры, равна нулю, то согласно [22]

$$dE_P[t] = dE_K[t] \quad (3.34)$$

или

$$dP[t]/dh = \gamma[t], \quad (3.35)$$

где $\gamma[t] = \gamma[t_0] + \Delta\gamma[t-t_0]$ – объемный вес блока земной коры на эпоху t .

Вместе с тем изменение объемного веса $\Delta\gamma[t-t_0]$ во времени равно

$$\Delta\gamma[t-t_0] = \Delta\rho[t-t_0]g + \Delta g[t-t_0]\rho[t_0], \quad (3.36)$$

где $\Delta\rho[t-t_0]$ – изменение плотности во времени;

$\Delta g[t-t_0]$ – изменение силы тяжести во времени.

Следовательно, зона стабильного энергетического состояния характеризуется изменением давления на эпоху t пропорционально весу вышележащих пород, а в зоне аномального энергетического состояния эта зависимость не выполняется. Если объем блока земной коры в эпоху t равен $V[t]$, а его перемещение по высоте оценивается в $dh[t-t_0]$, то изменение его потенциальной энергии $dE_g[t-t_0]$, обусловленное изменением гравитационного поля, равно

$$dE_g[t-t_0] = \gamma[t] V[t] g[t] dh[t-t_0]. \quad (3.37)$$

Изменение потенциальной энергии блока земной коры $dE_P[t-t_0]$, обусловленное изменением давления $dp[t-t_0]$, равно

$$dE_P[t-t_0] = V[t] dp[t-t_0]. \quad (3.38)$$

Изменение кинетической энергии $dE_K [t-t_0]$ можно оценить по известной скорости его движения $v[t]$

$$dE_K [t-t_0] = 0,5\gamma[t] V[t] g [t]v^2[t]. \quad (3.49)$$

Изменение во времени энергетического состояния блока земной коры $dE[t-t_0]$ за период $[t-t_0]$ определяется потенциальной энергией деформации, которая рассчитывается по полученным компонентам тензора изменений во времени напряжений $\sigma_{ij} [t-t_0]$ и изменений во времени деформаций $\epsilon_{ij} [t-t_0]$ (3.22) и (3.28). Таким образом, изменение во времени энергетического состояния $dE[t-t_0]$ блока земной коры объемом V за период $[t-t_0]$ будет равно

$$dE[t-t_0] = 0,5\sigma_{ij} [t-t_0] \epsilon_{ij} [t-t_0] V. \quad (3.40)$$

Интегрируя (3.40), получим [182]:

$$dE[t-t_0] = [1/E \sum (\sigma_{ii} [t-t_0])^2 + 1/G \sum (\tau_{ij} [t-t_0])^2] V. \quad (3.41)$$

Функциональная зависимость энергии $E_i [t]$ блока I блока земной коры от его кинематических параметров $T_i [t-t_0]$, $D_i [t-t_0]$ и $\Pi_i [t-t_0]$, имеет вид [194]:

$$E_i [t] = -\varphi (E) E_i [t_0] + \beta_1 (E) T_i [t-t_0] + \beta_2 (E) D_i [t-t_0] + \beta_3 (E) \Pi_i [t-t_0]. \quad (3.42)$$

Таким образом, установлены динамические параметры блоков земной коры по кинематике пунктов пространственных структурно ориентированных построений на ГДП, которые имеют аналитические зависимости с величинами проявлений ГДЯ. Использование МНК позволяет последовательно в четыре этапа определить динамические параметры блока земной коры [180, 194]:

- на первом этапе – изменения во времени его деформации – согласно (3.22);

- на втором этапе – соответствующие изменения во времени напряжений – согласно (3.27), (3.28);

- на третьем этапе – оценка точности;

- на четвертом – изменения во времени потенциальной энергии – согласно (3.39).

Предлагаемый алгоритм в едином цикле позволяет последовательно определять весь спектр динамических параметров блоков земной коры. Он реализован на алгоритмическом языке *QBASIC* для ПК. Исходными данными в составленной программе «ВМ» являются:

- координаты вершин объемной модели (пунктов ГДП), структурно аппроксимирующей блок земной коры;

- вертикальные и горизонтальные движения вершин объемной модели (пунктов ГДП), структурно аппроксимирующей блок земной коры;

- модуль сдвига и коэффициент Пуассона;

- средние квадратические погрешности определения вертикальных и горизонтальных движений пунктов ГДП, структурно аппроксимирующей их блок земной коры.

В таблице 3.15 приведен пример величин компонентов изменений во времени деформации блока земной коры VI ранга в районе разреза «Кедровский» и СКП их определения по программе «ВМ». Блок-схема программы «ВМ» представлена на рисунке 3.13.

Таблица 3.15 – Изменения во времени деформации блока земной коры $e_{ij} [t-t_0]$ и СКП их определения $me_{ij}[t-t_0]$

$e_{ij} [t-t_0]$	Значение	$me_{ij}[t-t_0]$	Значение
e_{11}	$-6,3 \cdot 10^{-6}$	me_{11}	$3,4 \cdot 10^{-7}$
e_{12}	$4,3 \cdot 10^{-5}$	me_{12}	$3,6 \cdot 10^{-7}$
e_{13}	$4,6 \cdot 10^{-3}$	me_{13}	$6,2 \cdot 10^{-6}$
e_{21}	$-5,9 \cdot 10^{-7}$	me_{21}	$1,6 \cdot 10^{-7}$
e_{22}	$2,3 \cdot 10^{-4}$	me_{22}	$6,3 \cdot 10^{-7}$
e_{23}	$3,6 \cdot 10^{-3}$	me_{23}	$2,7 \cdot 10^{-6}$
e_{31}	$-3,8 \cdot 10^{-5}$	me_{31}	$1,7 \cdot 10^{-6}$
e_{32}	$2,7 \cdot 10^{-4}$	me_{32}	$1,6 \cdot 10^{-6}$
e_{33}	$4,3 \cdot 10^{-3}$	me_{33}	$3,0 \cdot 10^{-5}$

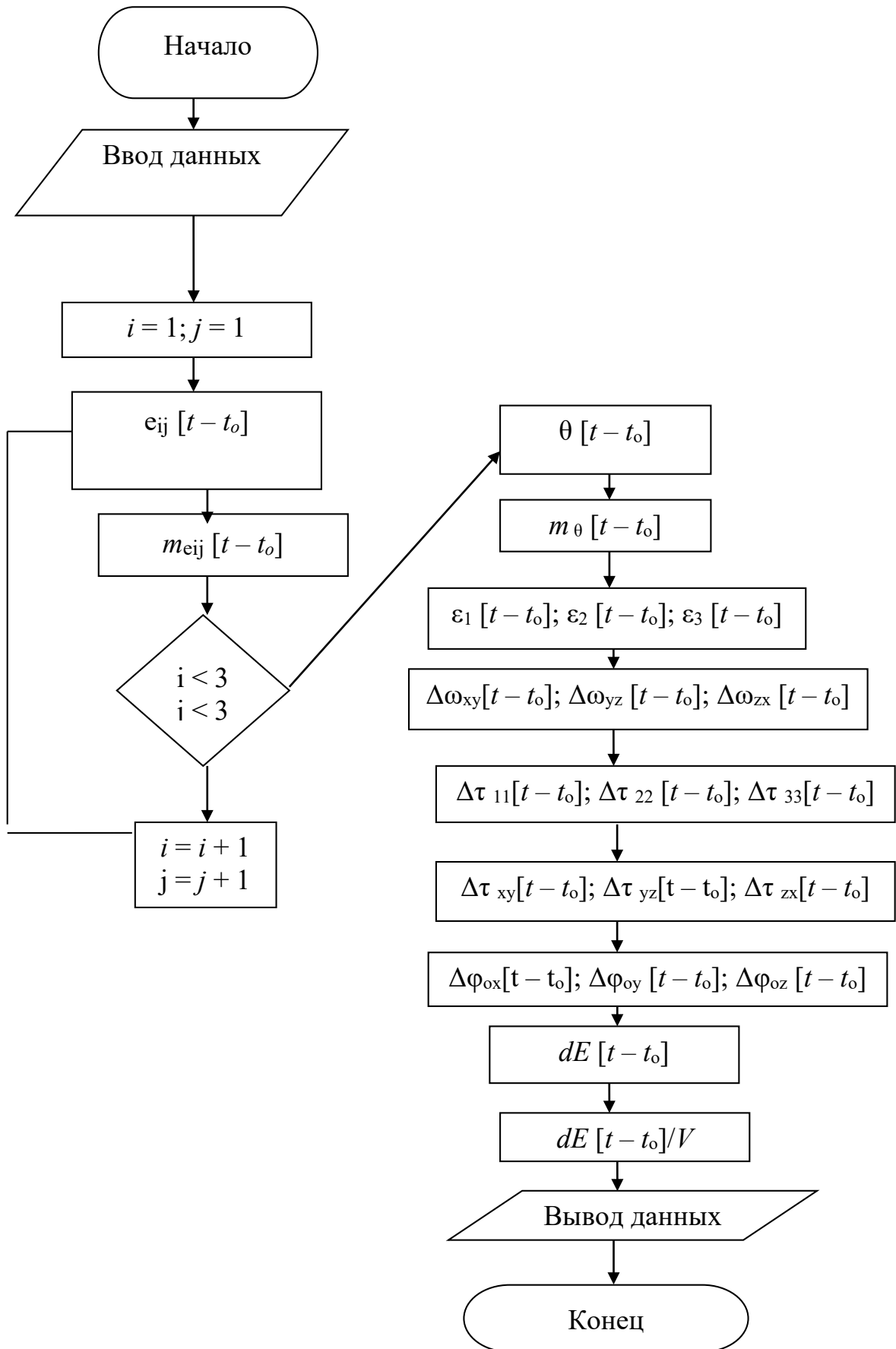


Рисунок 3.13 – Блок-схема программы «BM»

Величины компонентов изменений во времени деформации блока земной коры определены по результатам повторных наблюдений за горизонтальными и вертикальными движениями четырех мобильных пунктов спутниковыми геодезическими приемниками Leica Wild GPS System 200 на разрезе «Кедровский». Повторные наблюдения выполнены через полгода.

Оценка точности компонентов тензора изменений во времени деформации, реализованная в программе «ВМ» me_{ij} (таблица 3.15) имеет следующий вид:

$$me_{ij}[t-t_0] = \mu / (P_{ij})^{0.5}, \quad (3.43)$$

где μ – средняя квадратическая погрешность единицы веса;

P_{ij} – вес $e_{ij}[t-t_0]$.

СКП изменений во времени дилатации равна $m\Theta[t-t_0]$

$$m\Theta[t-t_0] = ((me_{11}[t-t_0])^2 + (me_{22}[t-t_0])^2 + (me_{33}[t-t_0])^2)^{0.5}. \quad (3.44)$$

Программа «ВМ» имеет свидетельство о государственной регистрации [167].

3.3 Разработка теоретических положений взаимодействия между подсистемами динамической модели ГМНДСЗК

Разработка теоретических положений взаимодействия между подсистемами динамической модели ГМНДСЗК основана на реализации структурно-организационного принципа (подсистема 3), который включает два модуля: структуру (модуль 3.1) и иерархию (модуль 3.2). Для изучения взаимодействия блоков земной коры разных рангов соискателем разработан метод многоступенчатости геодезических построений (модуль 3.1). В традиционных технологиях многоступенчатость геодезических построений зависит от площади объекта; при геодинамических исследованиях она применялись только на прогностических полигонах. Метод многоступенчатости геодезических построений ГДП основан на структурно-организацион-

ном принципе. Выделение блоков земной коры проводится на основе морфоструктурного анализа, а идентификация на местности – визуальным или инструментальными методами. Реализацию взаимодействия указанных систем обеспечивает разработанный соискателем метод многоступенчатости геодезических построений. Сначала на исследуемой территории создается однопорядковая сеть геодезических построений ГДП, охватывающая блоки земной коры одного низшего ранга. При установлении их геодинамической активности сеть поэтапно развивается и включает блоки земной коры следующего более высокого ранга. До настоящего времени теория многоуровневых геодезических построений на техногенных ГДП была разработана слабо и в действующих нормативных документах мало освещена. В традиционной технологии построения из двух уровней использовались, в основном, на прогностических ГДП. При этом первый уровень геодезических построений состоял из линейно-угловой сети, обычно 20–25 пунктов с длинами сторон 7–15 км, и линий нивелирования I и II классов. Такая сеть охватывала полностью тектонически активную структуру и выходила за ее пределы на стабильные участки земной коры [62]. Кроме этого, в построениях первого уровня проводились ранее астрономические и гравиметрические наблюдения. Полный цикл наблюдений не превышал трех месяцев, а их частота составляла один раз в три года. Второй уровень геодезических построений создавался на тектонически активных участках полигона и назывался деформационными площадками. На таких площадках выполнялись высокоточные линейные измерения в сочетании с нивелированием, в дополнении к которым проводились угловые наблюдения. Обычно типовой фигурой таких построений являлся геодезический четырехугольник. Стороны четырехугольника обычно закреплялись как можно короче (от нескольких сотен метров до 1,5 км), а расстояние между реперами не превышало 1 км. Считалось, что создание стационарной станции (обсерватории) с использованием светодальномера-рефрактометра повышает оперативность наблюдений. Построения второго уровня дополнялись геодезическими наклономерами. Частота повторных наблюдений варьировалась от одного раза в неделю до 4–6 в год [37, 62]. В настоящее время доминирующими

являются ГНСС-измерения, в сочетании с гравиметрическими наблюдениями или геодезическими наклономерами [38, 67].

Реализация динамической модели ГМНДСЗК в районе освоения месторождения не может быть ограничена изучением блоков земной коры одного ранга. Поэтому учет иерархии блоков земной коры – это переход к многоуровневым структурно ориентированным построениям ГДП. Решение указанной задачи предлагается выполнять на методологической базе реализации гипотезы о пренебрегаемых малых скоростях деформаций земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ. Покажем несовершенство решения этой задачи на иной основе, широко применяемой в традиционной технологии построения ГДП, – на основе информации о геодинамических и техногенных процессах на территории Кузбасса. Широко известной в горном деле характеристикой техногенных процессов при освоении месторождений является землеемкость, которая косвенно оценивает их масштаб. Кроме этого, она не имеет аналитической зависимости с изменением во времени деформации блоков земной коры. Средняя величина землеемкости по Кузбассу равна $50 \text{ км}^2/\text{млн т}$, для подземной добычи она ниже – $3,65 \text{ км}^2/\text{млн т}$. При этом площади нарушенных земель для шахт тоже меньше, чем для разрезов, их диапазон изменяется от 100 га (шахта «Алардинская») до 660 га (шахта «Распадская»). Площади нарушенных земель для разрезов составляют от 900 га (разрез «Томусинский») до 4 000 га (разрез «Бачатский»). Однако, указанные величины землеемкости шахт и разрезов в целом не решают поставленную задачу, поскольку более приемлемы для проектирования геодезической основы при картографировании нарушенных земель.

На территории Кемеровской области наиболее изучены современные вертикальные движения земной поверхности [38, 76, 79, 80, 81, 89, 97, 180, 194, 239]. По их результатам автором построены картосхемы, отражающие пространственные вариации компонентов изменения во времени деформации земной поверхности (рисунки 3.14, 3.15) [194, 239].

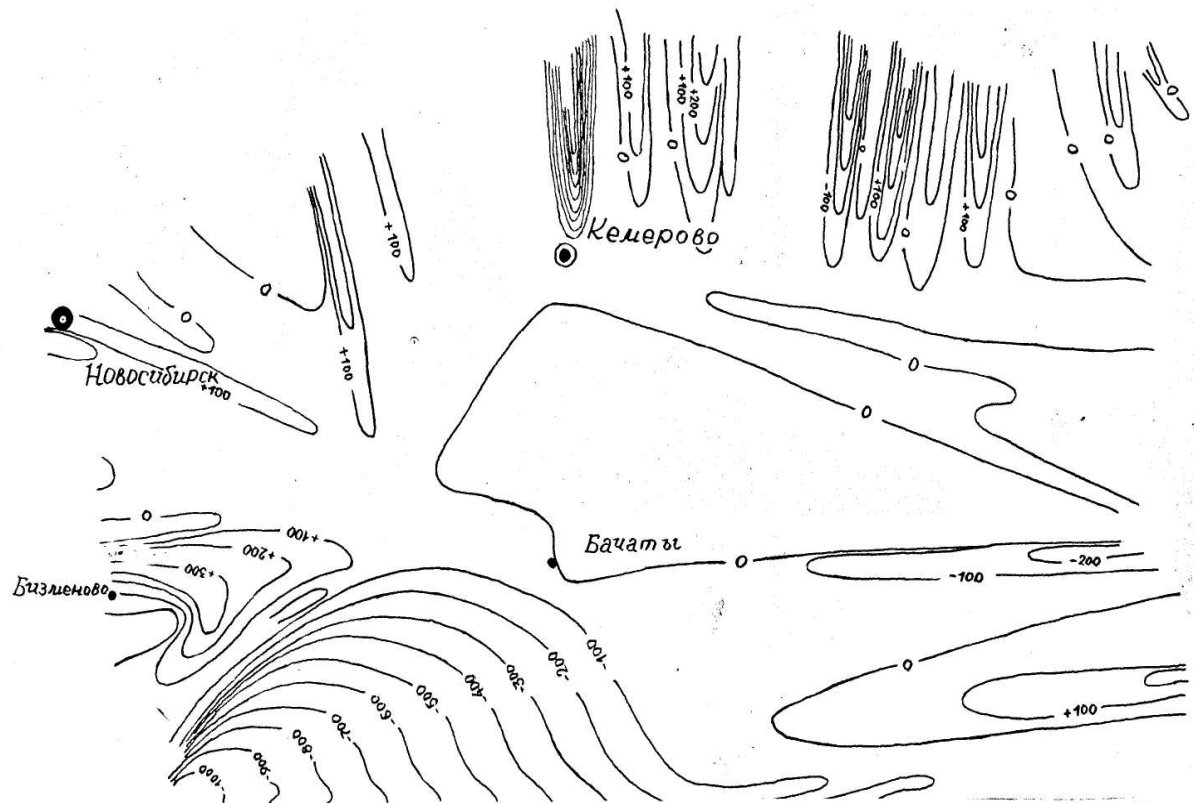


Рисунок 3.14 – Пространственные вариации изменений во времени $\Delta\gamma[t-t_0]$ на территории Кемеровской области

Исследуемый интервал времени определения вертикальных движений земной поверхности составляет 16–39 лет. Анализ качества проведения повторного нивелирования позволил сделать вывод о возможности его использования для изучения СВДЗК [70]. Очевидно, что полученная с таких картосхем информация, отражающая пространственные вариации компонентов изменения во времени деформации земной поверхности, может быть применена для решения проблемы СВДЗК и проектирования ГДП по традиционной технологии. Следовательно, недостатки использования косвенной информации очевидны. Кроме этого, известно, что в Кемеровской области на территории освоения угольных месторождений прогностического ГДП создано не было. Поэтому, нет практического опыта, пригодного для обобщения.

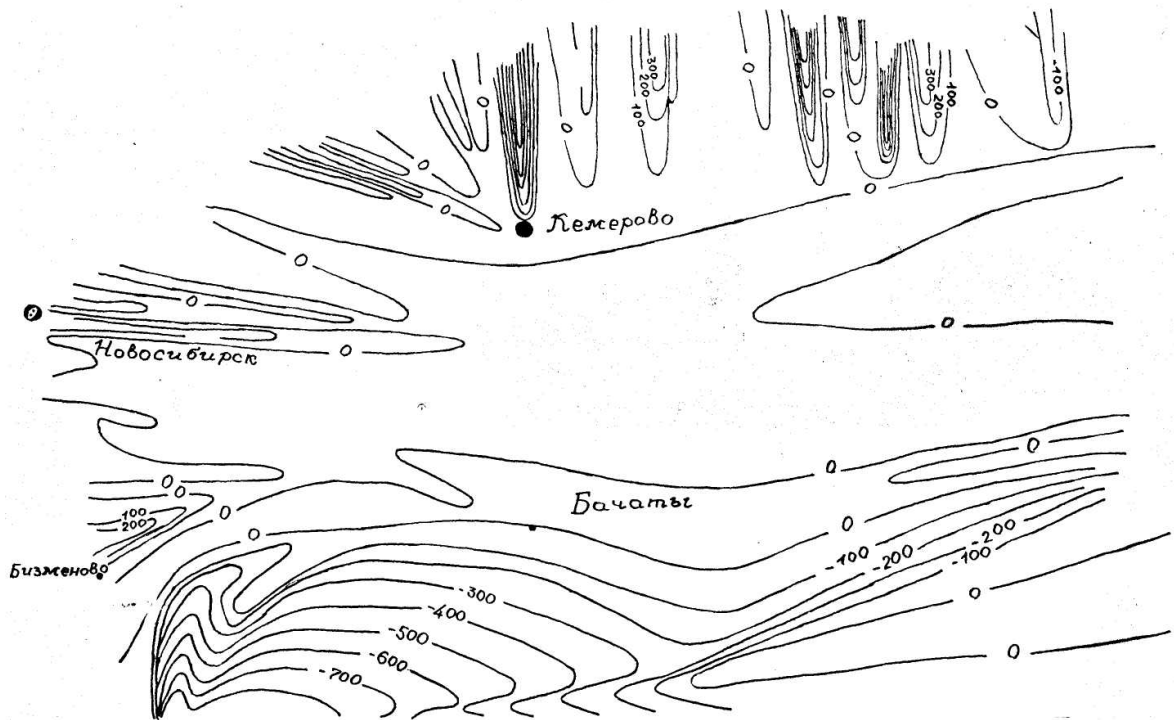


Рисунок 3.15 – Пространственные вариации изменений во времени $\theta[t-t_0]$ на территории Кемеровской области

При создании ГМНДСЗК в районе освоения месторождения предлагается учитывать иерархию их строения, что является кардинальным отличием от приведенной выше существующей технологии. Для обоснования критерия многоуровненности структурно ориентированных построений ГДП автором были изучены закономерности изменения во времени деформаций блоков земной коры Кузбасса. Динамические параметры блоков земной коры в северной части Кузбасса, полученные по натурным наблюдениям, подтверждают выявленные таким образом закономерности. Принципиальной новизной подхода к созданию многоуровневных структурно ориентированных построений ГДП для оценки деформаций блоков земной коры является то, что эта оценка определяется не только их иерархией, но и состоянием, то есть геодинамической активностью. В традиционной технологии в качестве критерия геодинамической активности обычно использовались приборная точность и амплитуда кинематики движений. Однако, эти критерии не являются однозначными и не имеют интегрального характера. Поэтому автором предлага-

ется в качестве информативного критерия использовать изменения во времени компонентов деформации блока земной коры (3.2) [53, 180, 183, 187, 194, 195, 196, 197, 201, 207, 212, 215]. Основой критерия (3.2) является реализация фундаментальной гипотезы об оценке медленных скоростей деформаций блока земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ. Если неравенство (3.2) выполняется не только для блоков земной коры в районе освоения месторождения одного ранга R , но и последующего $R+1$, то это является условием многоуровненности построений ГДП:

$$\begin{aligned} Ve_{ii}[t-t_0](R) &\geq 3Ve_n[t-t_0]; \\ Ve_{ii}[t-t_0](R+1) &\geq 3Ve_n[t-t_0]. \end{aligned} \quad (3.48)$$

Предложенный критерий (3.45) определяет многоуровненность структурно ориентированных построений ГДП (рисунок 3.16).

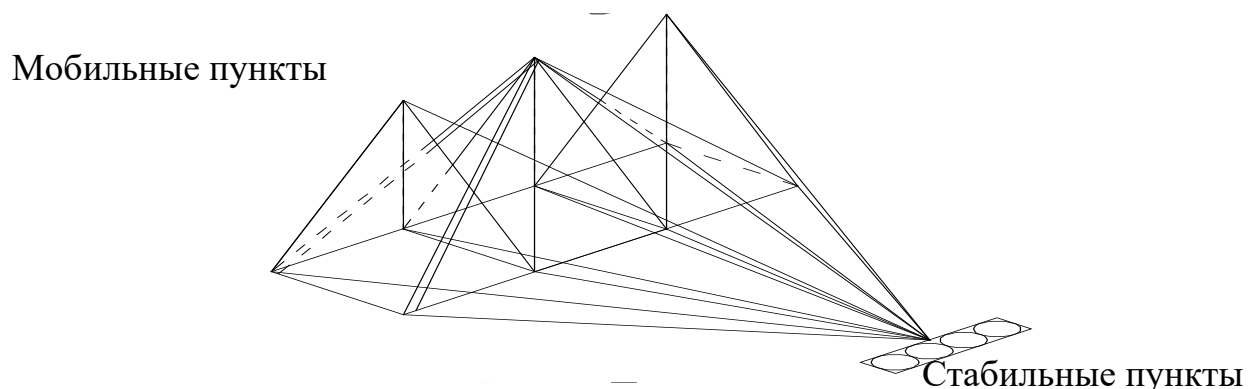


Рисунок 3.16 – Схема двухступенчатого построения ГДП

Геометрические параметры построений определяются масштабами блоков земной коры, при соблюдении принципа от общего к частному (рисунок 3.17).

Такие построения предлагается образовать сначала для ГАБ земной коры V ранга в районе освоения месторождения, а затем – для VI ранга по мере освоения месторождения (таблица 3.16). Таким образом, условие отнесения к ГАБ является определяющим.

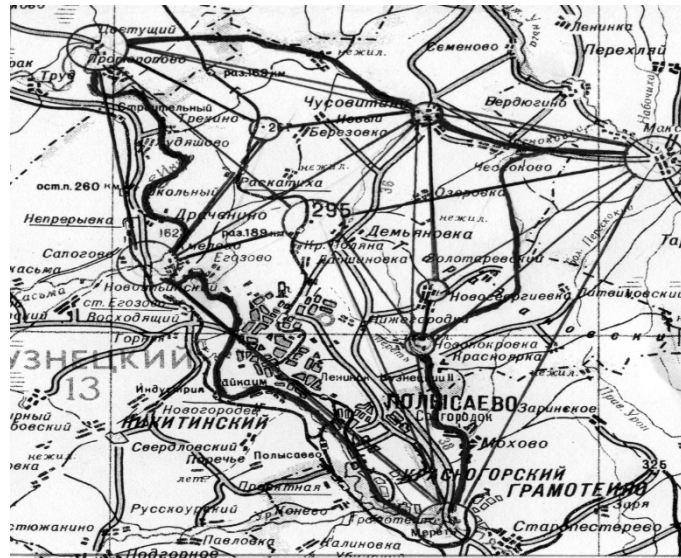


Рисунок 3.17 – Многоуровневые построения ГДП для блоков земной коры разного ранга

Таблица 3.16 – Многоуровневые структурно ориентированные построения ГДП

Ранг блока земной коры	Площадь	Построения ГДП
VI	P	1-го уровня
V (m – блоков земной коры)	$P \cdot m$	2-го уровня
IV (n – блоков земной коры)	$P \cdot m \cdot n$	3-го уровня

При этом построения ГДП предлагается определять иерархической блочной структурой земной коры месторождения и их по принципу:

- низший уровень характеризует структурно ориентированные построения ГДП блоков земной коры VI ранга, соответствующих технологическим;
- высший уровень характеризует структурно ориентированные построения ГДП блоков земной коры V, IV ранга или более высокого ранга в границах месторождения (шахтных полей).

Известно, что многоуровневые построения приводят к понижению точности. Для расчета этого понижения точности примем [38], что соотношение средней квадратической ошибки определения пункта ГДП в i -й ступени, соответствующей

блоку земной коры ранга R , относительно $i+1$ -й ступени (блок земной коры ранга $R+1$) одинаково и равно k

$$m^2_{i+1} = m^2 / k^2, \quad (3.46)$$

где k – коэффициент понижения точности измерений в смежных ступенях;

m_i – средняя квадратическая ошибка определения положения пункта в i -й ступени;

m_{i+1} – средняя квадратическая ошибка определения положения пункта в $(i+1)$ -й ступени.

Тогда для последующих ступеней построений ГДП будут справедливы следующие соотношения:

$$m^2_{i+2} = m^2_i + m^2_{i+1} = m^2_i (i + 1/k^2); \quad (3.47)$$

$$m^2_{i+3} = m^2_i + m^2_{i+1} + m^2_{i+2} = 2 m^2_i (i + 1/k^2). \quad (3.48)$$

На основе выражений (3.48) и (3.49) окончательная формула для расчета точности пункта любой ступени построений ГДП имеет вид

$$m^2_{i+n} = (n - 1) m^2_{исх} (i + 1/k^2). \quad (3.49)$$

Таким образом, построения ГДП в несколько ступеней не приводят к повышению точности определения положения пункта, а наоборот понижают ее.

Таким образом, весь комплекс повторных наблюдений выполняется на одних и тех же пунктах, что обеспечивает не только экономическую эффективность, но и упрощение процесса математической обработки.

Изложенное выше свидетельствует о следующем.

1 Обеспечение одинаковой точности мобильных пунктов каждого блока земной коры решено на основе предложенной их типовой схемы связи со стабильными.

2 Предложенная типовая схема построения ГДП является унифицированной, гибкой для реализации, в том числе поэтапной, и рекомендуется для проведения комбинированных наблюдений.

3 Жесткость типовой схемы построения ГДП обеспечивает значительное количество избыточных измерений, что характеризует надежность определения как кинематических, так и динамических параметров блоков земной коры.

4 Поэтапность построения такой сети свидетельствует об экономической эффективности предлагаемой схемы построения, способствует обеспечению минимальных затрат согласно критерию целевой функции (2.1).

С развитием многоуровневых геодезических построений на ГДП тесно связана задача учета иерархии строения земной коры, решение которой кардинально меняет традиционный подход о кинематике пунктов [55, 180, 194, 233]. Смещения пункта, координаты которого $X[t_0]$, $Y[t_0]$ и $H[t_0]$ на эпоху t_0 , трактуемые далее, как их изменения во времени $\Delta X_i(r_i)[t - t_0]$, $\Delta Y_i(r_i)[t - t_0]$ и $\Delta H_i(r_i)[t - t_0]$, представим в виде двух слагаемых: переменного и постоянного. Переменные слагаемые обусловлены соответствующим изменением напряженно-деформированного состояния блока земной коры ранга $r(i)$

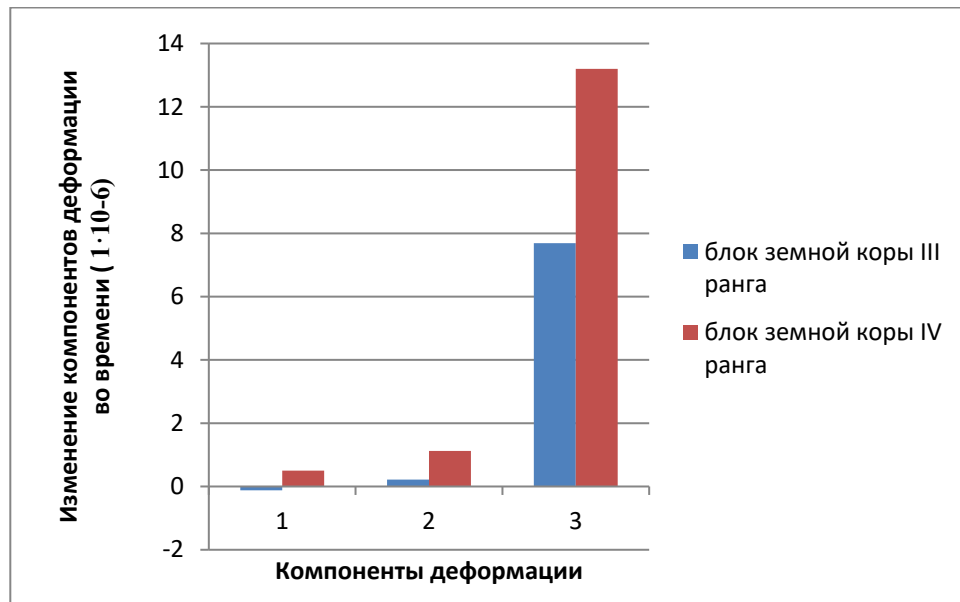
$$\begin{aligned}\Delta X_i(r_i)[t - t_0] &= \Delta X_{nds}(r_i)[t - t_0] + \Delta X_0(r_i)[t - t_0]; \\ \Delta Y_i(r_i)[t - t_0] &= \Delta Y_{nds}(r_i)[t - t_0] + \Delta Y_0(r_i)[t - t_0]; \\ \Delta H_i(r_i)[t - t_0] &= \Delta H_{nds}(r_i)[t - t_0] + \Delta H_0(r_i)[t - t_0].\end{aligned}\quad (3.50)$$

Изменения во времени координат $\Delta X_i(r_i)[t - t_0]$, $\Delta Y_i(r_i)[t - t_0]$ и $\Delta H_i(r_i)[t - t_0]$, обусловленные соответствующим изменениями напряженно-деформированного состояния блока земной коры ранга $r(i)$, равны

$$\begin{aligned}\Delta X_i(r_i)[t - t_0] &= X[t_0]e_{11}(r_i)[t - t_0] + Y[t_0]e_{12}(r_i)[t - t_0] + H[t_0]e_{13}(r_i)[t - t_0]; \\ \Delta Y_i(r_i)[t - t_0] &= X[t_0]e_{21}(r_i)[t - t_0] + Y[t_0]e_{22}(r_i)[t - t_0] + H[t_0]e_{23}(r_i)[t - t_0]; \\ \Delta H_i(r_i)[t - t_0] &= X[t_0]e_{31}(r_i)[t - t_0] + Y[t_0]e_{32}(r_i)[t - t_0] + H[t_0]e_{33}(r_i)[t - t_0],\end{aligned}\quad (3.51)$$

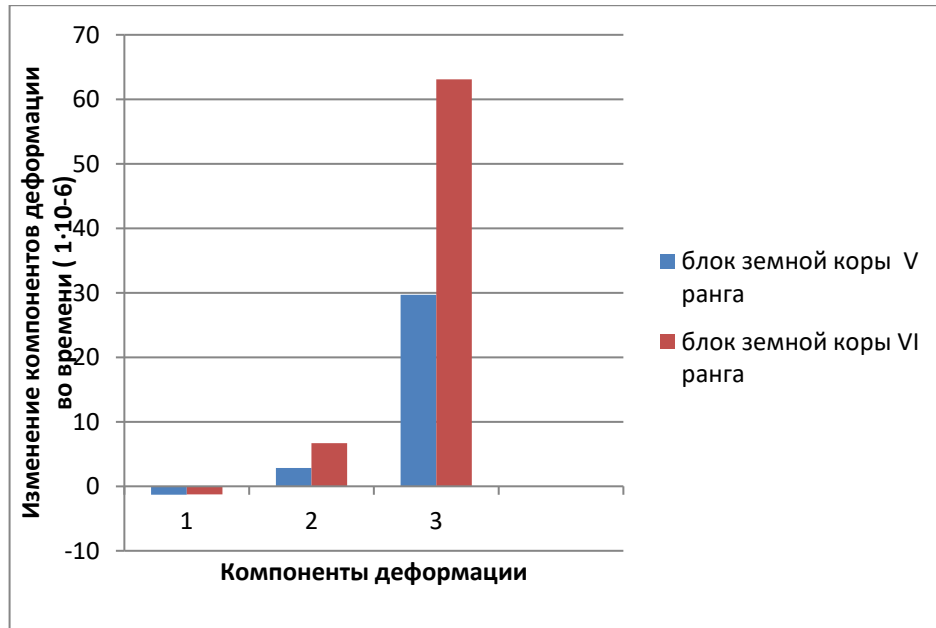
где $e_{13}r(i)[t-t_0]$, $e_{12}r(i)[t-t_0]$, $e_{13}r(i)[t-t_0]$, $e_{21}r(i)[t-t_0]$, $e_{22}r(i)[t-t_0]$, $e_{23}r(i)[t-t_0]$, $e_{31}r(i)[t-t_0]$, $e_{32}r(i)[t-t_0]$ и $e_{33}r(i)[t-t_0]$ – изменения компонентов деформации во времени блока земной коры ранга $r(i)$ за период $[t-t_0]$.

Такие изменения обуславливают горизонтальные движения блоков земной коры. Эти движения порождают смещения пунктов, поле которых имеет сложную картину. Предлагаемое автором выделение влияния движения блоков земной коры разных рангов не только обеспечивает установление закономерностей горизонтальных движений, но и является дальнейшим развитием работ академика Садовского М. А. [162, 163, 164]. Принимая фундаментальные постулаты геодинамики о блоковом строении земной коры и действии геодинамических процессов [5, 6, 7, 27, 38, 129, 142], по нашему мнению, их влияние необходимо отразить подробнее. Для четырех исследуемых блоков земной коры III–VI рангов, расположенных юго-западнее города Белово, имеющих примерно одинаковую скорость движения до 3 мм/год, автором получены с помощью разработанной им программы «ВМ» изменения их компонентов деформации во времени (рисунки 3.18–3.20).



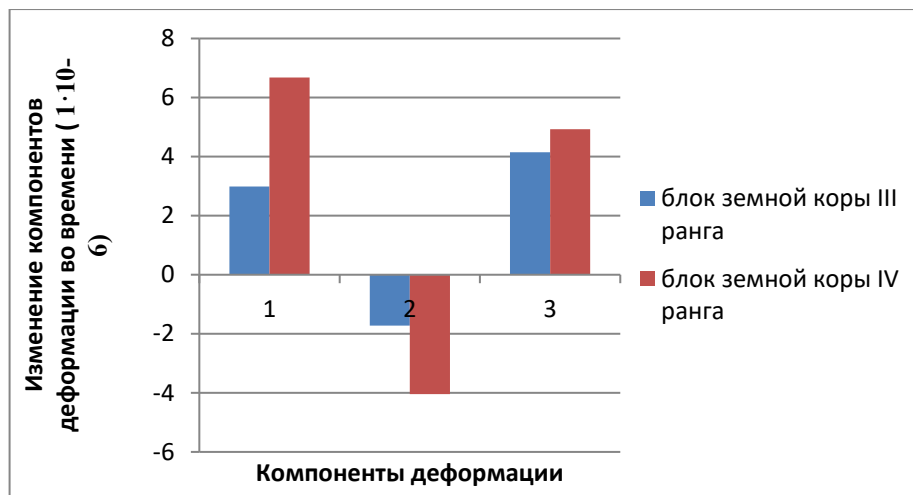
$$1 - e_{11}[t-t_0]; 2 - e_{12}[t-t_0]; 3 - e_{13}[t-t_0]$$

Рисунок 3.18 – Изменения компонентов деформации во времени блоков земной коры III-IV рангов



$$1 - e_{11}[t - t_0]; 2 - e_{12}[t - t_0]; 3 - e_{13}[t - t_0]$$

Рисунок 3.19 –Изменения компонентов деформации во времени блоков земной коры V–VI рангов

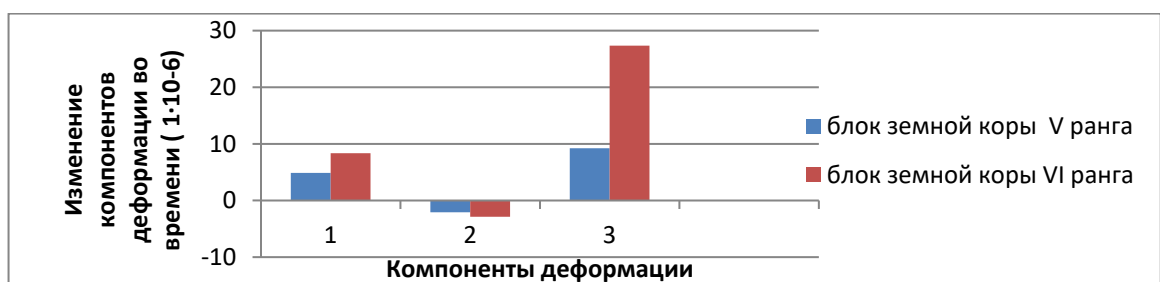


$$1 - e_{21}[t - t_0]; 2 - e_{22}[t - t_0]; 3 - e_{23}[t - t_0]$$

Рисунок 3.20 – Изменения компонентов деформации во времени блоков земной коры III–IV рангов

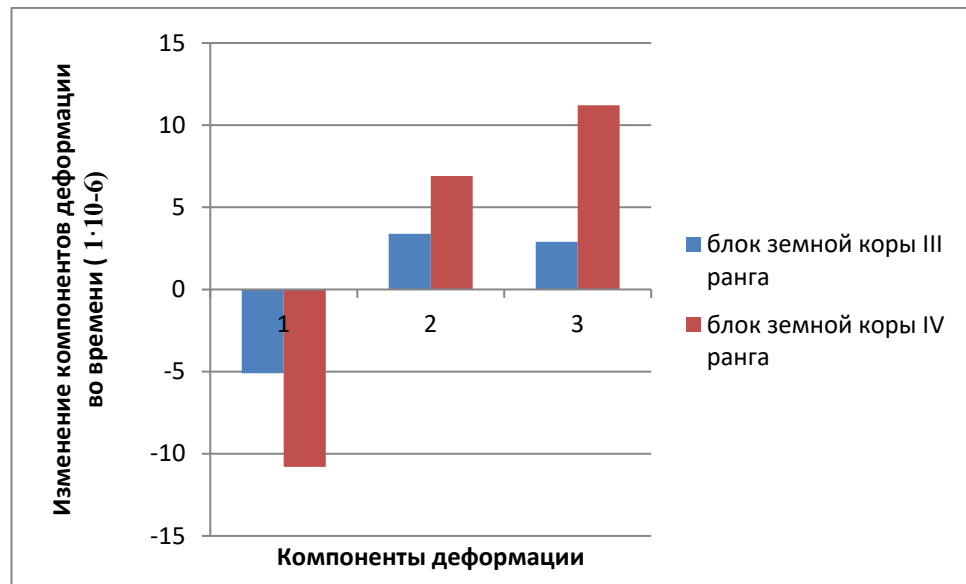
В приведенных примерах (рис. 3.19, 3.20) изменения компонентов деформации во времени ($1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$) блоков земной коры разных рангов подтверждают

закономерности деформационных процессов от иерархии строения земной коры, установленные академиком Садовским М. А. и Писаренко В. Ф.: в блоках III и IV рангов они значительно меньше, чем в V-VI (то есть, обратно пропорционально рангу). Доля влияния изменения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры III-VI рангов на изменение во времени координат пункта получена автором с помощью разработанной им программы «ВМ» [167] на примере данных приведенных выше и проиллюстрирована на рисунках 3.21–3.26.



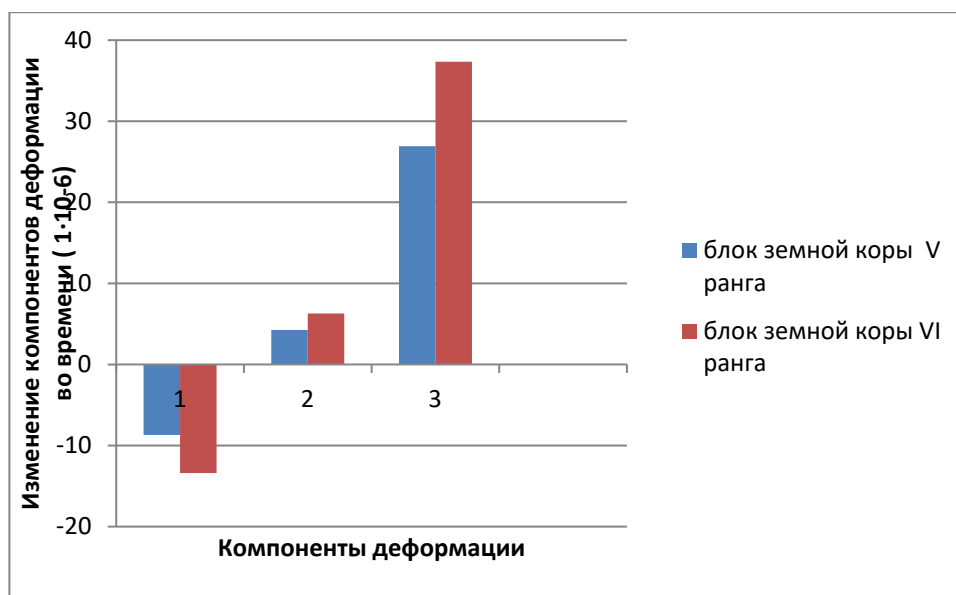
$$1 - e_{21}[t - t_0]; 2 - e_{22}[t - t_0]; 3 - e_{23}[t - t_0]$$

Рисунок 3.21 – Изменения компонентов деформации во времени блоков земной коры V–VI рангов



$$1 - e_{31}[t - t_0]; 2 - e_{32}[t - t_0]; 3 - e_{33}[t - t_0]$$

Рисунок 3.22 – Изменения компонентов деформации во времени блоков земной коры III–IV рангов



1 – $e_{31}[t - t_0]$; 2 – $e_{32}[t - t_0]$; 3 –

Рисунок 3.23 –Изменения компонентов деформации во времени блоков земной коры V–VI рангов $e_{33}[t - t_0]$

Многоуровневые структурно ориентированные построения ГДП позволяют определять закономерности влияния иерархии земной коры на стабильность пунктов опорных геодезических сетей и инженерных сооружений [56, 180, 194, 233].

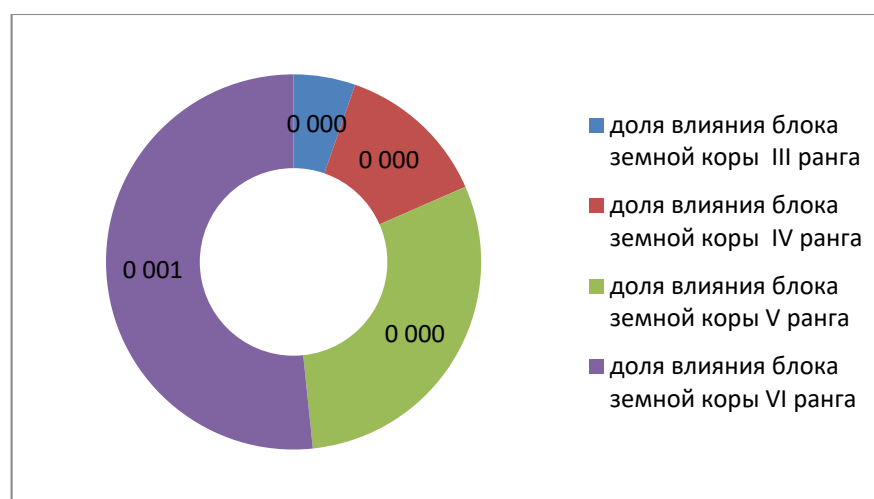


Рисунок 3.24 – Доля влияния изменения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры разных рангов на изменение во времени отметки пункта

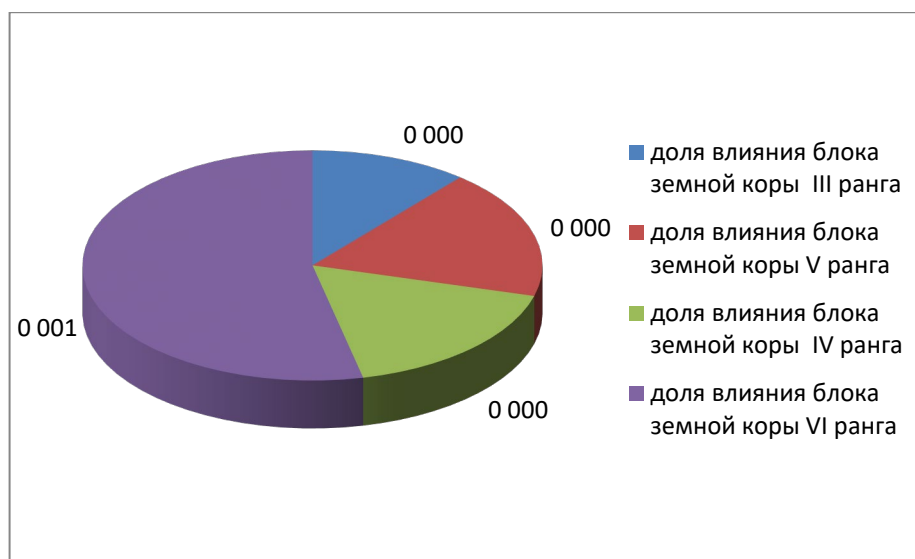


Рисунок 3.25 – Доля влияния изменения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры разных рангов на изменение во времени абсциссы пункта

Исходя из однородности изменений во времени деформаций $E(R)$ отдельного блока ранга R , можно определить перемещения $\Delta X[t-t_0]$, $\Delta Y[t-t_0]$ и $\Delta H[t-t_0]$ любой точки $M(X, Y, H)$ данного сооружения.

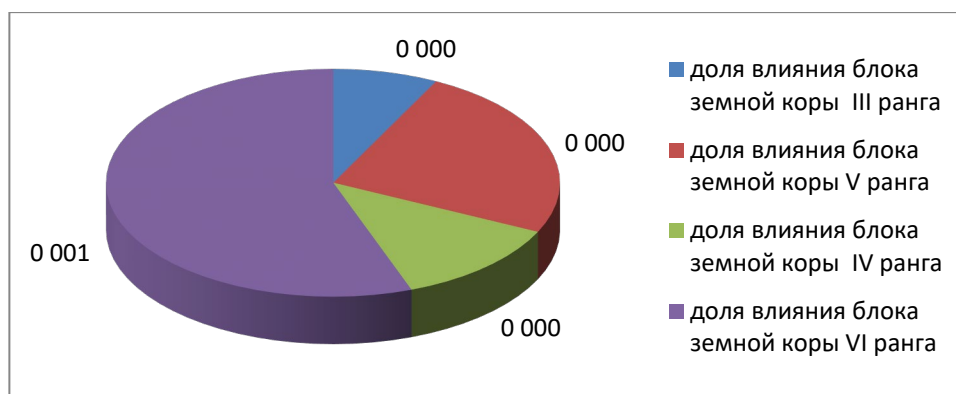


Рисунок 3.26 – Доля влияния изменения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры разных рангов на изменение во времени ординаты пункта

Учет таких перемещений производится, если они превышают нормативно установленные величины допусков Δ_C . Смещения $\Delta X_R[t-t_0]$, $\Delta Y_R[t-t_0]$, $\Delta H_R[t-t_0]$ любой точки M блока земной коры в районе освоения месторождения с координатами X , Y и H могут быть определены. При этом они обусловлены не только его кинематикой, но и блоков других рангов R :

$$\begin{aligned}\Delta X_R[t-t_0] &= e_{11R}[t-t_0]X + e_{12R}[t-t_0]Y + e_{13R}[t-t_0]H + a_R; \\ \Delta Y_R[t-t_0] &= e_{21R}[t-t_0]X + e_{22R}[t-t_0]Y + e_{23R}[t-t_0]H + b_R; \\ \Delta H_R[t-t_0] &= e_{31R}[t-t_0]X + e_{32R}[t-t_0]Y + e_{33R}[t-t_0]H + c_R;\end{aligned}\quad (3.52)$$

$$\begin{aligned}\Delta X_R[t-t_0] - \Delta X_{R-1}[t-t_0] &< k\Delta_C; \\ \Delta Y_R[t-t_0] - \Delta Y_{R-1}[t-t_0] &< k\Delta_C; \\ \Delta H_R[t-t_0] - \Delta H_{R-1}[t-t_0] &< k\Delta_C,\end{aligned}\quad (3.53)$$

где k – нормативно установленный коэффициент.

В таблице 3.17 приведена оценка влияния изменений во времени деформаций блоков земной коры разных рангов на стабильность пунктов государственной геодезической сети (ГГС).

Таблица 3.17 – Оценка влияния изменений во времени деформаций блоков земной коры разных рангов на стабильность пунктов ГГС

Класс	Полное смещение пункта, мм
1	36,0
2	58,0
3	110,0
4	143,0

На рис. 3.27–3.30 приведены смещения по осям координат в зависимости от протяженности инженерного объекта.

Результаты, приведенные на рисунках 3.27–3.30, показывают закономерности влияния геодинамических и техногенных процессов на изменение во времени смещений инженерных объектов, обусловленные влиянием кинематики блоков земной

коры разных рангов на севере Кемеровской области, характеризующиеся прямо пропорциональной зависимостью от их размеров.

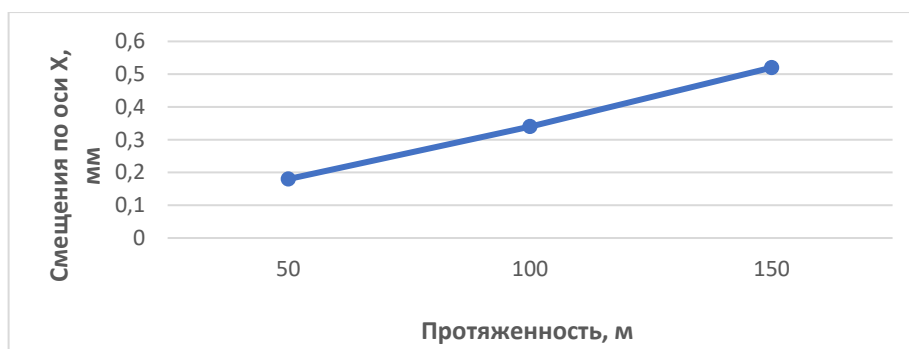


Рисунок 3.27 – Разность смещений $\Delta X_{R-1} [t-t_0] - \Delta X_R [t-t_0]$

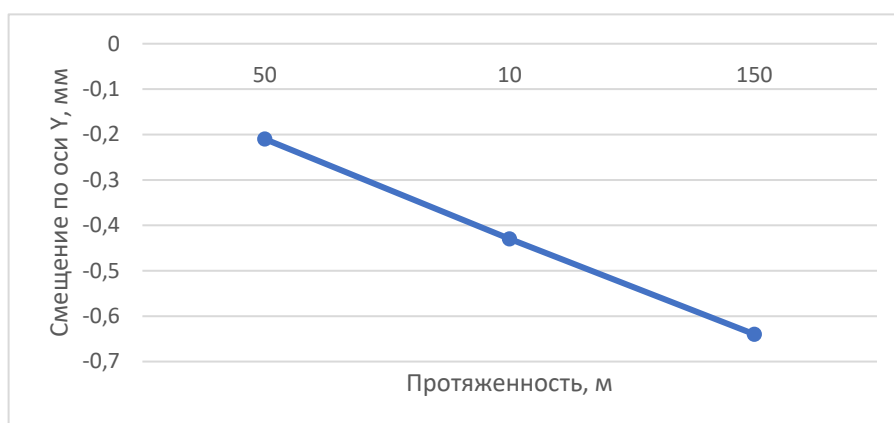


Рисунок 3.28 – Разность смещений $\Delta Y_{R-1} [t-t_0] - \Delta Y_R [t-t_0]$

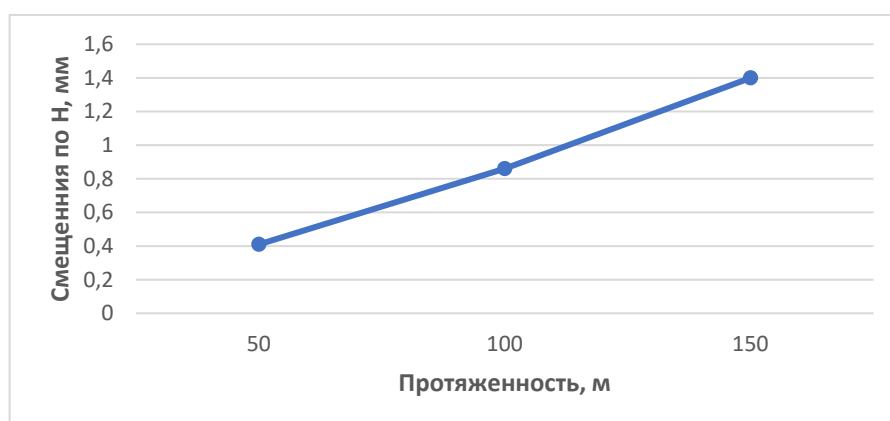
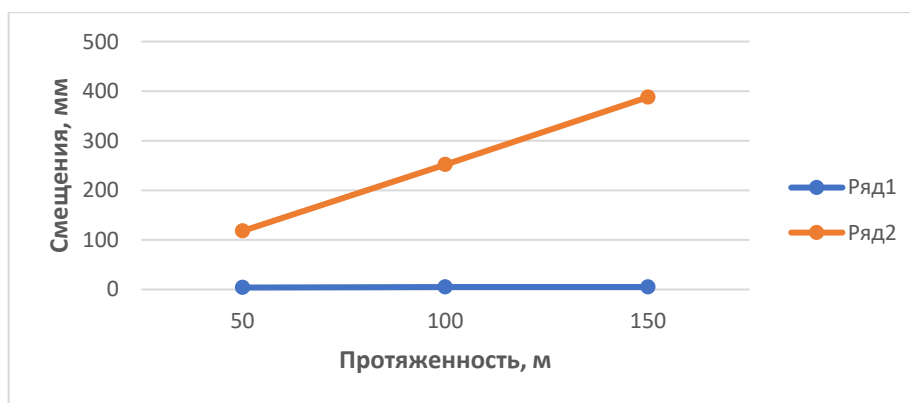


Рисунок 3.29 – Разность смещений $\Delta H_{R-1} [t-t_0] - \Delta H_R [t-t_0]$



1-й ряд – влияние геодинамических процессов; 2-й ряд – влияние техногенных процессов

Рисунок 3.30 – Разность смещений $\Delta H_{R-1}[t-t_0]-\Delta H_R[t-t_0]$

Результаты натурных наблюдений кинематики двух блоков земной коры в северной части Кузбасса (рисунок 3.31), на основе которых получены закономерности их ранжирования, приведены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Величины компонентов изменения во времени деформаций каждого из двух блоков земной коры и их совместной структуры

Величина	Блок 1	Блок 2	Совместная структура
$\Theta[t-t_0]$	-0,000828	0,000889	0,002539
$\Delta\gamma_{xy}[t-t_0]$	$-4,78238 \cdot 10^{-6}$	$1,33746 \cdot 10^{-6}$	$1,56671 \cdot 10^{-6}$
$\Delta\gamma_{yz}[t-t_0]$	0,00039	0,0001318	-0,00047
$\Delta\gamma_{zx}[t-t_0]$	$-9,29805 \cdot 10^{-5}$	-0,00051	0,000399
$\Delta\omega_{xy}[t-t_0]$	$1,52322 \cdot 10^{-5}$	$2,17999 \cdot 10^{-6}$	$1,18034 \cdot 10^{-6}$



Рисунок 3.31 – Схема расположения блоков земной коры

Первый цикл наблюдений выполнен традиционными наземными наблюдениями, а второй – с использованием спутниковых геодезических приемником. Период времени между повторными наблюдениями – 25 лет. Результаты учета иерархии деформаций блоков земной коры в районе освоения месторождения (см. таблицу 3.18), показывают:

- соотношение изменений во времени компонентов деформации совместной структуры и указанных блоков земной коры не является простым механическим суммированием;
- выявляется различный тип взаимодействия блоков земной коры и их совместной структуры.

Полученные выводы подтверждают результаты экспериментального изучения деформаций блоков земной коры, выполненного автором в районе разреза имени 50-летия Октября (ныне разрез «Бачатский») (рис. 3.32).

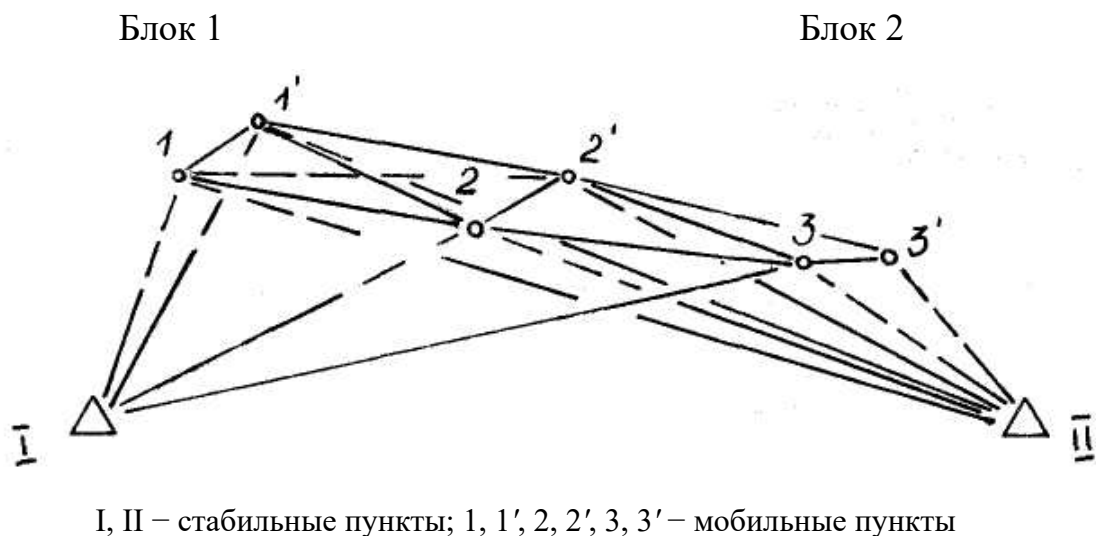


Рисунок 3.32 – Схема построений ГДП на разрезе имени 50-летия Октября:

Повторные наблюдений выполнены электронным тахеометром (таблицы 3.19, 3.20). Блок 1 образуют пункты сети 1, 1', 2 и 2', а блок 2 – 2, 2', 3 и 3'.

Таблица 3.19 – Изменения во времени главных значений деформаций по результатам повторных наземных инструментальных наблюдений на разрезе имени 50-летия Октября (блок 1)

Дата	Цикл	$\varepsilon_1[t-t_0]$	$\varepsilon_2[t-t_0]$	$\varepsilon_3[t-t_0]$
03.02.98	3	0,066	0,028	–0,023
09.02.98	4	0,100	0,048	–0,030

Площадь блока 1 равна 0,6 га, площадь блока 2 – 0,8 га, а площадь общей структуры 1–2 – 1,4 га.

Таблица 3.20 – Изменения во времени главных значений деформации по результатам повторных наземных инструментальных наблюдений на разрезе имени 50-летия Октября (блок 2)

Дата	Цикл	$\varepsilon_1[t-t_0]$	$\varepsilon_2[t-t_0]$	$\varepsilon_3[t-t_0]$
03.02.98	3	0,0044	–0,0117	–0,0227
09.02.98	4	0,0048	–0,00146	–0,0266

Изменения во времени главных значений деформаций, характеризующие общую структуру 1–2, приведены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Изменения во времени главных значений деформаций по результатам повторных наземных инструментальных наблюдений на разрезе имени 50-летия Октября (общая структура 1-2)

Дата	Цикл	$\varepsilon_1[t-t_0]$	$\varepsilon_2[t-t_0]$	$\varepsilon_3[t-t_0]$
03.02.98	3	0,0047	–0,0583	–0,0933

Обобщая изложенное выше с учетом результатов исследования других авторов [3, 12, 18, 22, 25, 39, 43, 87, 105, 238, 239], предлагается обобщенное представление об измеренных приращениях координат $\partial\Delta X_{ci}(\text{изм})[t - t_0]$ и $\partial\Delta Y_{ci}(\text{изм})[t - t_0]$ при проведении геодинамических исследований в Кузбассе в следующем виде:

$$\begin{aligned}\partial\Delta X_{ci}(\text{изм})[t - t_0] &= \partial\Delta X_{ci}(r_i)[t - t_0] + \partial\Delta X_{ci}(\text{изм.грав.поля})[t - t_0] + \\ &+ \partial\Delta X_{ci}(\text{экз})[t - t_0]; \\ \partial\Delta Y_{ci}(\text{изм})[t - t_0] &= \partial\Delta Y_{ci}(r_i)[t - t_0] + \partial\Delta Y_{ci}(\text{изм.грав.поля})[t - t_0] + \\ &+ \partial\Delta Y_{ci}(\text{экз})[t - t_0],\end{aligned}\tag{3.54}$$

где $\partial\Delta X_{ci}(\text{изм.грав.поля})[t - t_0]$ и $\partial\Delta Y_{ci}(\text{изм.грав.поля})[t - t_0]$ – изменения превышений во времени, обусловленные влиянием изменений гравитационного поля; $\partial\Delta X_{ci}(\text{экз})[t - t_0]$ $\partial\Delta Y_{ci}(\text{экз})[t - t_0]$ – изменения превышений во времени, обусловленные влиянием экзогенных процессов.

Технология определения изменений приращений координат во времени, обусловленных влиянием изменений гравитационного поля при ведении горных работ в Кузбассе, разработана автором [168, 169, 178, 180, 190, 194, 214, 224, 225, 235, 236]. Изучение изменений приращений координат во времени, обусловленных влиянием экзогенных процессов, – это большая самостоятельная проблема, не исследованная для этой территории, однако постоянно учитываемая на практике, путем соблюдения технологии заложения пунктов [130]. Таким образом, предлагается проводить учет развития деформаций блоков земной коры на основе их иерархии строения.

3.4 Разработка теоретических положений для реализации подсистемы контроля и прогноза напряженно-деформированного состояния блоков земной коры и подсистемы частоты наблюдений и сбора информации во времени

Главной целью динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений является разработка прогноза НДС блоков земной на основе функционального зонирования, в рамках которого устанавливается степень опасности его развития и возможный риск проявления ГДЯ. По степени опасности развития НДС блоки земной коры автором предлагается подразделять на четыре группы (класса) (таблица 3.22). В основе его лежит фундаментальная гипотеза об оценке медленных скоростей деформаций блока земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ. Методика зонирования блоков земной коры по степени опасности развития деформаций в районе месторождения, обусловленных совместным влиянием природной и техногенной геодинамики за период повторных наблюдений на ГДП, заключается в следующем [180, 194, 206, 212, 218, 221, 228, 238].

1 Определение динамических параметров блока земной коры $\mathcal{D}_{ii}[t-t_0]$ за период $t - t_0$ по программе «ВМ».

2 Вычисление величин их изменений во времени в год по формуле

$$Ve_{ii}[t-t_0] = \mathcal{D}_{ii}[t-t_0] / [t-t_0]. \quad (3.55)$$

Определение степени опасности развития деформаций блока земной коры, которая устанавливается по величине изменений во времени динамических параметров, приведенных в таблице 3.22.

Таблица 3.22 – Степень опасности развития деформаций блока земной коры от изменения во времени динамических параметров

Класс степени опасности	Величина динамического параметра
I геодинамически неактивный блок земной коры (ГНАБ ЗК)	Изменения во времени компонентов деформаций менее $3,0 \cdot 10^{-6}$ в год
II геодинамически активный блок земной коры (ГАБ ЗК)	Изменения во времени компонентов деформаций более $3,0 \cdot 10^{-6}$ в год
III ГАБ ЗК, в котором формируется очаг геодинамического явления (ФО ГДЯ)	Изменения во времени компонентов деформаций от $15,0 \cdot 10^{-6}$ до $22,4 \cdot 10^{-6}$ в год
IV ГАБ ЗК, в котором сформирован очаг геодинамического явления (О ГДЯ) или произошло проявление ГДЯ	Изменения во времени компонентов деформаций свыше $22,4 \cdot 10^{-6}$ в год

Величины изменений во времени динамических параметров блока земной коры для установления III и IV степени опасности получены с учетом результатов исследований Кольского научного центра РАН [77, 78, 194, 254], Садовского М. А. [162, 163, 164] и ряда других авторов [2, 22, 110, 148, 156, 251], которые обосновали, что проявление геодинамического явления при очаге в глубине массива горных пород возможно при плотности энергии не менее $12 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{м}^3$. Поэтому при установлении III степени опасности минимальное значение изменений во времени компонентов деформаций принято в размере 0,67 от указанной величины.

Оценка риска такого проявления включает экспертный анализ степени опасности (О) и степени уязвимости (У), который количественно выражается коэффициентом риска (Р) согласно методологии (2.4)[9, 155, 180, 194, 200, 223]. Комплексной характеристикой объекта является оценка суммарного риска, позволяющая произвести сравнительный анализ ситуации с позиций возможных потерь для рассматриваемых объектов [155, 180, 194, 200, 223]. За основу количественной оценки риска принимается широко известный подход [155] получения нормирующих коэффициентов, характеризующих долю от наиболее неблагоприятной ситуации, принимаемой за единицу. Для определения указанных коэффициентов формируются интегральные коды по показателям опасности и уязвимости (таблица 3.23).

Таблица 3.23 – Формат интегральных кодов

Коэффициент риска	
Степень опасности О	Степень уязвимости У
Интегральный код (показатели)	
АБВГ	ДКЛ
Код неблагоприятного сочетания показателей О = 1 и У = 1	
3334	333

Опасность проявления ГДЯ на горном предприятии определяется следующими показателями:

- опасность превышения принятых параметров при обосновании конструкции инженерного объекта;
- обоснованность и соответствие проектных решений современным требованиям учета влияния развития деформаций блоков земной коры с проявлениями ГДЯ разрушительного характера при освоении месторождения;
- возможные последствия и ущерб от проявления ГДЯ при освоении месторождения.

Степень опасности по каждому из показателей устанавливается отдельно на основании экспертных оценок. Численные значения коэффициента опасности в зависимости от установленного интегрального кода показателей опасности получаются на основе экспертной оценки коэффициентов значимости каждого из показателей опасности. Принятый за единицу коэффициент опасности О соответствует наиболее неблагоприятному сочетанию показателей опасности на объекте и характеризуется интегральным кодом 3334. Код степени опасности О, приведенный в таблице 3.23, определяется набором следующих показателей:

А – степень опасности превышения принятых при обосновании конструкции инженерного объекта проявлений ГДЯ (А = 0, степень опасности малая, локальные повреждения; А = 1 – средняя, разрушения элементов конструкции; А = 2 – большая, разрушения конструкций и инженерных объектов);

Б – степень опасности по обоснованности и соответствию проектных решений современным требованиям учета влияния развития деформаций блоков земной коры при освоении месторождения ($B = 0$, степень опасности отсутствует, достаточность выделения блоков земной коры и оценка развития их деформаций на стадии инженерных изысканий, надежность и обоснованность методов учета влияния ГДЯ и расчетных характеристик материалов инженерных сооружений и их оснований, достаточность расчетного обоснования конструкций инженерных объектов с учетом влияния проявления ГДЯ; $B = 1$ – малая, незначительные отклонения; $B = 2$ – средняя, существенные отклонения по выделениям блоков земной коры и по одному из оставшихся факторов; $B = 3$ – большая, грубые погрешности при выделении блоков земной коры и двум другим факторам);

В – степень опасности по соответствию проекту его конструкции, условий эксплуатации и свойств материалов современным требованиям учета влияния ГДЯ ($V = 0$, степень опасности отсутствует, полное соответствие проекту учета влияния ГДЯ, обусловленных развитием деформаций блоков земной коры, на конструкции, условия эксплуатации и свойства материалов; $V = 1$ – малая, незначительные отклонения от проекта; $V = 2$ – средняя, существенные отклонения от проекта, которые могут привести к нарушению нормальной работы; $V = 3$ – большая, значительные отклонения от проекта учета влияния ГДЯ, которые могут привести к его проявлению);

Г – степень опасности по возможным последствиям и ущербу от проявления ГДЯ ($G = 1$, степень опасности малая, микроудар (ЧС локального масштаба); $G = 2$ – средняя, горный удар, внезапный выброс (ЧС местного масштаба); $G = 3$ – большая, горно-тектонический удар (ЧС территориального масштаба); $G = 4$ – очень большая, техногенное землетрясение (ЧС регионального масштаба);

В таблице 3.23 предлагаются следующие показатели уязвимости и значения нормирующих коэффициентов:

Д – степень уязвимости по данным инструментального контроля с учетом зонирования блоков земной коры ($D = 0$, степень опасности отсутствует, скорости

деформации на участке земной коры менее $3 \cdot 10^{-6}$ в год, отсутствуют превышения предельно допустимых значений параметров; $D = 1$ – малая, скорости деформации на участке земной коры не менее $3 \cdot 10^{-6}$ в год, отсутствуют превышения предельно допустимых значений параметров; $D = 2$ – средняя, скорости деформации на участке земной коры от $15 \cdot 10^{-6}$ до $22,4 \cdot 10^{-6}$ в год, превышение предельно допустимых значений параметров; $D = 3$ – большая, скорости деформации на участке земной коры более $22,4 \cdot 10^{-6}$ в год, превышение предельно допустимых значений параметров, что ведет к проявлению ГДЯ);

K – степень уязвимости по организации безопасной эксплуатации ($K = 0$, степень опасности отсутствует, включение зонирования блоков земной коры по степени опасности развития деформаций в технологический цикл работы на всех стадиях; $K = 1$ – малая, незначительные отступления; $K = 2$ – средняя, эпизодическое использование; $K = 3$ – большая, неучет);

L – степень уязвимости по готовности к ликвидации проявлений ГДЯ ($L = 0$, степень опасности отсутствует, включение мероприятий по учету результатов зонирования блоков земной коры по степени опасности развития деформаций в план ликвидации аварий горного предприятия на всех стадиях его жизнедеятельности; $L = 1$ – малая, незначительные отступления; $L = 2$ – средняя, эпизодическое включение; $L = 3$ – большая, неучет).

Степень уязвимости инженерных объектов определяется по их восприимчивостью к воздействию факторов опасности. При этом принимаются следующие показатели уязвимости: состояние сооружения (по данным инструментального контроля); организация безопасной эксплуатации с учетом влияния ГДЯ; готовность объекта к локализации и ликвидации ЧС, обусловленной проявлением геодинамических явлений.

Оценка степени риска возможного проявления ГДЯ разрушительного характера при освоении угольного месторождения включает следующее.

1 Определение на основании экспертного анализа интегрального кода (показателей А, Б, В и Г), характеризующего степень опасности.

2 Определение на основании экспертного анализа интегрального кода (показателей Д, К и Л), характеризующего степень уязвимости.

3 Определение нормирующего коэффициента О, характеризующего степень опасности

$$O = \sum p_i \alpha_i \alpha_0, \quad (3.56)$$

где p_i – вес – i -го показателя опасности;

α_i – значение кода i -го показателя опасности (А, Б, В и Г);

α_0 – нормирующий множитель.

Вес для показателей А, Б, В принят равным 0,2, а для Г – 0,4.

4 Определение нормирующего коэффициента У, характеризующего степень уязвимости

$$Y = \sum p_i \alpha_i \alpha_0, \quad (3.57)$$

где p_i – вес i -го показателя уязвимости (для Д $p_i = 0,5$, К – 0,3 и Л – 0,2);

α_i – значение кода i -го показателя уязвимости (Д, К, Л);

α_0 – нормирующий множитель.

5 Определение коэффициента риска согласно (2.4).

6 Установления степени риска проявления ГДЯ разрушительного характера по величине Р (малая – не более 0,15; умеренная – от 0,15 до 0,3; большая – от 0,3 до 0,5; критическая – свыше 0,5).

Пример установления интегральных кодов для шахты «Коксовая» приведен в таблице 3.24.

Таблица 3.24 – Пример интегральных кодов для шахты «Коксовая»

Коэффициент риска = 0,35	
Степень опасности О = 0,529	Степень уязвимости У = 0,666
Интегральный код (показатели)	
АБВГ = 2122	ДКЛ = 233

Анализ выполненных результатов исследований свидетельствует о необходимости совершенствования и развития динамической модели ГМНДСЗК при степени возможного риска проявления ГДЯ разрушительного характера $P > 0,3$ (подробный анализ в подразделе 4.1). Тем самым соискателем обосновывается взаимосвязь управления массивом горных пород развития ГДП, что свидетельствует о необходимости включения ГМНДСЗК в технологический цикл освоения недр. Такой подход свидетельствует о гибкости проведения исследований и соответствующей экономической эффективности.

Разработка теоретических положений подсистемы частоты наблюдений и сбора информации во времени базируется на временном принципе (подсистема 5). Его теоретическим обоснованием является учет медленных скоростей земной коры (2.1), не приводящих к проявлению ГДЯ, что является коренным отличием от существующих подходов. Разработка теоретических положений подсистемы частоты наблюдений и сбора информации во времени дополняет теоретические основы взаимообусловленной и взаимосвязанной системы постоянных наблюдений, а также теоретические положения для подсистем взаимодействия системы динамической модели ГМНДСЗК. Прежде всего, на их основе осуществляется разработка методики наблюдений и подбор аппаратуры для сбора первичной информации (подраздел 3.2) с соответствующей частотой опроса (2.11) (рисунки 3.33, 3.34). Кроме этого, система наблюдений коренным образом отличается от режимных наблюдений на пунктах опорных геодезических сетей. Наиболее существенные отличия сводятся к следующему – динамическая модель ГМНДСЗК:

- базируется на целевом принципе, заключающемся в контроле НДС блоков земной коры на исследуемой территории;
- характеризуется взаимообусловленной и взаимосвязанной системой постоянных наблюдений по прямым и обратным связям;
- постоянно актуализирует результаты наблюдений;
- учитывает форму, конфигурацию и ранг блоков земной коры.



Рисунок 3.33 – Связь периода наблюдений со степенью опасности развития деформаций блока земной коры



Рисунок 3.34 – Связь частоты опроса со степенью опасности развития деформаций блока земной коры

Согласно результатам исследований (см. рисунки 3.33, 3.34) при установлении III степени опасности развития деформаций блока земной коры (за счет роста ее скорости) происходит развитие ГДП во времени, то есть изменяется как частота опроса, так и период наблюдений.

На основе результатов выполненных исследований сделаны следующие выводы.

1 Теоретически обоснована пространственная структурная модель ячейки построений ГДП блока земной коры как типовой основы многоуровневных геодезических построений и получения информации для динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений.

2 Разработаны теоретические основы контроля напряженно-деформированным состоянием блоков земной коры для формирования прогнозных оценок их развития с последующей выработкой профилактических мер и рекомендаций для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений.

3 Теоретически обоснована взаимосвязанность и взаимообусловленность системы постоянных наблюдений, оценки, прогноза и контроля для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений.

4 Теоретически обоснованы основные положения взаимодействия между подсистемами динамической модели ГМНДСЗК, базирующиеся на новом структурно-организационном принципе, учитывающем иерархию и структуру земной коры.

5 Теоретически обоснована частота наблюдений и сбора информации во времени для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений.

6 Разработанная на пространственном и временном принципах динамическая модель ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений формирует полноценную систему сбора информации о напряженно-деформированном состоянии блоков земной коры разных рангов, ее оценки, прогноза и контроля и позволяет внедрить на угледобывающих предприятиях новый подход к исследованию их геодинамики.

4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ГЕОДИНАМИКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ КУЗБАССА

Сформулированная в первом разделе проблемная ситуация свидетельствует как о недостаточности мониторинговых геодезических систем на угольных предприятиях Кузбасса, так и об отсутствии теоретических основ их разработки и реализации [53, 189, 194, 198, 204, 220, 234, 237]. Разработанная в третьем разделе методология реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений Кузбасса восполняет этот пробел. В настоящее время на территории Кузбасса работает более 130 угледобывающих предприятий, которые могут применить указанную методологию. Рассмотрим примеры реализации на некоторых угольных предприятиях.

4.1 Анализ применения функционального принципа методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК при освоении ряда угольных месторождений Кузбасса

Анализ применения функционального принципа методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК соискателем выполнен для ряда угольных месторождений Кузбасса (шахт «Коксовая», «Красноярская», «Бутовская» и ООО «Шахтоуправление «Карагайлинское») [194, 200, 209, 215, 222, 223, 238]. Все перечисленные шахты действующие. Оценка возможного риска определяется на основании экспертного анализа степени опасности проявления ГДЯ О и степени уязвимости У (3.13). Степень риска проявления ГДЯ при освоении месторождения оценивают в зависимости от величины коэффициента риска Р (см. таблицу 3.10). Опасность проявления ГДЯ определяется согласно показателям (см. подраздел 3.2). Исходя из этого, предполагается, что типизация шахт по опасности превышения принятых при обосновании конструкции инженерных объектов проявлений ГДЯ обусловлена

отдельными факторами. Активизация развития деформаций блоков земной коры выявлена на основе зонирования по результатам повторных наблюдений на пунктах структурно ориентированных построений ГДП.

В таблице 4.1 приведены результаты зонирования исследуемых блоков земной коры указанных шахт.

Таблица 4.1 – Зонирование исследуемых блоков земной коры ($1 \cdot 10^{-6}$ в год)

Блок земной коры В районе	Ранг	$\theta[t-t_0]$	$\Delta\gamma[t-t_0]$	Степень опасности	Тип геодинамической ситуации
Шахты «Коксовая»	IV	-12,09	0,04	II	Зона сжатия
Шахты «Красноярская»	V	-4,08	0,10	II	Зона сжатия
ООО «Шахтоуправление «Карагайлинское»	IV	-9,16	0,09	II	Зона сжатия
Шахты «Бутовская»	V	3,374	7,717	II	Зона сдвига

Для шахт «Коксовая», «Красноярская», «Бутовская» и ООО «Шахтоуправление «Карагайлинское» определение коэффициентов опасности приведено в таблице 4.2, они соответствуют интегральным кодам (таблица 4.3).

При этом опасность превышения принятых при обосновании конструкции параметров инженерных объектов проявлений ГДЯ обусловлена:

- влиянием зоны глубинного разлома (см. рисунки 2.17, 2.18);
- глубиной ведения горных работ, соизмеримой с глубиной проникновения разломов (см. таблицу 2.6);

Таблица 4.2 – Определение интегрального кода показателей опасности

Показатель	Степень опасности	Код	Отличительные признаки установления степени опасности
Шахта «Коксовая»			
1	средняя	2	Возможны разрушения конструкций и инженерных объектов
2	малая	1	Инженерно-геологические изыскания достаточны, методы определения расчетных характеристик обоснованы, но имеются небольшие отклонения от современных нормативных требований
3	средняя	2	Изменения напряженного состояния горных пород и образование на земной поверхности зон сдвижения
4	Средняя	2	Горные удары (ЧС местного масштаба)
Шахта «Красноярская»			
1	малая	1	Возможны разрушения элементов конструкции
2	малая	1	Инженерно-геологические изыскания достаточны, методы определения расчетных характеристик обоснованы, но имеются небольшие отклонения от современных нормативных требований
3	средняя	2	Изменения напряженного состояния горных пород и образование на земной поверхности зон сдвижения
4	малая	1	ЧС локального масштаба
ООО «Шахтоуправление «Карагайлинское»			
1	малая	2	Возможны разрушения элементов конструкции и инженерных объектов
2	малая	1	Инженерно-геологические изыскания достаточны, методы определения расчетных характеристик обоснованы, но имеются небольшие отклонения от современных нормативных требований
3	средняя	2	Изменения напряженного состояния горных пород, внезапные выбросы
4	средняя	2	Внезапные выбросы (ЧС местного масштаба)
Шахта «Бутовская»			
1	малая	2	Возможны разрушения элементов конструкции и инженерных объектов
2	малая	1	Инженерно-геологические изыскания достаточны, методы определения расчетных характеристик обоснованы, но имеются небольшие отклонения от современных нормативных требований
3		2	Изменения напряженного состояния горных пород, образование на земной поверхности зон сдвижения
4		2	Внезапные выбросы (ЧС местного масштаба)

- месторасположением горных работ в блоке земной коры;
- активизацией развития деформаций блоков земной коры.

Степень уязвимости шахт «Коксовая» и «Красноярская» определена их восприимчивостью к воздействию факторов опасности. Результаты экспертных оценок для шахт «Коксовая», «Красноярская» и ООО «Шахтоуправление «Карагайлинское» по определению коэффициентов уязвимости приведены в таблице 4.4, они соответствуют интегральным кодам (таблица 4.5) [155, 180,194, 200, 223].

Таблица 4.3 – Определение коэффициентов опасности проявления ГДЯ шахт

Интегральный код	О
Шахта «Коксовая»	
2122	0,529
Шахта «Красноярская»	
1121	0,353
ООО «Шахтоуправление «Карагайлинское»	
2122	0,529
Шахта «Бутовская»	
2122	0,529

Исследуемые шахты расположены в разных частях Кузбасса. Поле шахты «Коксовая» находится в северо-восточной части Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса. Разработка угольных пластов приводит к изменению напряженного состояния горных пород и образованию на земной поверхности зон сдвига.

Для контроля за сдвижением земной поверхности и деформациями подрабатываемых объектов предусматривалась закладка наблюдательной станции и проведение инструментальных наблюдений.

Таблица 4.4 – Определение интегрального кода показателей уязвимости

Показатель	Степень опасности	Код	Отличительные признаки установления степени уязвимости
Шахта «Коксовая»			
1	средняя	2	Скорости деформации на участке земной коры значительно более $3 \cdot 10^{-6}$ в год
2	большая	3	Неучет результатов зонирования блоков земной коры по степени опасности развития деформаций
3	большая	3	Неучет в мероприятиях результатов зонирования блоков земной коры по степени опасности развития деформаций
Шахта «Красноярская»			
1	малая	1	Скорости деформации на участке земной коры не менее $3 \cdot 10^{-6}$ в год, отсутствуют превышения предельно допустимых значений параметров
2	малая	1	Незначительные отступления
3	малая	1	Незначительные отступления
ООО «Шахтоуправление «Карагайлинское»			
1	средняя	2	Скорости деформации на участке земной коры значительно более $3 \cdot 10^{-6}$ в год
2	большая	3	Неучет результатов зонирования блоков земной коры по степени опасности развития деформаций
3	большая	3	Неучет в мероприятиях результатов зонирования блоков земной коры по степени опасности развития деформаций
Шахта «Бутовская»			
1	средняя	1	Скорости деформации на участке земной коры значительно более $3 \cdot 10^{-6}$ в год
2	большая	2	Неучет результатов зонирования блоков земной коры по степени опасности развития деформаций
3		2	

Таблица 4.5 – Определение коэффициентов уязвимости указанных шахт

Интегральный код	У
Шахта «Коксовая»	
233	0,666
Шахта «Красноярская»	
111	0,333
ООО «Шахтоуправление «Карагайлинское»	
233	0,666
Шахта «Бутовская»	
122	0,501

ОАО Шахта «Красноярская» располагается в северо-восточной части Ленинского геолого-экономического района Кемеровской области на правом берегу реки Иня. Поле шахты «Красноярская» занимает северо-западную часть Красноярского геологического участка в северо-восточной части Ленинского геолого-экономического района Кемеровской области.

Вынимаемые мощности пластов $m = 2,82$ и $2,62$ м соответственно. Их влияние незначительно. В начале 2012 г. при отработке пласта Польшаевского II лавы № 806 максимально возможная глубина провалов составила 4,72 м. Максимально возможная глубина провалов при отработке пласта Польшаевского II лавы № 804 в середине 2012 года составила 4,75 м. Для контроля за сдвижением земной поверхности предусматривались закладка наблюдательной станции и проведение инструментальных наблюдений. Тектоническое строение поля шахты в целом простое.

ОАО шахта «Бутовская» располагается на территории Кемеровского геолого-экономического района Кемеровской области на правом берегу реки Томи, в 8 км к северу от города Кемерово. В структурном отношении исследуемая территория приурочена к западному крылу Кемеровской синклинали. Шахта «Бутовская», ра-

ботавшая в советское время, была закрыта в 1998 г. В настоящее время она возрождается и вновь пущена в эксплуатацию в 2013 г.

На основании выполненных экспертных оценок (см. таблицы 4.3 и 4.5) интегральная оценка проявления ГДЯ определена по формуле (2.2) и приведена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Степень возможного риска проявления ГДЯ на шахтах

Р	Степень риска проявления ГДЯ
Шахта «Коксовая»	
0,35	Большая
Шахта «Красноярская»	
0,12	Малая
ООО «Шахтоуправление «Карагайлинское»	
0,35	Большая
Шахты «Бутовская»	
0,26	Умеренная

Реализация предложенной методологии показала, что ее отличительными особенностями являются:

- базирование на зонировании блоков земной коры по степени опасности развития деформаций, которое требует регулярных, комплексных, высокоточных, повторных наблюдений на ГДП;
- возможность управления территориальным и временным развитием ГДП на шахте «Коксовая» и ООО «Шахтоуправление «Карагайлинское», а также степенью риска проявления ГДЯ разрушительного характера путем реализации профилактических мер по соответствующим показателям;
- предложенное зонирование блоков земной коры позволяет многократно использовать информацию, полученную при проведении ГМНДСЗК при освоении

этого месторождения Кузбасса, что не может быть осуществлено при проведении повторных наблюдений по традиционной технологии;

- установлено, что исследование развития и пространственно-временного перераспределения напряжений земной коры по результатам ГМНДСЗК, обусловленных совместным влиянием природных и техногенных геодинамических процессов на указанной шахте, является актуальной и многоаспектной проблемой.

Возможность отмеченного управления подтверждает анализ экономического ущерба от происшедших в Кузбассе аварий на горных предприятиях [97, 98, 261] (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Распределение экономического ущерба от происшедших в Кузбассе аварий

Доля аварий	Экономический ущерб от объема годовой товарной продукции
70 %	0,4–3,0%
25 %	менее 50 %
5 %	более 50 %

Для шахты со среднегодовой добычей угля 500 000 т и отпускной его цене в 2 000 руб. возможный ущерб при 3 % уровне равен 30 млн руб., а затраты на создание ГДП оцениваются в 10 млн рублей, что свидетельствует о целесообразности комплексного инструментального контроля [180, 184, 185, 187, 192, 194, 198, 205, 219, 227, 234] как действия по предупреждению ГДЯ.

Полученные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

- предупреждение проявлений ГДЯ на основе ГМНДСЗК с финансовой точки зрения целесообразно;
- освоение недр на угольных шахтах Кузбасса должно быть ориентировано на управление степенью риска проявления ГДЯ на основе ГМНДСЗК.

4.2 Анализ применения целевого принципа методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК при освоении ряда угольных месторождений Кузбасса

Информационной основой применения целевого принципа методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК при освоении ряда угольных месторождений Кузбасса по предложению соискателя являются динамические параметры блоков земной коры, широкий спектр которых им обоснован не случайно. Вместе с тем, динамические параметры блоков земной коры определяются на основе пространственного, временного и структурно-организационного принципов, что обеспечивает информационное взаимодействия не только между системами ГМНДСЗК, но смежными науками о Земле: геодезией, геодинамикой, геомеханикой и геотехнологией освоения недр – на общей теоретической основе и единых параметрах [53, 180, 182, 194, 200, 201, 204, 209, 215, 220, 227, 237].

Рекомендуемое соискателем применение целевого принципа методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК на основе решения прикладных задач геодинамики угольных месторождений Кузбасса при геомеханическом обеспечении геотехнологии освоения недр и используемые динамические параметры приведено в подразделе 2.1 (см. рис. 2.3). Рекомендуемое соискателем применение целевого в методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК на основе решения прикладных задач геодинамики угольных месторождений при геомеханическом обеспечении геотехнологии освоения недр обеспечивает целенаправленность и унифицированность изучения деформаций блоков земной коры [53, 55, 56, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 192, 193, 194, 195, 196, 198, 200, 201, 202, 204, 205, 207, 208, 210, 211, 212, 213, 216, 218, 219, 220, 221, 222, 226, 227, 228, 229, 234, 238]. Охарактеризуем рекомендуемые решения подробнее.

Определение типа геодинамической ситуации. Основными типами геодинамической ситуации являются:

- зона сжатия;

- зона растяжения;
- зона сдвига.

В таблице 4.8 приведен тип ситуации для двух блоков земной коры в районе шахты «Есаульская».

Таблица 4.8 – Определение типа геодинамической ситуации

Блок земной коры	Ранг	$\theta[t-t_0]$ ($1 \cdot 10^{-6}$ год $^{-1}$)	$\Delta\gamma t-t_0]$ ($1 \cdot 10^{-6}$ год $^{-1}$)	Тип геодинамической ситуации
Шахта «Есаульская», блок 2	VI	-2,16	2,00	зона сжатия
Шахта «Есаульская», блок 1	VI	-2,06	1,40	зона сжатия

Результаты, приведенные в таблице 4.8, с учетом исследований [37] позволяют сделать следующие выводы:

- фактор влияния зоны сжатия на степень потенциальной удароопасности месторождения являлся наибольшим, а зоны сдвига – наименьшим;
- прикладным использованием типа ситуации является выбор формы выработки при подземной геотехнологии освоения месторождения.

В таблице 4.9 приведен тип ситуации для двух блоков земной коры IV ранга на территории Яйского района Кемеровской области (см. рисунок 3.34) и блока земной коры V ранга в районе города Кемерово.

В таблице 4.10 приведен тип ситуации для блоков земной коры в районе разреза «Кедровский» и города Кемерово. Результаты выполненных исследований использованы для анализа геомеханических условий ведения горных работ на разрезе «Кедровский», которые позволили разработать рекомендации по предотвращению возникновения деформаций борта (была изменена схема вскрытия).

Таблица 4.9 – Определение типа геодинамической ситуации

Блок земной коры	Ранг	$\theta[t-t_0]$ ($1 \cdot 10^{-6}$ год $^{-1}$)	$\Delta\gamma t-t_0]$ ($1 \cdot 10^{-6}$ год $^{-1}$)	Тип геодинамической ситуации
Территория Яйского района, блок 2	IV	3,56	0,53	зона растяжения
Территория Яйского района, блок 1	IV	-3,31	1,56	зона сжатия
Территория города Кемерово, блок I	V	3,03	0,71	зона растяжения

Таблица 4.10 – Тип геодинамической ситуации

Блок земной коры	Ранг	$\theta[t-t_0]$ ($1 \cdot 10^{-6}$ год $^{-1}$)	$\Delta\gamma t-t_0]$ ($1 \cdot 10^{-6}$ год $^{-1}$)	Тип геодинамической ситуации
Разрез «Кедровский»	VI	42,26	43,92	зона сдвига
Территория города Кемерово, блок II	V	4,20	22,50	зона сдвига
Территория города Кемерово, блок III	V	1,44	2,08	зона сдвига
Территория города Кемерово, блок	IV	-0,25	-0,66	зона сдвига

В результате было проведено опережение фронта работ на верхнем горизонте, и в первую очередь, отгрузка отвала вскрышных пород, расположенного в призме возможного обрушения, а также удаление рыхлых отложений в непосредственной близости от борта.

В таблице 4.11 приведен тип ситуации для блоков земной коры III и IV рангов на территории Кемеровской области

Таблица 4.11 – Тип геодинамической ситуации

Блок земной коры	Ранг	$\theta[t-t_0]$ ($1 \cdot 10^{-6}$ год $^{-1}$)	$\Delta\gamma t-t_0]$ ($1 \cdot 10^{-6}$ год $^{-1}$)	Тип геодинамической ситуации
401	III	-0,09	0,04	зона сжатия
296	III	-0,08	0,10	зона сжатия
252	III	-0,16	0,09	зона сжатия
315	III	-0,15	0,13	зона сжатия
328	IV	-0,23	0,22	зона сжатия
204	IV	-0,12	0,13	зона сдвига
498	IV	-0,08	0,06	зона сжатия
351	IV	-0,10	0,09	зона сжатия

Контроль изменений во времени ориентирования главных осей деформаций блоков земной коры в районе месторождения включает следующее.

Изменение во времени направления главных значений деформаций блоков земной коры в районе освоения месторождения определяет действие сжимающих напряжений на контуры выработок. Прикладным использованием указанных изменений во времени направлений главных осей деформаций блоков земной коры при подземной геотехнологии освоения месторождения является выбор направления капитальных горных выработок. Полученная таким образом информация рекомендуется для использования при планировании горных работ.

Определение изменений во времени значений главных деформаций блоков земной коры в районе разреза «Бачатский» и в районе города Кемерово приведено в таблице 4.12.

Определение изменений во времени значений главных деформаций блоков земной коры разных рангов на территории Кемеровской области и направлений их осей приведено в таблицах 4.13 и 4.14.

Таблица 4.12 – Определение изменений во времени значений главных деформаций блоков земной коры ($1 \cdot 10^{-6}$ в год)

Блок земной коры	Ранг	Изменения во времени значений главных деформаций блоков земной коры		
		$\varepsilon_1[t-t_0]$	$\varepsilon_2[t-t_0]$	$\varepsilon_3[t-t_0]$
Разрез «Бачатский» Блок 1 цикл 3	VI	3,78	1,5	-1,32
Разрез «Бачатский» Блок 1 цикл 3	VI	5,71	2,75	-1,72
Разрез «Бачатский» Блок 2 цикл 3	VI	2,52	0,67	-1,30
Разрез «Бачатский» Блок 2 цикл 4	VI	-2,75	-0,26	-1,52
Территория города Кемерово, блок I	V	-3,01	$1,35 \cdot 10^{-6}$	$-2,10 \cdot 10^{-7}$
Территория города Кемерово, блок I	V	-3,01	$1,35 \cdot 10^{-6}$	$-2,10 \cdot 10^{-7}$
Территория города Кемерово, блок II	V	4,02	$2,42 \cdot 10^{-4}$	$7,06 \cdot 10^{-7}$
Территория города Кемерово, блок III	V	$-3,02 \cdot 10^{-7}$	1,44	$1,37 \cdot 10^{-6}$

Таблица 4.13 – Определение изменений во времени значений главных деформаций блоков земной коры ($1 \cdot 10^{-6}$ в год)

Блок земной коры	Ранг	Изменения во времени значений главных деформаций блоков земной коры		
		$\varepsilon_1[t-t_0]$	$\varepsilon_2[t-t_0]$	$\varepsilon_3[t-t_0]$
362-2	IV	-4,02	2,01	-1,09
252-3	IV	-0,48	1,13	0,35

Таблица 4.14 – Определение изменений во времени направлений осей главных деформаций блока земной коры 362-2

Главное значение	Изменения во времени направлений осей главных значений деформаций блока земной коры		
	XOY	XOZ	YOZ
$\varepsilon_1[t-t_0]$	$-259^0 17' 51''$	$37^0 37' 48''$	$-11^0 01' 06''$
$\varepsilon_2[t-t_0]$	$-18^0 10' 16''$	$9^0 48' 07''$	$-74^0 50' 07''$
$\varepsilon_3[t-t_0]$	$-6^0 53' 31''$	$16^0 01' 45''$	$-39^0 46' 10''$

Контроль накопления потенциальной энергии деформирования блоков земной коры. На разрезе «Кедровский» изменения потенциальной энергии блока земной коры V ранга при совместном влиянии техногенных и природных геодинамических процессов характеризуется $2,30 \cdot 10^9$ Дж, что свидетельствует о возможном землетрясении до 2 баллов. На исследуемой территории в районе города Кемерово соискателем определены следующие изменения потенциальной энергии: в блоке земной коры IV ранга $5,57 \cdot 10^9$ Дж; для блоков земной коры V ранга $2,67 \cdot 10^{10}$, $2,95 \cdot 10^{12}$ и $1,06 \cdot 10^{10}$ Дж соответственно, что свидетельствует о возможном уровне землетрясения от 2 до 4 баллов.

Определение накопления потенциальной энергии деформирования в районе разреза «Бачатский» приведено в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Изменения во времени потенциальной энергии блока земной коры на разрезе «Бачатский»

№ цикла	$E[t]$ ($1 \cdot 10^6$ Дж)	Возможное геодинамическое явление
2	2,59	менее 1-го балла
3	10,53	менее 1-го балла
4	10,89	менее 1-го балла

Степень накопленной энергии в блоке земной коры (см. таблицу 4.15) служит основой для прогноза возможных проявлений динамических явлений (таблица 4.16).

Таблица 4.16 – Геодинамические явления и соответствующие изменения энергии при их проявлении

Виды геодинамических явлений	Сейсмическая энергия, Дж (умноженная на 10 в степени)
Землетрясения	7–15
Техногенные землетрясения	1–12
Горнотектонические удары	5–12
Горные удары	2–10
Толчки	3–7
Внезапные выбросы угля и газа	2–3
Микроудары	1,5–2,0
Стреляния	0,5–1,5

Для блока земной коры, соответствующему технологическому шахты «Первомайская», изменение потенциальной энергии равно $5,14 \cdot 10^{10}$ Дж. Это свидетельствует о возможности горного удара (см. таблицу 4.16), а на разрезе «Вахрушевразрезуголь» для блока земной коры VI ранга – $2,32 \cdot 10^8$ Дж.

Для реализации современного подхода к прикладному использованию накопления потенциальной энергии в блоке земной коры соискателем предложено выполнять их моделирование в зависимости от кинематики (рис. 4.1) [180, 194]. Изменения во времени потенциальной энергии приведены в Дж, а ее плотности – в $\text{кг} \cdot \text{м} / \text{м}^3$. Применение указанного моделирования позволяет априори оценить степень накопления потенциальной энергии в блоках земной коры в зависимости от их кинематики. Оценка степени накопления потенциальной энергии блоков земной коры в зависимости от их кинематики может быть построена для любого шахтного поля. Такая априорно полученная информация рекомендуется для использования при планировании горных работ. Она может быть представлена средствами компьютерной графики. Применение указанного представления позволяет наглядно, а в ряде случаях – априори продемонстрировать развитие состояния блоков земной коры в зависимости от изменений во времени компонентов деформации.

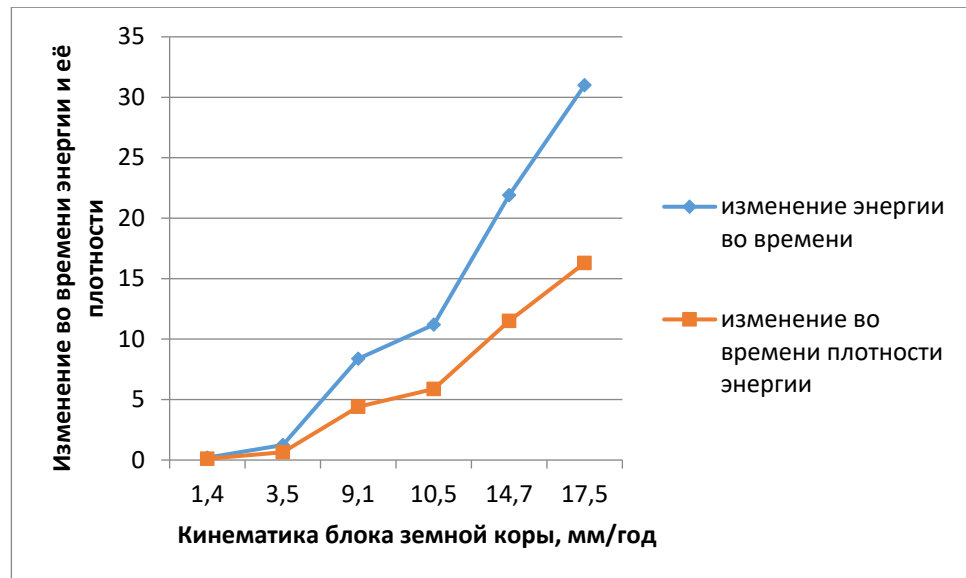


Рисунок 4.1 – Зависимость изменения во времени потенциальной энергии и ее плотности блока 1 земной коры в районе шахты «Есаульская» от его кинематики (мм/год)

Результаты унификации изучения деформаций блоков земной коры разных рангов при применении целевого принципа методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК на основе решения прикладных задач геодинамики угольных месторождений свидетельствуют о следующем:

- значимости изменений во времени главных значений деформаций блоков земной коры под влиянием как природных геодинамических, так и техногенных процессов;
- пренебрегаемо малом влиянии природных геодинамических процессов при скоростях кинематики блоков земной коры до 1,5 мм/год (менее $3 \cdot 10^{-6}$ в год);
- связанном с техногенными процессами влиянием открытой геотехнологии освоения месторождения, и больших величинах изменений (более $3 \cdot 10^{-6}$ в год);
- формировании типа геодинамической ситуации блоков земной коры разных рангов, что определяется влиянием как природных геодинамических, так и техногенных процессов;

- влиянии техногенных процессов, которое характеризуется открытой и подземной технологией освоения месторождения и большими величинами изменения дилатации во времени.

Итогом выполненных исследований являются предложенные профилактические мероприятия в рамках обеспечения геодинамической безопасности, которые базируются:

- на установлении типа геодинамической ситуации;
- контроле изменений во времени ориентирования главных осей деформации (напряжений);
- изменении во времени потенциальной энергии блока земной коры.

Для решения фундаментальной задачи геодинамики об оценке перераспределения деформаций и потенциальной энергии в блоках земной коры разных рангов (формирования очага ГДЯ) был создан ГДП Кемеровского государственного университета (КемГУ) (первая очередь) [221, 222]. Для обеспечения его проектирования соискателем было проведено геодинамическое районирование исследуемой территории и выделены блоки земной коры IV (номер 42:2019:03:04:000000000281), состоящий из 3 блоков V ранга (II – номер 42:2019:03:05:000000002256; III – номер 42:2019:03:05:000000003257) (рисунок 4.2) [188, 189]. Основные характеристики разломов, разграничивающие блоки земной коры на основе проведения морфоструктурного анализа [5, 6, 27], приведены в таблице 4.17. Доминирующим признаком выделения блоков земной коры на рисунке 4.2 являются спрямленные русла рек, то есть гидрография, обусловленная формированием современного рельефа.

На рисунке 4.2 красным цветом обозначены: блок земной коры IV ранга; а синим – блоки земной коры V ранга.

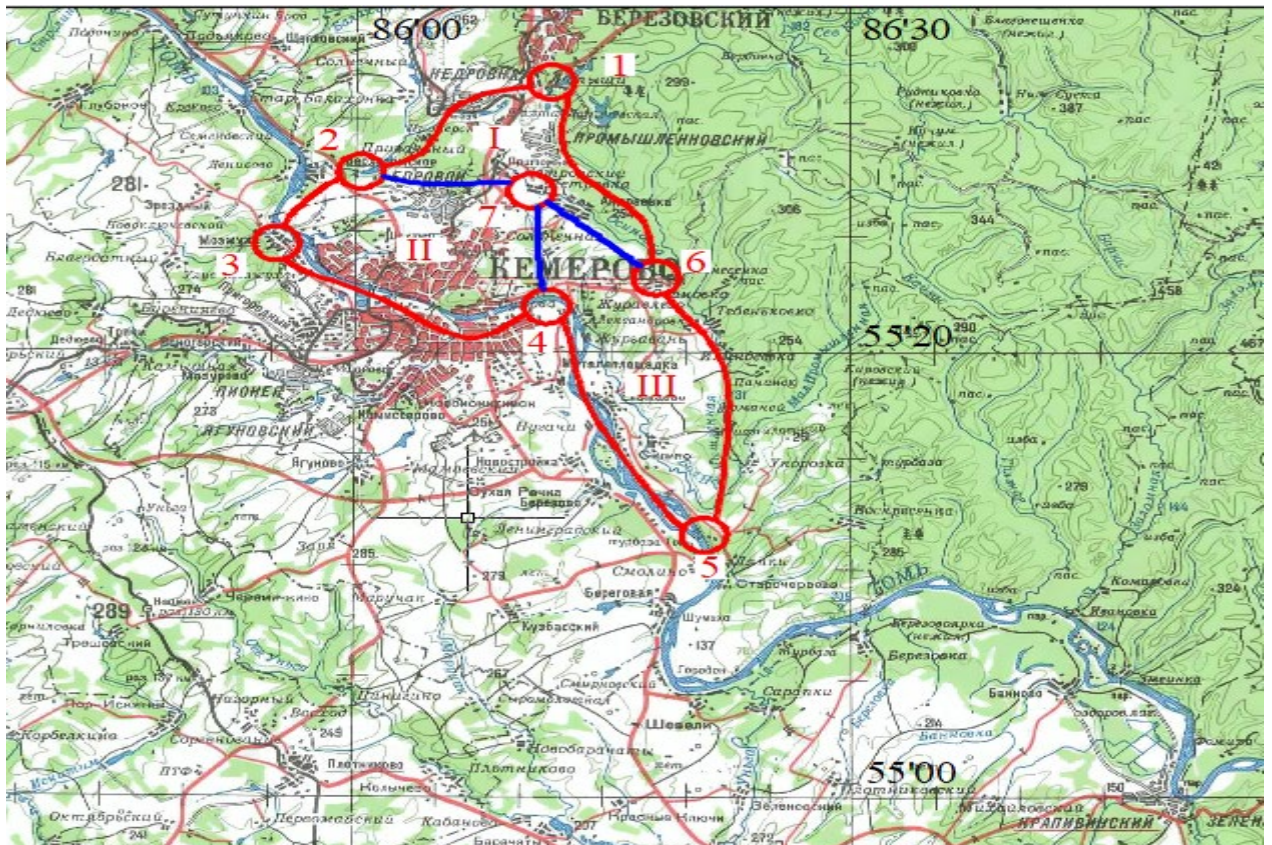


Рисунок 4.2 – Блоки земной коры IV и V-го рангов ГДП КемГУ

Таблица 4.17 – Основные характеристики разломов, разграничивающие блоки земной коры

№	Разлом	Протяженность участка разлома, км	Признак выделения разлома
1	1-2	5,6	По спрямленному руслу реки Чесноковка и далее по рельефу
2	2-3	4,0	По спрямленному руслу реки Чесноковка
3	3-4	7,4	По руслу реки Томи
4	4-5	9,4	По руслу реки Томи
5	5-6	9,0	По спрямленному руслу реки Большая Промышленная
6	6-1	7,0	По спрямленному руслу реки Большая Промышленная
7	7-2	4,4	По рельефу
8	7-4	4,0	По рельефу
9	7-6	5,6	По спрямленному руслу реки Осиновка

Месторасположения МП выбрано с учетом разработанной соискателем методологии (см. подраздел 2.1): в узлах пересечения разломов и в наивысших отметках исследуемых блоков земной коры. Стабильные пункты в условно стабильном блоке. Повторные наблюдения на пунктах ГДП были выполнены четырьмя многочастными спутниковыми геодезическими приемниками Javad Triumph-1M в декабре 2019 г. сотрудниками общества с ограниченной ответственностью «Сибгеопроект-недра» (ООО «СГП-недра»). Постобработка с уравниванием материалов ГНСС-измерений и вычислением координат выполнена в программном обеспечении Gredo GNSS 1.1. На основе математической обработки результатов повторных наблюдений на ГДП определены динамические параметры блоков земной коры IV и V рангов (таблица 4. 18).

Таблица 4.18 – Динамические параметры блоков земной коры IV и V рангов

Блок земной коры	Изменение потенциальной энергии, Дж	Изменение плотности потенциальной энергии, кг·м/м ³
1 Блок земной коры IV-го ранга	$5,57 \cdot 10^9$	0,01
2 Блок земной коры V-го ранга I	$2,67 \cdot 10^{10}$	0,21
3 Блок земной коры V-го ранга II	$2,95 \cdot 10^{12}$	9,1
4 Блок земной коры V-го ранга III	$1,06 \cdot 10^{10}$	0,09

В качестве начальной эпохи наблюдений использованы координаты МП, определенные в 1988 г. классическими комбинированными геодезическими методами. Скорости кинематики исследуемых блоков земной коры по результатам повторных наблюдений не превысили 6 мм/год. Результаты, полученные соискателем в таблице 4.18, свидетельствуют о значительных величинах изменения потенциальной энергии в исследуемых блоках земной коры. Однако очаг ГДЯ не сформирован, так как изменения плотности потенциальной энергии меньше критической ($12 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{м}^3$). Полученные результаты не только расширяют возможности использования геодезической информации, но и обеспечивают решение фундаментальной задачи геодинамики геодезическим методом.

4.3 О перспективах дальнейших исследований

Выполненные результаты исследований носят предопределяющий характер. Развитие теории и методов ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений Кузбасса, базирующихся на новых теоретических и информационных принципах и формирующих новый методологический подход, опережает их использование в угольной отрасли Кузбасса. Поэтому дальнейшая разработка темы настоящей диссертации возможна в двух направлениях:

- в направлении развития теоретических основ динамической геодезии;
- в направлении развития геоинформационных геодезических технологий.

С теоретической точки зрения, полученные результаты позволяют открыть в динамической геодезии новое направление, ориентированное на геоинформационные исследования на угольных месторождениях Кузбасса. Такие исследования возможны как в области мониторинговых систем, так и систем управления освоением месторождений. Разработанный в работе понятийный аппарат позволяет как формулировать возникающие задачи геодинамики месторождений не только в рамках динамической геодезии, но и смежных наук о Земле, так и иметь необходимые методологические инструменты для их решения.

С практической точки зрения, полученные результаты представляют основу для развития геоинформационных геодезических технологий с целью решения задач сбора, математической обработки, анализа и прогноза информации, взаимодействия подсистем. Разработанную методологию можно применять не только для реализации ГМНДСЗК, но и для разработки систем управления безопасным освоением недр, то есть от регистрации развития деформаций блоков земной коры перейти к управлению их состоянием. Особенно важный практический интерес реализации предложенной соискателем динамической модели ГМНДСЗК на территории Кемеровской области, в первую очередь, представляют горнодобывающие предприятия по следующим группам:

- ведущие горные работы на глубине более 200 м;

- на которых отмечены проявления ГДЯ.

Обоснованием первой группы является техногенная деятельность, соизмеримая с глубиной проникновения разломов блоков земной коры VI ранга, например: шахты Бутовская и имени Кирова. А для второй группы не только сложная геодинамическая обстановка, опасность повторных проявлений ГДЯ (шахта Распадская и другие). В Кузбассе интенсивная разработка различных полезных ископаемых: угля, железной и золотой руды, строительных материалов – ведется уже на протяжении более 100 лет с концентрацией добычи на ограниченной территории. На площади Кузбасса, составляющей всего 27 000 км², разработку подземным и открытым способом осуществляют более 300 предприятий и к настоящему времени из недр извлечено уже около 10 млрд тонн полезных ископаемых, а глубина работ достигла 1 000 м от поверхности. В результате такого воздействия нарушается равновесие в напряженном состоянии верхней части земной коры, что приводит на фоне достаточно высокой естественной сейсмичности региона, к возбуждению техногенной сейсмичности. Известно, что в районе окрестностей г. Новокузнецка, регистрируются сильные землетрясения, начиная с 1898 г. Здесь произошли наиболее крупные в Кузбассе естественные Кузнецкие землетрясения (в 1898, 1903, 1966 гг.), а также недавние Прокопьевские и Междуреченские землетрясения (1995 и 1998 гг.), однозначного ответа на природу которых пока не получено. Эти землетрясения и предыдущие исторические расположены вдоль плоскости сместителя Кытмановского разлома, входящего в широкую сейсмогенную зону, начинающуюся от района озера Байкал, пересекающую Кузбасс в районе Междуреченска, Новокузнецка, Прокопьевска и далее проложенную до Камня-на-Оби. Подвижками вдоль сместителя динамически активного Кытмановского разлома объясняются практически все исторические и современные землетрясения в районе Новокузнецка. Этот район расположен на границе Салаирского кряжа и Кузнецкой котловины, которой является зона Тырганского разлома первого порядка в месте пересечения Кытмановским разломом второго порядка. Кытмановский и находящийся южнее его Ташелгино–Темирский трансформные разломы (см. рисунок 3.7) огра-

ничивают блок, который находится на наиболее изогнутом участке Тырганского разлома, и, как считают геологи и сейсмологи, испытывают максимальные напряжения вследствие подвигания Кузбасса под Салаир. В этом блоке, вероятнее всего, произошли сильнейшие из известных Кузбасские землетрясения. В сейсмическом отношении этот блок является одним из потенциально опасных. К настоящему времени на территории Кузбасса зафиксировано 853 естественных землетрясений энергетического класса «К» от 7 до 15. Как правило, они приурочены к зонам динамически активных разломов, выделенных нами на основе геодинамического районирования Кузбасса. А к техногенным или наведенным сейсмическим явлениям следует относить:

- горные удары на шахтах и рудниках;
- внезапные выбросы угля и газа;
- толчки, сотрясения от промышленных взрывов;
- горно-тектонические удары;
- техногенные землетрясения.

Горные удары и внезапные выбросы в Кузбассе проявляются на 30 угольных шахтопластах 17 шахт и на 4 железорудных шахтах. При отработке угольных и рудных месторождений Кузбасса зарегистрировано около двух тысяч горных ударов и внезапных выбросов с сейсмическим эффектом на уровне естественных землетрясений. А количество «толчков», зарегистрированных только Таштагольской сейсмостанцией, составляет 4 520. При этом энергия толчков составляет 10–10⁹ Дж, эпицентры расположены в пределах месторождения на достигнутых глубинах разработки, а объемы разрушения в горных выработках достигают 250 м³. Очаги же техногенных землетрясений или наведенных ведением работ, как правило, расположены за пределами шахтных полей (15–30 км) и имеют глубину, соизмеримую с глубиной ведения горных работ (0,5–10 км).

Наиболее ярким проявлением наведенной сейсмичности является Таштагольское землетрясение 5 февраля 1988 г. По данным инструментальных наблюдений региональной сети сейсмических станций Алтае-Саянской области и сейсмостан-

ции «Таштагол», землетрясение произошло в 3 км от границы шахтного поля Таштагольского рудника в районе жилого массива рабочего поселка Кочура силой 5,6 баллов по шкале Рихтера с сейсмической энергией 10^9 Дж. Очаг землетрясения располагался на глубине 0,8–1,5 км от земной поверхности. Относительно сильные землетрясения произошли в районе г. Прокопьевска. Землетрясение 14 сентября 1995 г. вызвало в городе Прокопьевске и его окрестностях сотрясение почвы интенсивностью до 5–6 баллов по 12-балльной макросейсмической шкале MSK – 64. Близость эпицентров обоих землетрясений к густонаселенному промышленному району Кузбасса обусловила широкий общественный резонанс. Значительную обеспокоенность вызвало также Междуреченское землетрясение 1998 г. Однозначно, что количество сейсмических событий, как естественных, так и техногенных, в Кузбассе с годами растет. При общей тенденции роста сейсмичности Кузбасса во времени, имеются пространственные особенности этого процесса. Они заключаются в том, что характер нарастания сейсмичности отдельных районов Кузбасса изменяется по мере удаления на север от южной границы Кузбасса, то есть от высоко сейсмоактивной Алтае-Саянской складчатой зоны. Установлено, что частота сейсмических событий убывает с удалением от юга Кузбасса. Кроме этого, иллюстрирует роль техногенного фактора в развитии сейсмичности – вблизи высоко активной Алтае-Саянской зоны частота сейсмических событий ниже, чем по удалении от нее на 200 и 300 км, где интенсивно отрабатываются железорудные месторождения Горной Шории и угольные шахты и разрезы Междуреченска и Прокопьевска. Несомненный научный интерес представляет характер нарастания сейсмичности наиболее развитых промышленных районов Кузбасса. Эти процессы в Кузбассе ускоряются за счет развития горных работ и частых промышленных взрывов, с зарядами взрывания до 300–500 тонн, энергетического класса $K = 7–10$, постоянно сотрясающих массив и увеличивающих его сейсмичность. В такой обстановке увеличивается скорость прорастания разломов, что проявляется в местных мелкофокусных техногенных землетрясениях. Особенно велик уровень опасности проявлений ГДЯ в настоящее время в районах шахтерских поселков Бачат-

ский и Полысаева, где произошли техногенные землетрясения. Сейсмическая активность в районе Бачатский началась с 9 февраля 2012 г., тогда землетрясение мощностью 4,3 балла почувствовали жители всех кузбасских городов. А самое сильное землетрясение произошло 19 июня 2013 г., когда в Бачатском приборы зафиксировали подземный толчок магнитудой 5,6 на глубине в 4 километра. В близлежащих от карьера населенных пунктах произошли незначительные разрушения построек, а местным властям пришлось вводить режим ЧС. Пострадали 5,1 тысячи частных и 300 многоквартирных домов. Без жилья осталось 330 семей. Сейсмическая волна докатилась до Томска, Новосибирска, Алтая. Сейсмическая активность в Кузбассе в настоящее время продолжает расти.

Выводы

На основании результатов выполненных исследований сделаны следующие выводы.

1 Коренное отличие практического применения результатов ГМНДСЗК при освоении угольных месторождений Кузбасса заключается в особенностях получаемой при его проведении информации, удовлетворяющей требованиям комплексности, достоверности, актуальности и экономичности.

2 Анализ применения целевого и функционального принципов методологии реализации динамической модели ГМНДСЗК при освоении ряда угольных месторождений Кузбасса свидетельствует о том, что разработан научно-обоснованный прогноз состояния блоков земной коры, базирующийся на унифицированном подходе проведения прикладных геодинамических исследований и решении фундаментальной задачи геодинамики, позволяющий обеспечить управление их развитием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате решения поставленных задач получены следующие основные научные и практические результаты.

1 Выполнен анализ проблемной ситуации, заключающейся в существовании объективного противоречия между передовыми технологическими возможностями геодезической науки и недостаточностью полноценных теоретических разработок и моделей в области сбора, регистрации, обработки и анализа изменений состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений, что позволило сформулировать задачи диссертационного исследования.

2 Обоснованы содержание и введены в научный оборот новые концептуальные понятия: «динамические параметры блока земной коры» и «пространственная структурная модель ячейки геодезических построений ГДП», что позволило сформулировать задачи геодинамики месторождения.

3 Теоретически обоснован новый методологический подход, базирующийся на новых теоретических и информационных принципах при реализации динамической модели ГМНДСЗК с целью формирования полноценной системы сбора информации о напряженно-деформированном состоянии блоков земной коры разных рангов, что позволяет внедрить на угледобывающих предприятиях новый подход к исследованию их геодинамики.

4 Разработаны теоретические основы контроля напряженно-деформированного состояния блоков земной коры для формирования прогнозных оценок их развития с последующей выработкой профилактических мер и рекомендаций для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, что обеспечивает решение задач геодинамической безопасности.

5 Теоретически обоснована взаимосвязанность и взаимообусловленность системы постоянных наблюдений, оценки, прогноза и контроля для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, что обеспечивает повышение точности и надежности результатов наблюдений, более

надежное и адресное определение состояния структур земной коры, последовательных прогнозов и прогнозных рекомендаций, более оптимальные последовательные профилактические меры.

6 Теоретически обоснованы основные положения взаимодействия между подсистемами динамической модели ГМНДСЗК и с другими системами, базирующиеся на новом структурно-организационном принципе, учитывающем иерархию и структуру земной коры, что повышает ее адекватность структурам земной коры и достоверность регистрации проявлений геодинамических процессов.

7 Теоретически обоснована пространственная структурная модель ячейки построений ГДП как типовой основы многоуровневых геодезических построений и получения информации для создания динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, что обеспечивает поэтапность создания, типовую структуру и экономическую эффективность.

8 Теоретически обоснована частота наблюдений и сбора информации во времени для реализации динамической модели ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, что обеспечивает управление ее развитием.

9 Теоретически обоснована применимость разработанной динамической модели ГМНДСЗК для решения фундаментальной и прикладных задач геодинамики месторождения.

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию при изучении природных и антропогенных геодинамических процессов, проектировании и разработке систем управления состоянием окружающей среды, освоении угольных бассейнов Российской Федерации.

Перспективы дальнейших исследований по данной тематике заключаются в расширении геодезических методов изучения геодинамики угольных месторождений в направлении развития как геодезических построений, так и систем геодезического мониторинга.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АН СССР – Академия наук Союза Советских Социалистических Республик
- ГУГК при СМ СССР – Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР
- ВКМКС – Верхнекамское месторождение минеральных солей
- ВНИМИ – Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела
- ГАБ – геодинамически активный блок
- ГНАБ – геодинамически неактивный блок
- ГДП – геодинамический полигон
- ГДЯ – геодинамические явления
- ИГД СО РАН – Институт горного дела Сибирского отделения Российской Академии наук
- КузГТУ – Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева
- СДЗК – современные движения земной коры
- СВДЗК – современные вертикальные движения земной коры
- МГРМПИ – метод геодинамического районирования месторождений полезных ископаемых
- НДС – напряженно-деформированное состояние
- ЦНИИГАиК – Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэрофотосъемки и картографии
- МНК – метод наименьших квадратов
- СП – спутниковый геодезический приемник
- МГК – Международный геофизический комитет
- СКП – средняя квадратическая погрешность
- МДП – медленные деформационные процессы

ИГД УРО РАН – Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук

МКЭ – метод конечных элементов

ПК – персональный компьютер

СНИИГГиМС – Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья

ЗК – земная кора

СУБР – Североуральский бокситовый рудник

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. / К. М. Антонович. – Москва : ФГУП «Картоцентр», 2006. – Текст : непосредственный.

2 Артюшков, Е. В. Геодинамика / Е. В. Артюшков. – Москва : Наука, 1979. – 327 с. – Текст : непосредственный.

3 Балавадзе, Б. К. Повторные гравиметрические изменения силы тяжести на Богдановском геодинамическом полигоне / Б. К. Балавадзе, В. Г. Абашидзе, Г. А. Ниаури, Т. А. Цагурия – Текст : непосредственный // Повторные гравиметрические наблюдения. – Москва : Изд-во ВНИИгеофизики, 1981. – С. 103–106.

4 Барях, А. А. Оценка влияния разработки нефтяного месторождения на геодинамическое состояние недр / А. А. Барях, А. И. Кудряшов, Н. А. Еремина, Е.А. Грачёва – Текст : непосредственный // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1998. – № 2. – С. 31–42.

5 Батугин, А. С. Совершенствование методов оценки геодинамического состояния блочного массива горных пород в целях повышения экологической безопасности освоения недр и земной поверхности: специальность 25.00.36 «Геоэкология» : автореферат дис. ... д-ра техн. наук / А. С. Батугин. – Москва, 2008. – 39 с. – Текст : непосредственный.

6 Батугина, И. М. Опыт применения метода геодинамического районирования при решении геоэкологических задач / И. М. Батугина, А. С. Батугин. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – С. 228–233.

7 Beregovoi, D. V. Monitoring of Quarry Slope Deformation with the Use of Satellite Positioning Technology and Unmanned Aerial Vehicles / D. V. Beregovoi, J. A. Younes, M. G. Mustafin. – Текст : непосредственный // Procedia Engineering. – 2017. – № 189. – P. 737–743.

8 Бойко, Е. Г. Методы совместной обработки локальных наземных и спутниковых геодезических сетей / Е. Г. Бойко, В. М. Зимин, М. Г. Годжаманов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2000. – № 8. – С. 11–18.

9 Болотный, Р. А. Разработка метода оценки геодинамического риска с целью повышения экологической безопасности освоения подземного пространства мегаполиса: специальность 25.00.36 «Геоэкология» : дис. ... канд. техн. наук / Р. А. Болотный. – Москва, 2009. – 149 с. – Текст : непосредственный.

10 Бондарев, М. П. Влияние тектонических сил на условия отработки угольных пластов / М. П. Бондарев, П. М. Бондарев – Текст : непосредственный // Уголь. – 2000. – № 9. – С. 14–16.

11 Бондур, В. Г. Аэрокосмический мониторинг нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса. Реальности и перспективы / В. Г. Бондур – Текст : непосредственный // Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса. – Москва : Научный мир, 2012. – С. 15–37.

12 Бузук, Р. В. Совершенствование методов регистрации проявлений активных геодинамических процессов / Р. В. Бузук, В. Н. Ардеев / под ред. В. В. Иванова. – Кемерово : КТТУ, 2003. – 108 с. – Текст : непосредственный.

13 Bryn, M. Y. Geodetic monitoring of deformation of building surrounding an underground construction / M. Y. Bryn, D. A. Afonin, N. N. Bogomolova. – Текст : непосредственный // Procedia Engineering. – 2017. – 189. – P. 386–392.

14 Bryn, M. Y. Geodetic monitoring of deformation of building surrounding an underground construction / M. Y. Bryn, D. A. Afonin, N. N. Bogomolova. – Текст : непосредственный // Procedia Engineering. – 2017. – 189. – P. 386–392.

15 Быкова, Н. М. Системный подход к оценке и учету геодеформационных воздействий на протяженные технические объекты: специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (информатика, вычислительные машины и автоматизация; энергетика)»: автореферат дис. ... д-ра техн. наук / Н. М. Быкова; Братский государственный университет. – Братск, 2009. – 52 с. – Текст : непосредственный.

16 Ващилов, Ю. Я. Блоково-слоистая модель земной коры и верхней мантии / Ю. Я. Ващилов. – Москва : Наука, 1984. – 135 с. – Текст : непосредственный. Москва

17 Вовк, И. Г. Математическое моделирование переменного гравитационного поля Земли в геодезии: специальность 25.00.32 «Геодезия» : автореферат дис. ... д.-ра техн. наук / И. Г. Вовк; Сибирская государственная геодезическая академия. – Новосибирск, 1997. – 31 с. – Текст : непосредственный.

18 Войтенко, А. В. Прогнозирование изменения пространственного положения геодезических пунктов, вызванного глобальными геодинамическими процессами / А. В. Войтенко – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2013. – № 10. – С. 8–12.

19 Волгина, А. И. Неприливные изменения гравитационного поля в Припятской Впадине / А. И. Волгина, А. Т. Донабедов, В. Ф. Кононков, В. А. Сидоров – Текст : непосредственный // Повторные гравиметрические наблюдения. – Москва : Изд-во ВНИИгеофизики, 1981. – С. 112–117.

20 Волгина, А. И. О влиянии миграции флюидов на изменение силы тяжести / А. И. Волгина – Текст : непосредственный // Повторные гравиметрические наблюдения. – Москва : Изд-во МГК, 1987. – С. 179–183.

21 Волков, В. И. Условия эффективного применения метода повторного нивелирования при изучении современных вертикальных движений земной коры на геодинамических полигонах: специальность 25.00.32 «Геодезия» : автореферат дис. ... д.-ра техн. наук / В. И. Волков; Санкт-Петербургский технический университет. – Санкт-Петербург, 1994. – 49 с. – Текст : непосредственный.

22 Воробьёв, А. А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах / А. А. Воробьёв. – Томск : Изд-во Томского университета, 1980. – 210 с. – Текст : непосредственный.

23 Гаджиев, Р. М. Результаты гравиметрических наблюдений на профиле Самур-Баку / Р. М. Гаджиев, Е. М. Макаров, Ф. А. Кадиров, А. Т. Набиев. – Текст :

непосредственный // Повторные гравиметрические наблюдения. – Москва : Изд-во Нефтегеофизики, 1984. – С. 60–66.

24 Галашвили, Г. И. Исследование удароопасной обстановки на Ткибули-Шаорском месторождении с применением метода геодинамического районирования / Г. И. Галашвили, Н. Р. Урушадзе. – Текст : непосредственный // Геодинамика месторождений : сб. науч. трудов. – Кемерово, 1988. – С. 18–29.

25 Геодинамическая безопасность разработки железнорудных месторождений Сибири / В. А. Квочин, В. В. Билибин, Т. П. Васильченков, Т. В. Лобанова. – Текст : непосредственный // Горный журнал. – 2005. – № 11. – С. 44–53.

26 Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах. – Москва : ЦНИИГАиК, 1985. – 113 с. – Текст : непосредственный.

27 Геодинамическое районирование недр. – Ленинград : ВНИМИ, 1990. – 129 с. – Текст : непосредственный.

28 Гзовский, М. В. Математика в тектонофизике / М. В. Гзовский. – Москва : Недра, 1971. – 240 с. – Текст : непосредственный.

29 Гзовский, М. В. Основы тектонофизики / М. В. Гзовский. – Москва : Недра, 1975. – 232 с. – Текст : непосредственный.

30 Гзовский, М. В. Тектонофизические представления о напряженном состоянии земной коры / М. В. Гзовский – Текст : непосредственный // Современные проблемы механики горных пород. – Ленинград: 1972. – С. 125–146.

31 Глубина проникновения разломов / В. А. Саньков. – Новосибирск : Наука. Сиб. Отд-ние, 1989. – 136 с. – Текст : непосредственный.

32 Горизонтальные движения и тектоническое районирование земной поверхности на Южно-Якутском геодинамическом полигоне / Г. В. Бочаров, Н. П. Есиков, Н. Н. Замараев. – Текст : непосредственный // Современные движения земной коры. – Москва : Наука, 1986. – С. 44–49.

33 Гравиразведка. – Москва : Недра, 1981. – 397 с. – Текст : непосредственный.

34 Грунин, А. Г. Проблемные вопросы проектирования геодинамических полигонов на месторождениях УВ / А. Г. Грунин, Ю. О. Кузьмин, Е. А. Фаттахов. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2014. – № 6. – С. 24–31.

35 Губин, В. И. Анализ новейшей геодинамики картографо-аэрокосмическим методом / В. И. Губин, В. И. Михайлов. – Текст : непосредственный // Исследование Земли из космоса. – 1991. – № 4. – С. 52–58.

36 Гуляев, Ю. П. Задачи экологического и деформационного мониторинга / Ю. П. Гуляев, А. И. Каленицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1996. – № 3. – С. 49 – 51.

37 Гуляев, Ю. П. О корректном подходе к математическому моделированию деформационных процессов инженерных сооружений по геодезическим данным / Ю. П. Гуляев, В. С. Хорошилов, Д. В. Лисицкий. – Текст : непосредственный // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 22–30.

38 Деформации земной поверхности на активных границах литосферных плит. – Москва : ЦНИИГАиК, 1995. – 100 с. – Текст : непосредственный.

39 Докунин, П. А. Разработка методик анализа смещений и деформации по спутниковым наблюдениям в локальных геодезических сетях: специальность 25.00.32 «Геодезия»: дис. ... канд. техн. наук / П. А. Докукин; Государственный университет по землеустройству. – М., 2008. – 132 с. – Текст : непосредственный.

40 Дуброва, А. В. Возможности применения геоморфологического анализа в решении задач мониторинга и моделирования пространственных структур / А. В. Дуброва. – Текст : непосредственный // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 236–241.

41 Еремеев, В. Ф. Теория высот в гравитационном поле / В. Ф. Еремеев, М. И. Юркина. – Москва : Недра, 1972. – 144 с. – Текст : непосредственный.

42 Есиков, Н. П. Современные движения земной поверхности с позиций теории деформаций / Н. П. Есиков. – Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1991. – 226 с. – Текст : непосредственный.

43 Есиков, Н. П. Тектонофизические аспекты анализа современных движений земной поверхности / Н. П. Есиков. – Новосибирск : Наука, 1979. – 180 с. – Текст : непосредственный.

44 Журавков, М. Н. Методы компьютерного моделирования, изучения и расчета основных характеристик процесса сдвижения породного массива / М. Н. Журавков, Н. С. Невельсон. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2000. – № 1. – С. 29–35.

45 Зверев, А. Т. Кинематика и динамика движений литосферных плит / А. Т. Зверев. – Текст : непосредственный // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – Т. 61. – № 5. – С. 22–33.

46 Идентификация движений и напряженно-деформированного состояния самоорганизующихся геодинамических систем по комплексным геодезическим и геофизическим наблюдениям : монография / В. А. Середович, В. К. Панкрушин, Ю. И. Кузнецов, Б. Т. Мазуров, В. Ф. Ловягин; под общ. ред. В. К. Панкрушина. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 356 с. – Текст : непосредственный.

47 Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06–329–99) / Колл. авторов: утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 24.11.1999 №86. – Москва : ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – 66 с. – Текст : непосредственный.

48 Инструкция по наблюдению за деформациями бортов, откосов, уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости : утверждена постановлением Госгортехнадзора СССР от 21.07.1970. – Ленинград : ВНИМИ, 1971. – 188 с. – Текст : непосредственный.

49 Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА)–03–010–02: утверждена Руководителем Федеральной службы геодезии и картографии России 25.12.2003 № 181-пр. – Москва : ЦНИИГА и К, 2004. – 168 с. – Текст : непосредственный

50 Инструкция по развитию высокоточной гравиметрической сети России. ГКИНП (ГНТА)–04–122–03 / Колл. авторов : утверждена приказом руководителя Федеральной службы геодезии и картографии России от 28.12.2003 № 182-пр. – Москва : ЦНИИГАиК, 2004. – 60 с. – Текст : непосредственный.

51 Инструкция по созданию наблюдательных станций и производству инструментальных наблюдений за процессами сдвижения земной поверхности при разработке нефтяных месторождений в регионе ВКМКС // Ю. А. Кашников, С. Г. Ашихмин, Н. Ю. Гуляев, В. Г. Букин, С. В. Гришко. – Пермь : ПерГТУ, 2003. – 56 с. – Текст : непосредственный.

52 Исследование геодинамических процессов с применением GPS-технологий / А. Д. Сашурин, А. А. Панжин, Ю. П. Коновалова. – Текст : непосредственный // Горн. ин.-ан. бюл. – 2003. – № 7. – С. 188–190.

53 Каленицкий, А. И. О методологическом аспекте геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры при освоении недр Кузбасса / А. И. Каленицкий, А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 20–33. – Doi: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-20-33.

54 Каленицкий, А. И. О необходимости комплексного применения гравиметрии и геодезических методов при мониторинге природной и техногенной геодинамики на месторождениях углеводородов / А. И. Каленицкий, Э. Л. Ким. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 15–23.

55 Каленицкий, А. И. О развитии многоуровневых построений на геодинамическом полигоне при освоении недр Кузбасса / А. И. Каленицкий, А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2019. Т. 24. – № 2. – С. 45–55. – Doi: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-45-55.

56 Каленицкий, А. И. Оценка изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении угольных месторождения Кузбасса / А. И. Каленицкий, А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар.

науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т.1 , ч. 1. – С.157–160.

57 Капун, О. В. Система разломов Днепровско-Донецкой впадины / О. В. Капун, В. Н. Жаворонкин, И. С. Одринская. – Текст : непосредственный // Геотектоника. – 1991. – № 3. – С. 120–124.

58 Карпик, А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий/ А. П. Карпик. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 260 с. – Текст : непосредственный

59 Карпик, А. П. Новый этап развития геодезии – переход к изучению деформаций блоков земной коры в районах освоения месторождений / А. П. Карпик, А. И. Каленицкий, А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2013. – № 3(23). – С. 3–9.

60 Карпик, А. П. Технология изучения изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении месторождений Кузбасса / А. П. Карпик, А. И. Каленицкий, А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА.–2013. – № 4(24). – С. 3–11.

61 Карта: новейшая тектоника СССР и сопредельных областей / Н. И. Николаев, А. А. Неймарк, В. А. Селиванов; картографическая основа – ГУГК. – 1 : 4 000 000. – Москва : ГУГК, 1985. – Изображение (карто-графическое ; неподвижное ; двухмерное) : непосредственное.

62 Карта: современные вертикальные движения земной коры на территории Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии, СССР (европейская часть), Чехословакии; картографическая основа – ГУГК. – 1 : 5 000 000. – Москва : ГУГК, 1986. – Изображение (карто-графическое ; неподвижное ; двухмерное) : непосредственное.

63 Карта: современные вертикальные движения земной коры на территории СССР; картографическая основа – ГУГК. – 1 : 5 000 000. – Москва : ГУГК, 1989. – Изображение (карто-графическое ; неподвижное ; двухмерное) : непосредственное.

64 Карташов, М. П. Изучение деформаций земной поверхности на Кузбасском геодинамическом полигоне / М. П. Карташов, Н. П. Есиков. – Текст : непосред-

ственный // Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах. – Москва : Наука, 1983. – С. 102–106.

65 Касахара, К. Механика землетрясений / К. Касахара. – Москва : Мир, 1985. – 264 с. – Текст : непосредственный.

66 Кафтан, В. И. Временной анализ геопространственных данных: Кинематические модели: специальность 25.00.32 «Геодезия» : автореферат дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Кафтан; Московский государственный университет путей сообщений. – Москва. – 2003. – 48 с. – Текст : непосредственный.

67 Кафтан, В. И. Геодезические методы решения геодинамических задач / В. И. Кафтан, Л. И. Серебрякова. – Текст : непосредственный // Итоги науки и техники. Серия. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 1990. Т. 28. – 129 с.

68 Кафтан, В. И. Графическое представление результатов определения движений и деформаций земной поверхности средствами глобальных навигационных геодезических спутниковых систем / В. И. Кафтан, Р. И. Красноперов, П. П. Юровский. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2010. – № 11. – С. 2–7.

69 Кафтан, В. И. Место геодезической геодинамики в системе знаний о Земле / В. И. Кафтан. – Текст : непосредственный // Кадастр недвижимости. – 2012. – № 2 (27). – С. 43–46.

70 Кафтан, В. И. Определение смещений и деформаций по данным спутниковых геодезических измерений / В. И. Кафтан, П. А. Докунин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2007. – № 9. – С. 18–22.

71 Кафтан, В. И. Повышение точности локального геодинамического мониторинга средствами глобальных навигационных спутниковых систем / В. И. Кафтан, А. В. Устинов. – Текст : непосредственный // Горный журнал. – 2015. – № 12. – С. 32–37.

72 Кашников, Ю. А. Геомеханические и геодинамические проблемы, сопровождающие разработку месторождений углеводородов / Ю. А. Кашников,

С. Г. Ашихмин, С. В. Гладышев, С. Н. Попов. – Текст : непосредственный // Записки Горного института. – 2010. – Т. 188. – С. 153–157.

73 Кашников, Ю. А. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья / Ю. А. Кашников, С. Г. Ашихмин. – Москва : Недра, 2007. – 467 с. – Текст : непосредственный

74 Кашников, Ю. А. Реализация геодинамического полигона на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) при помощи спутниковых навигационных систем / Ю. А. Кашников, С. В. Гришко, Н. Ю. Гуляев, В. Г. Букин, Е. А. Селезнев. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2001. – № 1. – С. 53–58.

75 Ключин, Е. Б. Спутниковые методы измерений в геодезии / Е. Б. Ключин, И. Г. Гайрабеков, Е. Ю. Маркелова, В. В. Шлапак. Ч. 1 – Москва : МИИГАиК, 2014. – 43 с. – Текст : непосредственный.

76 Кнуренко, Л. М. Изучение современных вертикальных движений Кузбасса и некоторых закономерностей их проявления в целях регионального прогноза выбросоопасности: специальность 05.26.01 «Охрана труда» : автореферат дис. ... канд. техн. наук / Л. М. Кнуренко; Кузбасский политехнический институт. – Кемерово, 1975. – 19 с. – Текст : непосредственный.

77 Козырев, А. А. Анализ условий реализации горного удара на Расвумчоррском руднике 14 февраля 2012 г. / А. А. Козырев, И. Э. Семенова, А. В. Земцовский. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 4. – С. 28–33.

78 Козырев, А. А. Изменение деформаций и наклонов геоструктурного блока в процессе подготовки и реализации землетрясения / А. А. Козырев, М. М. Каган, К. Н. Константинов, Д. В. Жиров. – Текст : непосредственный // Записки Горного института. – 2012. – Т. 199. – С. 230–235.

79 Колмогоров, В. Г. Приповерхностные деформации в районе Таштагольского геодинамического полигона / В. Г. Колмогоров, В. А. Калюжин. – Текст :

непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2015. – № 5/С. – С. 15–19.

80 Колмогоров, В. Г. Современная геодинамика Сибири по геодезическим и геофизическим данным: специальность 25.00.32 «Геодезия» : дис. ... д-ра техн. наук / В. Г. Колмогоров; Сибирская государственная геодезическая академия. – Новосибирск, 1996. – 257 с. – Текст : непосредственный.

81 Колмогоров, В. Г. Состояние проблемы комплексного изучения современной геодинамики Сибири в конце двадцатого столетия / В. Г. Колмогоров, В. И. Дударев. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2014. – № 4 (28). – С. 3–12.

82 Кононенко, И. И. Современная геодинамика Урала / И. И. Кононенко, Н. И. Халевин, М. А. Блюмин, В. Р. Яценко. – Свердловск : УрО АН СССР, 1990. – 93 с. – Текст : непосредственный.

83 Конопихин, А. А. Оценка границ активных блоков земной поверхности по геодезическим данным / А. А. Конопихин, Ю. В. Федосеев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 1988. – №1. – С. 55–59.

84 Конопихин, А. А. Метод модельного пространственно-временного представления смещения точек земной поверхности / А. А. Конопихин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1992. – № 5. – С. 21–23.

85 Константинова, С. А. Оценка естественных напряжений в породном массиве Верхнекамского региона на основе блочно-иерархической модели / С. А. Константинова, С. А. Чернопазов, А. А. Гуляев. – Текст : непосредственный // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2001. – № 5. – С. 3–11.

86 Королев, В. А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем / В. А. Королев. – Москва : КДУ, 2007. – 416 с. – Текст : непосредственный.

87 Корчагин, Ф. Г. Исследование короткопериодических блоковых движений в районе Зейского водохранилища / Ф. Г. Корчагин. – Текст : непосредственный // Прогноз землетрясений. – 1989. – № 11. – С. 201–210.

88 Kozaev, Z. T. Geoinformation system for geomechanical monitoring of ore deposits using spaceborn radar interferometry methods / Z. T. Kozaev, M. A. Mukhamedigaieva, M. G. Mustafin, B. B. Imansakirova. – Текст : непосредственный // Gornyi Zhurnal. – 2017. – № 2. – P. 39–34.

89 Кресникова, Н. И. Применение данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий для обеспечения территориального планирования / Н. И. Кресникова, Н. А. Васильевых. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т. 62. – № 2. – С. 212–217.

90 Кузиков, С. И. Структурный анализ горизонтальных скоростей по данным GPS и характер современных деформаций земной коры Центральной Азии: специальность 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»: дис. ... канд. физ.-мат. наук / С. И. Кузиков; Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта – Москва, 2000. – 167 с. – Текст : непосредственный.

91 Кузьмин Ю. О. Анализ повторных нивелирных наблюдений в зонах разломов методами теории деформаций / Ю. О. Кузьмин, Е. А. Фаттахов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 47–84.

92 Кузьмин, Ю. О. Геодинамический мониторинг объектов недропользования / Ю. О. Кузьмин. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2006. Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 24–28 апреля 2006 г.). – Новосибирск : СГГА, 2006. Т. 3, ч. 1. – С. 33 – 43.

93 Кузьмин, Ю. О. Идентификация результатов повторных геодезических наблюдений при оценке геодинамической опасности объектов недропользования / Ю. О. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 46–66.

94 Курленя, М. В. Волны маятникового типа. Состояние вопроса и измерительно-вычислительный комплекс / М. В. Курленя, В. Н. Опарин, В. И. Востриков. – Текст : непосредственный // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1996. – № 3. – С. 11–16.

95 Курскеев, А. К. Вариации поля силы тяжести и их связь с современными вертикальными движениями земной поверхности на Алма-Атинском прогностическом полигоне / А. К. Курскеев, В. Н. Арефьев, В. В. Гусаков. – Текст : непосредственный // Повторные гравиметрические наблюдения. – Москва : Изд-во Нефтегеофизики, 1982. – С. 91–93.

96 Кутушев, Ш. Б. Создание карты горизонтальных деформаций земной коры республики Башкортостан по результатам обработки спутниковых измерений / Ш. Б. Кутушев. – Текст : непосредственный // Известия Вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 6. – С. 24–26.

97 Лазаревич, Т. И. Геодинамическое районирование Южного Кузбасса / Т. И. Лазаревич, В. П. Мазикин, И. А. Малый, В. А. Ковалев, А. Н. Поляков, А. С. Харкевич, А. Н. Шабаров. – Кемерово : Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный центр ВНИМИ. Кемеровское Представительство, 2006. – 181 с. – Текст : непосредственный.

98 Лазаревич, Т. И. Информационная система геодинамических явлений на территории и в шахтах Кузбасса / Т. И. Лазаревич, Б. В. Власенко, В. П. Потапов. – Текст : непосредственный // Проблемы ускорения научно-технического прогресса в отраслях горного производства. – Люберцы, 2003. – С. 115–122.

99 Лельчук, В. И. Анализ элементов геодинамического районирования и проявлений горно-геологических факторов, наблюдаемых в горных выработках угольных шахт / В. И. Лельчук, Я. М. Грицюк, А. И. Пивоваров. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», 21–22 ноября 2001 г. – Кемерово, 2001. – С. 176–178.

100 Леонтьев, А. В. Использование результатов геодинамического мониторинга для оценки напряженности шахтных полей / А. В. Леонтьев, Т. В. Лобанова, Г. Л. Линдин, С. А. Лобанов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользова-

ние. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 220–225.

101 Леонтьев А. В. Деформационный мониторинг движений породного массива на железорудных месторождениях Горной Шории / А. В. Леонтьев, Т. В. Лобанова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8-18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 4. – С. 230–236.

102 Лисицкий, Д. В. Пользовательский сегмент единого территориального геоинформационного пространства /Д.В. Лисицкий, С. Ю. Кацко. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 4 (36). – С. 89–99.

103 Лобанова, Т. В. Спутниковые наблюдения за развитием геодинамических процессов в районах тектонических нарушений Таштагольского месторождения / Т. В. Лобанова, Е. В. Новикова. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 5. – С. 278–282.

104 Магницкий, В. А. Слой низких скоростей верхней мантии Земли / В. А. Магницкий. – Москва : Недра, 1968. – 29 с. – Текст : непосредственный.

105 Магницкий, В. А. Внутреннее строение и физика Земли / В. А. Магницкий. – Москва : Недра, 1965. – 379 с. – Текст : непосредственный.

106 Мазуров, Б. Т. Анализ геодезических измерений с учетом динамики объектов мониторинга / Б. Т. Мазуров. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 18–22.

107 Мазуров, Б. Т. Изучение геодинамических процессов на основе моделирования геодезических и гравитационных параметров: специальность 25.00.32 «Геодезия» : автореферат дис. д-ра техн. наук / Б. Т. Мазуров; Сибирская государствен-

ная геодезическая академия. – Новосибирск, 2007. – 35 с. – Текст : непосредственный.

108 Мазуров, Б. Т. Моделирования геодезических и гравитационных параметров при изучении геодинамических процессов / Б. Т. Мазуров. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 207 с. – Текст : непосредственный.

109 Макаров, А. Б. Практическая геомеханика / А. Б. Макаров. – Москва : Горная книга, 2006. – 391 с. – Текст : непосредственный.

110 Марков, Г. А. Напряженное состояние пород и горное давление / Г. А. Марков, С. Н. Савченко. – Ленинград : Наука, 1984. – 245 с. – Текст : непосредственный.

111 Маркузе, Ю. И. Структурная схема мониторинга и алгоритм анализа деформаций земной коры по результатам спутниковых измерений на пунктах региональных референцных сетей / Ю. И. Маркузе, Х. К. Ямбаев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 6. – С. 30–36.

112 Матвеев, А. В. Структура поля линеаментов, выявленных по космическим снимкам, на территории Белоруссии / А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко, Г. И. Сачок, Л. С. Вольская. – Текст : непосредственный // Исследования Земли из космоса. – 1991. – № 5. – С. 92–97.

113 Матвеев, В. Г. Анализ непривливых изменений силы тяжести при картировании и гидрогеологическом изучении активных разрывных структур / В. Г. Матвеев, И. Н. Баскакова, С. П. Ипполитова, Т. А. Рудакова. – Текст : непосредственный // Повторные гравиметрические наблюдения: – Москва : МГК, 1986. – С. 98–105.

114 Машимов, М. М. Геодинамические исследовательские проекты / М. М. Машимов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1996. – № 6. – С. 25–33.

115 Машимов, М. М. Геоид как область интеграции знаний о Земле / М. М. Машимов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1997. – № 10. – С. 4–11.

116 Методические указания по наблюдению за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости: приняты Управлением Главного маркшейдера Минуглепрома СССР. – Ленинград : ВНИМИ, 1987. – 118 с. – Текст : непосредственный.

117 Методические указания по профилактике горных ударов с учётом геодинамики месторождений. – Ленинград : ВНИМИ, 1983. – 118 с. – Текст : непосредственный.

118 Мещеряков, Ю. А. Изучение современных движений земной коры и проблемы прогноза землетрясений / Ю. А. Мещеряков. – Текст : непосредственный // Современные движения земной коры. – Москва : Наука. – 1968. – № 3. – С. 44–62.

119 Мещеряков, Ю. А. Международный проект современных движений земной коры и задачи советских ученых / Ю. А. Мещеряков. – Текст : непосредственный // Современные движения земной коры. – Тарту : АН СССР, 1965. – № 2. – С. 13–23.

120 Мещеряков, Ю. А. Рельеф и современная геодинамика / Ю. А. Мещеряков. – Москва : Наука, 1981. – 350 с. – Текст : непосредственный.

121 Миронов, В. С. Курс гравиразведки / В. С. Миронов. – Ленинград : Недра, 1980. – 543 с. – Текст : непосредственный.

122 Молоденский, М. С. Методы изучения внешнего гравитационного поля и фигуры Земли / М. С. Молоденский, В. Ф. Еремеев, М. И. Юркина // Тр. ЦНИИ-ГАиК. – Вып. 131. – Москва : Геодезиздат, 1960. – 250 с. – Текст : непосредственный

123 Назарова, Л. А. Оценка вариации поля напряжений в верхней части земной коры по геодезическим данным / Л. А. Назарова, Л. А. Назаров, О. А. Кучай, С. И. Кисельман. – Текст : непосредственный // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2002. – № 1. – С. 11–21.

124 Nikitin, A. Geodetic Monitoring for the Construction of Railway Bridge Piles. / A. Nikitin, A. Edigarian, Z. Popovic, A. Manakov, V. Breskich (eds). – Текст : непосредственный // VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia

2019. – P 81–88. – *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1116. Springer, Cham <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37919-39>.

125 Николаев, П. Н. Методика тектонодинамического анализа / П. Н. Николаев. – Москва : Недра, 1982. – 295 с. – Текст : непосредственный.

126 Ознамец, В. В. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий / В. В. Ознамец. – Москва : МАКС Пресс, 2018. – 134 с. – Текст : непосредственный.

127 Опарин, В. Н. О некоторых методологических аспектах разработки информационной геодинамической модели строения Кузнецкого угольного бассейна для целей прогнозирования катастрофических природных и техногенных явлений / В. Н. Опарин. – Текст : непосредственный // Региональные проблемы устойчивого развития природноресурсных регионов и пути их решения : Труды Всероссийской научно-практической конференции. – Кемерово, 2003. – С. 42–51.

128 Опарин, В. Н. К проблеме информационного обеспечения мониторинга геодинамических процессов в условиях интенсивного недропользования в Кузнецком бассейне / В. Н. Опарин, В. П. Потапов, А. С. Танайно. – Текст : непосредственный // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2006. – № 5. – С. 40–66.

129 Орлова, А. В. Блочные структуры и рельеф / А. В. Орлова. – Москва : Недра, 1975. – 232 с. – Текст : непосредственный.

130 Основные положения о геодезической сети Российской Федерации. ГКИНП (ГНТА)–01–006–03 : утверждены приказом Федеральной службы геодезии картографии России от 17.06.2003 № 101-пр – Москва : ЦНИИГАиК, 2004. – 6 с. – Текст : непосредственный.

131 Остач, О. М. О развитии геодезических работ на геодинамических полигонах / О. М. Остач. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1983. – № 1. – С. 19–22.

132 Отечественная маркшейдерия и горная геомеханика. – Москва : Недра, 1987. – 253 с. – Текст : непосредственный.

133 Панжин, А. А. Геодезическое обеспечение геодинамического мониторинга объектов / А. А. Панжин, А. Д. Сашурин, Н. А. Панжина, Б. Т. Мазуров. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 26–39.

134 Панжин, А. А. Непрерывный мониторинг смещений и деформаций земной поверхности с применением комплексов спутниковой геодезии GPS / А. А. Панжин. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научной конференции «Геомеханика в горном деле-2000», 3 октября 2000 г. – Екатеринбург : ИГД УРО РАН, 2000. – С. 330–324.

135 Панкрушин, В. К. Рекуррентное решение задачи обработки многомерных временных рядов геодезических наблюдений / В. К. Панкрушин, Е. А. Васильев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1988. – № 4. – С. 8–16.

136 Певнев, А. К. О месте геодезического мониторинга в проблеме прогноза землетрясений / А. К. Певнев. – Текст : непосредственный // Актуальность идей Г. А. Гамбурцева в XXI веке. – Янус-К, 2013. – С. 351–365.

137 Певнев, А. К. О не востребуемых возможностях геодезического метода в проблеме прогноза землетрясений / А. К. Певнев. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2000. – № 7. – С. 24–37.

138 Певнев, А. К. О новых возможностях геодезического метода в решении проблемы прогноза землетрясений / А. К. Певнев. – Текст : непосредственный // Геоинжиниринг. – 2013. – № 1 (17). – С. 40–43.

139 Певнев, А. К. Прогноз землетрясений – геодезические аспекты проблемы / А. К. Певнев. – Текст : непосредственный // Физика Земли. – 1988. – № 2. – С. 11–16.

140 Пеллинен, Л. П. Высшая геодезия / Л. П. Пеллинен. – Москва : Недра, 1978. – 264 с. – Текст : непосредственный.

141 Perhin, V. V. New Opportunities to Expand Information on Intens – Strained State of the Eart’s Crust in the Areas of Development Mineral Resources During Monitoring Greation / V. V. Perhin, A. N. Solovitskiy. – Текст : непосредственный // The Second

International Innovative Mining Symposium. – November. <http://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101009>.

142 Петухов, И. М. Геодинамика недр / И. М. Петухов, И. М. Батугина. – Москва : Недра, 1996. – 217 с. – Текст : непосредственный.

143 Пимшин, Ю. И. Оценка напряженно-деформированного состояния защитных герметических оболочек на примере блоков Ростовской АЭС / Ю.И. Пимшин, В. Н. Медведев, Г. А. Науменко, В.А. Наугольников, Ю.С. Забазнов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – Т. 59. – № 3. – С. 36–42.

144 Пиотровская, Т. Ю. Неотектонический анализ в инженерной геологии и при поисках полезных ископаемых / Т. Ю. Пиотровская. – Москва : Недра, 1987. – 134 с. – Текст : непосредственный

145 Погинец, А. Я. О результатах деформирования блочного массива горных пород по наблюдениям на подземном геодинамическом полигоне / А. Я. Погинец, Е. И. Микулин. – Текст : непосредственный // Геодинамика месторождений : сборник науч. тр. – Кемерово, 1988. – С. 99–104.

146 Понятие глубинный разлом и проблемы систематики глубинных разломов / Ю. А. Косыгин, В. Ю. Забродин. – Текст : непосредственный // Геотектоника. – 1977. – № 3. – С. 106–112.

147 Попадьев, В. В. Применение глобальных моделей гравитационного поля для обработки высокоточного нивелирования / В. В. Попадьев, Д. А. Кулиев. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2017. – № 8. – С. 2–9.

148 Попов, В. Н. Маркшейдерия / В. Н. Попов, М. Е. Певзнер. – Москва : МГГУ, 2003. – 419 с. – Текст : непосредственный.

149 Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах: утверждены Госгортехнадзором РФ 16 марта 1998 г. – Санкт-Петербург : ВНИМИ, 1998. – 208 с. – Текст : непосредственный.

150 Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях: утверждены поста-

новлением Госгортехнадзора России от 16.03.1998 № 13. – Санкт-Петербург : ВНИМИ, 1998. – 291 с. – Текст : непосредственный.

151 Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 04.04.2000 № 14. – Москва : НТЦ «Промышленная безопасность», 2000. – 320 с. – Текст : непосредственный.

152 Проворов, К. Л. Выборочный анализ геодезических сетей / К. Л. Проворов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1981. – № 10. – С. 9–13.

153 Разломообразование в литосфере. Зона сжатия. – Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 1994. – 250 с. – Текст : непосредственный.

154 Разломообразование в литосфере. Зона растяжения. – Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 1992. – 240 с. – Текст : непосредственный.

155 Рагозин, А. Л. Природные опасности России. Оценка и управление природными рисками / А. Л. Рогозин, М. В. Болгов, В. А. Акимов. – Москва : Крук, 2003. – 320 с. – Текст : непосредственный.

156 Рамберг, Х. Сила тяжести и деформации в земной коре /Х. Рамберг. – Москва : Недра, 1985. – 399 с. –Текст : непосредственный.

157 Рассказов, И. Ю. Исследование особенностей формирования полей напряжений в районе Хинганского оловорудного месторождения / И. Ю. Рассказов. – Текст : непосредственный // Геодинамическое районирование недр : сб. науч. трудов. – Кемерово, 1991. – С. 94–101.

158 Рахимов, В. Р. Геометризация напряженно-деформированного состояния массива с целью оценки его удароопасности / В. Р. Рахимов, А. Д. Меликулов, А. И. Джангиев. – Текст : непосредственный // Геодинамическое районирование недр : сб. науч. трудов. – Кемерово, 1991. – С. 27–30.

159 Ростовцев, В. Н. Некоторые итоги изучения динамических процессов на техногенном полигоне / В. Н. Ростовцев, Т. А. Просвирина. – Текст : непосредственный // Геодезия и фотограмметрия в горном деле : межвуз. науч. техн. сб. – Свердловск : Свердловский горный ин-т, 1989. – С. 50–58.

160 Савиных, В. П. Теория упругой отдачи, дилатансия, геодезия – прогноз / В. П. Савиных, А. К. Певнев, Х. К. Ямбаев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 5. – С. 29–34.

161 Садовский, М. А. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. – Москва : Наука, 1987. – 100 с. – Текст : непосредственный.

162 Садовский, М. А. Дискретные иерархические модели геофизической среды / М. А. Садовский, В. Ф. Писаренко. – Текст : непосредственный // Комплексные исследования по физике Земли. – Москва : Наука, 1989. – С. 68–87.

163 Садовский, М. А. Естественная кусковатость горной породы / М. А. Садовский. – Текст : непосредственный // ДАН СССР. – 1979. – Т. 247 – № 4. – С. 829–833.

164 Садовский, М. А. Сейсмический процесс в блоковой среде / М. А. Садовский, В. Я. Писаренко. – Москва : Наука, 1991. – 96 с. – Текст : непосредственный

165 Сашурин, А. Д. Организация геодинамического мониторинга на карьерах Качканарского ГОКа / А. Д. Сашурин, А. А. Панжин. – Текст : непосредственный // Проблемы недропользования. – 2015. – № 1 (4). – С. 45–54.

166 Сашурин, А. Д. Современная геодинамика и развитие катастроф на объектах недропользования / А. Д. Сашурин. – Текст : непосредственный // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. – Новосибирск : ИГД СО РАН, 2004. – С. 369–372.

167 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ ОТО № 2003611192 Российская Федерация / А. Н. Соловицкий; заявитель и правообладатель А. Н. Соловицкий (RU); дата поступления 27.03.2003; дата регистрации 22.05.2003. – Текст : непосредственный.

168 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ РТ № 2003611001 Российская Федерация / А. Н. Соловицкий; заявитель и правообладатель Кузб. гос. техн. ун-т (RU); дата поступления 7.03.2003; дата регистрации 24.04.2003. – Текст : непосредственный.

169 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ ВМ № 2004610007 Российская Федерация / А. Н. Соловицкий; заявитель и правообладатель Кузб. гос. техн. ун-т (RU); дата поступления 22.10.2003; дата регистрации 05.01.2004. – Текст : непосредственный.

170 Серебрякова, Л. И. Геодезия и прогноз землетрясений / Л. И. Серебрякова, Ю. Г. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2005. – № 2. – С. 9–27.

171 Серебрякова, Л. И. К вопросу оценки точности спутниковых определений на геодинамических полигонах / Л. И. Серебрякова, В. П. Горобец, Л. Ю. Козлова, Р. А. Сермягин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2006. – № 6. – С. 34–39.

172 Серебрякова, Л. И. О методическом руководстве по геодинамическим исследованиям в системе Росреестра / Л. И. Серебрякова. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2013. – № 10. – С. 45–50.

173 Серебрякова, Л. И. О постановке работ на прогнозных геодинамических полигонах / Л. И. Серебрякова, Л. А. Ходаков. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2006. – № 5. – С. 27–35.

174 Серебрякова Л. И. Результаты высокоточных спутниковых измерений в сети Северобайкальского ГДП / Л. И. Серебрякова, В. П. Горобец, Р. А. Сермягин, А. В. Басманов, В. В. Буртовой, И. Ф. Насретдинов, К. Е. Фролов. – Текст : непосредственный // Физическая геодезия. Научно-технический сборник ЦНИИГАиК. – Москва : Научный мир, 2013. – С. 122–134.

175 Сидоров, В. А. Концепция геодинамической опасности освоения углеводородного потенциала недр России / В. А. Сидоров, Ю. О. Кузьмин, А. М. Хитров. – Текст : непосредственный – Москва : ИГиРГИН, 2000. – 56 с.

176 Сидоров, В. А. Современные движения земной коры осадочных бассейнов / В. А. Сидоров, Ю. О. Кузьмин. – Текст : непосредственный. – Москва : Наука, 1989. – 183 с.

177 Современные движения земной коры (СДЗК) на Камчатке / В. Е. Левин, В. Ф. Бахтияров, Н. Н. Титков. – Текст : непосредственный // Физика Земли. – 2014. – С. 17–37.

178 Соловицкий, А. Н. Результаты повторных гравиметрических наблюдений в районе водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС / А. Н. Соловицкий, А. Б. Васильев, В. Ф. Канушин. – Текст : непосредственный // Повторные гравиметрические наблюдения: сб. науч. трудов. – Москва : Нефтегеофизики, 1984. – С. 80–83.

179 Соловицкий, А. Н. Выделение напряженных зон блочного массива горных пород на стадии их формирования / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2004. – № 3. – С. 66–68.

180 Соловицкий, А. Н. Геодинамический анализ/ А. Н. Соловицкий. – Кемерово : КузГТУ, 2001. – 158 с. – Текст : непосредственный

181 Соловицкий, А. Н. Геодинамический мониторинг Кемеровской области / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Экология и экономика: региональные проблемы перехода к устойчивому развитию. Взгляд в XXI век», 25–27 июня 1997 г. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 1997. – С. 237–238.

182 Соловицкий, А. Н. Геодинамика недр – сложная динамическая система / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Научоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», 14–20 ноября 2004 г. – Новокузнецк, 2004. – С. 185–188.

183 Соловицкий, А. Н. Геодезический метод проведения геодинамического анализа на горнодобывающих предприятиях / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей VI Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах угольных регионах», 26–27 ноября 2002 г. – Кемерово, 2002. – С. 94–96.

184 Соловицкий, А. Н. Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений: геодезические построения / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2017. – № 1 (37). – С. 81–89.

185 Соловицкий, А. Н. Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений: точность регистрации и определения координат / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 4 (36). – С. 16–22.

186 Соловицкий, А. Н. Геодезическое обеспечение развития прогрессивных технологий строительства шахт и подземных сооружений / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей российско-китайского симпозиума «Строительство шахт и городских подземных сооружений», 24–27 апреля 2000 г. – Кемерово : КузГТУ, 2000. – С. 168–171.

187 Соловицкий, А. Н. Геодинамический полигон – информационная основа исследования медленных деформационных процессов блочного массива горных пород месторождения / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 2. – С. 338–341.

188 Соловицкий, А. Н. Геоинформационное обеспечение геодезического мониторинга геодинамики земной коры в районах освоения угольных месторождений: требования для проектирования / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2019. – № 3. – С. 333–340.

189 Соловицкий, А. Н. Геоинформационное обеспечение проектирования геодезического мониторинга деформаций земной коры в Кузбассе / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научной конференции «Высокие технологии и инновации в науке». 28 марта 2019. – Санкт-Петербург : ГНИИ «Нацразвитие», 2019. – С. 44–49.

190 Соловицкий, А. Н. Гравиметрические наблюдения на техногенных геодинамических полигонах / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1990. – № 2. – С. 13–14.

191 Соловицкий, А. Н. Гравитационная составляющая напряжений с позиций блочного представления массива горных пород / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник КузГТУ. – 2004. – № 2. – С. 24–27.

192 Solovitskiy, A. Dynamic models of deformation of crustal blocks in the area of development of coal deposits - the basis of the information security of their development / A. Solovitskiy. – Текст : непосредственный // 8th Russian-Chinese Symposium. Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety. – September. <http://www.atlantispress.com/php/pub.php?publication=coal-16>.

193 Соловицкий, А. Н. Задачи маркшейдерии при изучении состояния регионального блочного массива горных пород / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 10. – С. 118–121.

194 Соловицкий, А. Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород / А. Н. Соловицкий; под ред. П. В. Егорова : монография. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2003. – 260 с. – Текст : непосредственный

195 Соловицкий, А. Н. Изучение изменений во времени деформаций регионального блочного массива горных пород наземными и космическими средствами / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей IV-го российско-китайского симпозиума «Строительство шахт и городских подземных сооружений», 21–22 сентября 2006 г. – Кемерово : КузГТУ, 2006. – С. 267–270.

196 Соловицкий, А. Н. Изучение изменений во времени деформаций регионального блочного массива горных пород / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей XI Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», 23–24 ноября 2006 г. – Кемерово, 2006. – С. 64–65.

197 Соловицкий, А. Н. Исследование вертикальных движений земной коры при разработке месторождений в сейсмически активных районах / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и фотограмметрия в горном деле. – Екатеринбург : СГИ, 1991. – С. 20–23.

198 Соловицкий, А. Н. Исследование изменения во времени напряженно-деформированного состояния блочного массива горных пород – основа правового режима ответственности при освоении месторождений / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах угольных регионах», 15–16 ноября 2007 г. – Кемерово, 2007. – Т. 2. – С. 94–97.

199 Соловицкий, А. Н. Некоторые аспекты геомеханического обеспечения освоения недр с современных позиций гравитационного поля / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2004. – № 2. – С. 75–77.

200 Соловицкий, А. Н. Методика оценки риска проявления геодинамического явления при освоении месторождения / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей VI-го российско-китайского симпозиума «Строительство шахт и городских подземных сооружений», 28 сентября 2010 г. – Кемерово : КузГТУ, 2010. – С. 323–327.

201 Соловицкий, А. Н. Мониторинг геодинамических явлений разрушительного характера при освоении месторождений / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 2. – С. 28–31.

202 Соловицкий, А. Н. Об аппроксимации блочного массива горных пород для оценки его напряженного состояния / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2003. – № 3. – С. 74–78.

203 Соловицкий, А. Н. Об интеграции научных исследований в области геодинамики / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1998. – № 5. – С. 34–35.

204 Соловицкий, А. Н. О мониторинге деформаций земной коры при подземной геотехнологии освоении недр / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Маркшейдерия и недропользование. – 2011. – № 3. – С. 53–55.

205 Соловицкий, А.Н. Об особенностях формирования системы контроля деформаций блоков земной коры при освоении угольных месторождений Кузбасса / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2012. – № 10. – С. 13–16.

206 Соловицкий, А. Н. Обобщенный метод геодинамического районирования месторождений полезных ископаемых / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Технические науки. – 2003. – Приложение № 1. – С. 201–202.

207 Соловицкий, А. Н. Об оценке деформаций блоков земной коры при освоении месторождения / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей XIII Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», 28–29 октября 2010 г. – Кемерово, 2010. – Т.1 – С. 61–64.

208 Соловицкий, А. Н. О выделении напряженных зон блочного массива горных пород / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Второй Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития горнодобывающих отраслей промышленности», 1–2 ноября 2004 г. – Рудный, 2004. – С. 53–55.

209 Соловицкий, А. Н. О геодинамической безопасности при освоении недр Кузбасса / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 1. – С. 291–293.

210 Соловицкий, А. Н. О геомеханике блочного массива горных пород / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», 22 –23 ноября 2004 г. – Кемерово : КузГТУ, 2004. – С. 59–61.

211 Соловицкий, А. Н. О горизонтальных движениях земной коры с учетом иерархии её строения / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научной конференции «Высокие технологии

и инновации в науке». 28 марта 2019. – Санкт-Петербург : ГНИИ «Нацразвитие», 2019. – С. 37–43.

212 Соловицкий, А. Н. О зонировании блочного массива горных пород / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник КузГТУ. – 2004. – № 3. – С. 16–18.

213 Соловицкий, А. Н. О методике исследования закономерностей медленных деформационных процессов блочного массива горных пород месторождения / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей XII Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», 20–21 ноября 2008 г. – Кемерово : КузГТУ, 2008. – С. 55–57.

214 Соловицкий, А. Н. О новых принципах геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния блоков земной коры в районах освоения угольных месторождений Кузбасса / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научной конференции «Technical and natural sciences», 27 августа 2020. – Санкт-Петербург : ГНИИ «Нацразвитие», 2020. – С. 20–24.

215 Соловицкий, А. Н. О применении результатов геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры при освоении угольных месторождений Кузбасса / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // International Research Journal. – 2016. – № 5(47). – Часть 6. – С. 97–99.

216 Соловицкий, А. Н. О регистрации информации при проведении геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры при освоении угольных месторождений Кузбасса / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // International Research Journal. – 2016. – № 6 (48). – Часть 5. – С. 152–155.

217 Соловицкий, А. Н. Основные принципы и проблемы проведения прикладных геодинамических исследований при строительстве шахт и подземных сооружений / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей

руссийско-китайского симпозиума «Строительство шахт и городских подземных сооружений», 24 –27 апреля 2000 г. – Кемерово : КузГТУ, 2000. – С. 166–168.

218 Соловицкий, А. Н. Особенности выделения напряженных зон блочного массива горных пород / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник КузГТУ. – 2004. – № 4. – С. 3–5.

219 Соловицкий, А. Н. Особенности геодезических построений при создании геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры Кузбасса / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // International Research Journal. – 2016.– № 6 (48). – Часть 5. – С. 149–152.

220 Соловицкий, А. Н. Особенности технологии изучения изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении месторождений Кузбасса / А. Н. Соловицкий, А. И. Каленицкий. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. . 58–61.

221 Соловицкий, А. Н. О решении задач геодинамики угольных месторождений Кузбасса геодезическим методом / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // International Research Journal. – 2020.– № 11 (101). – Часть 2. – С. 76–80.

222 Соловицкий, А. Н. О фундаментальной задаче геодинамики угольного месторождения при проведении геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2021. – Т. 65. – № 2. – С. 147–151.

223 Соловицкий, А. Н. Оценка взаимодействия блоковых структур интегральным методом для обеспечения геотехнологии и освоения недр/ А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2003. – № 2. – С. 76–78.

224 Соловицкий, А.Н. Оценка возможного риска проявления геодинамических явлений при освоении месторождений Кузбасса / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей XIV Международной научно-прак-

тической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», 1–2 ноября 2012 г. – Кемерово : КузГТУ, 2012. – Т. 1 – С. 58–61.

225 Соловицкий, А. Н. Оценка геодинамического фактора безопасности инженерных сооружений / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах», 25–27 ноября 2002 г. – Кемерово, 2002. – С. 92–94.

226 Соловицкий, А. Н. Оценка риска проявления геодинамических явлений при освоении месторождения / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 2. – С. 32–36.

227 Соловицкий, А. Н. Представление блочного массива горных пород с позиций теории динамических систем / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник КузГТУ. – 2004. – № 6. – С. 116–118.

228 Соловицкий, А. Н. Ранжирование напряженного состояния блочного массива горных пород для геомеханического обеспечения геотехнологии освоения недр / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Технические науки. – 2004. – Приложение № 9. – С. 101–102.

229 Соловицкий, А. Н. Руководство по контролю напряженного состояния блочного массива горных пород интегральным методом / А. Н. Соловицкий. – Кемерово, 2004. – 24 с. – Текст : непосредственный.

230 Соловицкий, А. Н. Современные геодезические технологии на службу реформ в Кузбассе / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Кузбасс на рубеже столетий», 24 апреля 2000 г. – Кемерово, 2000. – С. 87.

231 Соловицкий, А. Н. Теория высот при изучении геодинамики земной коры / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 34–42.

232 Соловицкий, А. Н. Теоретические основы геодинамического мониторинга при освоении месторождений открытым способом / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», 24–29 ноября 2001 г. – Кемерово, 2001. – С. 141–143.

233 Solovitskiy, A. N. The Hierarchy of Development of Geodynamic Processes of the Earth's Crust During the Development of Kuzbass Deposits To cite this article: A N Solovitskiy 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 272 022020. – Текст : непосредственный.

234 Solovitskiy, A. N. The theory of control of stressed states of a block rock massif with regard to the hierarchy of its movements / A. N. Solovitskiy, V. V. Perhin // 9th China-Russia Symposium. Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environmental Protection. – Oktober, 2018. P. 159–163. – <http://www.atlantispress.com/php/pub.php?publication=coal-18>.

235 Соловицкий, А. Н. Техногенные изменения силы тяжести на угольных месторождениях / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1988. – № 8. – С. 11–12.

236 Соловицкий, А. Н. Точностные особенности интегрального метода контроля напряженного состояния блочного массива горных пород / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник КузГТУ. – 2004. – № 3. – С. 19 – 20.

237 Соловицкий, А. Н. Учёт влияния геодинамики – информационная основа обеспечения безопасности жизнедеятельности предприятий / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей IV Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах», 21–23 ноября 2000 г. – Кемерово : КузГТУ, 2000. – С. 174–176.

238 Соловицкий, А. Н. Функциональное зонирование – инструмент управления развитием геодинамического полигона при изучении геодинамики земной

коры / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 100–109.

239 Соловицкий, А. Н. Характеристика региональной геодинамики Кемеровской области / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Journal of Shandong Mining Institute, 1997. – Vol. 16, S. – P. 34–37 (кит.).

240 Сорокин, А. А. Информационное обеспечение работы инструментальных сетей наблюдений для мониторинга природных процессов и явлений на территории Дальнего Востока России / А. А. Сорокин, С. П. Королёв, И. П. Урманов, А. Л. Верхотуров, Я. С. Нестеренкова, Н. В. Шестаков, А. В. Коновалов. – Текст : непосредственный // Сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления», 25–27 июня 2013 г. – Хабаровск : Изд. ТОГУ, 2013. – С. 322–325.

241 Суворов, А. И. Проблема пространственной и возрастной корреляции глубинных разломов / А. И. Суворов. – Москва : Наука, 1979. – 238 с. – Текст : непосредственный

242 Сурков, В. С. Тектонические структуры фундамента Западно-Сибирской плиты, особенности отображения их в гравитационном и магнитных аномальных полях / В. С. Сурков. – Текст : непосредственный // Региональные геофизические исследования в Сибири. – 1967. – С. 49–58.

243 Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок / И. А. Турчанинов, Г. А. Миронов, В. И. Иванов, А. А. Козырев. – Ленинград : Наука, 1978. – 278 с. – Текст : непосредственный.

244 Тряпицин, В. М. Геодинамическое районирование апатито-нефелиновых месторождений Хибин / В. М. Тряпицин. – Текст : непосредственный // Геодинамика месторождений : сб. науч. тр. – Кемерово : КузПИ, 1988. – С. 31–42.

245 Тряпицин, В. М. Перестройка распределений сейсмической энергии низких уровней и прогноз горных ударов / В. М. Тряпицин, М. И. Беркман, В. А. Попов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Горный журнал. – 1993 – № 4. – С. 3–7.

246 Турчанинов, И. А. Основы механики горных пород / И. А. Турчанинов, М. В. Иофис, Э. В. Каспарьян. – Ленинград : Недра, 1989. – 488 с. – Текст : непосредственный.

247 Тюшевский, Е. Ю. Технология высокоточных геодезических измерений при оценке деформаций земной поверхности в Восточной Сибири (на примере Северо-Муйского геодинамического полигона): специальность 25.00.32 «Геодезия» : автореферат дис. ... канд. техн. наук / Е. Ю. Тюшевский; Сибирская государственная геодезическая академия. – Новосибирск, 2009. – 29 с. – Текст : непосредственный.

248 Уломов, В. И. О роли горизонтальных тектонических движений в сейсмогеодинамике и прогнозе сейсмической опасности / В. И. Уломов. – Текст : непосредственный // Физика Земли. – 2004. – № 9. – С. 14–30.

249 Уставич, Г. А. Геодезический мониторинг строительства жилого высотного здания / Г. А. Уставич, С. В. Середович, В. Г. Сальников, В. А. Скрипников – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 93–99.

250 Устинов, А. В. Технология геодезического мониторинга деформаций гидротехнических сооружений на основе использование глобальных навигационных систем / А. В. Устинов. – Текст : непосредственный // Науки о Земле. – 2015. – № 1 (13). – С. 133–136.

251 Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах / А. А. Козырев, В. И. Панин, В. И. Иванов. – Апатиты : КНУ РАН, 1996. – 216 с. – Текст : непосредственный.

252 Филатов, В. В. Геофизические исследования на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей / В. В. Филатов, Г. Г. Кассин, Б. А. Попов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Горный журнал. – 1995. – № 6. – С. 150–161.

253 Филатов, В. В. Теория и практика геодинамического анализа гравитационного поля (на примере рудных районов Урала): 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» : дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Филатов; Свердловский горный институт. – Екатеринбург, 1990. – 229 с. – Текст : непосредственный.

254 Фокин, В. А. Оценка энергетических параметров геодинамических явлений / В. А. Фокин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Горный журнал. – 2001. – № 6. – С. 1–7.

255 Frank, F. C. Determination of the Earth Strains from Survey data / F. C. Frank. – Bul. Seismol. Soc. Fm., S.6, 1966. – Текст : непосредственный.

256 Хронусов, В. В. К оценке региональных напряжений в верхней части земной коры Верхнекамского региона / В. В. Хронусов, В. В. Филатов, С. А. Константинова, Н. В. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Горный журнал. – 1999. – № 1–2. – С. 20–24.

257 Хасимото, Макабу. Скорости горизонтальных движений на Японских островах в течении межсейсмического периода, выделенные из геодезических съемок / М. Хасимото. – Текст : непосредственный // Дзисин. – 1990. – № 1 – С. 13–26 (япон).

258 Цирихова, Э. М. Блоковая тектоника и оруднение / Э. М. Цирихова. – Москва : Недра, 1983. – 168 с. – Текст : непосредственный.

259 Цяо Цзяньон. Активизация блоков земной коры под влиянием горных работ как фактор геозкологических нарушений на шахте Хуафэн в Китае / Цяо Цзяньон, И. М. Батугина, А.С. Батугин, Сунь Чуныцзян, Ань Бо-и, Чжао Цзинли, Ван Чжинцзян, Юй Лицзя. – Текст : непосредственный // Горн. ин.–ан. бюл. – 2012. – № 6. – С. 132–137.

260 Шабаров, А. Н. Концепция геодинамического моделирования месторождений / А. Н. Шабаров. – Текст : непосредственный // Горн. ин.–анал. бюл. – 2001. – № 6. – С. 55–65.

261 Шахты Кузбасса. – Москва : Недра, 1994. – 352 с. – Текст : непосредственный.

262 Шейдеггер, А. Е. Основы геодинамики / А. Е. Шейдеггер. – Текст : непосредственный. – Москва : Недра, 1987. – 384 с.

263 Шерман, С. И. Физические закономерности развития разломов земной коры / С. И. Шерман. – Текст : непосредственный. – Новосибирск : Наука, 1977. – 100 с.

264 Щербаков, В. В. Цифровые модели пути – основа геодезического обеспечения проектирования, строительства (ремонта) и эксплуатации железных дорог / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, О. В. Ковалева. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2016. – 23. – С. 12–16.

265 Юркина, М. И. Исследование по совместному определению изменений земного гравитационного поля и вертикальных движений земной коры по повторным гравиметрическим и нивелирным наблюдениям / М. И. Юркина. – Текст : непосредственный // Повторные гравиметрические наблюдения. – Москва : МГК, 1987. – С. 4–20.

266 Ямбаев, Х. К. Геодезические измерения в районах интенсивного движения земной коры / Х. К. Ямбаев, В. Р. Яценко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2015. – № 9. – С. 48–53.

267 Ямбаев, Х. К. Геодезический мониторинг движений земной коры: состояние, возможности, перспективы / Х. К. Ямбаев, В. Р. Яценко. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 139–155.