

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС»

На правах рукописи

Шевчук Степан Васильевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ
ХРАНИЛИЩ ГАЗА

Специальность 1.6.21. «Геоэкология»

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель – д.т.н. Батугин Андриан Сергеевич

Москва, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА.....	11
1.1. Подземные хранилища газа.....	11
1.2. Изучение геоэкологических проблем при эксплуатации подземных хранилищ газа.....	12
1.3. Геодинамический мониторинг на подземных хранилищах газа.....	14
1.4. Сейсмическая активность при эксплуатации подземных хранилищ газа.....	21
1.5. Выводы.....	25
ГЛАВА 2. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА В ПОРИСТЫХ СТРУКТУРАХ.....	27
2.1. Результаты геодинамический мониторинг на Совхозном ПХГ.....	29
2.2. Результаты геодинамического мониторинга на Карашурском ПХГ.....	42
2.3. Результаты геодинамического мониторинга на Щелковском ПХГ.....	53
2.4. Основные выводы.....	65
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В РАЙОНЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПХГ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	66
3.1. Стратиграфическая, структурно-тектоническая, геодинамическая характеристика районов расположения Елшано-Курдюмского, Песчано- Уметского и Степновского ПХГ.....	66
3.2. Сейсмичность района расположения Елшано-Курдюмского, Песчано- Уметского и Степновского ПХГ.....	73
3.3. Обоснование техногенной природы сейсмичности в районе ПХГ Саратовской области.....	75
3.4. Выводы по главе.....	89
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА.....	90
4.1. Обоснование площади территориального геодинамического полигона..	90
4.2. Обоснование параметров локального геодинамического полигона.....	96
4.2.1 Тектоническая характеристика территории Невского ПХГ.....	99
4.2.2 Расчет максимального вертикального вектора сдвижений земной поверхности.....	104
4.2.3. Структура локального геодинамического полигона Невского ПХГ...	111
4.3. Обоснование периодичности наблюдений на локальном геодинамическом полигоне.....	113
4.4. Выводы к главе.....	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	123
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Удостоверение на рационализаторское предложение № 01/01-20 от 10.08.2020.....	136

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Удостоверение на рационализаторское предложение № 01/02-20 от 10.08.2020.....	137
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Удостоверение на рационализаторское предложение № 01/03-20 от 05.10.2020.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Акт об использовании объекта патентных прав.....	139

ВВЕДЕНИЕ.

Актуальность работы.

Подземные хранилища газа (ПХГ) являются опасными производственными объектами, часть из которых расположена вблизи населенных пунктов. Низкий уровень изученности геодинамических процессов и эффектов, происходящих при эксплуатации подземных хранилищ газа, таких, например, как утечки газов в окружающую среду через геодинамические зоны, аномальные сдвигения земной поверхности, техногенная сейсмичность, ведет к опасным экологическим последствиям и неоправданным затратам на проведение геодинамического мониторинга маркшейдерско-геодезическими методами.

Существующие подходы к геодинамическому мониторингу на ПХГ основаны на методе аналогии, который подразумевает использование теоретических исследований и практических данных, полученных на геодинамических полигонах (ГДП) месторождений углеводородов. Единственным существенным отличием при проектировании геодинамического полигона на подземных хранилищах газа является периодичность систематических наблюдений. Для оценки знакопеременных сдвижений земной поверхности при изменении пластового давления наблюдения проводят два раза в год в нейтральные периоды между отбором и закачкой газа без предпочтения по контролю геодинамических зон, что делает процесс мониторинга достаточно трудоемким.

При разработке проекта ГДП принимается допущение о том, что за пределами горного отвода влияние эксплуатации ПХГ не существует, поэтому фундаментальные реперы закладываются в непосредственной близости от горного отвода. Однако, эмпирические данные, подтверждающие или опровергающие данное допущение, отсутствуют. В то же время существуют многочисленные данные и предположения о геодинамическом взаимодействии различных объектов освоения недр, что не нашло пока

обоснования в теории и практике проектирования геодинамических полигонов.

На зарубежных ПХГ известны проявления техногенной сейсмичности с воздействием на окружающую среду, однако регистрация данных явлений в нашей стране не осуществляется ввиду слабой изученности вопроса и отсутствия опыта проведения непрерывных сейсмологических наблюдений на ПХГ.

Таким образом, совершенствование подходов к геодинамическому мониторингу районов расположения подземных хранилищ газа в пористых структурах для повышения уровня геэкологической безопасности при их эксплуатации является актуальной научно–технической задачей.

Степень разработанности темы.

Значительный вклад в развитие теоретических вопросов геодинамики недр внесли отечественные ученые: Адушкин В.В., Батугина И.М., Батугин А.С., Кузьмин Ю.О., Опарин В.Н., Петухов И.М., Шабаров А.Н. Вопросам совершенствования маркшейдерско-геодезических методов наблюдений на геодинамических полигонах посвящены работы Ашихмина С.Г., Кафтана В.И., Кашникова Ю.А., Панжина А.А., Татаринов В.Н. Необходимость включения сейсмологических наблюдений в состав геодинамического мониторинга в своих работах обосновывали: Еманов А.Ф., Нестеренко М.Ю., Никонов А.И., Огаджанов В.А. Оценкой геэкологической опасности при недропользовании, в том числе и на подземных хранилищах газа, занимались: Жуков В.С., Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В., Нестеренко Ю.М., Шестаков Н.В.

Целью исследования является развитие научных основ геодинамического мониторинга на подземных хранилищах газа для комплексного изучения значимых геодинамических процессов по результатам маркшейдерско-геодезических и сейсмологических наблюдений и повышения геэкологической безопасности при эксплуатации объектов недропользования.

Идея работы заключается в том, что протекание геодинамических процессов в районе ПХГ имеет свои характерные особенности, связанные с уникальностью и цикличностью работы этого типа объектов освоения недр, что накладывает специфические требования и к проведению геодинамического мониторинга.

Основные задачи исследования.

1. Выявить возможные экологические опасности при эксплуатации ПХГ на основании анализа мирового опыта подземного хранения газа.
2. Исследовать влияние эксплуатации ПХГ на активизацию разломных зон за пределами горного отвода и обосновать размеры локального геодинамического полигона, в пределах которого должны проводиться систематические маркшейдерско-геодезические наблюдения для обеспечения геоэкологической безопасности на ПХГ.
3. Обосновать размеры и конфигурацию территориального геодинамического полигона для проведения сейсмологического мониторинга.
4. Выдвинуть и исследовать гипотезу о природе сейсмических явлений в районах эксплуатации подземных хранилищ газа Саратовской области.
5. Усовершенствовать метод создания геодезических сетей при геодинамическом мониторинге на ПХГ и обосновать периодичность систематических маркшейдерско-геодезических наблюдений на ПХГ.

Методы исследований включают: анализ и обобщение научно-технической информации по проблеме исследования; изучение, систематизация и интерпретация результатов геодинамического мониторинга на подземных хранилищах газа.

Основные научные положения, выносимые на защиту.

1. Геодинамическое воздействие ПХГ на горный массив распространяется за пределы его горного отвода и может отслеживаться двухуровневой системой мониторинга с проведением региональных наблюдений в зоне геодинамического влияния потенциально

взаимодействующих объектов освоения недр и локальных наблюдений в зоне не менее $3H \times \operatorname{ctg} \delta$ от границы горного отвода, где H – максимальная глубина кровли эксплуатируемого пласта коллектора на границах контура ГВК; δ – граничный угол.

2. Возникновение сейсмических явлений в районах расположения Елшано-Курдюмского, Песчано-Уметского и Степновского ПХГ связано с режимом их эксплуатации и является новым для России видом техногенной сейсмичности, оказывающим влияние на окружающую среду.

3. Для прогнозирования развития геодинамических процессов и их влияния на геоэкологическую ситуацию достаточно проводить маркшейдерско-геодезические наблюдения в осенний нейтральный период на совокупности локальных геодезических сетей, заложенных с учетом зон динамического влияния разломов в районах ПХГ.

Научная новизна выполненных исследований заключается в следующем:

1. Установлена характерная особенность процесса сдвижения, заключающаяся в том, что наибольшие значения аномального процесса сдвижения при цикличной эксплуатации приурочены к разломным зонам, а вне разломных зон оседание и поднятие земной поверхности незначительны.

2. Установлен ранее неизвестный факт развития опасных техногенных процессов сдвижения земной поверхности за пределами горного отвода.

3. Разработан способ выбора параметров территориального геодинамического полигона, отличающийся тем, что его размеры и конфигурацию выбирают с учетом суммарной площади взаимодействующих объектов недропользования.

4. Разработан способ выбора конфигурации и размеров геодезических сетей на локальном геодинамическом полигоне для обеспечения геоэкологической безопасности эксплуатации ПХГ, учитывающей ширину зоны геодинамического влияния разломов.

5. Разработан способ геодинамического мониторинга, направленный на обеспечение экологической безопасности эксплуатации ПХГ, отличающийся периодичностью проведения маркшейдерско-геодезических наблюдений (только в осенний нейтральный период).

6. Установлена связь проявления сейсмических явлений в районах расположения Елшано-Курдюмского, Песчано-Уметского и Степновского ПХГ с режимом их эксплуатации, что доказывает существование нового для России вида техногенной сейсмичности.

Теоретическая значимость работы заключается в расширении научной базы изучения воздействия объектов освоения недр на окружающую среду за счет совершенствования методов проведения геодинамического мониторинга на ПХГ.

Практическая значимость заключается в том, что на базе усовершенствованных методов появляется возможность разработать технические проекты геодинамического мониторинга, включающие комплексные маркшейдерско-геодезические и сейсмологические наблюдения для контроля и прогноза развития опасных техногенных процессов.

Обоснованность и достоверность исследования подтверждается анализом фактических данных по наблюдениям на геодинамических полигонах в районах Карашурского, Совхозного и Щелковского ПХГ с общей длиной профильных линий более 50 км, анализом данных по сейсмичности регионального геодинамического полигона Саратовской области за 2005-2007 гг. (29 событий), а также соответствии основных выводов представлениям о наличии взаимодействия региональных геодинамических и локальных геомеханических процессов на объектах освоения недр.

Личный вклад автора.

Лично автором была выполнена систематизация и интерпретация имеющихся данных геодинамического мониторинга на ПХГ, разработаны способы определения размеров локального и регионального геодинамических полигонов, доказана необходимость и достаточность проведения

маркшейдерско-геодезических наблюдений в осенний нейтральный период, выполнен анализ проявления сейсмичности в районах расположения ПХГ.

Апробация работы.

Результаты работы были доложены на: II научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Новые идеи в геологии нефти и газа» (г. Тюмень, 2019), Всероссийском конкурсе «Новая идея» на лучшую научно-техническую разработку среди молодежи предприятий и организаций топливно-энергетического комплекса проводимого под эгидой Министерства энергетики Российской Федерации (г. Москва, 2020), международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2021), XIX Всероссийском конференции-конкурсе студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2021), XVII Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2021), XI научно-практической конференции молодых работников ООО «Газпром ПХГ» (г. Санкт-Петербург, 2021). Имеются внедрения предложенных изобретений в проекты геодинамических полигонов на подземных хранилищах газа: патент RU № 2757387 C1 от 14.10.2021-Невское ПХГ; Патент РФ RU № 2761547 C1 от 09.12.2021 - Канчуринско-Мусинский комплекс ПХГ; заявка на изобретение № 2021119199 от 30.06.2021 (решение о выдаче патента от 23.05.2022) – Калужское, Невское, Гатчинское, Пунгинское ПХГ и Канчуринско-Мусинский комплекс ПХГ.

Публикации.

Основное содержание работы отражено в четырех научных статьях, рекомендованных ВАК и включенных в наукометрическую базу Scopus. Получено два патента РФ и зарегистрировано три рационализаторских предложения.

Объем и структура работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка используемой литературы и приложений. Работа

изложена на 140 страницах и содержит 64 рисунка, 8 таблиц, список используемых источников из 92 наименований и 4 приложения.

Благодарности.

Автор выражает особую благодарность научному руководителю д.т.н. Батугину А.С. за помощь, оказанную при работе над диссертацией, начальнику службы-главному маркшейдеру ООО «Газпром ПХГ» Квятковской С.С. за предоставленные консультации по теме исследования. Кроме того, автор благодарит коллектив кафедры безопасности и экологии горного производства во главе с заведующим кафедрой д.т.н. Коликовым К.С. за помощь в организационных вопросах.

Также автор выражает благодарность своим родителям – Шевчуку Василию Ивановичу и Шевчук Лилии Владимировне, и брату – Шевчуку Роману Васильевичу за их поддержку, помощь и опору на всех жизненных этапах и выражает благодарность Никулиной Анне Сергеевне за мотивацию.

Отдельную благодарность автор выражает д.т.н., И.о. заведующего кафедрой общей и неорганической химии Пестряк И.В. за моральную поддержку и помощь.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА.

1.1. Подземные хранилища газа.

Единая система газоснабжения представляет собой совокупность газовых промыслов, магистральных газопроводов, подземных хранилищ газа и газораспределительных станций, объединённых единым гидродинамическим режимом добычи, транспорта, хранения и распределения природного газа [Смирнов, 2003]. Обеспечение надежности газоснабжения страны и экспортных поставок напрямую зависит от производительности подземных хранилищ газа. Основная роль которых - регулирование неравномерного потребления газа, а также создание оперативного и резервного запаса газа [Смирнов, 2003].

Технология строительства и эксплуатации подземных резервуаров в первую очередь зависит от геологических условий. Так, можно выделить два основных типа подземных хранилищ газа по геологическому признаку. К первому типу относятся ПХГ, созданные в пористых структурах: водоносные пласты, истощённые газовые, газоконденсатные и нефтяные месторождения. Ко второму типу относятся хранилища, созданные в непроницаемых горных породах – каменной соли [Смирнов, 2003].

На территории нашей страны существует 23 действующих подземных хранилища газа, из которых два созданы в каменной соли – Калининградское и Волгоградское ПХГ. Поскольку подземные хранилища газа в каменной соли представляют собой размытые выработки-емкости (подземные резервуары), для которых определяется объем буферного газа с учетом обеспечения устойчивости подземного резервуара на весь срок службы, а уменьшение объема каверны, как правило, не превышает 5% за весь период эксплуатации, можно однозначно сказать, что безаварийная работа на данных объектах не приведет к значительному изменению геодинамической обстановки в районе расположения подземных хранилищ газа. Поэтому далее будут

рассматриваться только подземные хранилища газа, созданные в пористых структурах.

Главными условиями для создания подземного хранилища газа являются наличие, как правило, куполо-образной геологической структуры, пласта-коллектора, а также герметичной покрышки. Газохранилища в пористых структурах представляют собой искусственную газовую залежь, находящуюся под воздействием внешних технологических и внутренних природных сил. Хранилища, созданные в водоносных структурах, являются искусственной залежью в естественных условиях пласта, заполненного водой [Смирнов, 2003].

Эксплуатация подземного хранилища газа подразумевает цикличное изменение давления в пласте-коллекторе от максимального проектного в осенний нейтральный период после закачки газа, до минимального проектного в весенний нейтральный период при отборе газа, что может привести к изменению напряженно-деформированного состояния массива и последующим геоэкологическим последствиям.

1.2. Изучение геоэкологических проблем при эксплуатации подземных хранилищ газа.

Подземные хранилища газа являются объектами, которые оказывают значительное влияние на геоэкологическую обстановку территории. При эксплуатации ПХГ происходит нарушение динамического равновесия между водой и твердой частью земной коры. Опыт изучения геоэкологической обстановки в районах расположения ПХГ показывает, что существуют факты миграции газа в вышележащие горизонты вплоть до выхода на земную поверхность.

На Калужском подземном хранилище газа, начиная с опытно-промышленных закачек, отмечаются перетоки газа по вертикали. Гравиметрическая съемка позволила выявить латеральное растекание газа во всех вышележащих горизонтах, мигрирующего из эксплуатируемого пласта-коллектора [Казанкова, Корнилова, 2016]. Также авторы работы [Казанкова,

[Корнилова, 2016](#)] отмечают, что имеется разбаланс газа, что указывает на негерметичность данного ПХГ. Одной из причин миграции газа за пределы объекта хранения является наличие тектонических нарушений и ослабленных проницаемых зон.

С целью выявления миграции газа из пласта-коллектора в 1998-2000 гг. была проведена геохимическая съемка на территории Щелковского ПХГ. Полученные результаты позволили обнаружить прямую зависимость увеличения объемов почвенного газа от объемов газа, закачиваемого в ПХГ, что подтверждает миграцию газа из подземного хранилища газа. Никонов А.И. в своей работе [[Никонов, 2003](#)] связывает данный процесс с параметрическими деформациями, возникающими вследствие цикличной эксплуатации ПХГ.

В 1989-2002 гг. были проведены исследования технического состояния эксплуатационных колон Пунгинского ПХГ. По результатам исследования было установлено, что образование трещин в колоннах и формирование скоплений газа вокруг скважины происходит в течении определенного периода времени, характеризующегося активизацией геодинамических процессов [[Жуков, 2009](#)].

По результатам многолетних наблюдений на Степновском подземном хранилище газа была проведена комплексная оценка полученных результатов геодинамического мониторинга и было установлено отсутствие знакопеременных сдвижений земной поверхности, что, по мнению авторов работы [[Квятковская, Кузьмин и др., 2017](#)], было вызвано несоблюдением регламента проведения маркшейдерско-геодезических наблюдений. Вместе с тем, зафиксированные значения деформаций в зонах разломов позволили их отнести к опасным.

Полученные немногочисленные данные на геодинамических полигонах подземных хранилищ газа подтверждают возможность активизации разломных зон, вызванных эксплуатацией ПХГ, что обосновывает необходимость проведения геодинамического мониторинга на ПХГ.

1.3. Геодинамический мониторинг на подземных хранилищах газа.

Вопросы проведения геодинамического мониторинга на подземных хранилищах газа освещены в ряде нормативных документов Российской Федерации. В соответствии со ст. 24 Закона РФ «О недрах» недропользователь обязан проводить комплекс геологических, маркшейдерских и иных наблюдений, достаточных для обеспечения нормального технологического цикла работ и прогнозирования опасных ситуаций, своевременного определения и нанесения на планы горных работ опасных зон.

Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 №1467 «О лицензировании производства маркшейдерских работ», определяет перечень лицензионных требований, предъявляемых к лицензиату при осуществлении деятельности по производству маркшейдерских работ. Одним из требований является проведение маркшейдерских наблюдений, достаточных для обеспечения нормального технологического цикла горных работ и прогнозирования опасных ситуаций, своевременное определение и нанесение на планы горных работ опасных зон.

«Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр» обязывает недропользователя проводить мониторинг состояния недр, включая процессы сдвижения горных пород и земной поверхности, геомеханические и геодинамические процессы в целях предотвращения вредного влияния горных разработок на горные выработки, объекты поверхности и окружающую природную среду.

Согласно п. 262 РД 07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ»: *«Технический проект (программа) выполнения маркшейдерских работ включает обоснование и технические решения по созданию системы наблюдений (геодинамических полигонов) за геомеханическими, геодинамическими, а в необходимых случаях – за геокриологическими процессами».*

Согласно условиям на пользование недрами в разделе 4 «Требований по рациональному использованию и охране недр, охране окружающей среды и

безопасному ведению работ» владелец лицензии обязан: *«обеспечить соблюдение других требований законодательства Российской Федерации, а также утвержденных в установленном порядке стандартов (норм, правил), регламентирующих вопросы рационального использования и охраны недр, охраны окружающей среды, безопасного ведения работ».*

Требования о необходимости проведения геодинамического мониторинга также устанавливаются в разделе «Маркшейдерско-геодезические работы» в проектных документах на строительство и эксплуатацию ПХГ (п. 4.2 Условий на пользование недрами).

Эксплуатация подземных хранилищ газа, также как разработка месторождений углеводородов, оказывает значительное влияние на геодинамическую обстановку района. Вопросам изучения геодинамических процессов на месторождениях нефти и газа посвящены многие работы [Кузьмин, 1999; Кашников, 2007; Нестеренко и др., 2015; Цвяк, 2019], что подтверждает значимую роль данного вопроса для объектов топливно-энергетического комплекса. Геодинамические процессы оказывают негативное влияние на объекты инфраструктуры нефтегазового комплекса и окружающей застройки, что ведет к риску возникновения экологических катастроф в районе расположения объекта недропользования.

В работах [Кузьмин, 1999; Кузьмин, Жуков, 2004] по результатам многочисленных инструментальных наблюдений на геодинамических полигонах различного целевого назначения были определены эмпирические обобщения о современных деформационных процессах в зонах разломов. Существует три типа локальных аномалий и вертикальных сдвижений в зонах разломов (см. рис. 1.1). Наиболее распространенной является γ -аномалия (88%), горизонтальные размеры которой составляют 0,1-2 км. Для аномалии типа S характерны размеры 5-10 км (3%), для типа β – 10-30 км (9%). Также установлено, что пространственно-временные характеристики аномального процесса сдвижения одинаковы как для сейсмоактивных районов, так и для

асейсмичных районов, однако, интенсивность деформационного процесса в асейсмичных районах выше.

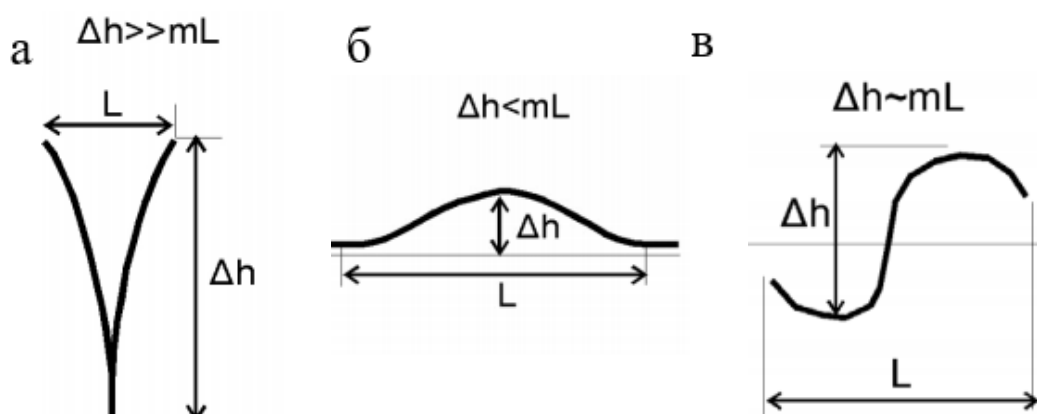


Рисунок 1.1 – Типы аномалия.

*а – аномалия типа γ ; б – аномалия типа β ; в – аномалия типа S.
m-масштабный коэффициент 10^{-6}*

Кузьмин Ю.О. в работах [Кузьмин, 1999; Кузьмин, Жуков, 2004] вводит понятие современный активный разлом, к которому относятся разломные зоны со скоростями относительных деформаций со значением больше 10^{-5} . Согласно РД 51-1-96 «Инструкция по охране окружающей среды при строительстве скважин на суше на месторождениях углеводородов поликомпонентного состава, в том числе сероводородсодержащих» допустимый уровень относительного деформирования геологической среды устанавливается при значениях не более 5×10^{-6} , условно-допустимый при значениях не превышающих 10^{-5} , а аномальный при значениях 5×10^{-5} . В соответствии с приведенным значениям, производится оценка и выявление зон геодинамического риска, в том числе и при эксплуатации подземных хранилищ газа.

При изучении геодинамических процессов на месторождениях углеводородов выделяются два типа деформационных воздействий, а именно: обширные просадки в пределах территории месторождения, обусловленные изменением давления в пласте-коллекторе, и ко второму типу относятся

локальные суперинтенсивные деформации (СД) в пределах разломных зон, вызванные процессом эксплуатации объекта [Кузьмин, Жуков, 2004].

Геодинамический мониторинг на подземных хранилищах газа относительно недавно получил свое развитие. Первые упоминания по обоснованию геодинамического мониторинга на подземных хранилищах были выполнены в работах [Шабаров, Кротов и др., 1997; Кузьмин, Никонов, 2001; Никонов, 2003]. Создание геодинамических полигонов и проведение систематических наблюдений началось с 2006 года. Тогда был заложен первый геодинамический полигон на Елшано-Курдюмском подземном хранилище газа.

Как было сказано выше главным технологическим отличием эксплуатации подземного хранилища газа от эксплуатации месторождений углеводородов является циклический характер техногенного воздействия на недра. На основании чего в работе [Зубарев, Полухина и др., 2012] была описана схема формирования аномальных геодинамических процессов при эксплуатации подземных хранилищ газа. Авторами работы [Зубарев, Полухина и др., 2012] обосновано возникновение знакопеременных сдвижений земной поверхности при эксплуатации ПХГ.



Рисунок 1.2 – Схема формирования аномальных геодинамических последствий эксплуатации ПХГ [Зубарев, Полухина и др., 2012].

В РД 07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ» и «Инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов» (ГКИНП(ГНТА)-03-010-02) установлены основные требования к созданию геодинамических полигонов. Существующие подходы к созданию геодинамического полигона на подземных хранилищах газа в пористых структурах основаны на построении профильных линий, пересекающих горный отвод. Фундаментальные реперы располагают за пределами горного отвода, то есть за пределами зоны влияния подземного хранилища газа. Грунтовые (рабочие) реперы располагаются в пределах территории подземного хранилища газа через 300-500 м, а в зонах разломов через 100 м [РД 07-603-03].

Для определения численных параметров процесса сдвижения земной поверхности определяют планово-высотное положение реперов. Для определения вертикального вектора сдвижения земной поверхности проводится высокоточное нивелирование по программе II класса. Для определения горизонтального вектора сдвижения земной поверхности используются ГНСС наблюдения методом относительных определений в режиме классической статики. В качестве альтернативного метода в работе [Квятковская, Кузьмин и др., 2017] предложено использование метода микротрилатерации. Однако, на сегодняшний день данный метод технически нецелесообразен и экономически необоснован.

Для оценки флюидодинамических процессов, происходящих при эксплуатации ПХГ, применяются геофизические методы. Гравиметрические наблюдения направлены на выявление локальных вариаций силы тяжести во времени, обусловленных изменением плотностных характеристик горных пород. Данный метод обеспечивает получение дополнительной информации и рассматривается совместно с результатами нивелирования.

Поскольку эксплуатация подземного хранилища газа имеет свою особенность, которая выражена цикличным изменением пластового давления от максимального (осенний период) до минимального (весенний период), проектом геодинамического полигона проведение маркшейдерско-

геодезические и гравиметрические наблюдения предусматриваются не реже двух раз в год в нейтральные периоды [Кузьмин, Никонов, 2001; Квятковская, Кузьмин и др., 2017; Квятковская, Фаттахов, 2019].

Обработка результатов наблюдений производится после каждого цикла измерений. По полученным результатам наблюдений составляются графики вертикальных и горизонтальных сдвижений, а также графики изменения силы тяжести. Для оценки происходящих геодинамических процессов используются две формы построения графиков: эволюционные и пульсационные [Кузьмин, 1999; Кузьмин, Никонов, 2001; Зубарев, Полухина и др., 2012; Квятковская, Кузьмин и др., 2017; Кузьмин, 2018; Квятковская, Фаттахов, 2019]. Эволюционные графики отражают сдвигения земной поверхности относительно первого цикла наблюдений, показывая временную динамику, и определяются вычитанием текущих величин из значений, полученных при первом наблюдении. Второй тип графиков отражает периоды возникновения пульсаций сдвижения и определяет длительность протекания аномального сдвижения [Кузьмин, 2018]. В работе [Квятковская, Фаттахов, 2019] авторы отмечают, что учет циклического воздействия подземных хранилищ газа на недра целесообразнее оценивать, используя пульсационные графики.

Основываясь на имеющихся данных о геодинамическом мониторинге на ПХГ [Кузьмин, Никонов, 2001; Зубарев, Полухина и др., 2012; Квятковская, Кузьмин и др., 2017; Квятковская, Фаттахов, 2019] можно выделить следующие базовые принципы его создания:

- профили должны пересекать лицензионный участок как вдоль, так и поперек простираения структур;
- расстояние между реперами должно составлять 300 – 500 м, а в зоне предполагаемых тектонических нарушений реперы закладываются через 100 м;
- выбранные профильные линии должны начинаться и заканчиваться за пределами контура пласта-коллектора;

- точность нивелирования должна быть не ниже нивелирования II класса;
- частота повторных наблюдений должна быть не реже чем 2 раза в год.

Можно убедиться, что принципы создания геодинамического мониторинга на ПХГ аналогичны тем, которые применяются на месторождениях углеводородов.

Многие авторы отмечают [[Нестеренко и др., 2015](#); [Волков, 2018](#); [Кашников, Ашихмин, 2020](#)], что существующие подходы к геодинамическому мониторингу на месторождениях углеводородов устарели. Геодинамические полигоны предполагают большую протяженность профильных линий, что сказывается на точности измерений, а также ведет к высокой стоимости выполнения работ. В связи с этим разрабатываются различные подходы, направленные на оптимизацию наблюдений и сокращение затрат.

Для организации геодинамического полигона на Ямбургском НГКМ был разработан программно-целевой подход. Ямбургское месторождение является одним из самых крупных месторождений в мире, площадь лицензионного участка составляет 8 218,29 км². Предложенная схема геодинамического полигона для решения геодинамических и геомеханических задач представляет собой 23 наблюдательные системы: 4 геодинамических профиля, 2 профильных линии, 17 контрольных площадок [[Волков, 2018](#)]. Наблюдательные системы направлены на выявление аномальных процессов сдвижения земной поверхности и деформаций пластов-коллекторов, являющихся следствием разработки месторождения. Для выявления вертикальной составляющей вектора сдвижения используются контрольные площадки. Для количественной оценки деформаций пласта-коллектора используются профильные линии, разбитые на секции 0,3-0,5 км. Для выявления аномальных процессов современной геодинамики недр заложены четыре геодинамических профиля длиной 0,5-1 км, пересекающие зоны разрывов и разломов. Основным отличием данного подхода является

проведение наблюдение в локальных областях, наиболее подверженным аномальным процессам.

В работе [Кашников, Ашихмин, 2020] авторы предлагают поэтапное создание геодинамического полигона. На первом этапе при вводе в эксплуатацию нефтяных объектов Яковлевской и Нижнехетской свит предлагается проводить ГНСС наблюдения по реперам, совмещенным с опорной маркшейдерской сетью. В дополнение к этому, рекомендуется применять локальную радарную интерферометрию на наиболее важных объектах месторождения. При вводе в эксплуатацию газоконденсатных объектов Долганской и Нижнехетской свит предложено произвести закладку одной профильной линии, проходящей через всю территорию месторождения.

Зарубежные коллеги при изучении сдвижения земной поверхности, в том числе и на объектах нефтегазовой отрасли, отдают предпочтение методу InSAR [Yang et al, 2015; Chang et al, 2019; Bitelli et al, 2020; Wang et al, 2021]. Так, в Италии на ПХГ реализован комплексный подход, включающий в себя радарную интерферометрию и ГНСС наблюдения [Benetatos et al, 2020].

Безусловно, маркшейдерско-геодезические наблюдения на геодинамических полигонах весьма трудоемки и дорогостоящи. Вместе с тем, отказаться от маркшейдерско-геодезических методов не представляется возможным. Вопросу совершенствования геодинамического мониторинга на ПХГ на сегодняшний день не уделено внимание. В связи с этим важной задачей является разработка новых подходов по созданию системы маркшейдерско-геодезических наблюдений на геодинамических полигонах подземных хранилищ газа.

1.4. Сейсмическая активность при эксплуатации подземных хранилищ газа.

Сильные горные удары, техногенная сейсмичность, газодинамические явления оказывают прямое влияние на геоэкологическую безопасность объектов недропользования.

Сейсмичность, связанная с инженерной деятельностью человека (см. табл. 1.1), является одной из современных актуальных глобальных проблем, имеющей технический, социальный и экологические аспекты. Одной из классификаций техногенной сейсмичности является классификация Адушкина-Турунтаева [Адушкин, 2015], в которой сейсмические события, возникающие самопроизвольно в массиве горных пород, вмещающем и окружающем область его эксплуатации, отнесены к наведенной техногенной сейсмичности. Имея в виду эту форму сейсмичности, в данной работе используется для нее термин техногенной сейсмичности.

Таблица 1.1

Виды инженерной деятельности, вызывающие техногенной сейсмичность в России и мире.

Вид инженерной деятельности, вызывающий техногенную сейсмичность	Упоминания в мировой практике	Упоминания в России
Заполнение водохранилищ	[Carder, 1945; Gupta, 2002]	[Николаев, 1973]
Ведение горных работ	[Cook, 1966; Lizurek, 2015]	[Kozyrev et al., 2020]
Разработка месторождений углеводородов	[Nicholson & Wesson, 1992]	[Адушкин, Турунтаев, 2015]
Взрывные работы	[Hamilton et al., 1972]	[Адушкин, Турунтаев, 2015]
Эксплуатация ПХГ	[Benetatos et al., 2013; Cesca et al., 2014; Tang et al., 2015]	Не отмечено

Давно известно, что эксплуатация месторождений углеводородов является инженерным видом деятельности, который связан с серьезными социально-экономическими последствиями [Нестеренко и др., 2015; Цвяк, 2019; Кашников, Ашихмин, 2020;]. Техногенная сейсмичность на месторождениях нефти и газа изучена в многих работах [Нестеренко и др., 2015; Адушкин, Кишкина, Кочарян, 2017]. Главной причиной происходящих процессов является интенсивная добыча флюида и закачка жидкости в пласт для поддержания пластового давления [Simpson and Leith, 1985; Адушкин, Турунтаев, 2015; Foulgier, 2018].

В нашей стране, на сегодняшний день, изучение сейсмической активности в районах подземных хранилищ газа не проводилось. Мировой опыт эксплуатации ПХГ показывает, что существуют многочисленные случаи сейсмической активности [Foulger et al., 2018].

В Нидерландах эксплуатируется подземное хранилище газа (Bergermeer) на глубине 2200 метров. Пласт-коллектор состоит из проницаемых песчаников. Площадь подземного хранилища разделяет разлом. Во время закачки буферного газа в 2013 году было зарегистрировано несколько небольших сейсмических событий с наибольшей величиной M 0.7 [Anonymous, 2014].

Подземное хранилище газа На'је (Чехия) было введено в эксплуатацию в 1998 году, созданное на базе рудных месторождений. На территории объекта создана локальная сейсмологическая сеть, которая зарегистрировала в первые три года эксплуатации 299 локальных сейсмических событий, что авторы работы [Benetatos et al, 2013.] связывают с прекращением ведения горных работ по добыче руды и затоплением горных выработок. В период с октября 2009 года по ноябрь 2010 года было зафиксировано три сейсмических события на глубинах сопоставимых с глубиной подземного хранилища и в пределах самого объекта. Еще три события произошли уже на отдалении от хранилища в 2014-2015 гг.

Территория Газлийского месторождения газа характеризуется сложным тектоническим строением, включающим крупные разломы, что обуславливает высокий уровень напряженного состояния горного массива. В процессе разработки месторождения по результатам геодинамического мониторинга отмечалось оседание земной поверхности со скоростью, достигавшей значения 19,2 мм/год. По результатам расчетов было установлено, что интенсивная разработка месторождения привела к возникновению дополнительных эффективных напряжений составляющих 6-14 МПа. Как следствие, в 1976 г. вблизи месторождения произошли два землетрясения с максимальной магнитудой $M=7,3$. Спустя восемь лет произошло третье

катастрофическое землетрясение с $M=7,2$. Сделано заключение о том, что именно эксплуатация месторождения послужила причиной произошедших событий [Simpson and Leith, 1985; Адушкин, Кишкина, Кочарян, 2017].

С 1988 года истощенное газовое месторождение используется для хранения газа. Проведенные многочисленные исследования по сейсмической активности региона позволили выявить корреляцию между сейсмической активностью и эксплуатацией ПХГ. Увеличение сейсмической активности происходит во время закачки газа и снижение сейсмической активности фиксируется при отборе газа [Plotnikova et al, 1996].

В 2013 году в Китае на базе истощенного месторождения газа было создано ПХГ (Hutubi). В работе [Tang et al, 2015] авторы проанализировали результаты сейсмологического мониторинга данного района. За год до начала эксплуатации месторождения было зарегистрировано только одно сейсмическое событие. В период 2009-2015 гг. было выявлено более 700 сейсмических событий с максимальной магнитудой 3,6. При этом более 200 событий было зафиксировано в первый год эксплуатации хранилища при закачке газа. Полученные данные позволяют установить, что наибольшая сейсмическая активность отмечается в осенний нейтральный период.

Наиболее известным событием, связанным с возникновением сейсмической активности на ПХГ, является реализация проекта Castor в Испании. Согласно проекту, подземное хранилище газа было создано на базе истощенного нефтяного месторождения, находящего в 21 км от Валенсийского залива и эксплуатируемого с 1973 года по 1988 год. Месторасположения объекта находилось в непосредственной близости с системой разломов Fosa de Amposta. Важно заметить, что данный регион не являлся сейсмически активным до начала реализации проекта.

Более 550 сейсмических событий было зарегистрировано с момента начала закачки газа в ПХГ, что вызвало большой интерес, так как в данном регионе за последние 30 лет было зарегистрировано всего 10 событий. Самое сильное землетрясение в данном регионе с магнитудой $M=3.3$ произошло в

1981 г, еще одно событие с $M=3,1$ произошло в апреле 2012 г. 16 сентября 2013 года закачка газа в пласт-коллектор завершилась, но сейсмические события продолжали происходить. Спустя две недели произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой 4.2, на следующий день было зафиксировано событие с магнитудой 4.1. Резкое снижение сейсмической активности было отсечено спустя шесть недель после окончания закачки газа в хранилище. Произошедшие сейсмические события были приурочены к эксплуатационным скважинам [Cesca et al, 2014].

В нашей стране опыт по проведению сейсмологических наблюдений на подземных хранилищах газа отсутствует. Есть теоретические предложения по включению этих работ в состав геодинамического мониторинга [Никонов, 2003]. Однако, до сих пор они не получили практического применения. В связи с этим важной задачей является проведение работ по исследованию сейсмической активности при эксплуатации ПХГ и обоснованию площади геодинамического полигона, подлежащего сейсмологическим наблюдениям.

1.5. Выводы.

Ввиду ограниченного опыта геодинамического мониторинга на подземных хранилищах газа подход к созданию системы наблюдений, на сегодняшний день, основывается на опыте, полученном при эксплуатации месторождений углеводородов. Единственным методом контроля за геодинамическими процессами при эксплуатации ПХГ являются маркшейдерско-геодезические наблюдения, однако, мировой опыт показывает, что эксплуатацию подземных хранилищ газа можно признать инженерным видом деятельности, вызывающим техногенную сейсмичность, при этом наибольшая активность, как правило, фиксируется в период повышения пластового давления [Plotnikova et al, 1996; Cesca et al, 2014; Tang et al, 2015].

В связи с вышесказанным необходимой является разработка теоретических основ по проведению геодинамического мониторинга на подземных хранилищах газа. Для этого подлежат решению следующие задачи:

- выявить возможные экологические опасности при эксплуатации ПХГ на основании анализа мирового опыта подземного хранения газа;
- исследовать влияние эксплуатации ПХГ на активизацию разломных зон за пределами горного отвода и обосновать размеры локального геодинамического полигона, в пределах которого должны проводиться систематические маркшейдерско-геодезические наблюдения для обеспечения геоэкологической безопасности на ПХГ;
- обосновать размеры и конфигурацию территориального геодинамического полигона для проведения сейсмологического мониторинга;
- выдвинуть и исследовать гипотезу о природе сейсмических явлений в районах эксплуатации подземных хранилищ газа Саратовской области;
- усовершенствовать метод создания геодезических сетей при геодинамическом мониторинге на ПХГ и обосновать периодичность систематических маркшейдерско-геодезических наблюдений на ПХГ.

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА В ПОРИСТЫХ СТРУКТУРАХ

Существующие подходы по обоснованию площади геодинамического полигона базируются на предположении о том, что за пределами контура газоводяного контакта (ГВК) подземное хранилище газа не оказывает влияния.

В работе [Ярыгин и др., 2012] авторами были получены первые предпосылки о необходимости пересмотра зоны влияния подземного хранилища газа на земную поверхность. Для определения пространственного распределения вертикальных сдвижений земной поверхности был использован численно-аналитический подход. Полученные результаты показали, что максимальное значение оседания земной поверхности для Шатровского ПХГ составит 8,5 см, а максимальное поднятие земной поверхности достигнет значения в 7 см. При этом было отмечено, что сдвигание земной поверхности возможно и за пределами горного отвода на расстоянии 1-2 км. Расчет был выполнен при отсутствии фактической информации по эксплуатационному давлению, а предложенная методика расчета ведет к завышению значения оседания земной поверхности [Кашников, Ашихмин, 2019]. Вместе с тем, вопрос влияния эксплуатации ПХГ за пределами горного отвода до сих пор является открытым и требует дополнительных исследований.

Для оценки зоны влияния подземных хранилищ газа на геодинамическую обстановку района рассмотрим результаты многолетнего геодинамического мониторинга. В качестве объектов исследования возьмем Совхозное, Карашурское и Щелковское ПХГ. Основной причиной выбора является тот факт, что на данных подземных хранилищах газа проектом было предусмотрено заложение фундаментальных реперов на удалении от горного отвода более чем на два километра. Большинство геодинамических полигонов на подземных хранилищах газа нашей страны созданы таким образом, что

фундаментальные реперы заложены вне контура газоводяного контакта, но при этом в непосредственной близости от горного отвода.

Анализ данных маркшейдерско-геодезических наблюдений проводится с целью обеспечения оценки горизонтальной и вертикальной составляющих вектора сдвижения земной поверхности. Выполняется рассмотрение и сопоставление измеренных в нескольких циклах наблюдений величин горизонтальных и вертикальных смещений пунктов геодинимического полигона, а также величин локальных вариаций силы тяжести на этих пунктах во времени. Кроме этого, в обязательном порядке проводится сопоставление полученных значений с величинами давления в пластах-коллекторах подземного хранилища газа.

ГНСС-наблюдения проводятся на грунтовых реперах, заложенных непосредственно вблизи разломных зон, и направлены на определение горизонтального вектора сдвижения, характеризующего активность разломной зоны. Поэтому дальнейший анализ влияния подземных хранилищ газа выполним только по результатам высокоточного нивелирования и гравиметрических наблюдений.

Результаты повторного нивелирования по профильным линиям геодинимического полигона представлены в виде набора профильных графиков, которые отображают зависимость:

$$\delta\Delta h = f(L, \delta t), \quad (2.1)$$

где: L - длина профильной линии;
 δt - интервал времени между повторными наблюдениями.

Результаты повторных гравиметрических наблюдений также представляются в виде набора профильных графиков, которые отображают зависимость:

$$\delta\Delta g = f(L, \delta t), \quad (2.2)$$

где: L - длина профильной линии;
 δt - интервал времени между повторными наблюдениями.

Процесс изучения геодинамических процессов вблизи горного отвода заключается в следующем. Полученные в результате графического сопоставления результаты сдвижения подвергаются интерпретации, по результатам которой производится выявление аномальных сдвижений и их селекция по пространственно-временным характеристикам. Результаты повторных гравиметрических наблюдений интерпретируются на основе решения обратной задачи методами, детально разработанными в теории интерпретации потенциальных геофизических полей (метод подбора, «особых точек», «пересчет в высшие производные» и т.д.). Как известно, для анализа циклических процессов целесообразнее использовать пульсационные кривые, поскольку именно они позволяют выявлять знакопеременную составляющую сдвижений [Квятковская, Кузьмин и др., 2017]. Однако, для изучения накопленных значений сдвижения земной поверхности в зонах разломов и значений, связанных с «усталостью» горных пород, по мнению автора, информативнее использовать эволюционные графики.

2.1. Результаты геодинамический мониторинга на Совхозном ПХГ.

Краткая характеристика Совхозного ПХГ.

Разработка Совхозного газоконденсатного месторождения была закончена в мае 1974 года, а в июне 1974 года на базе выработанного месторождения приступили к созданию Совхозного подземного хранилища газа. В административном плане Совхозное подземное хранилище газа расположено в Октябрьском районе Оренбургской области, в 100 км на север от г. Оренбург.

Совхозное ПХГ приурочено к одному из рифовых массивов Ишимбаевского типа. Оно расположено в пределах южной части рифовой полосы, прослеживающейся вдоль западной краевой части Предуральяского прогиба. Рифовый массив представляет собой поднятие, на котором выделены два самостоятельных свода: северный и юго-восточный (см. рис. 2.1). Высота поднятия в пределах разбуренной площади достигает 700 м. Размеры по

изогипсе -1700 м равны 2,9 х 8 км. Основной частью структуры Совхозного ПХГ является северный купол, осложненный двумя вершинами. Размеры купола по замкнутой изогипсе -1600 м составляют 2,5 х 1,2 км. Юго-восточный свод определяется как самостоятельный, отделяющийся от основного купола неглубокой седловиной. В плане имеет овальную форму, ориентирован в северо-западном направлении. Размеры по замкнутой изогипсе -1600 м составляют 0,85 х 0,68 км.

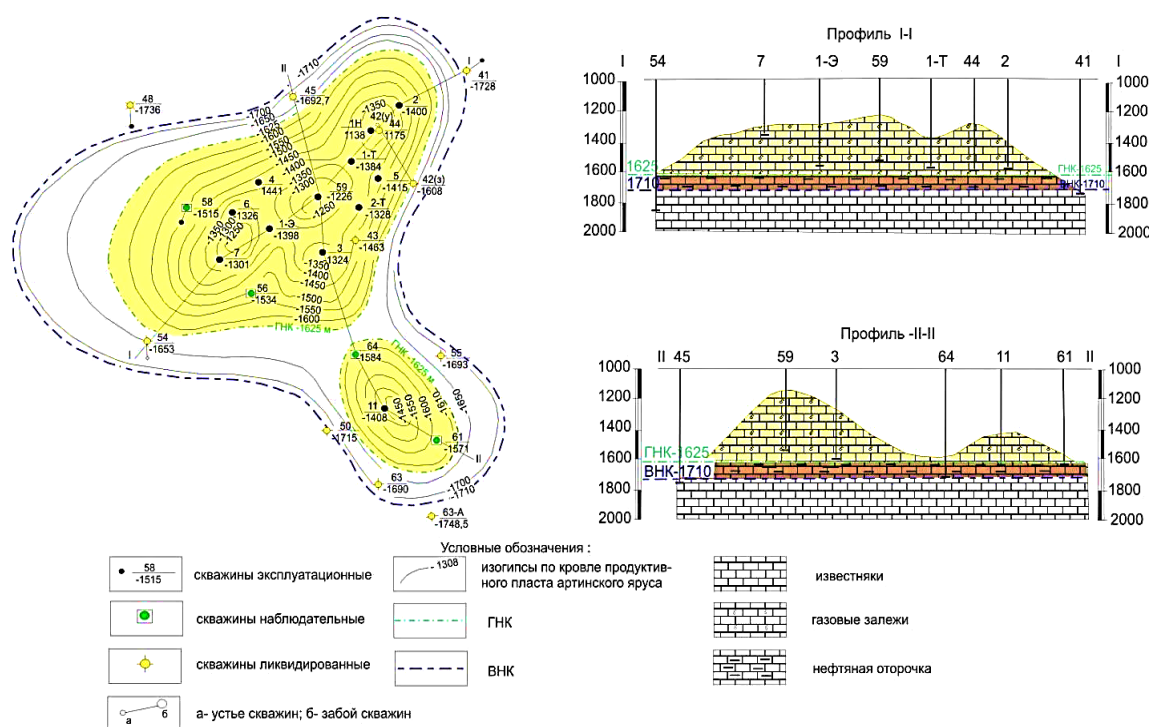


Рисунок 2.1 – Структурная карта по кровле пласта артинского яруса с характеристикой пород в разрезе по линиям I – I и II – II

Структура геодинамического полигона Совхозного ПХГ.

В связи с тем, что для Совхозного поднятия отсутствуют данные о роли разломной тектоники при формировании его структурных особенностей и их влияния на литолого-фациальные условия пород осадочного чехла, на стадии проектирования геодинамического полигона были проведены исследования на предмет выявления зон повышенной трещиноватости и предполагаемых разломов. Выделение зон разломов проводилось на основе структурного дешифрирования систем линеаментов, выявляемых на материалах дистанционного зондирования и топографических картах. Дальнейшее

сопоставление линеаментов с материалами геолого-геофизических данных позволяет выделить в геологической структуре разломы, которые могут являться зонами опасных деформаций земной поверхности при циклической эксплуатации ПХГ.

На рисунке 2.2 приведены границы горного отвода Совхозного ПХГ, в пределах которого выделены линеаменты, сопоставляемые с зонами разломов в фундаменте и осадочном чехле 4 порядка.

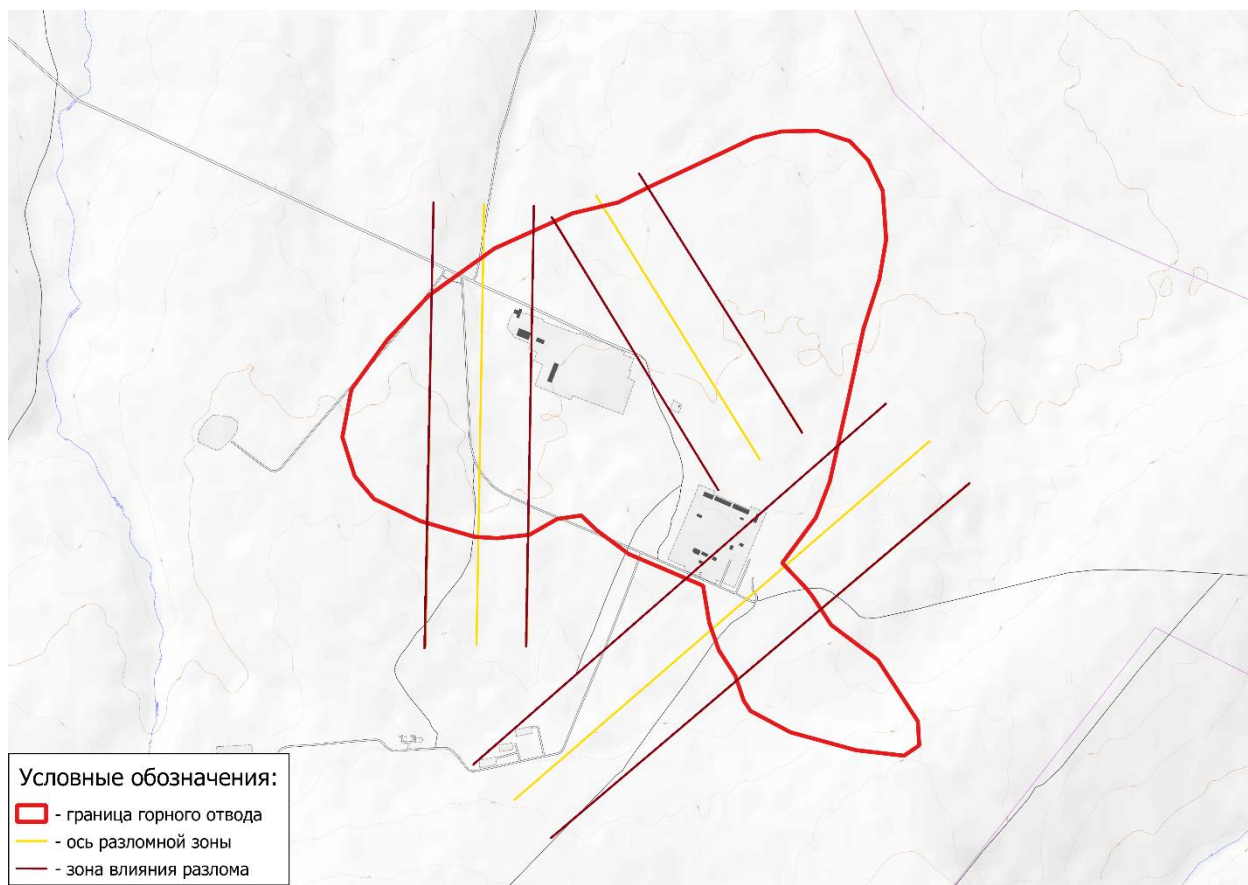


Рисунок 2.2 - Пространственное расположение разломных зон в пределах территории Совхозного ПХГ.

Высокоточная нивелирная сеть геодинимического полигона Совхозного ПХГ запроектирована в виде сплошной одноранговой высотной сети. Проектные местоположения пунктов геодинимического полигона определены с учетом геолого-геофизических условий, в частности расположением сводов локальных поднятий и геоморфологических особенностей рельефа. Общее количество пунктов геодинимического полигона составляет 57 штук: 53 грунтовых и 4 фундаментальных репера.

Профильная линия I-I пересекает территорию Совхозного ПХГ с северо-запада на юго-восток. Она берет свое начало за северо-западной границей горного отвода Совхозного ПХГ, приблизительно в 2,58 км от неё, проходит вдоль южной границы огороженной территории Совхозного ПХГ и заканчивается за юго-восточной границей горного отвода на расстоянии около 2,7 км. Протяженность данного профиля составляет 8,1 км. Профиль включает в себя 34 пункта. Профиль I-I пересекает 2 разломные зоны в районе реперов №№ 7-16 и №№ 19-28. В местах пересечения профиля с разломными зонами расстояние между реперами сгущено до 100 м.

Профильная линия II-II пересекает территорию Совхозного ПХГ с юго-запада на северо-восток. Она берет свое начало за юго-западной границей горного отвода, приблизительно в 2,7 км от неё, огибает огороженную территорию Совхозное УПХГ с восточной стороны, и заканчивается за северо-восточной границей горного отвода на расстоянии около 2,2 км. Протяженность второй профильной линии составляет 8,8 км. Профиль включает в себя 24 пункта и пересекает одну разломную зону в районе реперов №№ 43-49. В месте пересечения профиля с разломной зоной расстояние между реперами также сгущено до 100 м.

Глубина заложения грунтовых реперов (типа 160 оп. знак) составляет 200 см, а фундаментальных реперов (тип 161 оп. знак) – 250 см. На Совхозном ПХГ совмещены пункты геодинимического полигона (грунтовые реперы) и гравиметрические площадки.

Схема геодинимического полигона приведена на рисунке 2.3.

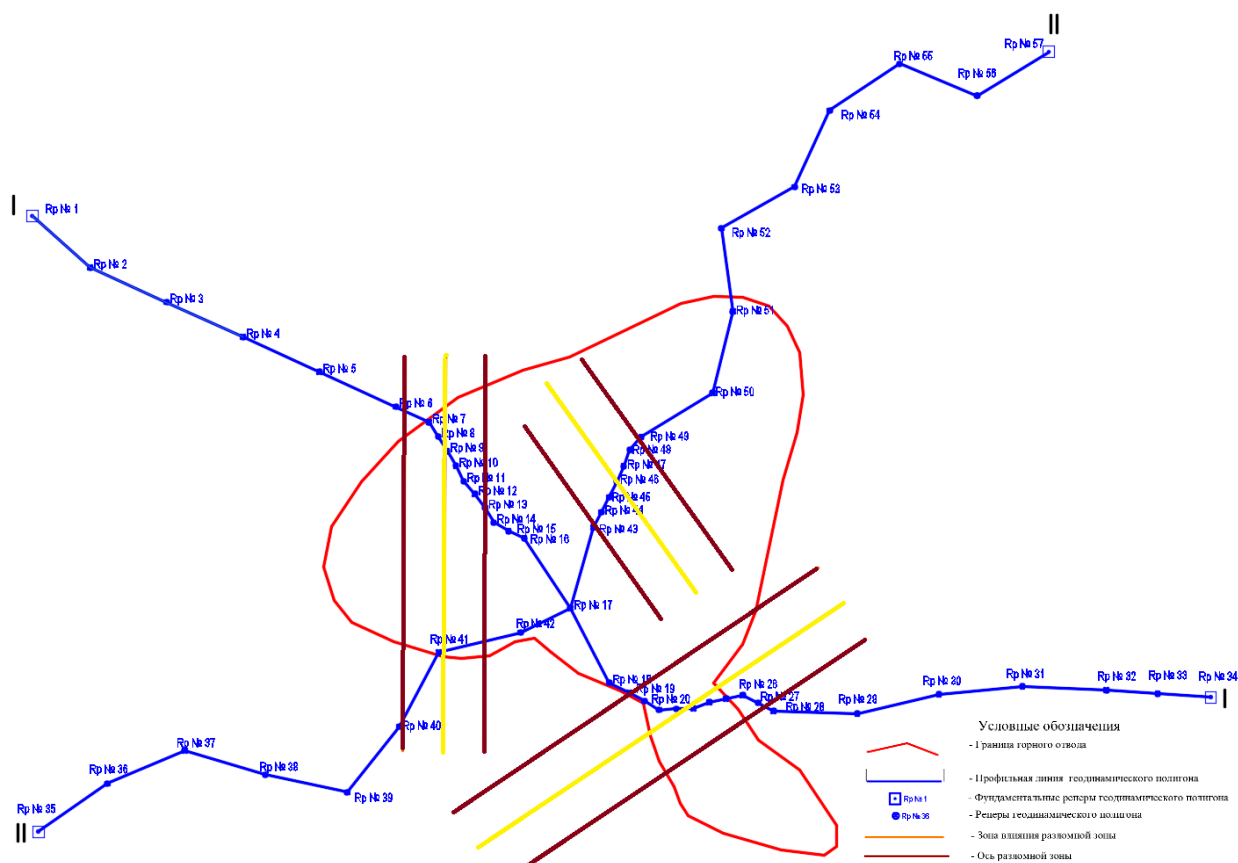


Рисунок 2.3 - Схема геодинамического полигона Совхозного ПХГ.

Интерпретация результатов геодинамического мониторинга.

Важным методическим приемом, который применяют при анализе повторных наблюдений, является сопоставление временных промежутков проведения наблюдений с временным ходом пластового давления. Применительно к ПХГ это требование сводится к необходимости проведения повторных наблюдений строго в нейтральные периоды после закачки и отбора газа.

В таблице 2.1. приведены данные по изменению пластового давления между циклами наблюдений по отношению к пластовому давлению при первом цикле наблюдений.

Изменение пластового давления между циклами измерений

Цикл наблюдений	ΔP , МПа
1	0
2	+0,2
3	-0,5
4	-1

В период между 2 и 1 циклами наблюдений давление увеличилось на 0.2 МПа. В период 3-2 давление уменьшилось на 0.7 МПа. В период 4-3 произошло снижение пластового давления на величину порядка 0.5 МПа. Четвертый цикл наблюдений был выполнен через год после третьего, то есть в весенний нейтральный период.

Для оценки пространственно-временных характеристик современных геодинамических процессов, вызванных эксплуатацией Совхозного ПХГ, построены эволюционные графики (см. рис. 2.4, 2.5). В качестве исходного цикла принимается первый цикл наблюдений, выполненный в период начала закачки газа. Таким образом, оценке подвергнуто 4 цикла наблюдений и, следовательно, 3 интервала (графиков) относительных смещений реперов.

Можно заметить, что к выявленным на стадии проектирования разломным зонам приурочены локальные оседания земной поверхности (аномалии типа γ), которые означают активизацию раздвиговых сдвижений внутри разломной зоны. В период между 4 и 3 циклами формируются аномалии этого типа, направленные вверх, что однозначно не позволяет идентифицировать их на данном этапе, как геодинамические процессы. Полученные значения сдвижения земной поверхности по профильной линии I-I вне разломных зон полностью соответствуют режиму эксплуатации ПХГ и не вызывают опасений, что нельзя сказать о выявленных аномальных значениях сдвижения на расстояниях больше 1 км от горного отвода. Рассматривая левую часть графика, можно заметить оседание земной

поверхности по реперу 3. Аномальные значения сдвижения схожи с проявлением аномалии типа γ в зонах разломов. Аналогичная ситуация наблюдается и в правой части графика.

На рисунке 2.5 приведены результаты наблюдений по профильной линии II-II. Следует сразу отметить, что оседание земной поверхности полностью коррелируется с данными по давлению в пласте коллекторе. Можно утверждать, что эксплуатация ПХГ оказывает влияние на активность разлома в пределах 44-49 реперов. Разлом в районе 41 репера за период наблюдений себя не проявил. Также как и по предыдущему профилю интерес представляют собой части профильной линии II-II, расположенные за пределами горного отвода. В правой части регистрируется аномалия с максимальным значением оседания 11,3 мм. В левой части графика максимальное значение оседания получено на 37 репере.

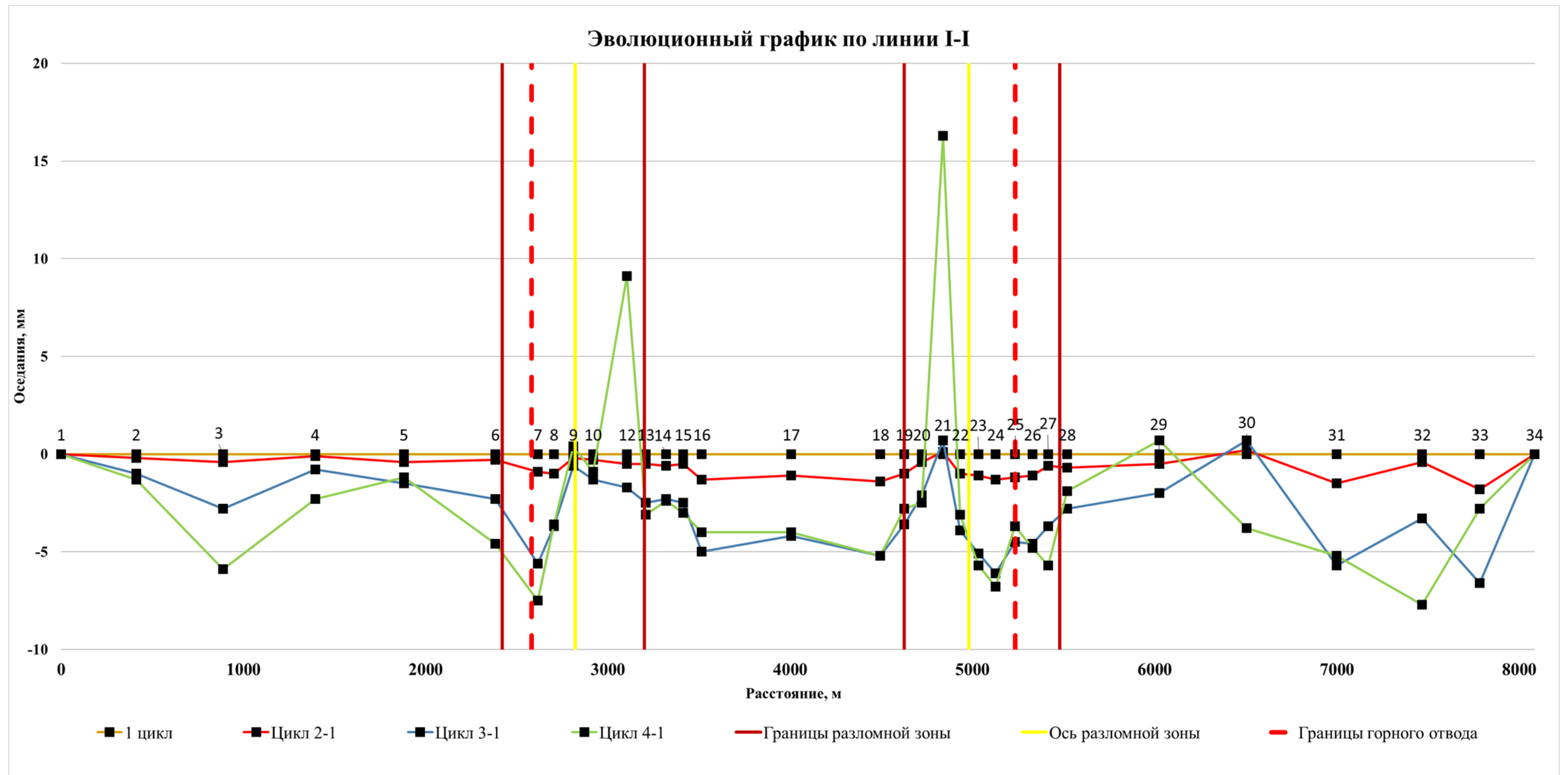


Рисунок 2.4 – Эволюционный график по профильной линии I-I (нивелирование).

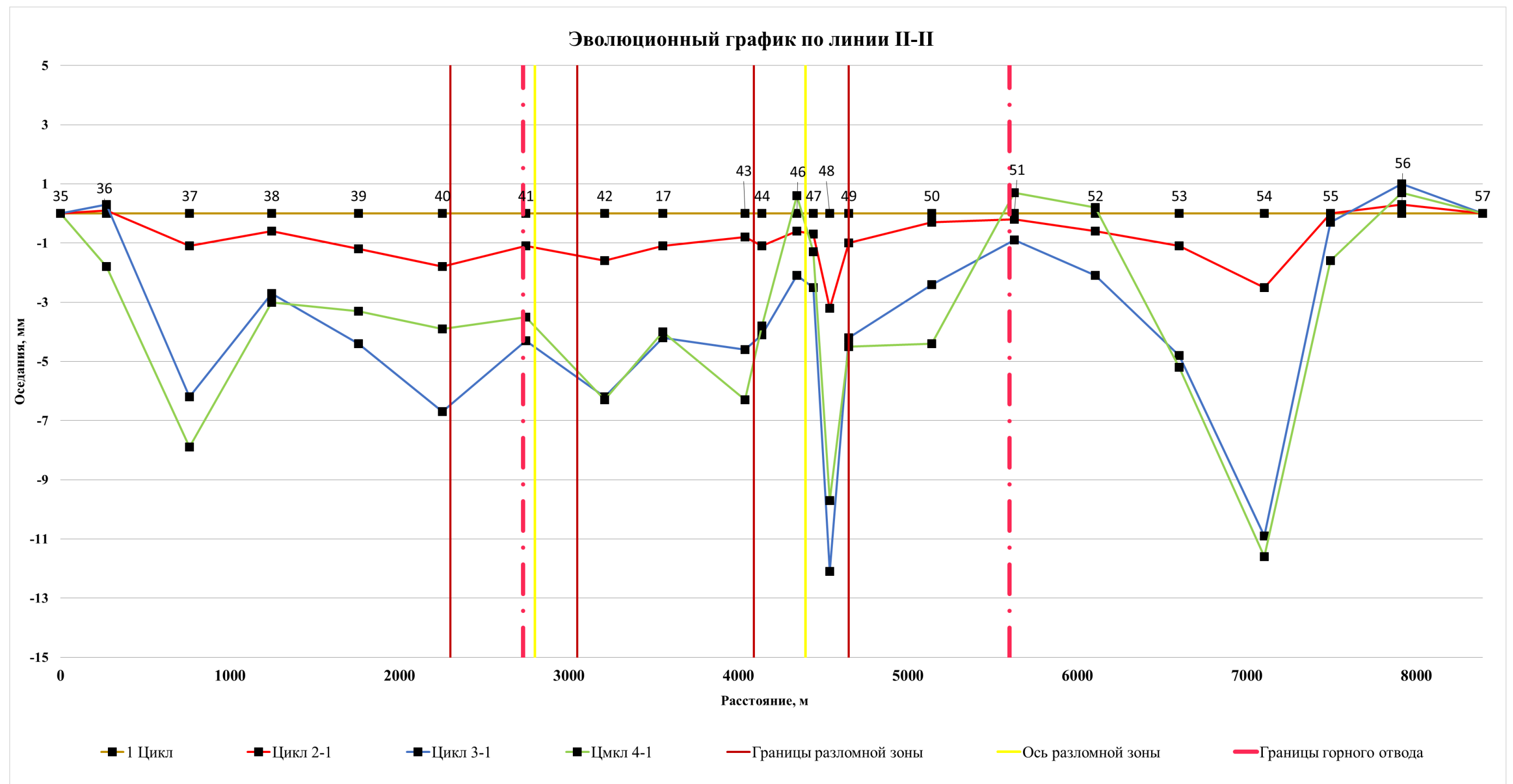


Рисунок 2.5 – Эволюционный график по профильной линии II- II (нивелирование).

На рисунках 2.6-2.7 приведены данные по результатам гравиметрических наблюдений. Для построения графиков была выполнена их математическая обработка для получения накопленных суммарных значений $\sum \Delta g$ между циклами наблюдений. Главной особенностью аномалий, выявленных в зонах разломов, является высокий градиент Δg . При этом если внедрение газа происходит в необводненную среду разлома, то аномалия будет положительной, если газ внедряется в водонасыщенную среду, то аномалия будет иметь отрицательный знак, так как плотность воды больше плотности газа.

На профиле I-I регистрируются две зоны аномальных изменений силы тяжести, которые пространственно сопоставимы с зонами разломов, выявленными на стадии проектирования. Подтверждается аномалия, полученная по результатам нивелирования в пределах 2-4 реперов. В циклах 2-1 и 3-1 в районе предполагаемой разломной зоны фиксируется аномальное поведение фундаментального репера 34. В цикле 4-1 значения не превышают точности измерений.

По профильной линии II-II в разломных зонах, расположенных в пределах горного отвода, фиксируются аномальные значения. По значениям в правой части профиля можно утверждать, что здесь находится разломная зона, которая была выявлена и по результатам маркшейдерско-геодезических наблюдений. В районе 36-38 реперов по данным гравиметрических наблюдений аномалий не выявлено.

Рассматривая совместно результаты маркшейдерско-геодезических и гравиметрических наблюдений на геодинамическом полигоне Совхозного ПХГ, можно сказать, что цикличная эксплуатация не вызывает обширных просадок земной поверхности. Однако, отмечаются аномальные процессы не только в разломных зонах на территории горного отвода, но и за его пределами.

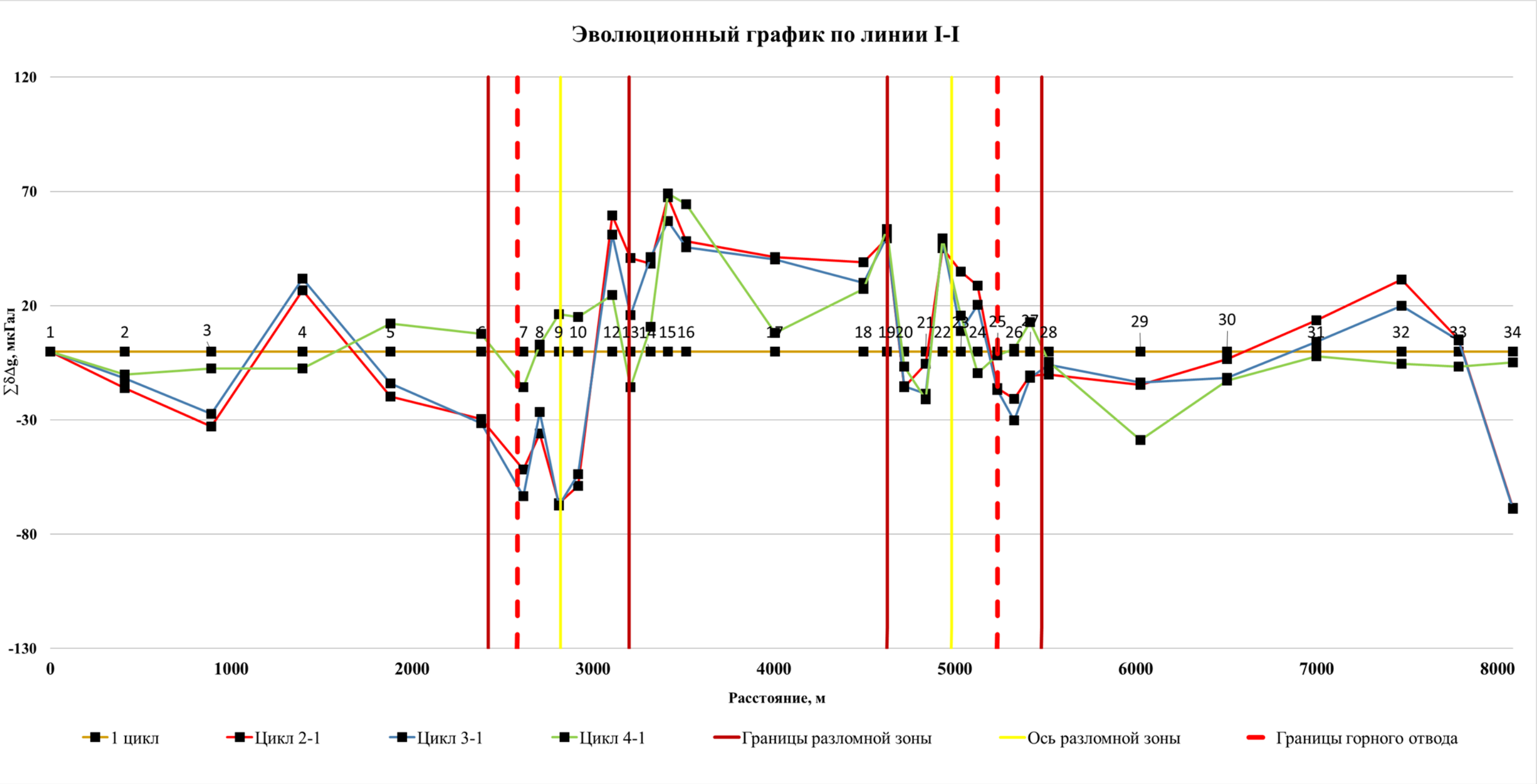


Рисунок 2.6 – Эволюционный график по профильной линии I-I (гравиметрические наблюдения).

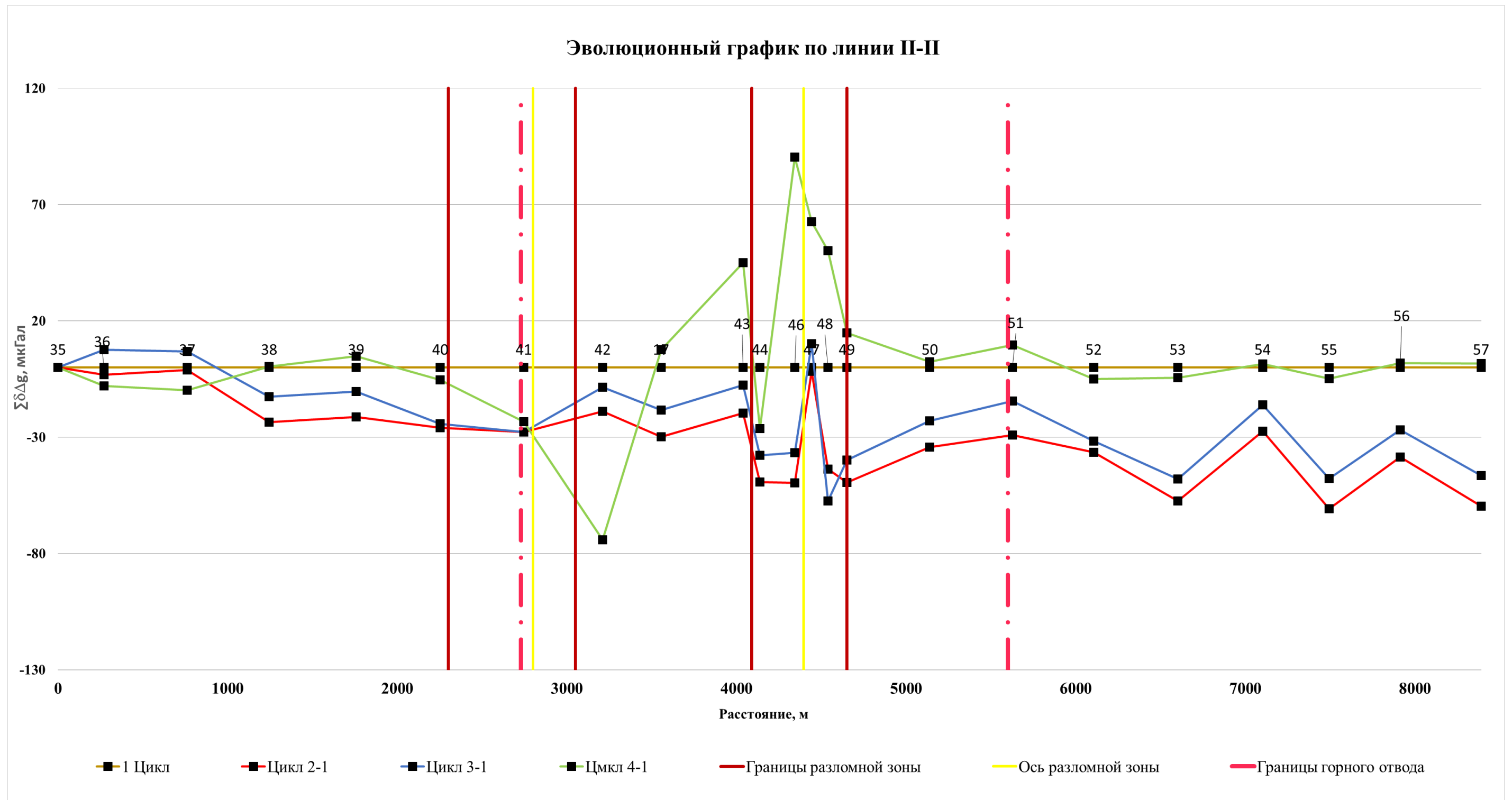


Рисунок 2.7 – Эволюционный график по профильной линии II-II (гравиметрические наблюдения).

Для уточнения линеаментно-блочного строения территории было выполнено исследование, направленное на выявление зон повышенной трещиноватости за пределами горного отвода. Выделение зон разломов проводилось на основе структурного дешифрирования систем линеаментов, выявляемых на материалах дистанционного зондирования (МДЗ) и топографических карт. Пространственная структура линеаментов, которая фиксируется на земной поверхности (в ландшафте) посредством структурных и фототоновых индикаторов на МДЗ, проявляется в виде тектонически унаследованной структуры фундамента, обуславливающей напряженно-деформированное состояние в породах осадочного чехла за счет разнонаправленного характера движения блоков фундамента (в геологическом времени) в процессе формирования поднятия. Дискретный характер зон, разделяющих блоки, при построении слоисто-блоковых моделей, подчиняется определенным структурным пространственно-временным закономерностям геодинамического развития территории и её взаимосвязей с формированием исследуемой структуры. Данный методический подход позволяет провести детализацию пространственного положения зон повышенной трещиноватости (разломов) в осадочном чехле исследуемого локального платформенного поднятия и дать классификацию иерархической структуры систем линеаментов в соответствии с их линейными размерами, проявляющимися в виде активизированных участков разломных зон в ландшафтных индикаторах. Проведение такого анализа на разномасштабных снимках и топографических картах с различной степенью разрешающей способности структуры рельефа и ландшафтных характеристик на местности позволяет наметить пространственное положение осей предполагаемых зон повышенной трещиноватости в породах осадочного чехла, а также определить ширину линеаментных зон, выявленных по тоновым и ландшафтным индикаторам.

Уточненная схема линеаментно-блочного строения приведена на рисунке 2.8.

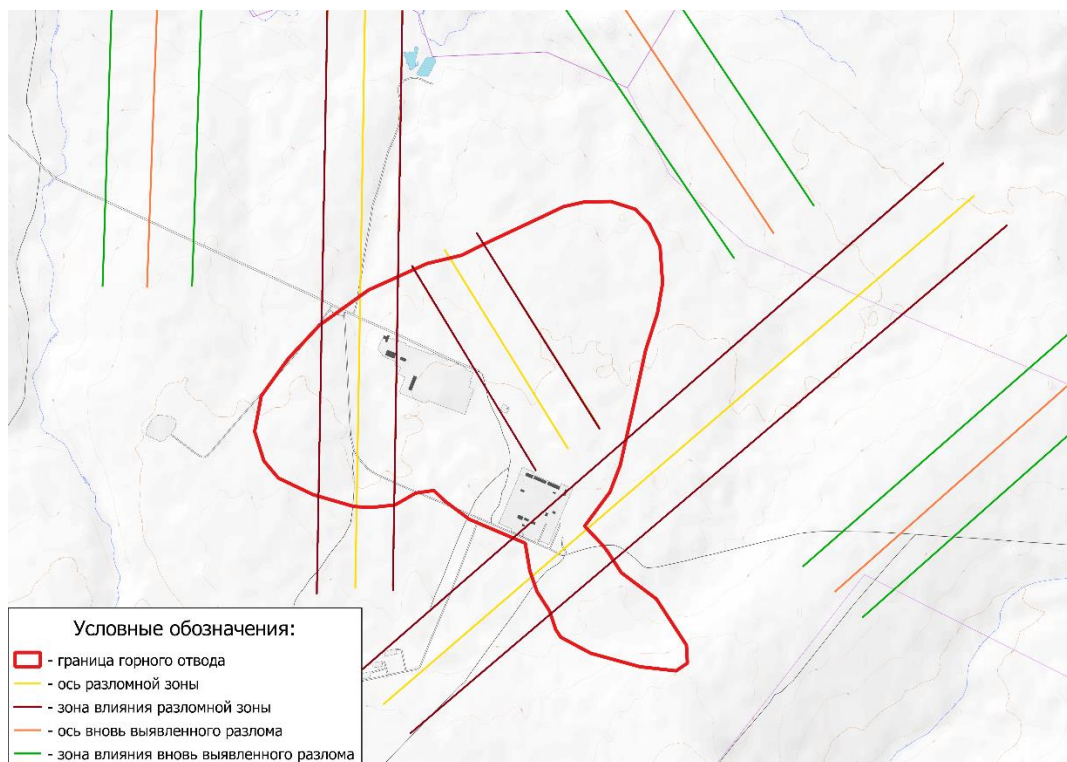


Рисунок 2.8 – Уточненная схема линейаментно-блочного строения территории Совхозного ПХГ.

Вновь выделенные линейаменты пересекаются профильными линиями, по которым были зафиксированы аномальные значения сдвижения земной поверхности, что подтверждает достоверность результатов геодинамического мониторинга и необходимость проведения маркшейдерско-геодезических наблюдений на геодинамическом полигоне, в том числе за пределами горного отвода.

2.2. Результаты геодинамического мониторинга на Карашурском ПХГ.

Краткая характеристика Карашурского ПХГ.

Удмуртский резервирующий комплекс представляет собой многоочаговое ПХГ, расположенное в пределах Карашурского, Чежебашевского, Новотроицкого и Гордошурского поднятий, со своими техническими и технологическими особенностями. Карашурская площадь в административном отношении находится в пределах Можгинского района Республики Удмуртия, в 60 км от г. Ижевск.

По результатам проведенного бурения было определено, что наиболее перспективными отложениями для создания искусственной залежи являются терригенные отложения яснополянского надгоризонта нижнего карбона. Они

залегают на оптимальных для газохраниения глубинах (1150-1200 м), имеют в своем составе пласты-коллекторы и покрышки, образуют благоприятную структурную ловушку высокой амплитуды. В составе отложений яснополянского надгоризонта выделяются два перспективных пласта-коллектора: тульский и бобриковский, приуроченные, соответственно, к кровлям одноимённых горизонтов. Тульский пласт-коллектор залегает на глубинах 1150-1155 м. – в своде поднятий и 1250-1265 м. – на погружениях. Мощность пласта-коллектора в сводовых скважинах составляет 13-17 м., увеличиваясь до 22 м. в погруженных частях поднятия. Средняя мощность пласта-коллектора составляет соответственно 15 м. и 19,3 м. Эффективные мощности изменяются от 10-15 м. в своде до 20 м. на погружениях, при средних значениях 13,3 м. и 16,3 м. Глубина залегания бобриковского пласта-коллектора в сводах поднятий составляет 1180-1200 м., на погружениях – до 1300 м. Мощность пласта составляет в своде 12-17 м. (минимальное значение – 5м.), увеличиваясь к погруженным частям поднятия до 27-29 м. Средняя мощность пласта-коллектора составляет 22 м. Эффективные мощности изменяются от 5-8 м. в своде до 26-30 м. на погружениях, составляя в среднем 21 м.

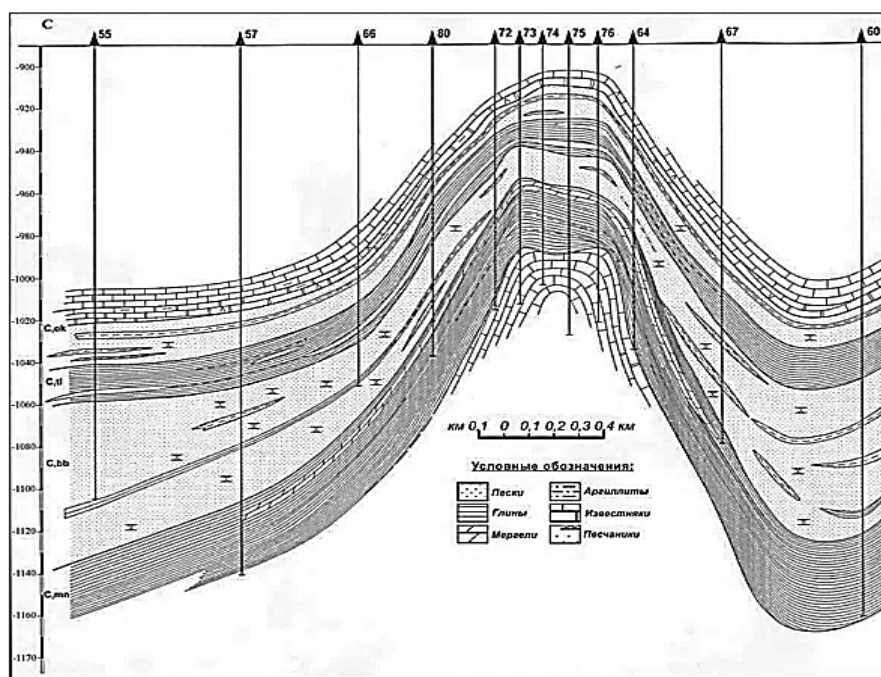


Рисунок 2.9 – Литологический профиль.

Структура геодинамического полигона Карашурского ПХГ.

По данным структурного дешифрирования в районе Карашурского ПХГ выделены две системы линейаментов – диагональная, соответствующая формированию крупных структур фундамента Удмуртии, связанных с формированием Камско-Бельского авлакогена и примыкающих к нему грабенных, а также ортогональная, отвечающая стадиям формирования пород осадочного чехла, проявлявшимся в периоды инверсионных движений. Пространственное расположение выявленных разломных зон в пределах территории Карашурского ПХГ приведено на рисунке 2.10.

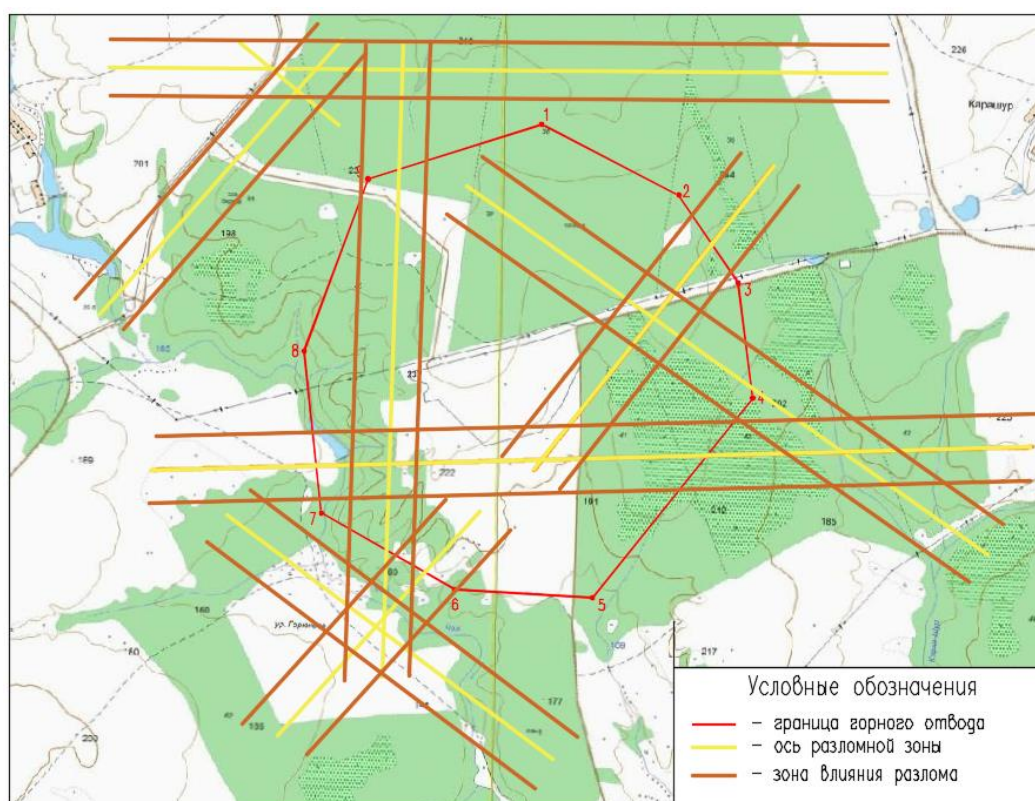


Рисунок 2.10 – Схема пространственного расположения разломных зон в районе Карашурского ПХГ.

Для изучения геодинамических процессов на территории Карашурского ПХГ наблюдательная сеть создана в виде профильных линий, пересекающих горный отвод с запада на восток в центральной части ПХГ и с севера на юг от центральной части в южном направлении. Высокоточная нивелирная сеть запроектирована в виде сплошной одноранговой высотной сети. Общее количество пунктов геодинамического полигона составляет 37 штук: 34

грунтовых и 3 фундаментальных репера. Схемы геодинамического полигона Карашурского ПХГ приведена на рисунке 2.11.

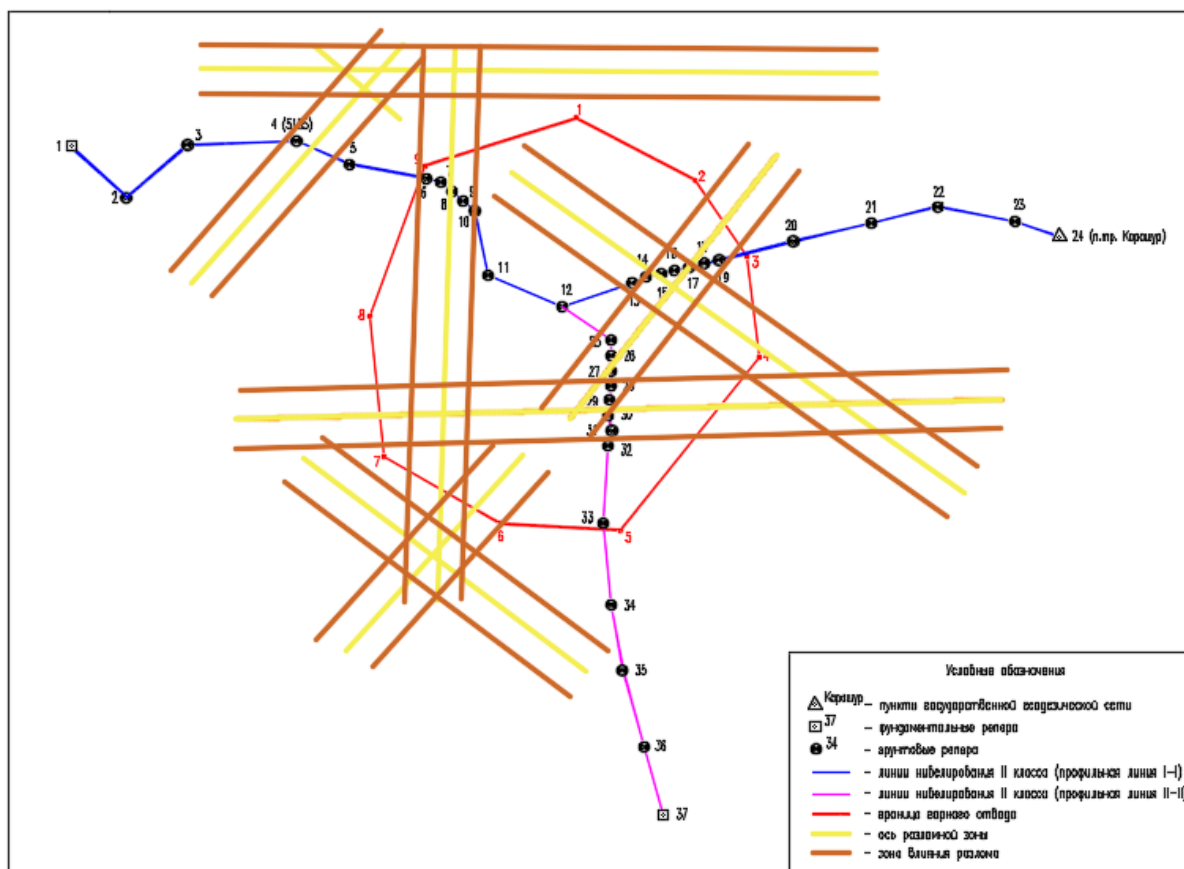


Рисунок 2.11 - Схема геодинамического полигона Карашурского ПХГ.

Протяженность профильной линии I-I составляет 6,9 км. Профиль включает в себя 24 пункта и пересекает 4 разломные зоны в районе реперов №№ 4-5, 6-10 и 13-19. В местах пересечения профиля с разломными зонами расстояние между реперами сгущено до 100 м.

Протяженность профильной линии II- II составляет 3,4 км. Профиль включает в себя 14 пунктов. Вторая профильная линия пересекает 2 разломные зоны в районе реперов №№ 25-32.

Конструкция реперов на Карашурском ПХГ соответствует конструкции реперов геодинамического полигона Совхозного ПХГ, глубина заложения реперов (типа 160 оп. знак) составляет 200 см, а фундаментальных реперов (тип 161 оп. знак) – 250 см.

В таблице 2.2. приведены данные по изменению давления в тульском и бобриковском пластах-коллекторах между циклами наблюдений по отношению к давлению в коллекторах при первом цикле наблюдений.

Таблица 2.2

Изменение пластового давления между циклами измерений

Цикл наблюдений	Пласт-коллектор	ΔP , МПа
1	Бобриковский	0
	Тульский	0
2	Бобриковский	+1,85
	Тульский	+3,12
3	Бобриковский	-1,10
	Тульский	-0,34
4	Бобриковский	+2,0
	Тульский	+3,20

Интерпретация результатов геодинамического мониторинга.

Для оценки пространственно-временных характеристик современных геодинамических процессов, вызванных эксплуатацией Карашурского ПХГ, построены эволюционные графики. В качестве исходного цикла принимается первый цикл наблюдений, выполненный в весенний нейтральный период. Для оценки геодинамических процессов подвергнуто 4 цикла наблюдений и, следовательно, 3 интервала (графиков) относительных смещений реперов.

Анализ результатов повторного нивелирования вдоль профиля I-I показывает, что все аномальные смещения земной поверхности приурочены к выявленным по результатам структурного дешифрирования разломным зонам. Аномалия в районе реперов №№ 6-10 морфологически представляет собой «двойную» аномалию. Отчетливо выделяются два «пика» оседаний: в окрестностях репера №6 и в окрестностях репера №8. Аномалия в районе реперов №№ 13-18 во втором и третьем цикле проявила себя с одинаковой амплитудой. В четвертом цикле наблюдений данный разлом проявил себя

более ярко, что является следствием влияния эксплуатации ПХГ. Весной того же года отбор был значительно больше, чем в предыдущий год (см. рис. 2.2), что соответственно привело к значительному техногенному влиянию на активизацию данной разломной зоны. Разломную зону, находящуюся между реперами №№ 4-5 зафиксировать не удалось. Подобная ситуация является следствием недостаточного сгущения реперов.

На рисунке 2.13 приведены данные повторного нивелирования по профильной линии II-II. Расположение графиков полностью соответствует режиму эксплуатации ПХГ. Аномальные значения в зонах разломов не выявлены.

Резюмируя в целом результаты высокоточного нивелирования, необходимо констатировать следующее. Несмотря на незначительные поднятия и оседания всей территории горного отвода, разломные зоны, которые являются ослабленными структурными элементами, отображают сдвигения земной поверхности более явно. Выявлены аномальные значения процесса сдвигения в зонах разломов, соответствуют раздвиговому морфолого-генетическому типу разломов. Раздвиговой тип разлома характерен тем, что кривая вертикальных смещений носит практически симметричный характер. Зоны разломов, пересекаемые профильной линией II-II, не подтверждаются.

Так как наблюдения были проведены согласно проектному регламенту (два раза в год в нейтральные периоды), то по всей территории регистрируются знакопеременные сдвигения, обусловленные процессом эксплуатации хранилища. На Карашурском ПХГ отмечается влияние за пределами горного отвода, что отчетливо видно на второй профильной линии в третьем и четвертом циклах, где фиксируются оседания земной поверхности, обусловленные режимом эксплуатации ПХГ. Положение графика ниже оси абсцисс является следствием значительного снижения пластового давления зимой 2020-2021 гг., что говорит о наличии логичной временной задержке между изменением давления и сдвижением земной поверхности.

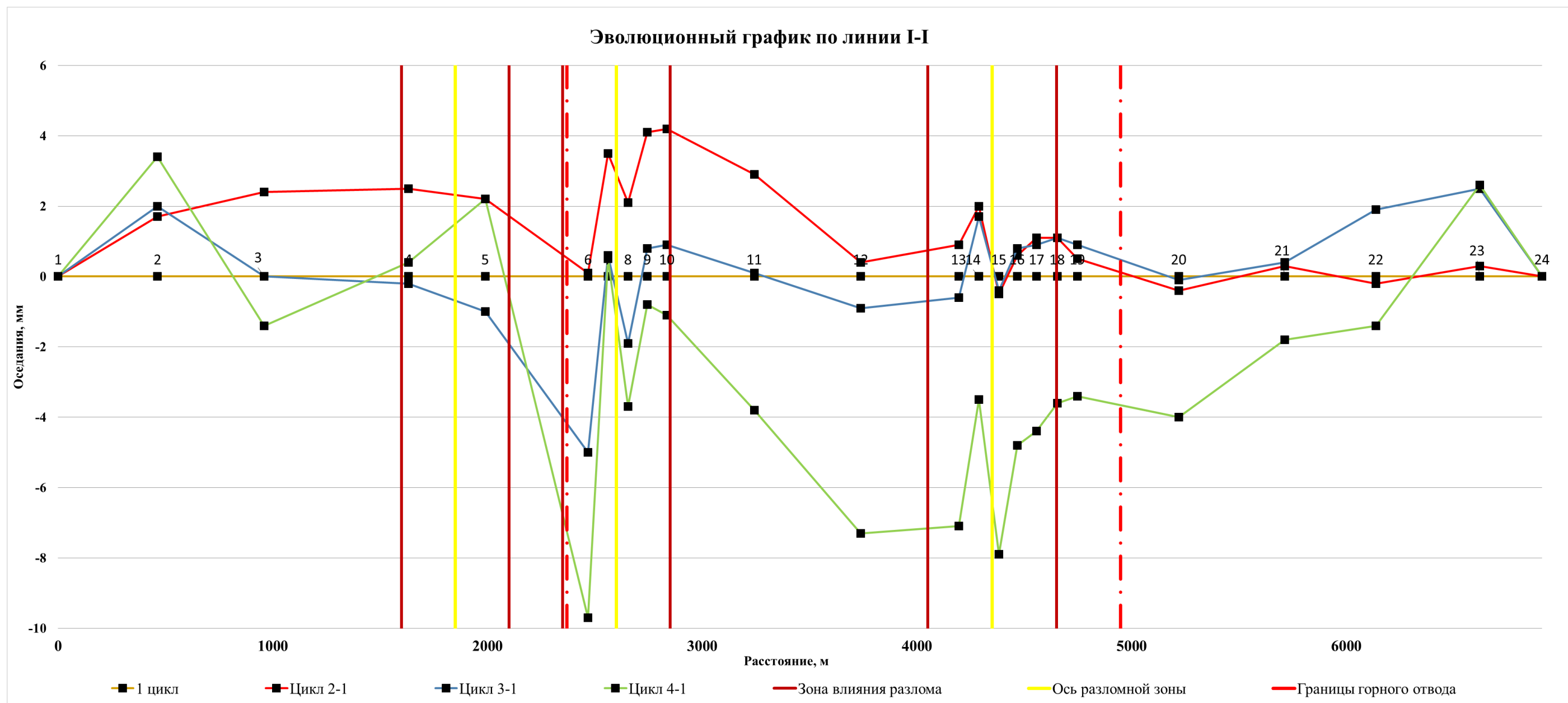


Рисунок 2.12 – Эволюционный график по профильной линии I- I (нивелирование).

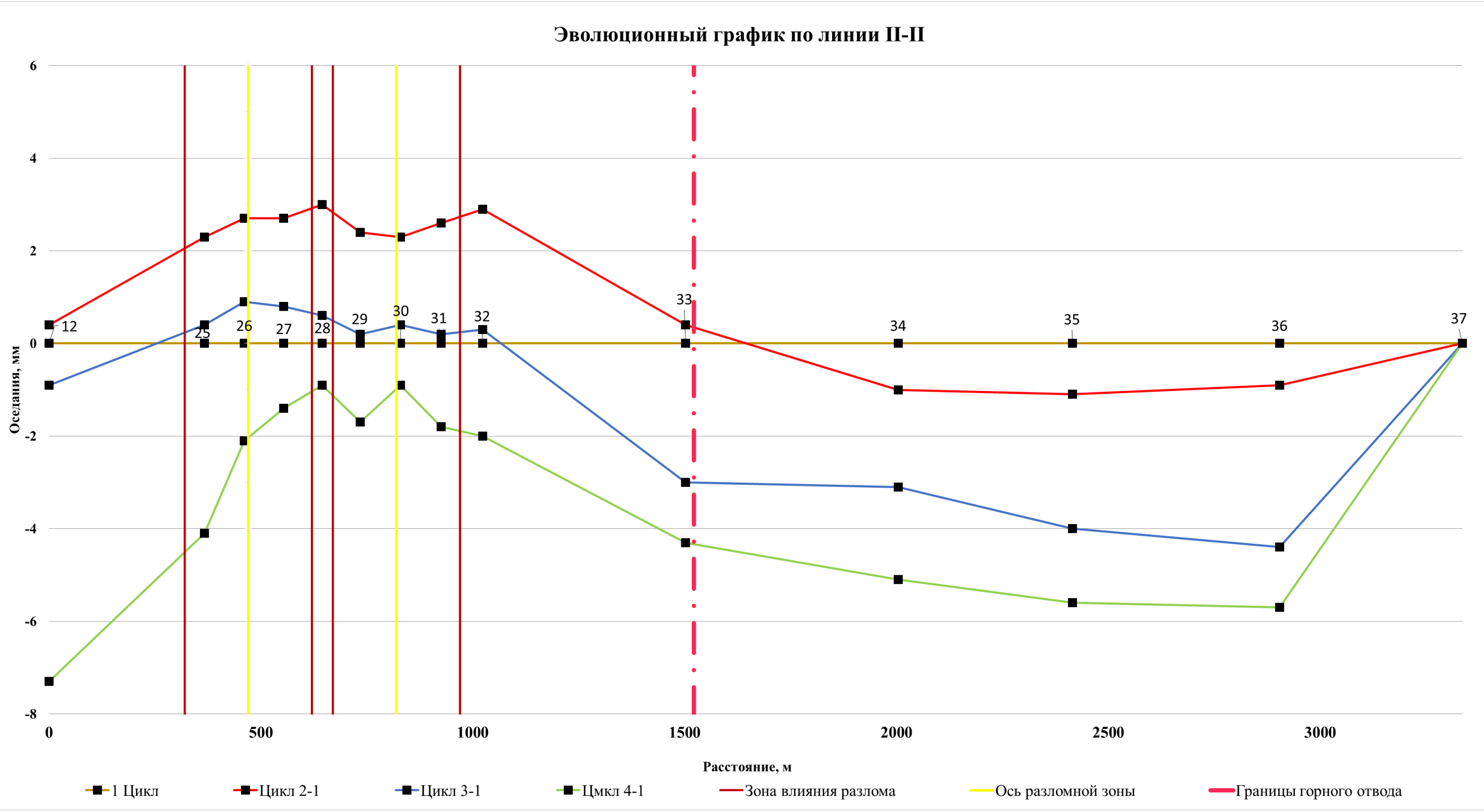


Рисунок 2.13 – Эволюционный график по профильной линии П- П (нивелирование).

Гравиметрические наблюдения проводились по пунктам геодинамического полигона одновременно с нивелированием. Результаты гравиметрических наблюдений по профильной линии I-I подтверждают наличие разломных зон в интервалах реперов №№ 6-10 и №№ 13-18. Рассматривая совместно результаты высокоточного нивелирования и гравиметрических наблюдений можно однозначно сказать, что территория вокруг разломной зоны в районе реперов №№ 6-10 характеризуется областью повышенной трещиноватости. Аномальных значений между 4 и 5 реперами не выявлено.

Гравиметрические наблюдения по профильной линии II-II можно интерпретировать как подтверждение наличия выявленной разломной зоны в центральной части горного отвода Карашурского ПХГ. Также отмечено уменьшение плотности пород в правой части во 2 и 3 циклах, что полностью объясняет полученное по результатам нивелирования оседание земной поверхности. Рассматривая поведение графика в районе пунктов №№ 33-37 в четвертом цикле можно сделать вывод, что данная аномалия вызвана накоплением воды в данной области, что может быть следствием эксплуатации ПХГ. При этом воздымание земной поверхности не зафиксировано, что можно объяснить временным фактором.

Совместная оценка результатов наблюдений на геодинамическом полигоне Карашурского ПХГ позволяет сделать аналогичное заключение, полученное при изучении геодинамических процессов на Совхозном ПХГ: цикличная эксплуатация подземного хранилища газа не вызывает обширных просадок земной поверхности; аномальный процесс сдвижения приурочен к разломным зонам, в которых за пределами горного отвода отмечено влияние эксплуатации ПХГ.

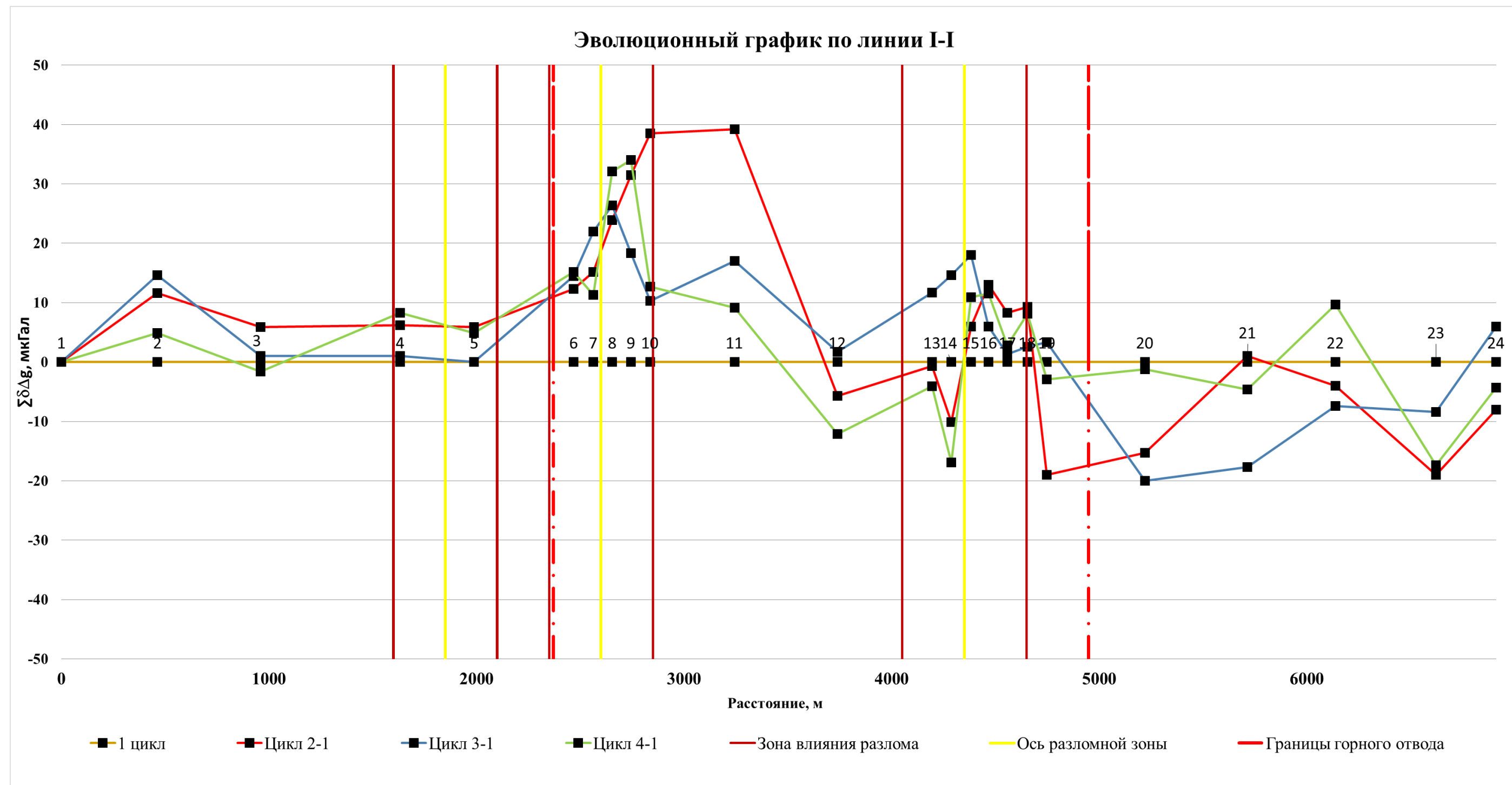


Рисунок 2.14 – Эволюционный график по профильной линии I-I (гравиметрические наблюдения).

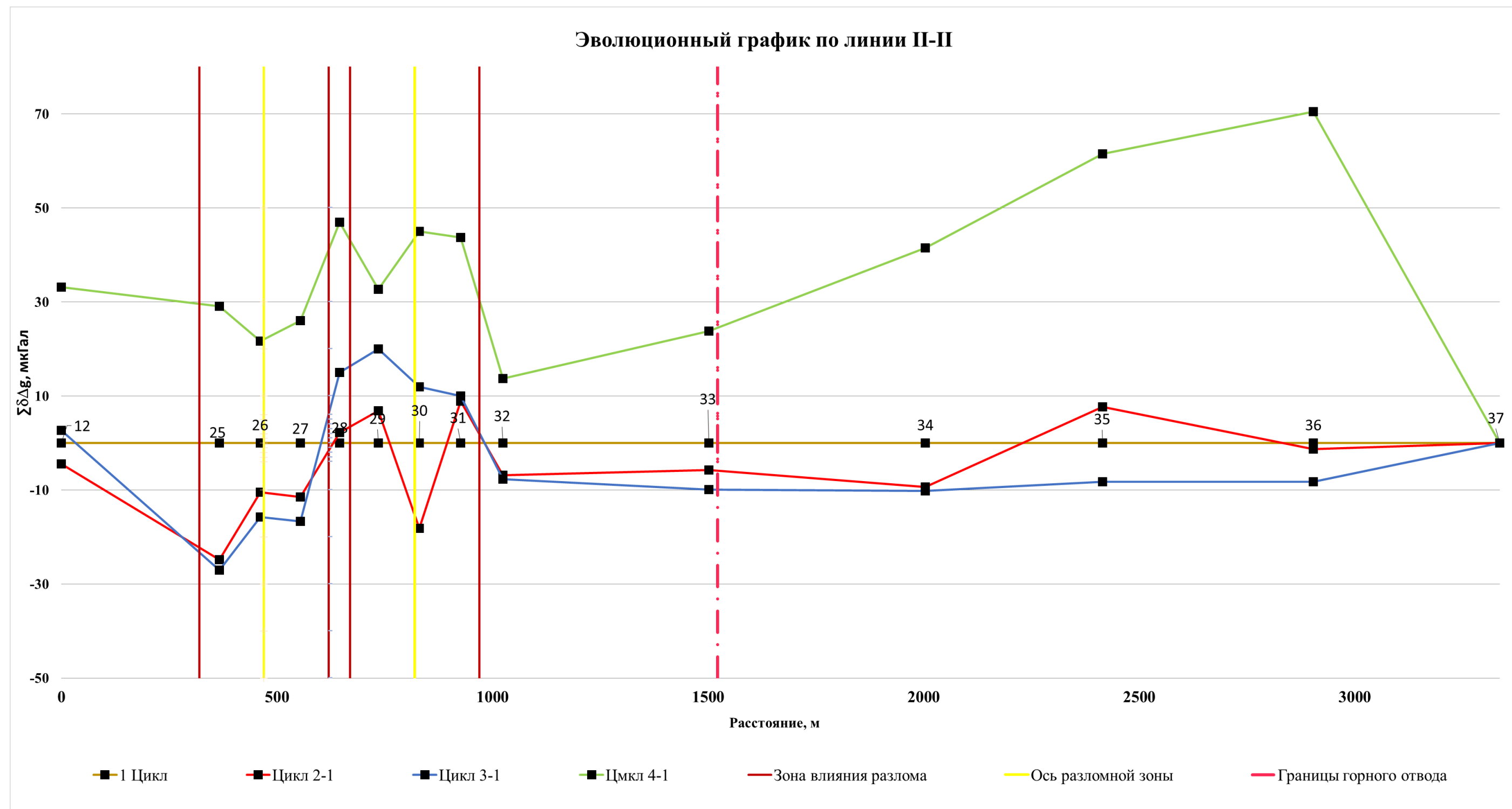


Рисунок 2.15 – Эволюционный график по профильной линии II-II (гравиметрические наблюдения).

2.3. Результаты геодинамического мониторинга на Щелковском ПХГ.

Краткая характеристика Щелковского ПХГ.

Щелковское ПХГ располагается в 25 км к северо-востоку от г. Москвы. В орографическом отношении район работ приурочен к северо-западной окраине Мещерской низменности.

По кровле пласта-коллектора Щелковское поднятие ограничено изогипсой –750 м и имеет амплитуду 21 м. Размеры поднятия составляют 6,5 км по большой оси и 2,3 км – по малой. Структурная карта кровли щигровского пласта-коллектора представлена на рисунке 2.16. Структура ориентирована в северо-западном направлении, четко выражены западный и юго-западный склоны поднятия. Северо-восточная и северо-западная переклинали в местах сочленения с Набережненским и Солнцевским структурными отложениями выражены с меньшей определенностью.

Пласт-коллектор составляют незакономерно переслаивающиеся высокопроницаемые песчаники, пески и алевролиты. Цементом для песчаных разностей служат глины (см. рис. 2.17-2.18).

В тектоническом отношении Щелковская площадь располагается на юго-западном склоне Московской синеклизы, характеризующейся моноклинальным погружением верхнепалеозойских отложений в северо-восточном направлении к центру синеклизы. Щелковское поднятие располагается в прибортовой части Московского авлакогена в зоне дробления кристаллического фундамента. При этом зафиксированная амплитуда разломов здесь по данным разведочных скважин составляет порядка 400 м. По материалам геодинамического районирования Московской области в районе отмечены выраженные в современном рельефе блоки земной коры разных порядков [[Геодинамическое районирование..., 2003](#)]

Схема расположения глубинных тектонических нарушений в пределах Щелковского ПХГ приведена на рисунке 2.19. Глубинные разломы, обновляясь при неотектонических подвижках, вызвали образование зон и участков повышенной трещиноватости пород, зон улучшенных емкостно-

фильтрационных свойств коллекторов в пределах областей динамического воздействия тектонических нарушений.

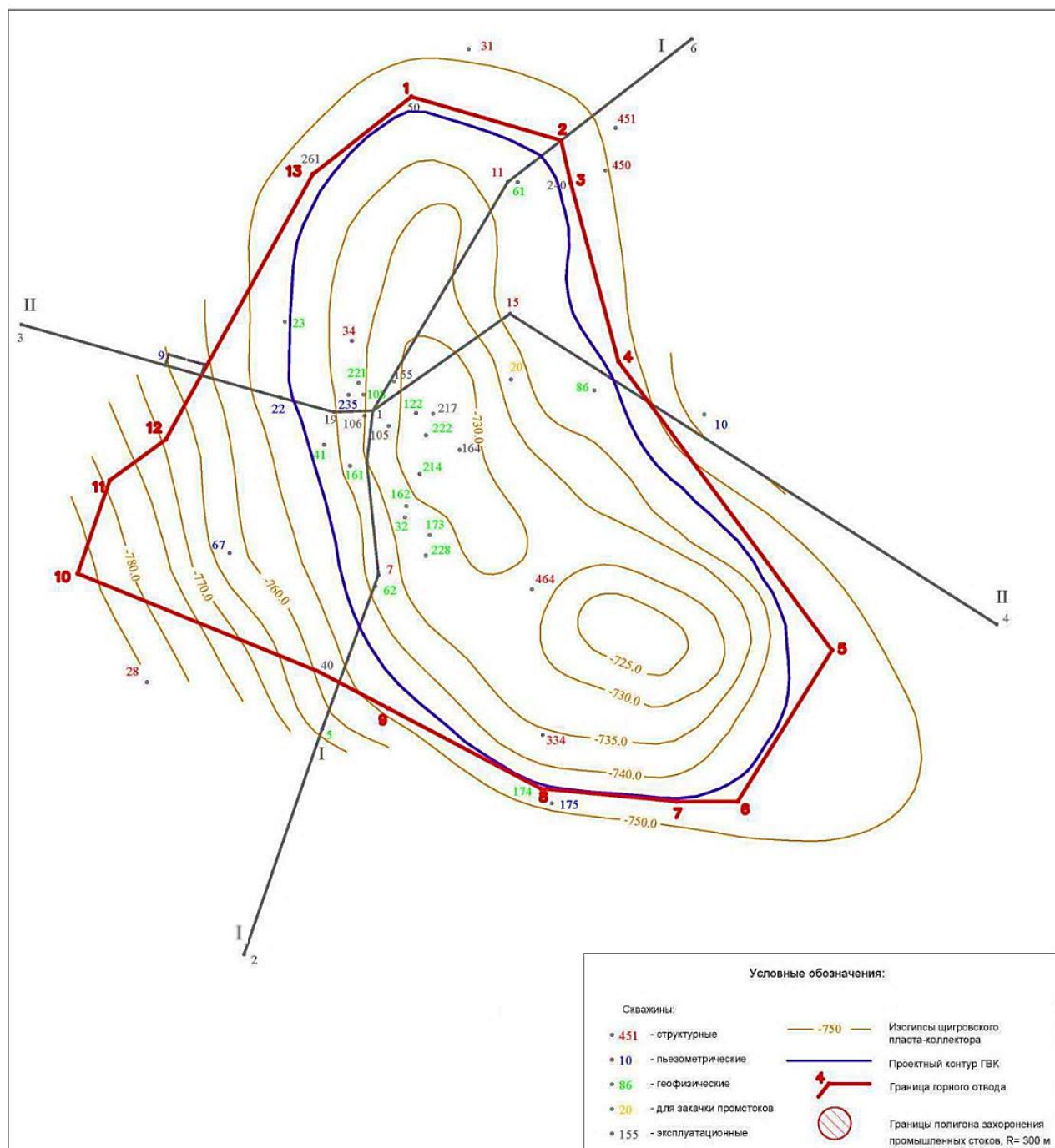


Рисунок 2.16 – Структурная карта Щелковского ПХГ.

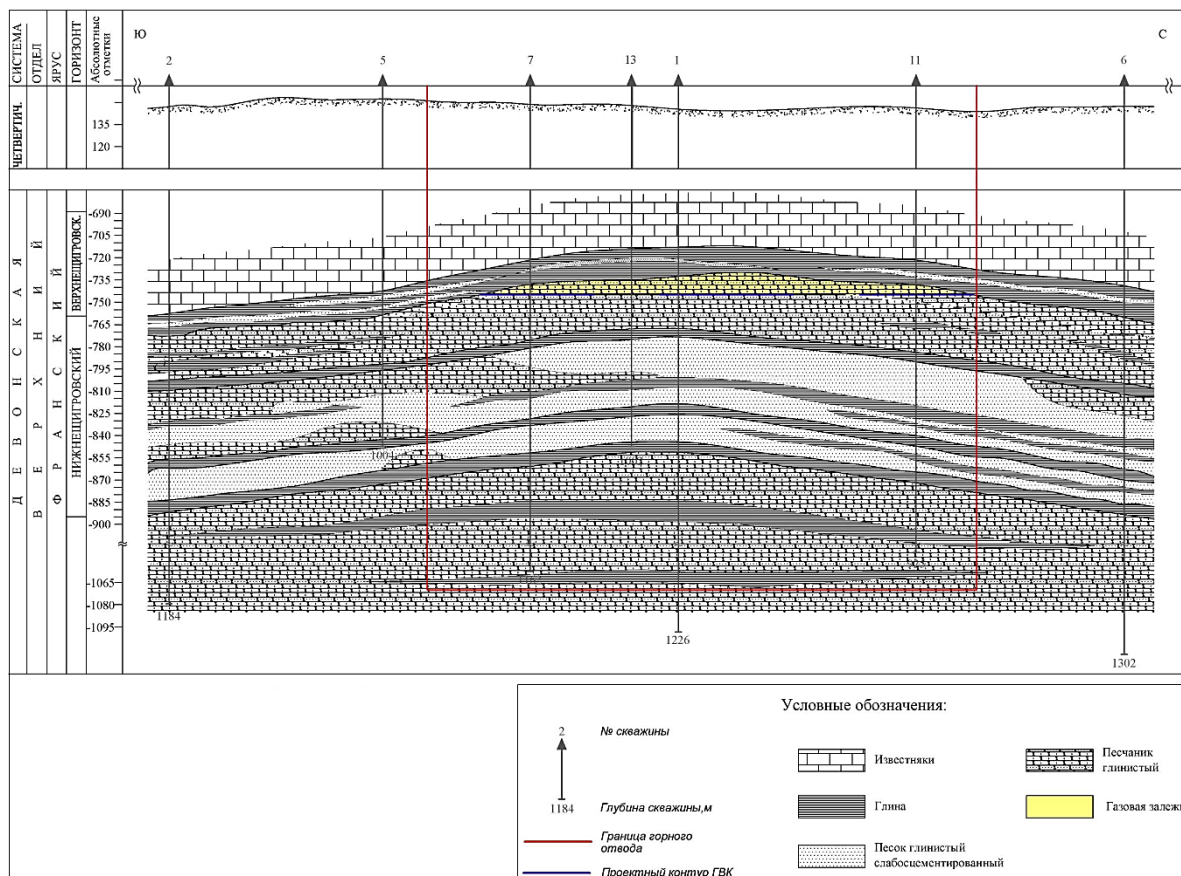


Рисунок 2.17 - Геологический разрез по линии I-I.

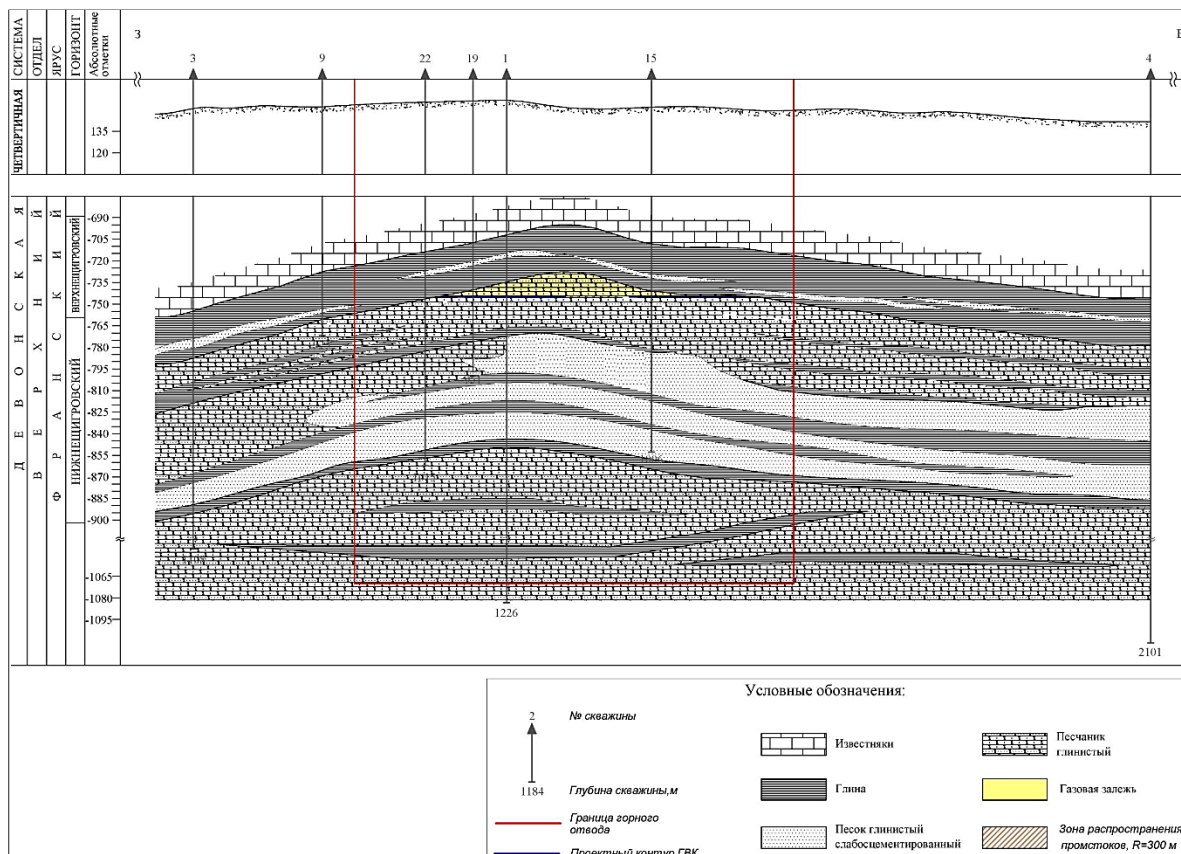


Рисунок 2.18 - Геологический разрез по линии II-II.

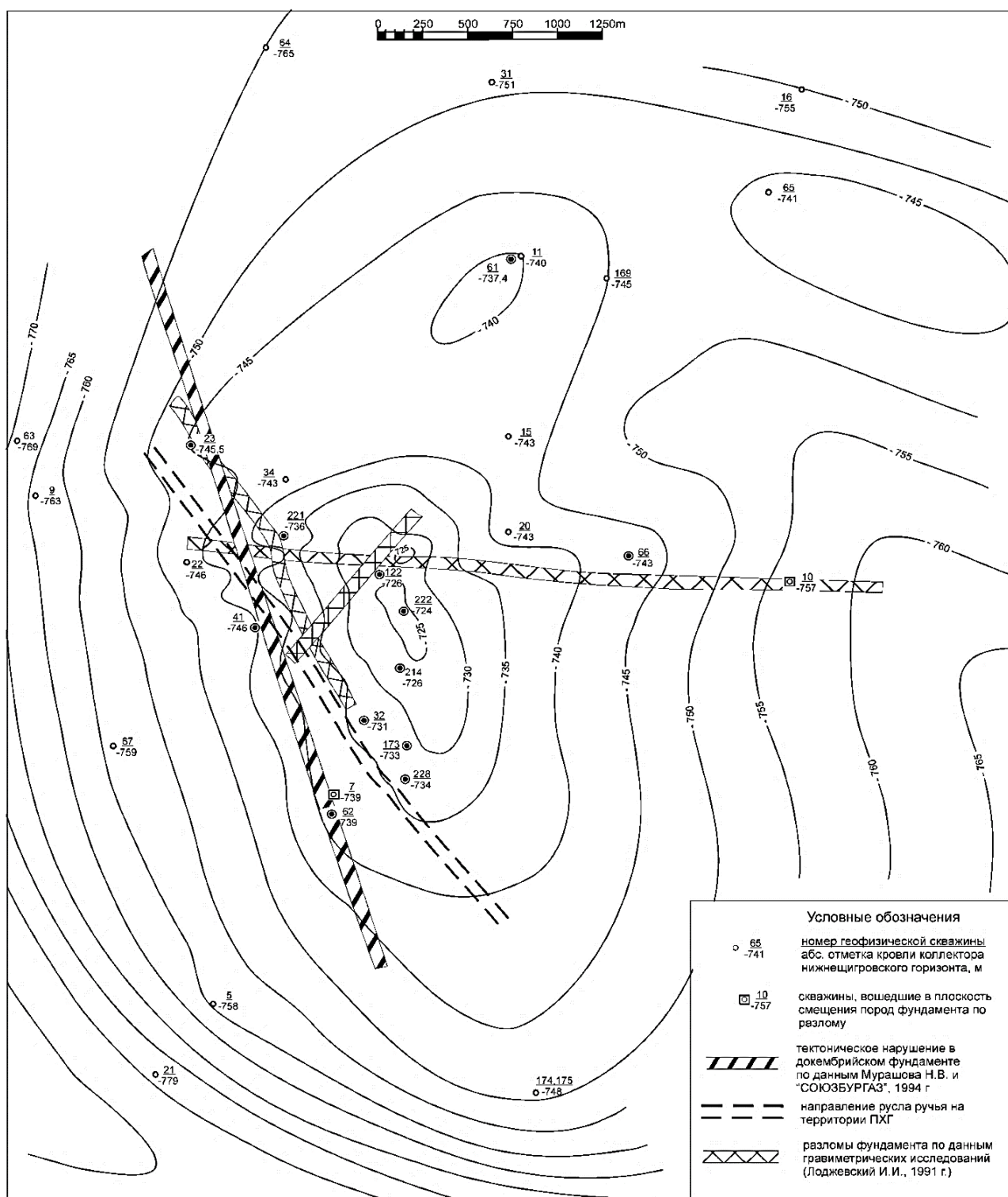


Рисунок 2.19 - Схема расположения глубинных тектонических нарушений в пределах Щелковского ПХГ.

Структура геодинамического полигона Щелковского ПХГ.

Для уточнения линеаментно-блочного строения территории Щелковского ПХГ также было выполнено структурное дешифрирование. Сравнение пространственного расположения линеаментов, выделенных при дешифрировании, и данных, полученных при бурении, позволяет сказать, что наблюдается их пространственная приуроченность друг к другу.

Территория горного отвода Щелковского ПХГ характеризуется плотной городской застройкой, поэтому геодинамический полигон был организован таким образом, чтобы в максимальной степени учитывать, с одной стороны, особенности геологического строения в границах лицензионного участка, с другой – застройку территории горного отвода. Высокоточная нивелирная сеть запроектирована в виде двух профильных линий, пересекающих лицензионный участок с запада на восток и с севера на юг. Общее количество пунктов геодинамического полигона составляет 42, из них: 38 грунтовых и 4 фундаментальных репера.

Профильная линия I-I пересекает территорию Щелковского ПХГ с запада на восток. Она берет свое начало на фундаментальном репере № 1, который расположен за пределами лицензионного участка, пересекает территорию горного отвода и заканчивается на фундаментальном репере № 28. Протяженность профильной линии I-I составляет 19,92 км. Профиль включает в себя 28 реперов.

Профильная линия II-II пересекает территорию Щелковского ПХГ с северо-востока на юго-запад. Она берет свое начало в узловой точке № 19 и заканчивается на фундаментальном репере № 41, который расположен за пределами лицензионного участка. Протяженность профильной линии II-II составляет 8,29 км.

Глубина заложения грунтовых реперов (тип 162 оп знак) составляет 200 см, фундаментальных реперов (тип 160 оп знак) – 250 см. Конструкция грунтовых реперов соответствует конструкции реперов на Совхозном и Карашурском ПХГ.

Схема геодинимического полигона приведена на рисунке 2.20.

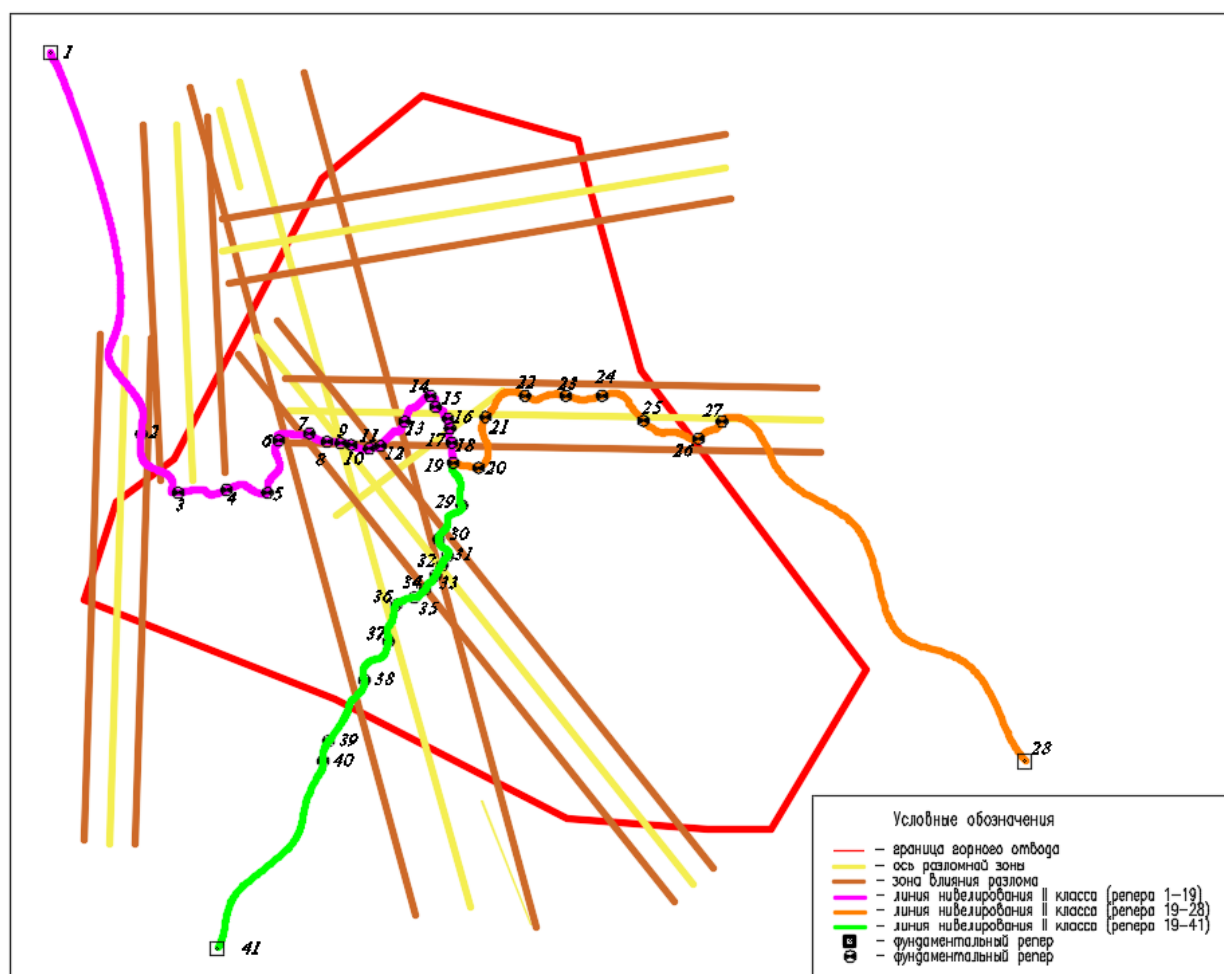


Рисунок 2.20 - Схема геодинимического полигона Щелковского ПХГ.

В таблице 2.3 приведены данные по изменению давления в пласте-коллекторе между циклами наблюдений.

Таблица 2.3

Изменение пластового давления между циклами измерений

Цикл наблюдений	ΔP , МПа
1	0
2	+0,72
3	+0,57
4	+0,93

Интерпретация результатов геодинамического мониторинга.

По результатам проведенных наблюдений были построены эволюционные графики. В качестве исходного цикла принят первый цикл наблюдений, выполненный в весенний нейтральный период. Оценке было подвергнуто 3 интервала относительных смещений реперов.

На рисунке 2.22 представлены результаты повторного нивелирования вдоль профильной линии I-I. Описывая «эволюционные» графики, можно заметить закономерное нахождение кривой выше оси абсцисс, что коррелируется с положительным значением ΔP . Поведение реперов №№ 2-5 в третьем и четвертом циклах подтверждает наличие разломной зоны, которая была выявлена на стадии проектирования. Центральная часть графика приходится на сильно раздробленную территорию, чем объясняется беспорядочное движение реперов. Отчетливо выделяется аномальное сдвижение земной поверхности по реперу № 17, который, начиная с третьего цикла наблюдений, позволяет зафиксировать гамма аномалию с одинаковой амплитудой и в третьем, и в четвертом циклах. Восточная часть профиля показывает, что по имеющейся разломной зоне происходит оседание северной части, в которой расположены реперы с 22-го по 24-ый. Поднятие 27-го репера достигает 12 мм, что, учитывая наличие разломной зоны, может служить основанием для подтверждения возникновения опасных процессов [Шевчук и др., 2021].

На профильной линии II-II, аналогично профилю I-I, поднятие земной поверхности в центральной части выражено менее ярко, чем на периферии. Поведение реперов №№ 30-38 позволяет констатировать факт проявление аномального сдвижения (тип γ аномалия) по двум разломам, выявленным на стадии проектирования.

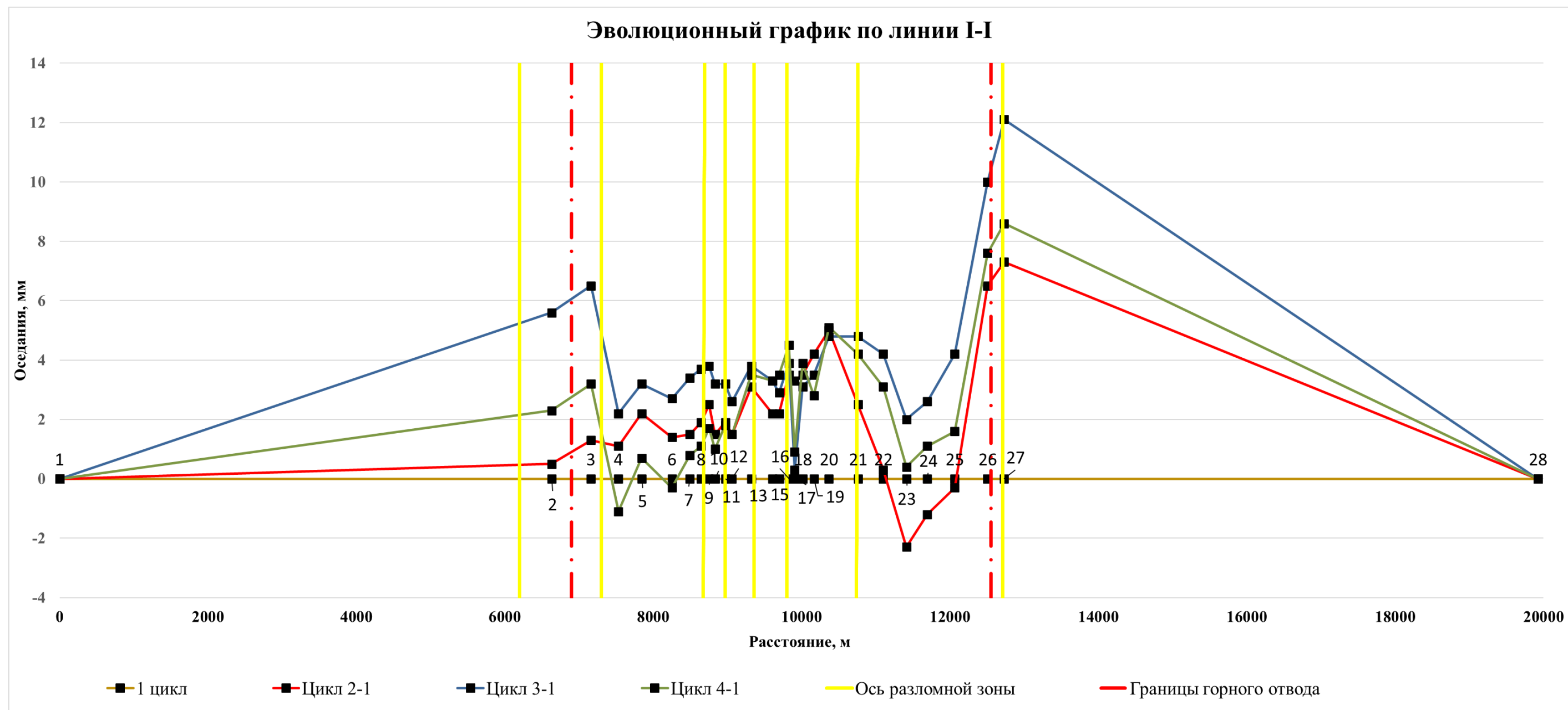


Рисунок 2.21 – Эволюционный график по профильной линии I- I (нивелирование).

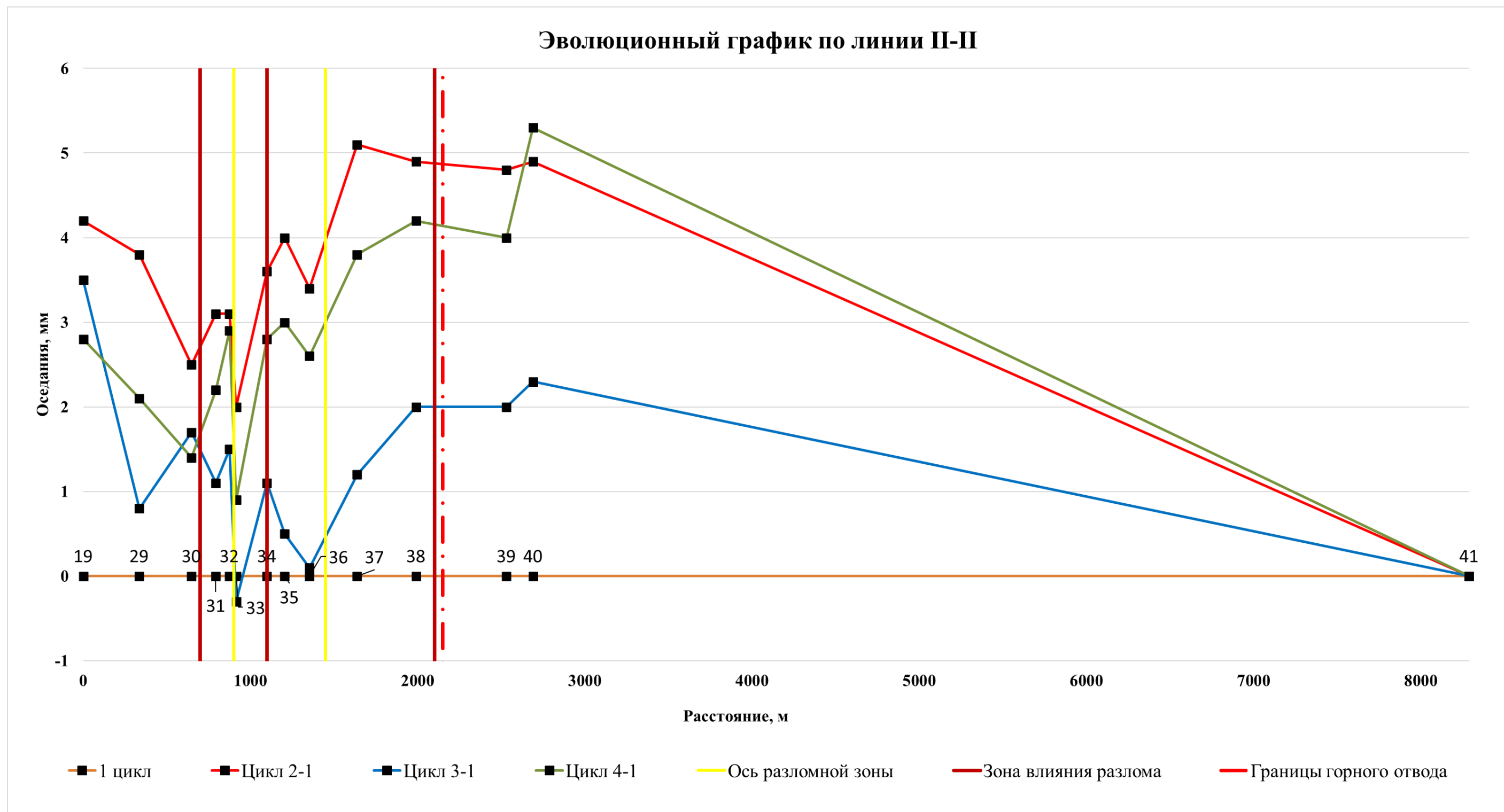


Рисунок 2.22 – Эволюционный график по профильной линии II- II (нивелирование).

На рисунках 2.23-2.24 приведены результаты гравиметрических наблюдений. Изучая поведение графиков в локальных разломных зонах, можно с уверенностью подтвердить наличие разломов в районе пунктов №№ 8-10, 13-16 и 31-34, что обусловлено изменениями уровня газонасыщенности трещиноватой флюидонасыщенной среды в локальных активизированных фрагментах разломов. Поведение графиков в районе пунктов №№ 35, 36 носит значительно менее выраженный характер. Можно сделать заключение о том, что данная разломная зона обладает в настоящее время низкой активностью. Знакопеременные вариации силы тяжести полностью соответствуют режиму эксплуатации подземного хранилища газа.

Совместное изучение комплекса наблюдений на геодинамическом полигоне Щелковского ПХГ позволяет подтвердить выявленные на стадии проектирования разломные зоны. Аномальные значения за пределами зоны влияния разломов отсутствуют. Полученные данные маркшейдерско-геодезических наблюдений на границах горного отвода являются неоднозначными. Их можно интерпретировать как активизацию разломной зоны. Вместе с тем гравиметрические наблюдения не подтверждают данное предположение, а показывают, что поднятие земной поверхности на периферии является следствием увеличения плотности пород, слагающих коллектор.

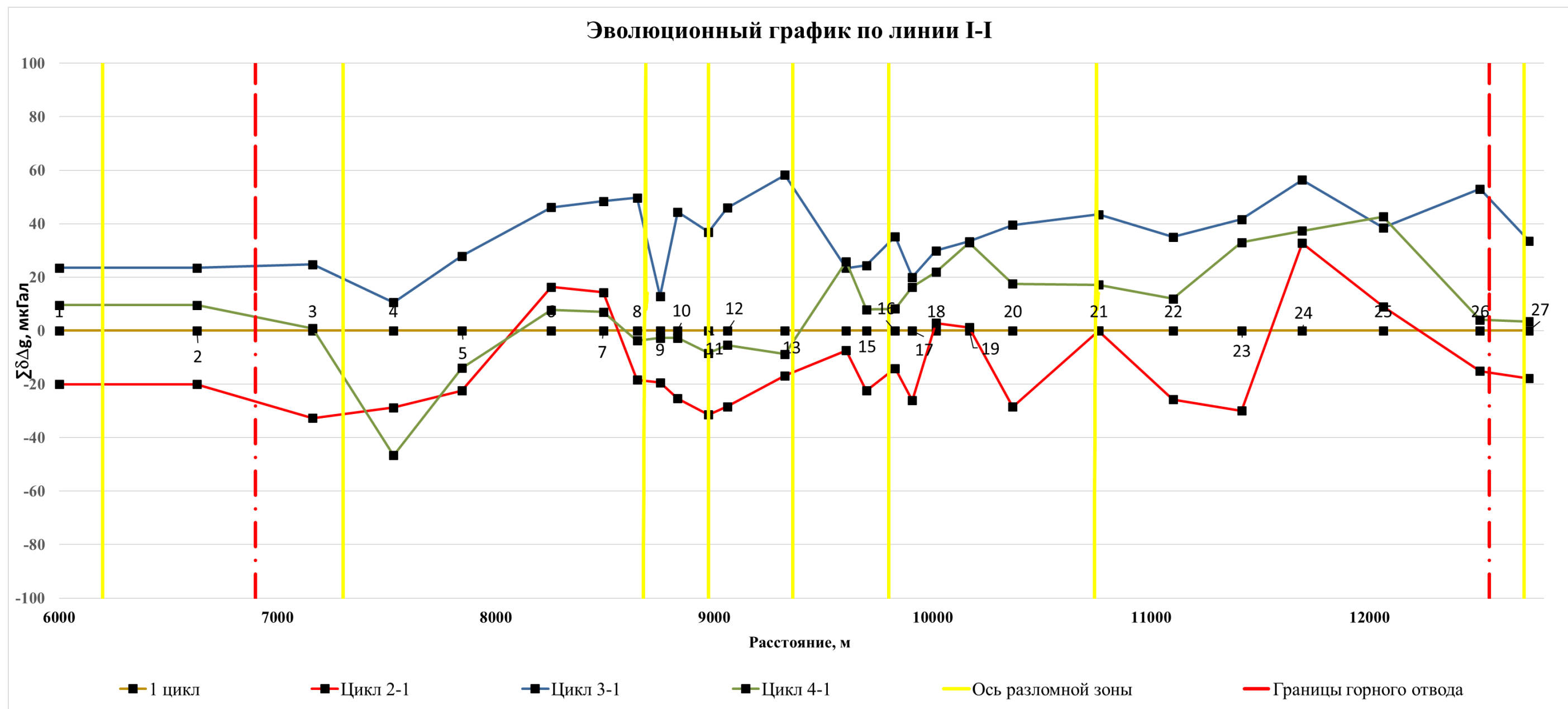


Рисунок 2.23 – Эволюционный график по профильной линии I-I (гравиметрические наблюдения).

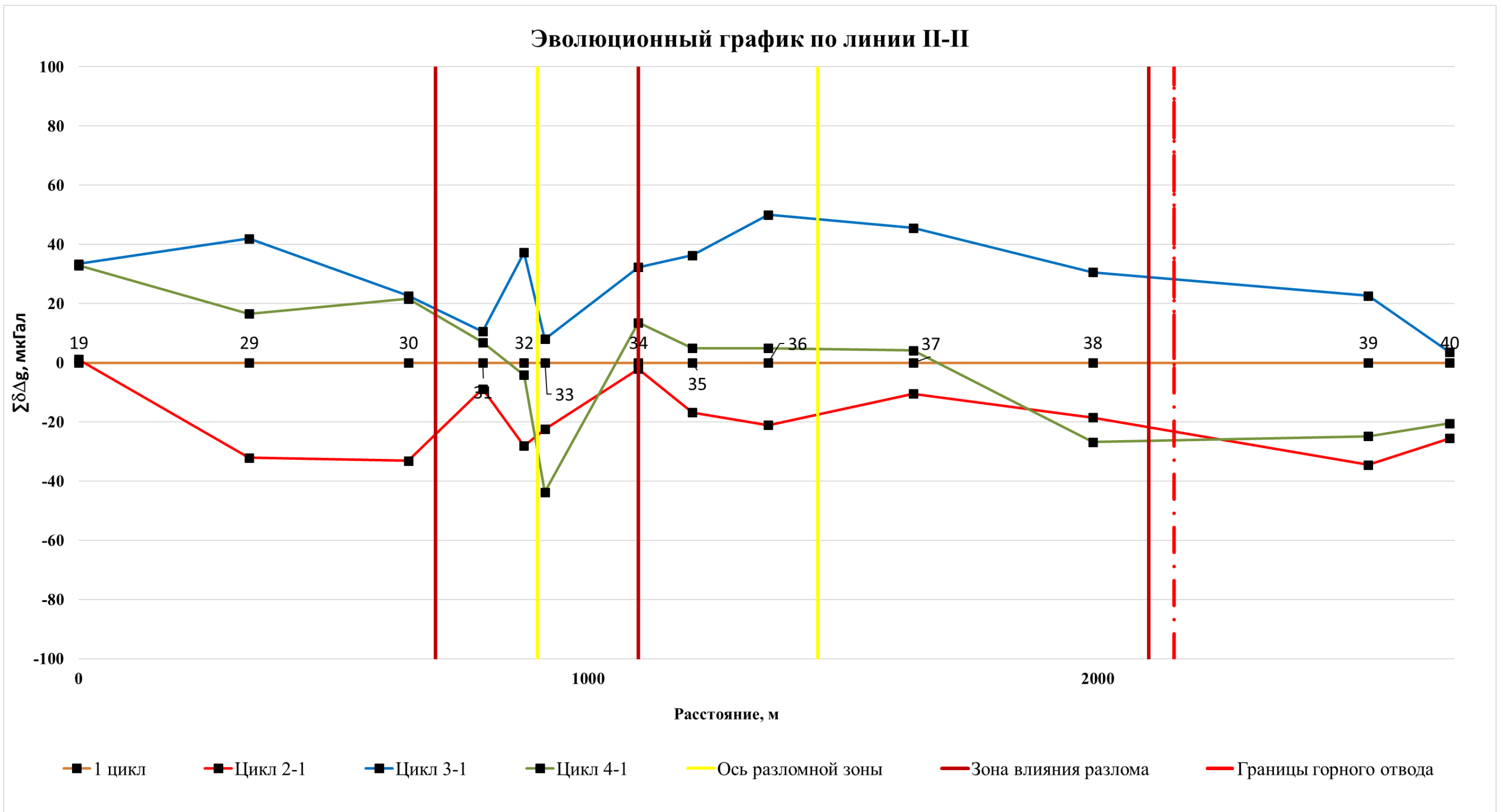


Рисунок 2.24 – Эволюционный график по профильной линии II-II (гравиметрические наблюдения).

2.4. Основные выводы.

На исследуемых ПХГ был подтвержден знакопеременный характер сдвижения земной поверхности, обусловленный эксплуатацией хранилищ. При этом ни на одном ПХГ в России, в том числе и на рассмотренных выше, не было зафиксировано обширных просадок земной поверхности за весь период проведения наблюдений. Амплитуда сдвижения земной поверхности в следствие цикличной эксплуатации ПХГ, рассмотренных выше, достаточно маленькая. Аналогичная ситуация характерная и для всех остальных объектов. Так, для самого крупного подземного хранилища газа в мире Северо-Ставропольского ПХГ максимальное оседание не превышает 51 мм.

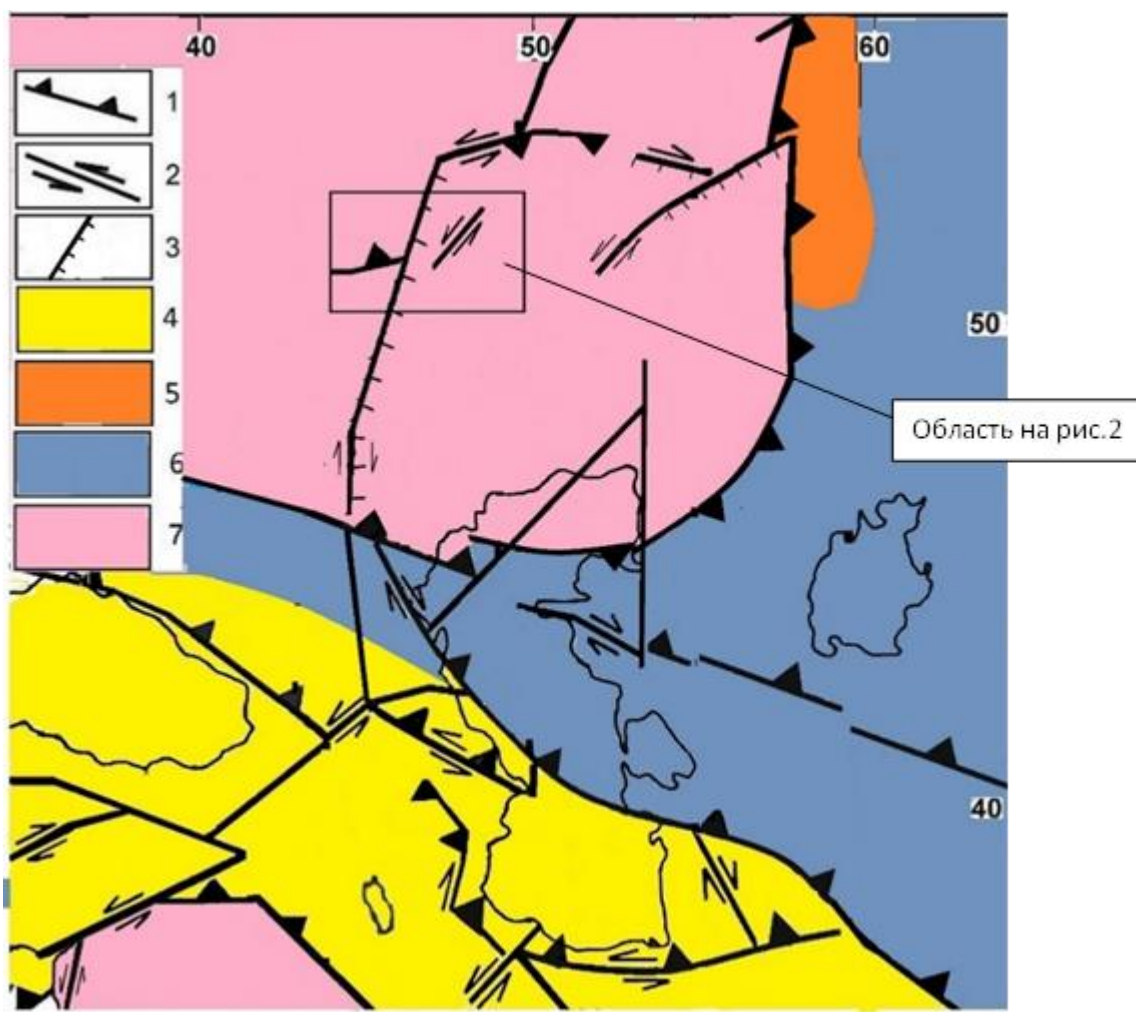
По результатам маркшейдерско-геодезических и гравиметрических наблюдений подтвержден факт о концентрации аномальных значений процесса сдвижения в зонах повышенной трещиноватости.

Проведенная автором комплексная оценка результатов геодинамического мониторинга на Совхозном, Карашурском и Щелковском ПХГ позволяет опровергнуть существующую гипотезу об отсутствии влияния эксплуатации подземного хранилища газа за пределами контура ГВК и горного отвода. По изученным маркшейдерско-геодезическим и гравиметрическим данным установлено, что влияние эксплуатации подземного хранилищ газа на сдвижение земной поверхности отмечается за границами горного отвода.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В РАЙОНЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПХГ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ.

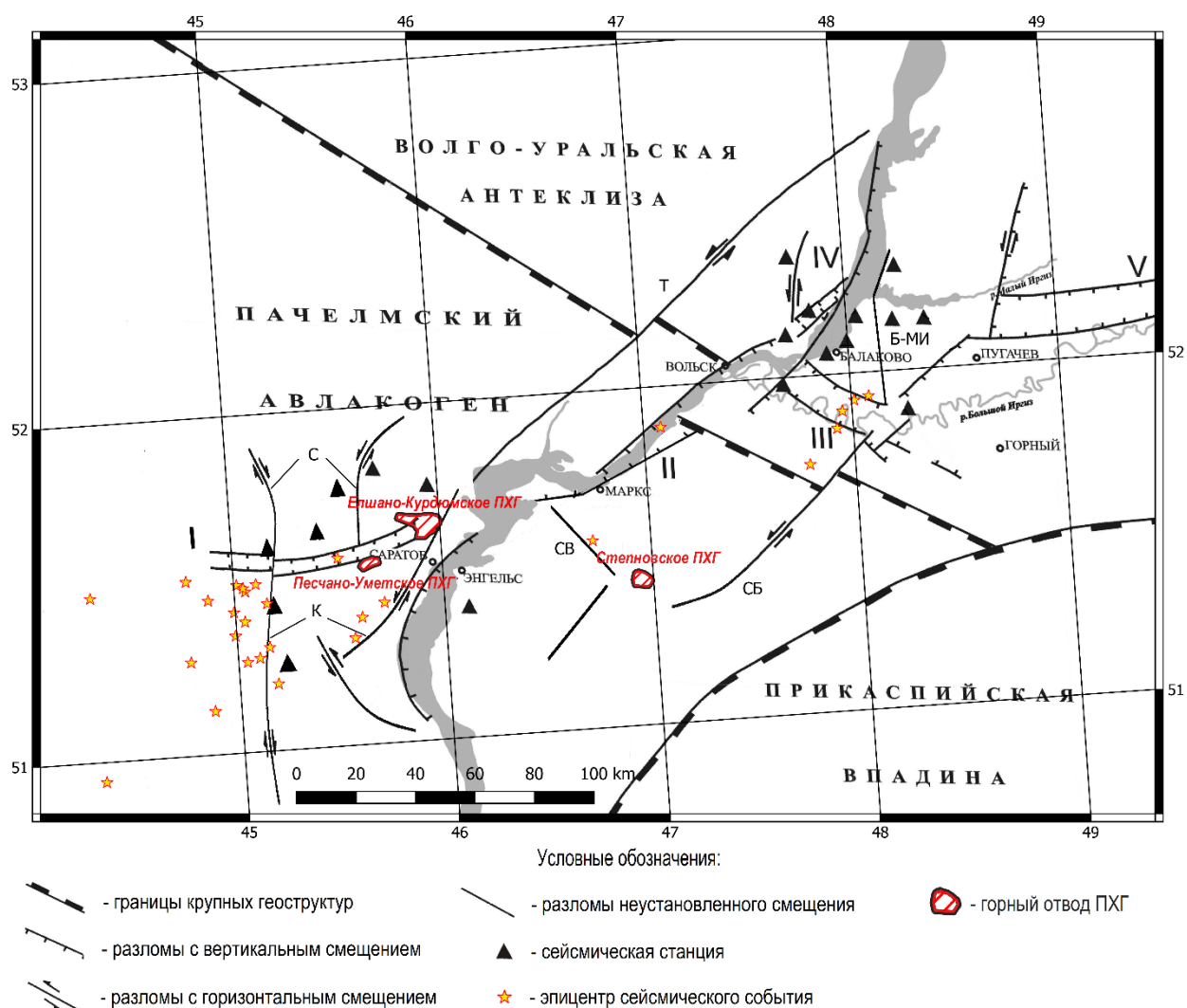
3.1. Стратиграфическая, структурно-тектоническая, геодинамическая характеристика районов расположения Елшано-Курдюмского, Песчано-Уметского и Степновского ПХГ.

На территории России, в юго-восточной части Восточно-Европейской платформы расположено три ПХГ - Елшано-Курдюмское, Песчано-Уметское, Степновское. Отличительной чертой тектонического строения региона, где расположены упомянутые ПХГ, является сочленение здесь крупных геоструктур Восточно-Европейской платформы: Волго-Уральской антеклизы, Пачелмского авлакогена, Прикаспийской впадины, рис. 3.1-3.2. Указанные геоструктуры пересекаются сквозным Европейско-Африканским тектоническим поясом [Огаджанов В.А., Огаджанов А.В., 2014], который имеет в планетарном масштабе субмеридиональное направление и вытянут в области докембрийской Восточно-Европейской платформы от р. Камы через Среднее и Нижнее Поволжье, эпигерцинскую платформенную область, Кавказ-Анатолийский сегмент альпийской складчатой области и далее в пределы аравийской части Африканской платформы [Шатский Н.С., 1948; Саркисян О.А., 1982]. В ряде работ, например [Глубинные разломы сквозные, 1978], этот пояс отождествляется со сквозным разломом, который в своей северной части назван Главным Восточно-Европейским разломом [Eppelbaum and Katz, 2020]. Указанный пояс испытал активизацию в позднекайнозойское время и с тектоническими структурами этого пояса связаны позднекайнозойские деформации земной коры (см. рис. 3.1).



Зоны деформаций: 1- преобладающих деформаций сжатия, 2 – преобладающих деформаций сдвига, 3 – преобладающих деформаций растяжения; основные геоструктуры: 4 – альпийская геосинклиналь, 5 – герцинская геосинклиналь, 6 – эпигерцинская платформа, 7 – докембрийская платформа. Прямоугольником показан район, где расположены ПХГ.

Рисунок 3.1 – Положение основных зон позднекайнозойских деформаций северной части Европейско – Африканского сквозного тектонического пояса составлено с учетом [Леонов Ю.Г. и др., 2001].



Грабены: I – Елшано-Сергиевский, II – Марковский, III – Балаковский, IV – Терсинский, V- Иргизский.

Рисунок 3.2 – Схема элементов тектоники района расположения ПХГ (по материалам Леонова Ю.Г., Гущенко О.И., Коппа М.Л., Расцветаева Л.М. с дополнениями).

В осадочном чехле Среднего и Нижнего Поволжья выделяется пять структурных этажей: рифейский, девонский, каменноугольный, мезозойско-палеогеновый и неоген-четвертичный.

Елшано-Курдюмское и Песчано-Уметское ПХГ созданы в пластах-коллекторах каменноугольных отложений. В 1966 г Елшано-Курдюмское газохранилище было создано в отложениях тульского горизонта. В настоящее время в качестве объектов газохранилища на данном ПХГ используются выработанные газонефтяные залежи бобриковского и кизеловского горизонтов и выработанная газовая залежь тульского горизонта. Протвинский горизонт нижнего карбона, подстилающий отработанную газовую залежь

черемшано-прикамского горизонта низов среднего карбона, используется для закачки пристоков.

Песчано-Уметское ПХГ было введено в эксплуатацию в 1967 году. В соответствии с действующим проектом предусматривается совместная эксплуатация тульского и бобриковско-кизеловского горизонтов.

Степновское ПХГ создано в пластах-коллекторах одноименной структуры в отложениях пластов D_2V+VI воробьевских и D_2IV^b и D_2IV^a ардаатовских слоев живетского яруса, относящегося к девонскому структурному этажу. Залежь пласта D_2V+VI приурочена к линейной пластовой водонапорной системе ограниченных размеров с водоупругим режимом. Тектонически Елшано-Курдюмское и Песчано-Уметское ПХГ приурочены к восточной части Елшано-Сергиевского грабена (см. рис. 3.2).

Восточная часть Елшано-Сергиевского грабена с юга ограничивает активный в геодинамическом отношении блок, где амплитуды новейших тектонических движений достигают 850-875 м. Елшано-Сергиевский грабен является сложно построенной флексурно-разрывной зоной, имеющей длительный период формирования и проявляющийся в новейший этап развития. В качестве примера приведен профиль через разлом южного борта Елшано-Сергиевского грабена (см. рис. 3.3) по [Шебалдин, 2008; Горьков, 2016], дополненный материалами интерпретации геофизических данных. К Елшано-Сергиевскому грабену приурочена линейная зона приразломных антиклинальных поднятий, к которой относятся Елшано-Курдюмское и Песчано-Уметское поднятия. Бурением скважин в пределах Елшано-Курдюмского поднятия было установлено 14 разрывных нарушений, некоторые из которых можно рассматривать как разломы сбросо-сдвиговой кинематики, контролирующие размещение нефтегазовых залежей. Разломы испытывают активизацию на новейшем этапе тектогенеза, на что указывают высокие амплитуды аномалий новейших тектонических движений, вытянутых по направлению разломной зоны Елшано-Сергиевского грабена.

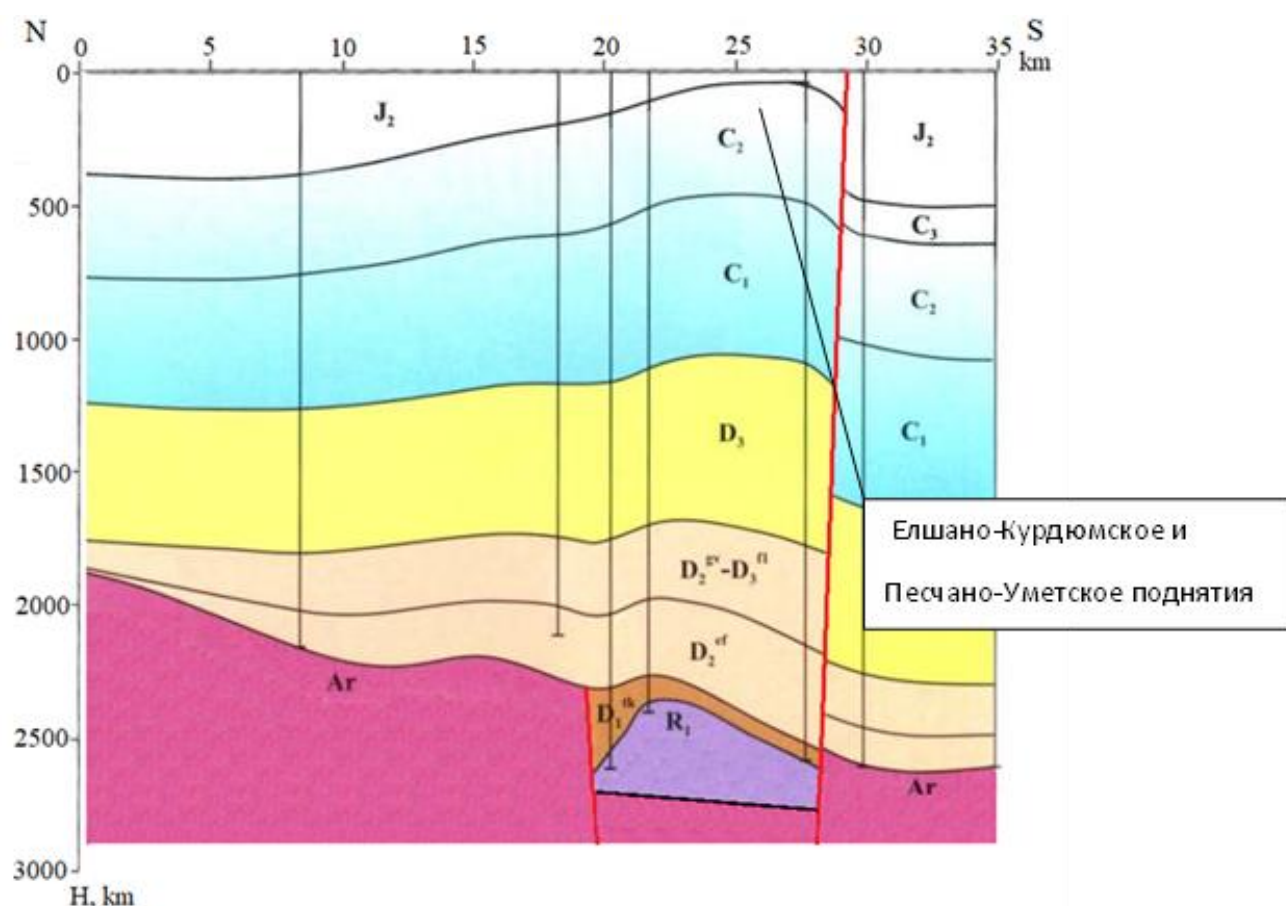


Рисунок 3.3. - Геологический разрез через Елшано-Сергиевский грабен

Степновское ПХГ располагается в пределах юго-восточной части крупного вала, протягивающегося в направлении с северо-запада на юго-восток по линии новейшей дизъюнктивной дислокации (I на рис. 3.2). В своей юго-восточной части Степновский вал меняет направление простирания на северо-восточное (см. рис. 3.4) [Шебалдин, 2008] и совпадает с аномалией новейших тектонических движений с амплитудами +450 – 550 м., показанных на карте [Карта новейшей..., 1981], простирающейся далее на северо-восток по линии новейшего разлома (II на рис. 3.2). В пределах Степновского вала расположены две тектонические линии дислоцированных антиклинальных поднятий простирания СЗ-ЮВ и одна тектоническая линия простирания ЮЗ-СВ, которая в своем северо-восточном продолжении совпадает с разломом северо-восточного простирания (II на рис. 3.2) от Степновского вала (рис. 3.4) до Балаковского грабена (III на рис. 3.2).

В структуре Степновского поднятия выделяется шесть основных блоков. Блоки разделены между собой разломами с амплитудами от 20 до 80 м, между которыми выявлены зоны дробления, представленные многочисленными локальными нарушениями с амплитудами порядка 6 – 10, реже до 20 м. На основании материалов бурения Степновского месторождения, площадь залежи пласта D₂V+VI нарушена серией разломов, разбивающих её на отдельные блоки.

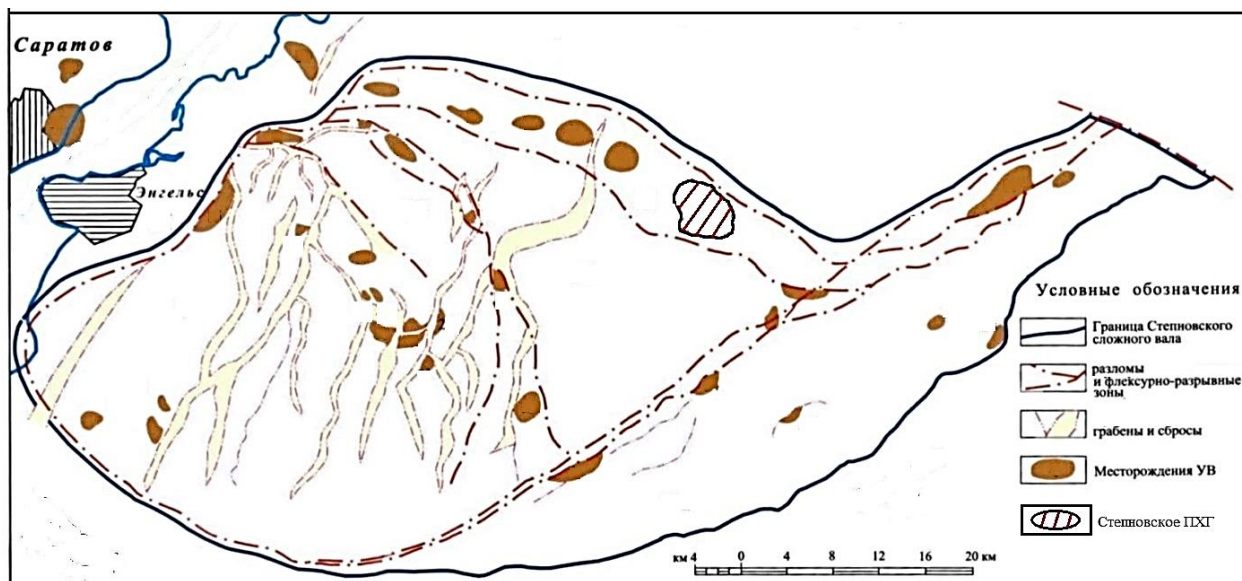


Рисунок 3.4. - Тектоническая схема Степновского сложного вала

Особенности активных геодинамических проявлений Европейско-Африканского тектонического пояса на участке расположения рассматриваемых ПХГ характеризуются выраженностью в его пределах высоких (до 900 м) аномалий новейших тектонических движений и поля сейсмичности, простирающегося вдоль преобладающего для района расположения ПХГ регионального направления ЮЗ-СВ [Огаджанов В.А., Огаджанов А.В., 2014]. Европейско-Африканский тектонический пояс в пределах рассматриваемого региона представляет собой совокупность различных по ориентации и кинематике тектонических структур, группирующихся в полосе примерно 100-150 км по направлению реки Волги; это наглядно иллюстрируется схемой элементов тектоники района расположения ПХГ, на которой показаны разломы, испытавшие активность

предположительно в позднеолигоценовый – четвертичный (новейший) период тектогенеза (см. рис. 3.1 и 3.2).

Из приведенной на рисунке 3.2 схемы видно, что сейсмичность в изучаемом районе расположения ПХГ приурочена именно к новейшим разломам, входящим в описываемую активизированную на современном этапе часть Европейско-Африканского тектонического пояса.

Как известно, склонными к реактивации разломами на объектах эксплуатации недр являются такие, которые благоприятно расположены в региональном или локальном полях напряжений (в зависимости от их размера, или ранга). Среди таких разломов в районе Елшано-Курдюмского и Песчано-Уметского ПХГ - это новейшие разломы Елшано-Сергиевского грабена субширотного простирания и секущие грабен субмеридиональные разломы Саратовских и Карамышско-Доно-Медведицких дислокаций. Склонные к реактивации разломы, к которым приурочено Степновское ПХГ – это новейшие разломы простирания СЗ-ЮВ Степновского вала и разлом, простирающийся в направлении ЮЗ-СВ от Степновского вала до Балаковского грабена (см. рис. 3.2). Величина амплитуд новейших тектонических движений в юго-восточной части Степновского вала достигает +550 м. Опираясь на приведенные данные можно полагать, что разломы Степновского вала испытали активизацию в новейший период. Анализ выполненных циклов измерений на геодинамическом полигоне в юго-восточной части Степновского вала позволил подтвердить местоположение известных разломных зон, в пределах которых установлены величины современных движений до 6 мм\год [Кузьмин, Квятковская, 2017]. Согласно [Карта современных...2007] фоновыми для региона Среднего и Нижнего Поволжья являются величины современных движений земной коры от 0 до 2 мм/год, относительно этих значений величины современных движений 6 мм\год могут рассматриваться как аномальные.

Таким образом, из изложенного выше видно, что для района расположения рассматриваемых ПХГ характерно наличие разноранговых

разрывных нарушений, определяющих разделение земной коры на тектонические блоки, и наличие относительно высоких для платформенных территорий аномалий новейших и современных движений земной коры.

3.2. Сейсмичность района расположения Елшано-Курдюмского, Песчано-Уметского и Степновского ПХГ.

Согласно Global seismic hazard map, (1999) регион Поволжья относится к сейсмически активным с пиковым ускорением движения грунта до $0,4 \text{ м/с}^2$ и с периодом повторяемости тектонических землетрясений один раз в 475 лет. Здесь известны землетрясения исторического и инструментального периода наблюдений [[Землетрясения и микросейсмичность...,2007](#); [Поволжский регион..., 2013](#) и др.]. За период инструментальных наблюдений наиболее сильным и ближайшим к району расположения ПХГ известно землетрясение, произошедшее на правобережной части р. Волги примерно в 160 км по направлению ее русла к юго-западу от Елшано-Курдюмского ПХГ, произошедшее 24 декабря 1991 г. с магнитудой 3,5 [[Землетрясения и микросейсмичность...,2007](#)].

В районе расположения ПХГ с 1995 года группой сейсмических станций (рис. 2) были начаты наблюдения за сейсмичностью на Саратовском геодинамическом полигоне, созданном Нижне-Волжским НИИ геологии и геофизики Министерства природных ресурсов и экологии России. Дополнительно с ноября 2005 года Геофизической службой Российской академии наук была введена в эксплуатацию сейсмическая станция «Саратов», находящаяся в 50 км юго-западнее Елшано-Курдюмского ПХГ. По результатам наблюдений были составлены каталоги землетрясений. Полученные результаты наблюдений обобщены в работах [[Землетрясения и микросейсмичность...,2007](#); [Поволжский регион..., 2013](#) и др.].

Данными инструментальных наблюдений за местной сейсмичностью выявлены землетрясения с магнитудой более 5 [[Поволжский регион..., 2013](#)]. Проявление сейсмичности в данном районе связывается с местными

геодинамическими процессами, в частности региональное направление поля местной сейсмичности, также как и простираение соответствующих новейших разломов, имеет преимущественно северо-восточную ориентацию. Кроме того, предполагается, что местные проявления сейсмичности могут быть индуцированы влиянием сильных землетрясений с очагами в альпийской складчатой области сквозного Европейско-Африканского тектонического пояса. Например, известны сильные землетрясения Красноводское (1895) с магнитудой 7,9, Каспийские (25 ноября 2000) с магнитудами 6,1, и 6,4; Балханское (6 декабря 2000) с магнитудой 7,3. Приводятся факты, что при Каспийских землетрясениях 25 ноября и Балханском 6 декабря 2000 г. на расстояниях 1300 и 1500 км от их эпицентров соответственно, возникали ощутимые сотрясения, которые не могли быть объяснены с позиций классических представлений о затухании сейсмических волн с увеличением расстояния от эпицентра землетрясения. В диапазоне времени от десятков минут до нескольких дней относительно времени основного толчка указанных сильных землетрясений возникли землетрясения, генерируемые разломами Поволжского региона [Землетрясения и микросейсмичность..., 2007; Огаджанов В.А., 2002]. Наиболее сильные сотрясения при землетрясениях 25 ноября и 6 декабря 2000 года зафиксированы в восточной части Елшано-Сергиевского грабена, где расположены Елшано-Курдюмское и Песчано-Уметское ПХГ. В период геодинамической активизации, предшествующей Балханскому землетрясению 6 декабря толчки в восточной части Елшано-Сергиевского грабена стали ощущаться уже за 30-40 минут до основного толчка в очаговой зоне этого землетрясения. На основании результатов этих исследований сделан вывод о геодинамическом влиянии зон возникновения очагов землетрясений геосинклинальной части сквозного тектонического пояса на активизацию разломов в его платформенной части [Огаджанов, 2002].

Также проявления сейсмической активности в пределах Саратовского геодинамического полигона связывались с цикличностью изменений внешних геофизических полей, а именно гравитационного за счет влияния небесных тел

и электромагнитного, обусловленного солнечной активностью [В.А. Огаджанов, А.В. Огаджанов, М.Ю. Маслова, 2013]. Кроме того, высказывались предположения, что кроме природных факторов местная слабая сейсмичность может быть обусловлена взрывами горнодобывающих предприятий, что учитывалось при распознавании сейсмических событий природного и техногенного характера [Поволжский регион..., 2013].

Таким образом, предыдущие исследования были направлены на поиск геотектонического толкования процесса сейсмичности в данном районе, влияние эксплуатации ПХГ на сейсмический режим во внимание не принималось.

3.3. Обоснование техногенной природы сейсмичности в районе ПХГ Саратовской области.

Вопросы установления техногенной природы сейсмичности являются достаточно сложными, о чем свидетельствуют многочисленные дискуссии [Simpson and Leith, 1985; Bossu et al., 1996]. В работе [Davis and Frohlich, 1993] выявлены и описаны семь признаков, по которым землетрясение может быть отнесено к техногенным. Предложено разделять природные и техногенные землетрясения по комплексу геологических и сейсмологических данных [Dahm et al., 2012; Braun et al., 2012], результатам моделирования [Dahm et al., 2015].

Для доказательства влияния ПХГ на сейсмичность рассмотрим наиболее представительный период с 2005 г. по 2007 г. За этот период времени было зарегистрировано 29 сейсмических событий, из которых 22 произошло вблизи Елшано-Курдюмского и Песчано-Уметского ПХГ, 5 – в зоне влияния Степновского ПХГ и 2 между всеми рассматриваемыми ПХГ (см. рис. 3.2). Проследим связь между циклической эксплуатацией Елшано-Курдюмского, Песчано-Уметского и Степновского ПХГ и сейсмичностью в районах их расположения. Радиус зоны геодинамического влияния ПХГ достигает в рассматриваемой области 100 км. В анализ были включены только сейсмические события, произошедшие на этом расстоянии от ПХГ.

На рисунках 3.5-3.7 отражена сейсмичность района расположения каждого ПХГ на фоне изменения пластового давления во времени (режима эксплуатации). На рисунках 3.5 и 3.6 вертикальными линиями отмечены периоды окончания периода закачки и окончания периода отбора газа.

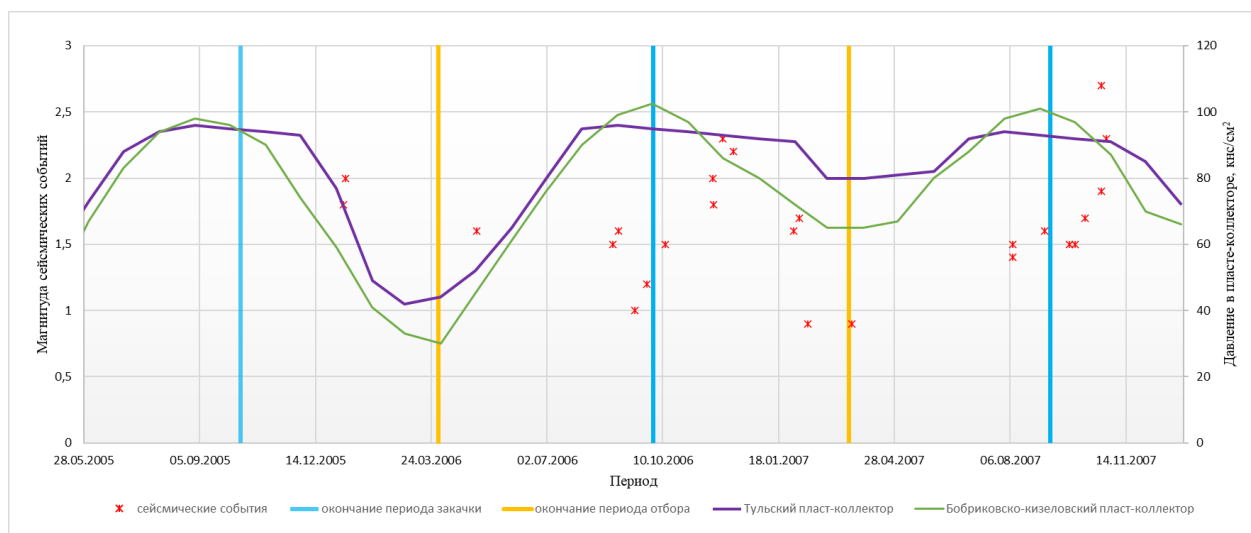


Рисунок 3.5 - Сейсмичность в районе Елшано-Курдюмского ПХГ в период его эксплуатации в 2005-2007 гг.

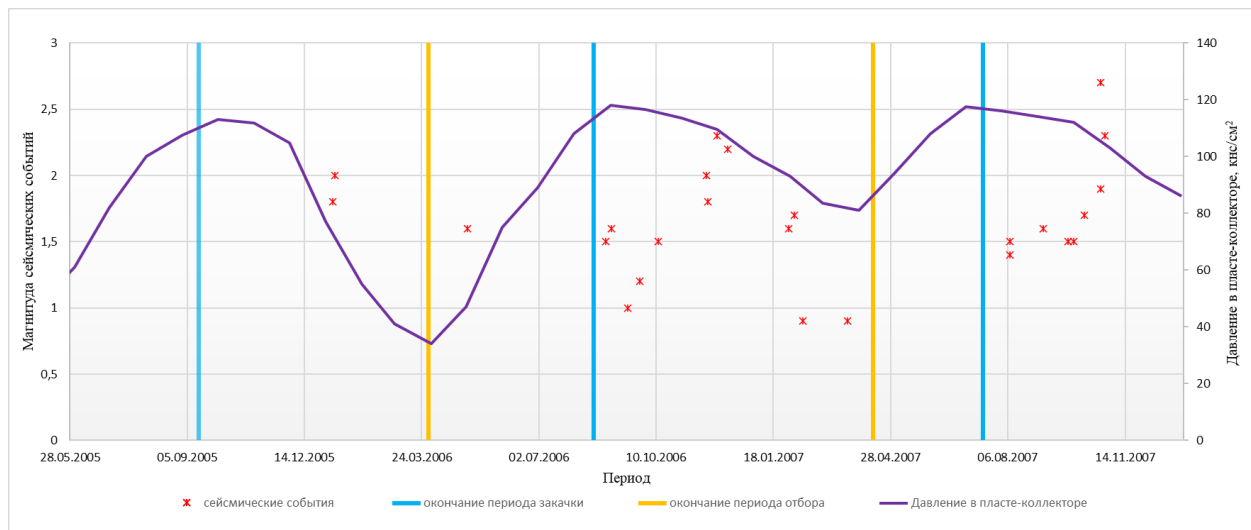


Рисунок 3.6 - Сейсмичность в районе Песчано-Уметского ПХГ в период его эксплуатации в 2005-2007 гг.

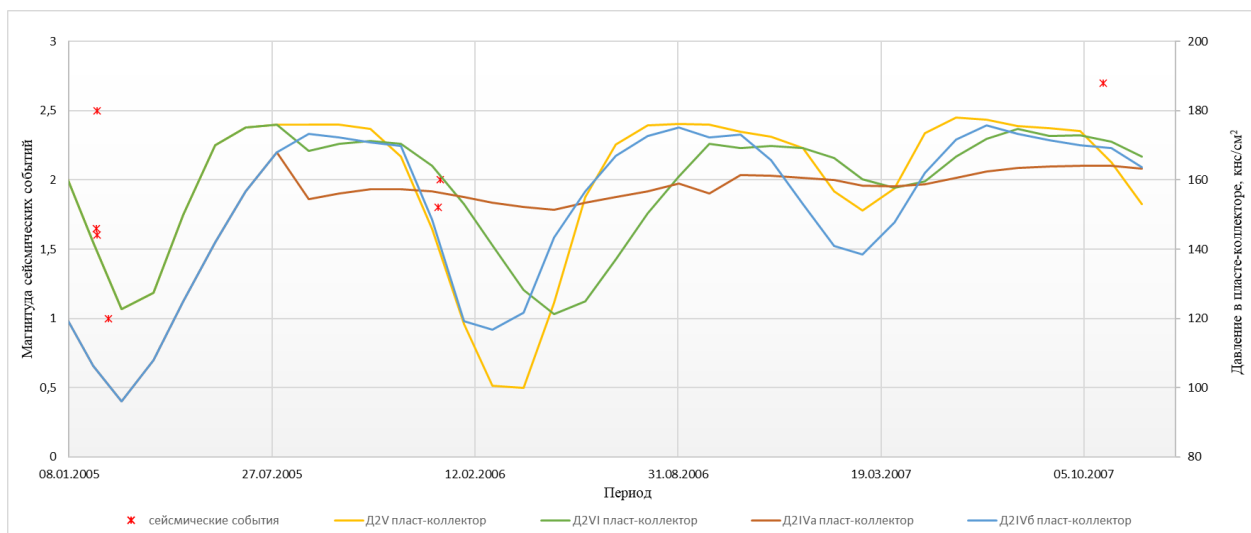


Рисунок 3.7 - Сейсмичность в районе Степновского ПХГ в период его эксплуатации в 2005-2007 гг.

На рис. 3.8-3.10 представлена информация о количестве сейсмических событий по месяцам на фоне изменений пластового давления.

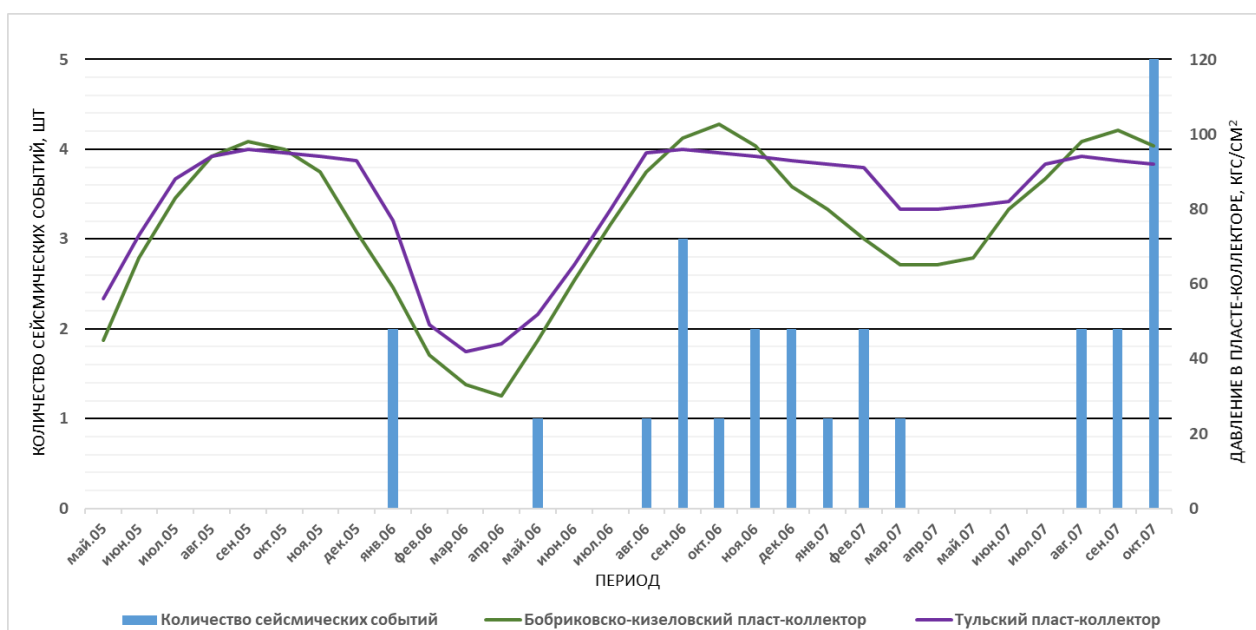


Рисунок 3.8 - Осредненная по месяцам сейсмическая активность на Елшано-Курдюмском ПХГ

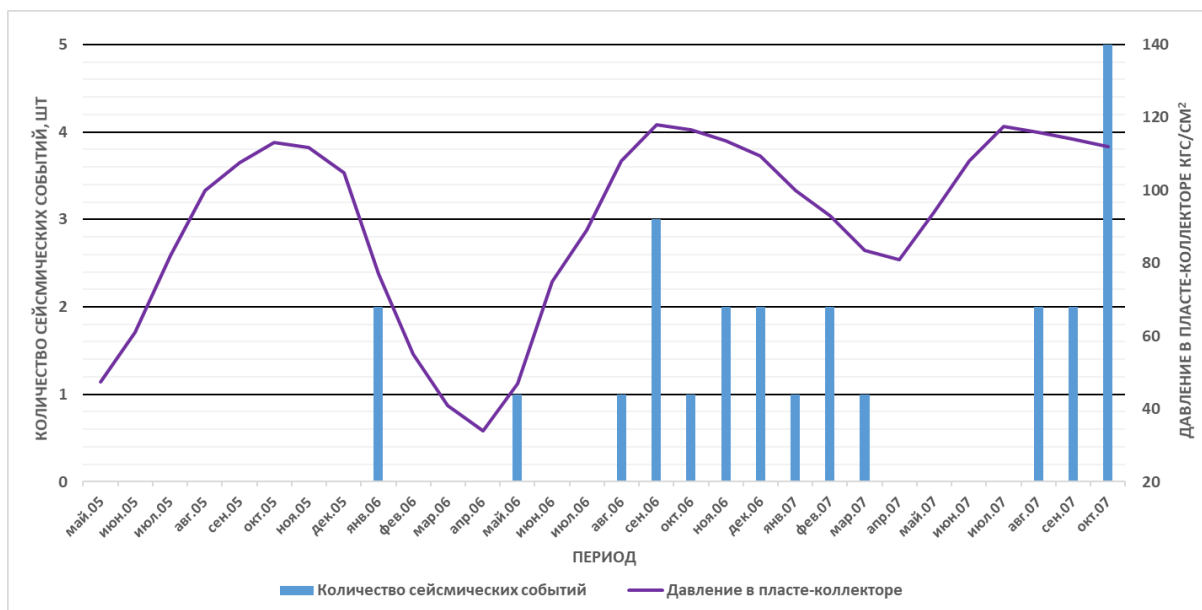


Рисунок 3.9 - Осредненная по месяцам сейсмическая активность на Песчано-Уметском ПХГ

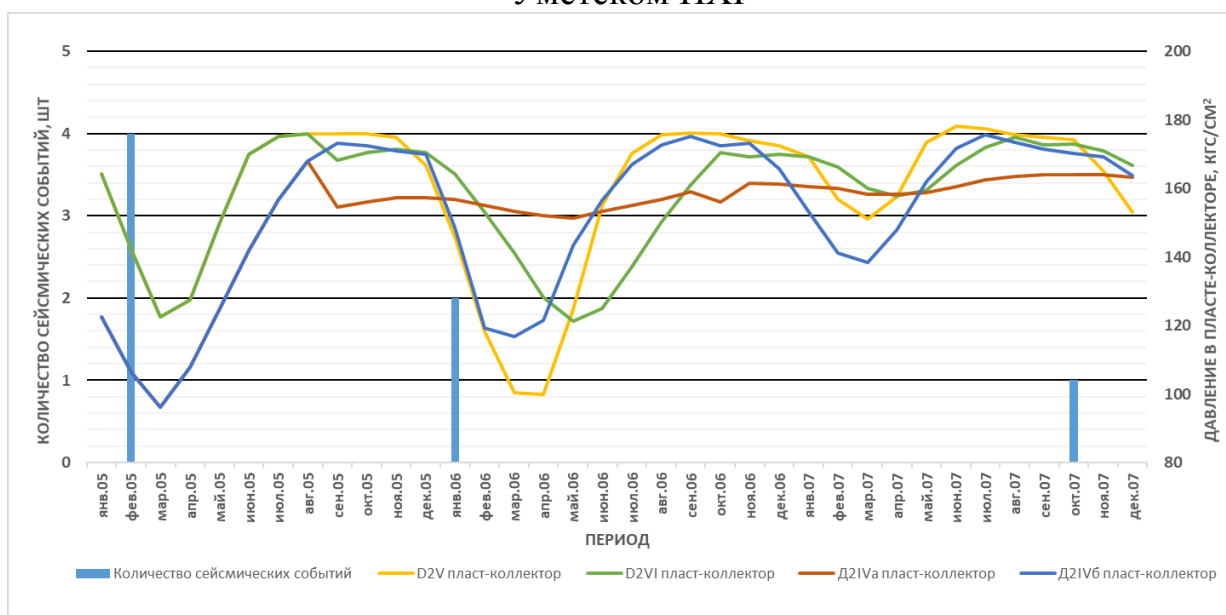


Рисунок 3.10 - Осредненная по месяцам сейсмическая активность на Степановском ПХГ

Представленные результаты позволяют судить о связи сейсмической активности с периодами повышения и понижения пластового давления на ПХГ. Доказательство техногенной природы сейсмичности в исследуемом районе обоснуем, опираясь на разработанные в работе [Davis and Frohlich, 1993] признаки техногенного землетрясения. Эти признаки, адаптированные к специфике ПХГ можно сформулировать в виде вопросов следующим образом:

1. Были ли отмечены ранее сейсмические события подобного генезиса в этом районе?
2. Имеется ли корреляция между эксплуатацией ПХГ и сейсмичностью?
3. Расположены ли эпицентры в зоне геодинамического влияния ПХГ?
4. Произошли ли некоторые сейсмические события непосредственно вблизи ПХГ?
5. Имеются ли вблизи активированные разломы?
6. Достаточно ли изменение давления в пласте-коллекторе ПХГ для возбуждения сейсмичности?

Сейсмические события техногенного генезиса в изучаемом районе.

Как было подробно описано в разделе 3.2 данной работы, все исследования, посвященные изучению происходящих событий, были направлены на геотектоническое толкования процесса сейсмичности в Саратовской области. Сейсмологические наблюдения в данном районе начали проводить не в связи с работой ПХГ и их техногенная природа никогда не изучалась. Поэтому можно утверждать, что сейсмические события подобного генезиса в этом районе ранее не были отмечены.

Корреляция между эксплуатацией ПХГ и сейсмичностью.

На рис. 3.11-3.13 приведены диаграммы, отображающие режим эксплуатации ПХГ и количество сейсмических событий в этот период.

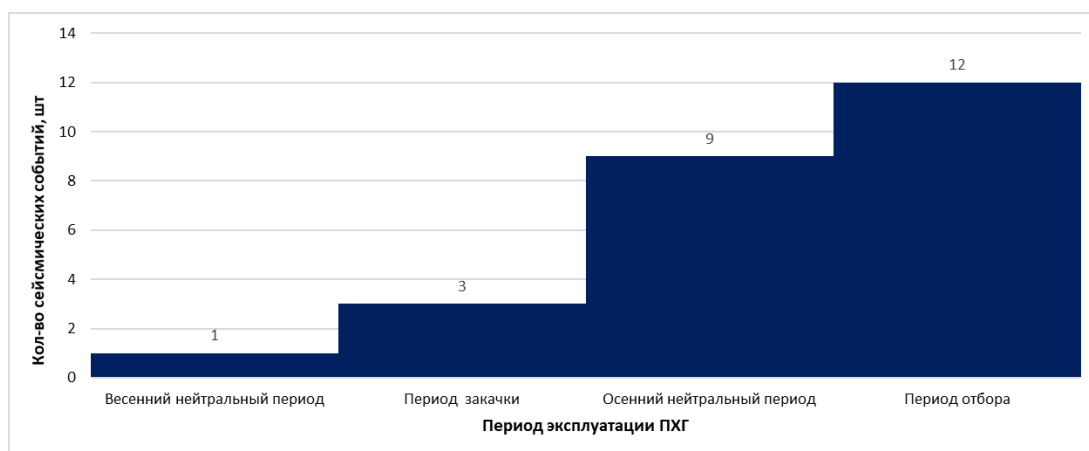


Рисунок 3.11 - Сейсмические события на Песчано-Уметском ПХГ в периоды его эксплуатации.

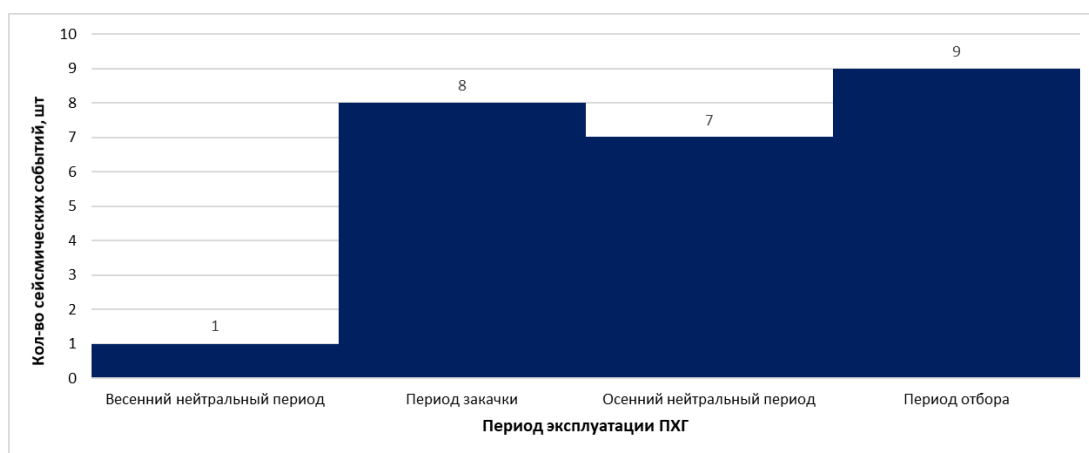


Рисунок 3.12 - Сейсмические события на Елшано-Курдюмском ПХГ в периоды его эксплуатации.

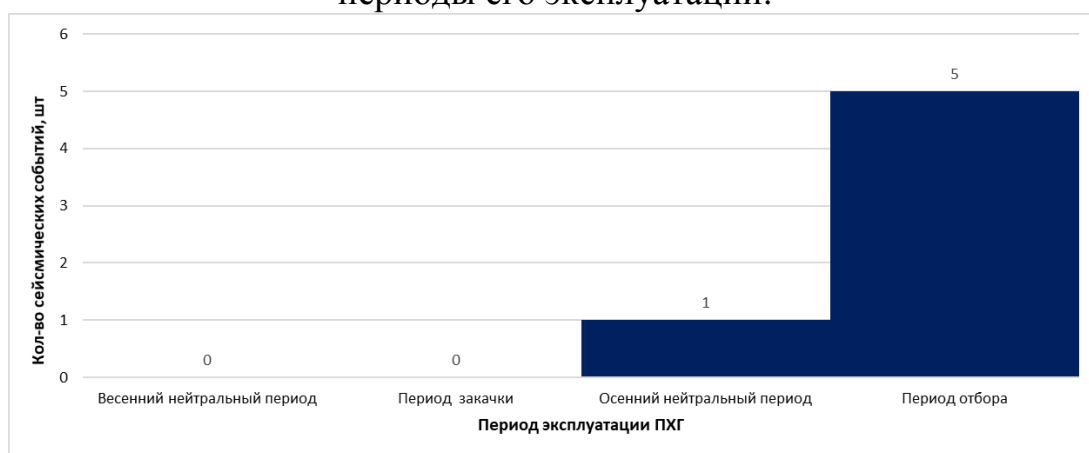


Рисунок 3.13 – Сейсмические события на Степновском ПХГ в периоды его эксплуатации.

Рассматривая совместно графики, приведенные на рисунках 3.5-3.7, и данные диаграммы можно отметить, что сейсмические события не происходят в весенний нейтральный период, когда давление в пласте-коллекторе стремится к минимальному значению. Напротив, при повышении давления и достижении им максимального значения регистрируются сейсмические события. Наиболее четко данную закономерность можно проследить на Песчано-Уметском ПХГ. Данное хранилище расположено ближе всего к активному разлому, что уменьшает задержку во времени между изменением давления и сейсмической активностью. Также согласно проектным решениям, предусматривается совместная эксплуатация тульского и бобриковско-кизеловского горизонтов, что не требует дополнительных изучений степени влияния каждого продуктивного пласта на сейсмичность. За три года было зарегистрировано всего одно событие в весенний нейтральный период. Его

можно отнести к техногенному, так как в 2007 году давление в хранилище имело высокие значения, что оказало значительное техногенное влияние в этом сезоне. В период закачки, было зарегистрировано три события, произошедшие в конце самого периода, за исключением одного, произошедшего в мае 2006 года. Однако, его природу также можно считать техногенной, давление в пасте-коллекторе на момент события было более 60 кгс/см². Остальные события (84% от общего количества) происходили при высоких пластовых давлениях.

Для формальной оценки наблюдаемой связи используем критерий Спирмена [Stanton & Glantz, 1994]. Преобразуем данные рис. 3. 11 в следующие строки переменных:

- период эксплуатации: 1-й, 2-й, 3-й, 4-й;
- количество сейсмических событий: 1, 3, 9, 12.

Для оценки ранговой корреляции Спирмена (R_s) необходимо упорядочить данные в приведенных строках по возрастанию и заменить их значения рангами, т.е. их номерами в упорядоченном ряду. Представим исходные, упорядоченные и ранжированные значения двух рассматриваемых переменных в виде таблицы:

Таблица 3.1.

Данные для вычисления коэффициента ранговой корреляции Спирмена

Значения первой переменной			Значения второй переменной			Разность рангов, d
Исходные	Упорядоченные	Ранги	Исходные	упорядоченные	ранги	
1-й	1	1	1	1	1	0
2-й	2	2	3	3	2	0
3-й	3	3	9	9	3	0
4-й	4	4	12	12	4	0

По данным таблицы 3.1 вычислим исходный коэффициент ранговой корреляции Спирмена по формуле:

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n^3 - n} = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3.1)$$

Поскольку $d = 0$, получим $R_s = 1$

Значение коэффициента ранговой корреляции $R_s = 1$ указывает на то, что существует связь между периодом эксплуатации ПХГ и количеством сейсмических событий в заданной области.

Оценим достоверность такого вывода, т.е. не объясняется ли полученное значение R_s случайностями разного рода, иными словами, проверим гипотезу об отсутствии связи, $R_s = 0$.

В нашем случае критическая область коэффициента ранговой корреляции Спирмена определяется для различных уровней значимости и объемов выборки и переменные имеют всего $n = 4$ градации (см. табл. 3.2).

Таблица 3.2

Критические значения коэффициента ранговой корреляции Спирмена [Stanton & Glantz, 1994].

Уровень значимости q									
n	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001
4	0,600	1,000	1,000						
5	0,500	0,800	0,900	1,000	1,000				
6	0,371	0,657	0,829	0,886	0,943	1,000	1,000		
7	0,321	0,571	0,714	0,786	0,893	0,929	0,964	1,000	1,000
8	0,310	0,524	0,643	0,738	0,833	0,881	0,905	0,952	0,976

При $n = 4$ по таблице 3.2 делаем вывод, что наличие связи между переменными в рассматриваемой задаче можно признать только при уровне значимости $q = 0.2$, т.е. с вероятностью 0.8 приведенные на рисунке 3.11 данные можно рассматривать как свидетельство того, что связь действительно имеет место. Аналогичные выводы можно сделать по рисункам 3.12 ($R_s = 0,7$) и 3.13 ($R_s = 1$).

В качестве дополнительного аргумента, исключающего случайное совпадение периодов эксплуатации ПХГ и сейсмических событий, рассмотрим даты окончания сезона закачки газа 2006 и 2007 гг. на Песчано-Уметском ПХГ. В 2006 году закачка была остановлена 11 сентября и первое сейсмическое событие было зарегистрировано уже спустя 5 дней. В 2007 году закачка газа была остановлена 16 июля, а в начале августа началось

повышение уровня сейсмической активности. Аналогичная задержка во времени ранее была отмечена в работе [Tang et al, 2015].

Таким образом, можно утверждать, что большинство сейсмических событий произошло в период, когда давление газа в ПХГ достигало максимального значения, то есть в конце сезона закачки газа, в осенний нейтральный период и в первые месяца отбора.

Анализ расположения эпицентров землетрясений.

Данные о проявлении сейсмичности в зоне радиусом 100 км от ПХГ представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Сейсмические события в районе расположения Саратовских ПХГ

№	Дата	Время в очаге (по Гринвичу)	Координаты эпицентра,		Глубина, км	Магнитуда	Примечание
			φ, N	λ, E			
1	04.02.2005	15:02:04	51,92	48,01	11	1,6	88 км от Степновского ПХГ
2	05.02.2005	11:54:18	51,93	48,08	6,6	1,6	92 км от Степновского ПХГ
3	05.02.2005	13:39:39	51,89	47,95	14	1,6	83 км от Степновского ПХГ
4	16.02.2005	00:54:51	51,84	47,92	23	1,0	78 км от Степновского ПХГ
5	07.01.2006	14:40:47	51,88	47,08	30	1,8	48 км от Степновского ПХГ 100 км от Песчано-Уметского ПХГ 78 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
6	09.01.2006	01:52:20	51,74	47,78	10	2,0	64 км от Степновского ПХГ
7	02.05.2006	19:24:43	51,50	45,10	10	1,6	35 км от Песчано-Уметского ПХГ 51 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
8	28.08.2006	21:06:15	51,31	45,15	8	1,5	40 км от Песчано-Уметского ПХГ 60 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
9	02.09.2006	20:49:05	51,27	45,04	11	1,6	48 км от Песчано-Уметского ПХГ 68 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
10	16.09.2006	17:02:51	51,39	45,04	9	1,0	42 км от Песчано-Уметского ПХГ 60 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
11	26.09.2006	08:27:44	51,44	45,15	8	1,2	33 км от Песчано-Уметского ПХГ 51 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
12	12.10.2006	02:19:26	51,38	45,60	11	1,5	15 км от Песчано-Уметского ПХГ 31 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
13	22.11.2006	22:40:47	50,94	44,33	3	2,0	85 км от Песчано-Уметского ПХГ 100 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
14	23.11.2006	04:39:30	51,56	45,50	8	1,8	8 км от Песчано-Уметского ПХГ 23 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
15	01.12.2006	12:50:39	51,20	45,18	13	2,3	47 км от Песчано-Уметского ПХГ 66 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
16	10.12.2006	02:45:24	51,49	44,31	6	2,2	85 км от Песчано-Уметского ПХГ 100 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
17	31.01.2007	08:48:08	51,32	45,56	7	1,6	22 км от Песчано-Уметского ПХГ 38 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
18	05.02.2007	10:40:37	51,52	44,77	6	1,7	58 км от Песчано-Уметского ПХГ 73 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
19	12.02.2007	11:03:44	51,35	44,99	8	0,9	47 км от Песчано-Уметского ПХГ 66 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
20	22.03.2007	11:44:49	51,48	45,05	10	0,9	39 км от Песчано-Уметского ПХГ 51 км от Елшано-Курдюмского ПХГ

21	08.08.2007	19:52:11	51,13	44,87	3	1,5	68 км от Песчано-Уметского ПХГ 88 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
22	08.08.2007	20:27:18	51,28	44,77	2	1,4	64 км от Песчано-Уметского ПХГ 85 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
23	05.09.2007	18:48:57	51,46	44,87	9	1,6	51 км от Песчано-Уметского ПХГ 68 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
24	26.09.2007	17:14:19	51,42	44,99	13	1,5	44 км от Песчано-Уметского ПХГ 62 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
25	01.10.2007	01:32:08	51,50	45,01	13	1,5	41 км от Песчано-Уметского ПХГ 57 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
26	10.10.2007	01:00:48	51,49	45,04	13	1,7	40 км от Песчано-Уметского ПХГ 55 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
27	24.10.2007	08:58:23	51,56	46,72	17	2,7	17 км от Степновского ПХГ 84 км от Песчано-Уметского ПХГ 66 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
28	24.10.2007	23:16:29	51,28	45,10	13	1,9	44 км от Песчано-Уметского ПХГ 65 км от Елшано-Курдюмского ПХГ
29	28.10.2007	15:52:05	51,42	45,71	5	2,3	10 км от Песчано-Уметского ПХГ 21 км от Елшано-Курдюмского ПХГ

Как видно из приведенных в таблице данных, все сейсмические события попадают в зону геодинамического влияния ПХГ, то есть все они могли быть связаны с работой ПХГ.

Елшано-Курдюмское и Песчано-Уметское ПХГ свое геодинамическое влияние распространяет на дислокации Елшано-Сергиевского грабена и, связанных с ним разломов Саратовских и Карамышско-Доно-Медведицких дислокаций, а геодинамическое влияние Степновского ПХГ распространяется на новейшие разломы СЗ-ЮВ простирания Степновского вала и разлом ЮЗ-СВ простирания от юго-восточной части Степновского вала до Балаковского грабена.

Сейсмические события непосредственно вблизи ПХГ.

Часть сейсмических событий (№ 12, 14, 27, 29 из таблицы 3.3) произошли непосредственно вблизи ПХГ, на расстоянии не более 20 км от них (см. рис. 3.2). Заметим, что существовавшая в то время сейсмологическая сеть была создана для наблюдений за сейсмичностью региона, что не учитывало требований, предъявляемых к мониторингу техногенной сейсмичности, и не позволило зарегистрировать более слабые сейсмические события в зонах техногенного воздействия [Butler & Simser, 2017].

Анализ расположения активизированных разломов вблизи ПХГ.

Подробное анализ тектонического строения и расположения активизированных разломов приведен в разделе 3.1. Можно полагать, что в районе расположения ПХГ имеются разломы разных порядков, активизированные на современном геотектоническом этапе развития данной территории.

Анализ изменения давления в пласте-коллекторе ПХГ.

К минимально значимым для возбуждения сейсмичности изменениям напряжений относят приливные напряжения, оцениваемые в тысячные доли МПа [Foulger et al., 2018]. Изменения давления в ПХГ составляет более 5 МПа, что на несколько порядков превышает обозначенный пороговый уровень. Изменения давления газа на ПХГ принимается достаточным при объяснении техногенных землетрясений на ПХГ [Plotnikova et al., 1996; Tang et al., 2015]. Наглядно факт активизации сейсмичности в период достижения максимального давления на ПХГ иллюстрируется для Елшано-Курдюмского и Песчано-Уметского ПХГ на рис. 3.14-3.15. Большинство событий происходят при максимальных давлениях, что констатирует связь между процессами изменения напряженно-деформированного состояния массива при эксплуатации ПХГ и сейсмической активностью района.

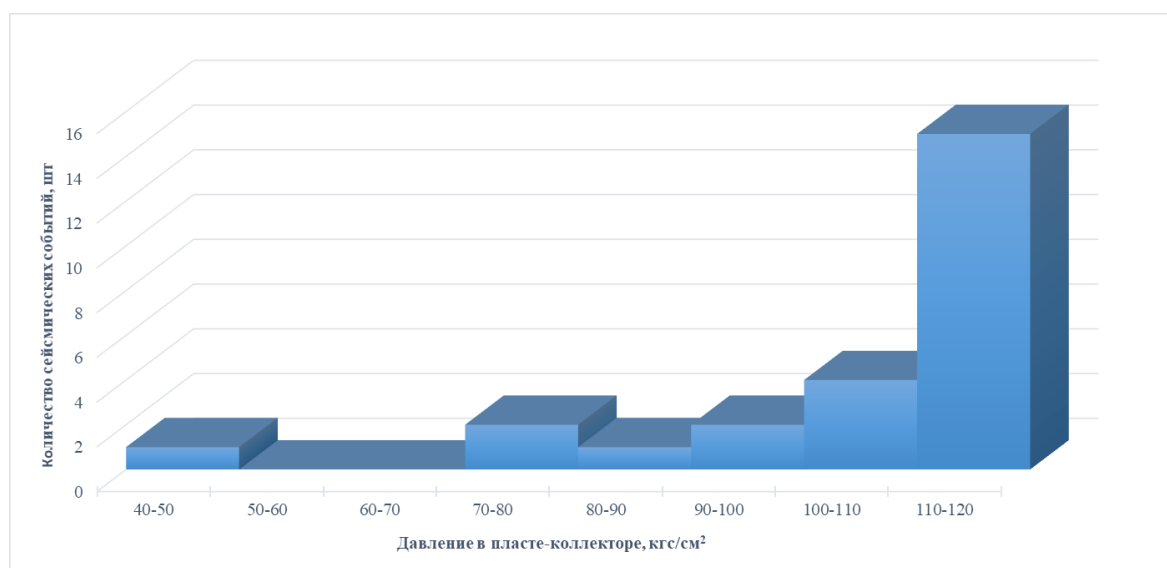


Рисунок 3.14 - Диаграмма связи величины пластового давления и количества сейсмических событий для Песчано-Уметского ПХГ.

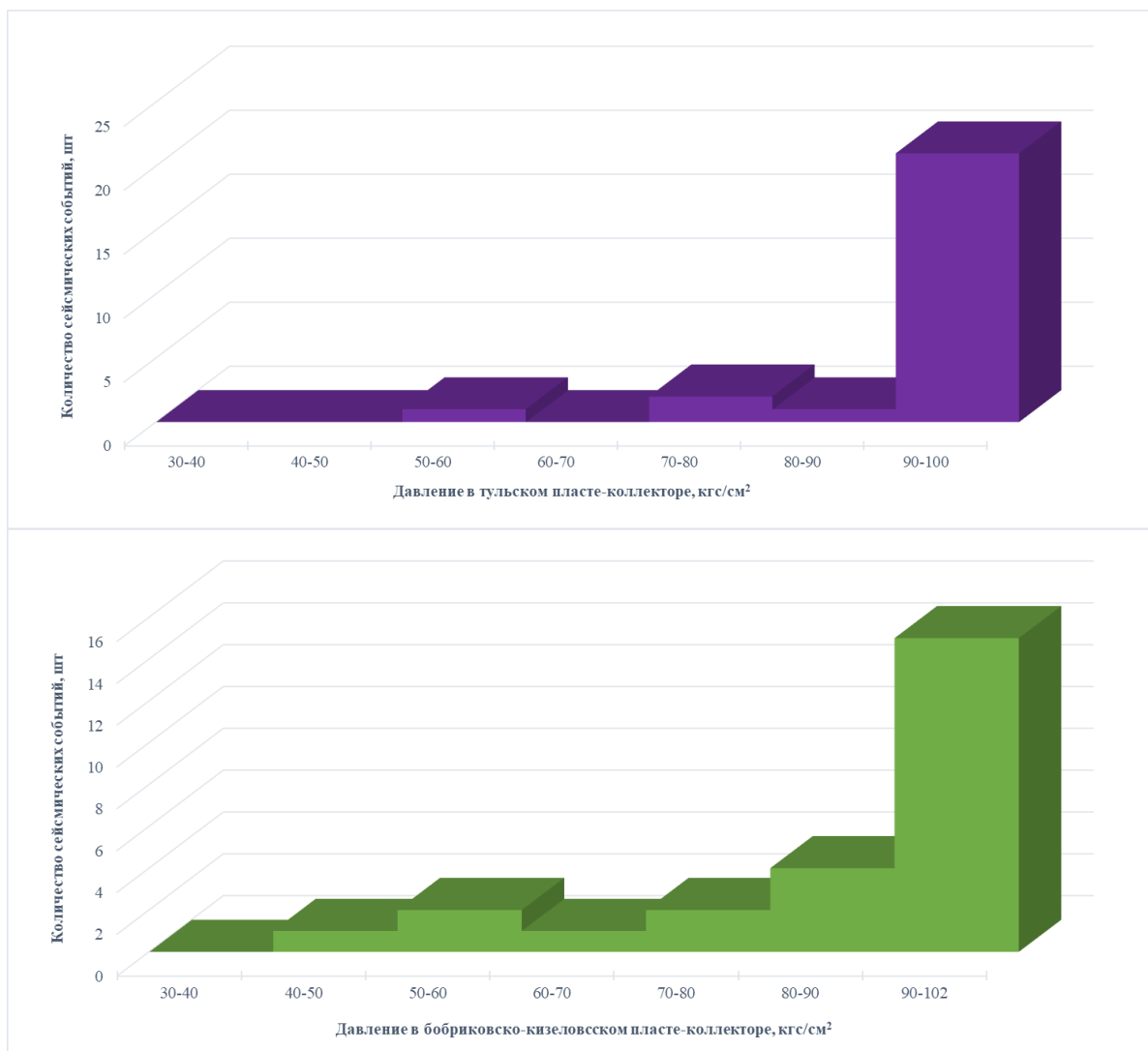


Рисунок 3.15 - Диаграммы связи величины пластового давления и количества сейсмических событий для пластов-коллекторов Елшано-Курдюмского ПХГ.

Как можно видеть из рис. 3.11-3.13 наибольшее количество сейсмических явлений происходит в период отбора газа (снижения пластового давления). Наблюдаемый эффект может быть связан с явлением разупрочнения массива при снижении всестороннего сжатия. Первоначально, при закачке газа и повышении давления, ПХГ взаимодействует с массивом, в связи с чем возникает эффект его упрочнения за счет изменения напряженного состояния и появлении зоны повышенного горного давления (ПГД). При снижении давления в ПХГ уменьшаются и напряжения в массиве, вследствие чего его прочность снижается, что провоцирует процесс его толчкообразного деформирования с выделением сейсмической энергии. Реализации такого

периодического процесса может способствовать существование в верхней части земной коры участков предельно напряженного состояния [Batugin, 2021]. При локализации таких участков вблизи ПХГ возникающие нагрузки от повышения давления газа передаются на массив, что ведет к переходу в предельно-напряженное состояние новых (соседних) участков земной коры и проявляется как сейсмический процесс. Последующее снижение давления газа провоцирует дальнейшее разрушение этих участков массива в динамической форме. Похожий геодинамический эффект отмечен, например, при исследовании природы и механизма горных ударов. Явление возникновения динамических явлений (горных ударов с сейсмическим эффектом по механизму “fault-sleep”) объясняется снижением нормального сжатия сместителей нарушений в зонах разгрузки [Батугин, 1996]. Таким образом, эффектом возникновения предельно напряженного состояния массива в окрестности ПХГ как при повышении, так и понижении давления газа и последующим толчкообразным деформированием с возможной реактивацией тектонических нарушений можно объяснить наблюдаемые на рис. 3.5-3.10 сейсмические активизации в период отбора газа. На рис. 3.5-3.15 можно видеть, что отмечается практически полное совпадение фаз максимального достижения и последующего снижения пластового давления на ПХГ с увеличением количества местных сейсмических событий.

Таким образом, для районов расположения рассматриваемых ПХГ можно отметить выполнение всех условий, по которым сейсмические события на объектах освоения недр относят к техногенным, таблица 3.4.

Таблица 3.4

Оценка техногенной природы сейсмичности в районе Елшано-Курдюмского, Песчано-Уметского, Степновского ПХГ (с адаптацией разработок из работ [Davis and Frohlich, 1993; Dahm et al., 2012])

Признак техногенной природы землетрясения	Выполнение для районов расположения ПХГ			Примечание
	Елшано-Курдюмское	Песчано-Уметское	Степновское	
1. Были ли отмечены ранее сейсмические события подобного генезиса в этом районе?	Нет	Нет	Нет	Изучается впервые
2. Имеется ли корреляция между эксплуатацией ПХГ и сейсмичностью?	Да	Да	Да	См. рис. 3.11-3.13
3. Как близко от ПХГ расположены эпицентры? Или: расположены ли эпицентры в зоне геодинамического влияния ПХГ?	Да	Да	Да	См. рис.3.2
4. Произошли ли некоторые сейсмические события непосредственно вблизи ПХГ?	Да	Да	Да	См. рис.3.2
5. Имеются ли вблизи активированные разломы?	Да	Да	Да	См. рис. 3.2
6. Достаточно ли изменение давления в емкости ПХГ для возбуждения сейсмичности?	Да	Да	Да	См. рис. 3.5-3.7

3.4. Выводы по главе.

Анализ ситуации с проявлением сейсмичности в районе Песчано-Уметского, Елшано-Курдюмского и Степновского ПХГ позволяет сделать вывод о том, что эксплуатация ПХГ является причиной техногенной сейсмичности в данном районе. Наблюдается широкий перечень признаков, указывающих на связь режима эксплуатации ПХГ и циклического характера проявления сейсмичности: до начала эксплуатации ПХГ техногенная сейсмичность в этом районе не была известна; имеется несомненная корреляция между режимом эксплуатации ПХГ и сейсмичностью; эпицентры сейсмических явлений расположены в зоне геодинамического влияния ПХГ, в регионе имеются разломы земной коры, испытавшие активизацию в позднекайнозойское время и реагирующие на сильные землетрясения соседних тектонических районов, что указывает на их предрасположенность к реактивации; изменение давления в ПХГ достаточно для возбуждения сейсмичности.

В данном исследовании впервые для условий российских ПХГ установлено явление возникновения техногенной сейсмичности при их эксплуатации.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА.

Учитывая вышеприведенные доказательства о наличии техногенной сейсмичности в районах расположения подземных хранилищ газа, а также проявление активизации разломных зон за пределами горного отвода, предлагается создать двухуровневую систему геодинамического мониторинга. Предложенная система состоит из локального геодинамического полигона, позволяющего контролировать деформации горных пород в разломных зонах маркшейдерско-геодезическими методами, и территориального, направленного на контроль сейсмической активности в районе расположения ПХГ. Предлагаемый новый научно-технический подход по проведению геодинамического мониторинга на ПХГ предназначен для комплексного изучения происходящих геодинамических и геомеханических процессов в районе подземного хранилища газа [Шевчук, 2021].

На этапе проведения геологоразведочных работ осуществляется изучение территории создания ПХГ: оцениваются сейсмичность и техногенная нагрузка района, а также выполняется геодинамическое районирование. По результатам проведенного изучения района проектирования осуществляется построение геолого-геомеханической модели ПХГ и разрабатывается горно-геологическое обоснование [Рационализаторское предложение, 2020]. Следующим этапом выполняется разработка проекта комплексного геодинамического полигона, включающего территориальный и локальный геодинамические полигоны.

4.1. Обоснование площади территориального геодинамического полигона.

Взаимодействие между объектами освоения недр известное явление в геомеханике и геодинамике, нашедшее, в том числе, отражение в нормативных документах. В первую очередь оценка размеров зоны влияния горных выработок важна при решении вопросов геодинамической

безопасности. На основе принципа Сен-Венана, взаимодействие объектов происходит в зоне, не превышающей трехкратного размера геомеханического возмущения.

Однако, результаты различных геолого-геодинамических и геомеханических исследований и сопоставление событий приводят многих исследователей к выводу, что геодинамическое взаимодействие может происходить и между объектами, расположенными друг от друга на больших расстояниях. Например, в работе [Батугина, Петухов, 1988] в качестве примера взаимодействия между глобальными и локальными геодинамико-геомеханическими процессами рассматриваются последствия горного удара 1986 г. на Таштагольском руднике. Смещение крыльев по шахтному дизъюнктиву связывается авторами со смещением по границе Евразийской и Индийской плит. В работе [Kundu et al, 2015] сейсмическое событие с магнитудой 7,8 авторы связывают со взаимодействием обширной области отбора подземных вод и также процессами на границе Евразийской и Индийской плит. В работе [Константинова и др., 1997] проводится связь с аварией на Верхнекамском месторождении калийных солей и высокой техногенной нагрузкой во всем Соликамско-Березниковском районе Пермской области. Неоднократно в научной литературе высказывалось мнение о высокой техногенной нагрузке в Кузбассе, с чем связывают проявление техногенной сейсмичности [Яковлев, Лазаревич, 2013]. В работе [Адушкин, Турунтаев, 2015] авторы делают предположение о взаимном геодинамическом влиянии ареалов закрытых шахт Инты и Воркуты (более 200 км), которое нашло отражение в характере сейсмического процесса в регионе. В работе [Kamnev et al., 2018] важным признается оценка региональной составляющей геодинамических процессов при строительстве и эксплуатации подземного хранилища радиоактивных отходов, размеры геодинамического полигона составляют десятки километров.

В работе [Панжин, 2007] теоретически и экспериментально обосновываются размеры внешней зоны деформирования массива в районе

горных разработок, достигающей 20-30 средних радиусов выработанных пространств. Эти оценки коррелируют с данными В.А. Смирнова (ВНИМИ) о размере области подготовки очага горного удара, составляющей до 15 размеров его очага [[Смирнов, 1991](#)]. Также в сейсмологии известны оценки дальней зоны подготовки землетрясений, достигающей 20-30 радиусов очаговой зоны.

И.М. Петухов высказал идею о предельно напряженном состоянии верхней части земной коры, возникающем за счет горизонтального тектонического сжатия в слое от поверхности до некоторой глубины. Глубина перехода массива горных пород в предельно напряженное состояние зависит от величин тектонических напряжений. В этой зоне предельно напряженного состояния отдельные части массива (блоки) сохраняют способность накапливать энергию упругого сжатия.

Поскольку величина запасенной энергии упругого сжатия в слое предельно напряженного состояния пропорциональна квадрату величин действующих тектонических напряжений, то одинаковое техногенное воздействие на массив может вызвать его различную динамическую реакцию, сила которой зависит от мощности этого слоя. В соответствии с этим в работе [[Батугин, Шевчук и др., 2021](#)] предлагается выделить участки 1-4 степени по геодинамической опасности. Поскольку очаг сейсмического события, как область разрушения, представляет собой участок предельно напряженного состояния массива, то мощность слоя земной коры, находящегося в предельно напряженном состоянии, может быть определена по глубине распространения сейсмоактивного слоя, а конфигурация участков – по геометрии блоков земной коры.

На основании имеющихся представлений о предельно напряженном состоянии земной коры предлагается выполнять оценку геодинамического взаимодействия объектов освоения недр. Слой предельно напряженного состояния земной коры можно представить состоящим из ячеек массива, находящихся в предельно напряженном состоянии, дискретно

распределенных в объеме этого слоя. Сами эти ячейки, в силу принципа иерархичности, также могут состоять из множества ячеек более низшего ранга, находящихся в предельно напряженном состоянии. Строение одной из ячеек слоя предельно напряженного состояния земной коры можно пояснить с помощью рисунка 4.1, на котором показаны очаги сейсмических явлений при техногенном воздействии на массив, в частности, закачку жидкости под давлением [Foulger et al., 2018].

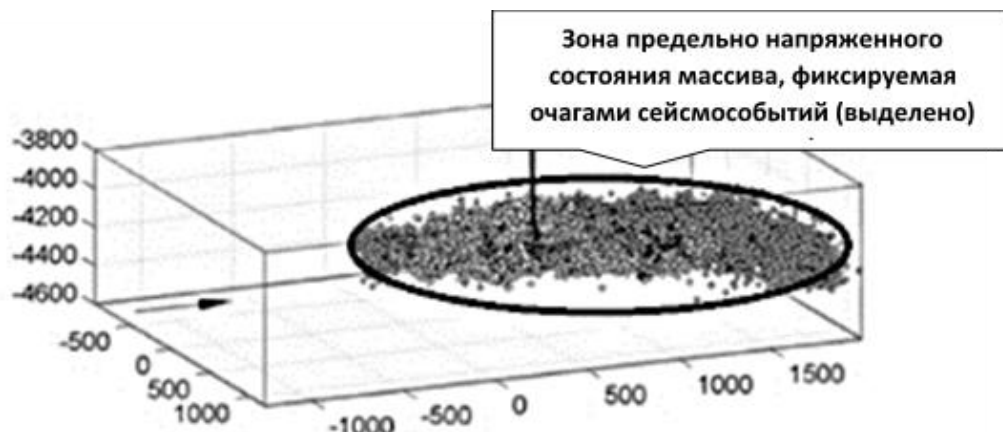


Рисунок 4.1. - Формирование зоны предельно напряженного состояния при гидровоздействии на массив, Австралия, с добавлением авторов работы [Foulger et al., 2018].

Самые крупные такие ячейки могут иметь размеры по вертикали от поверхности до глубины распространения сейсмоактивного слоя. При техногенном воздействии на такую ячейку, на зону предельно напряженного состояния, начинается процесс перераспределения напряжений, сопровождающийся пригрузкой ее периферийных частей. Аналогично тому, как воздействие на забой приводит к смещению максимума зоны опорного давления вглубь массива, на новые его участки, воздействие на область предельно напряженного состояния земной коры приводит к увеличению ее периферийных частей. То есть, оказывается геомеханическое воздействие на новые части массива, которые находятся от места приложения нагрузки на некотором расстоянии [Батугин, Шевчук и др., 2021]. Геодинамические процессы на этих новых участках, включая сейсмические события, возможно,

и проявляются как граница дальней зоны техногенного воздействия. Максимальный размер такой ячейки соответствует глубине сейсмоактивного слоя земной коры, т.е. мощности слоя земной коры, находящегося в предельно напряженном состоянии.

На основании вышеизложенного можем принять глубину расположения сейсмоактивного слоя земной коры (H_{ca}) за размер зоны геомеханического возмущения. Тогда, опираясь, на приведенные в разделе теоретические заключения и на опубликованные результаты экспериментальных исследований примем, что максимальный радиус геомеханического влияния объекта освоения недр составляет в среднем $(10-20)H_{ca}$.

Поскольку геодинамическое взаимодействие объектов рассматривается как важный геоэкологический фактор, параметры геодинамического полигона предлагается выбирать с учетом суммарной площади взаимодействующих между собой зон геодинамического взаимодействия объектов освоения недр. В районе геодинамически опасного объекта освоения недр учитывают пространственное расположение всех i таких геодинамически опасных объектов и параметры геодинамического полигона выбирают с учетом суммарной площади взаимодействующих между собой зон геодинамического взаимодействия объектов освоения недр.

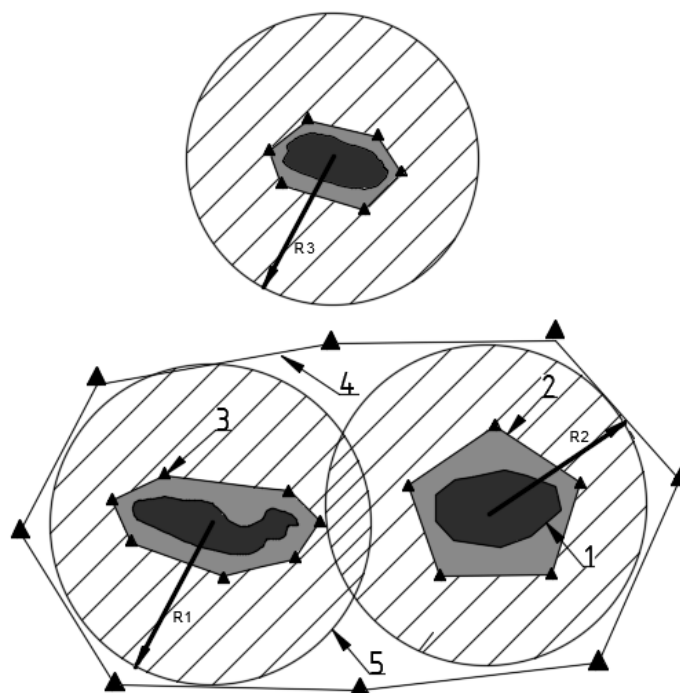
Для этого оценивают мощность H_{ca} слоя земной коры, находящегося в предельно напряженном состоянии в районе каждого из этих i объектов. Размеры R_i зоны геодинамического взаимодействия объектов освоения недр предлагается оценивать по формуле:

$$R_i = nH_{ca} \quad (4.1)$$

где: n - соотношение между размером очага землетрясения и размером области его подготовки;
 H_{ca} - мощность слоя земной коры, находящегося в предельно напряженном состоянии;
 R - области подготовки землетрясения.

Полученное пространственное расположение областей R_i подвергается анализу и при их пересечении геодинамический полигон закладывают таким

образом, чтобы он включал все области R_i , имеющие взаимные пересечения.
(см. рис. 4.2) [Патент РФ № 2020139743].



- Условные обозначения:
- 1 - контур геодинамически опасного объекта;
 - 2 - территория локального геодинамического полигона и локальная сейсмологическая сеть 3;
 - 4 - контур объединенного (территориального) геодинамического полигона
 - 5 - зоны геодинамического взаимодействия объектов освоения недр с линейным размером R_i .

Рисунок 4.2 - Площадь объединенного геодинамического полигона для нескольких геодинамически взаимодействующих объектов.

Приведенный выше способ был использован при доказательстве в третьей главе возникновения техногенной сейсмичности, вызванной эксплуатацией Саратовских подземных хранилищ газа. Одно из сильных сейсмических событий данного района с магнитудой более 3 произошло в области взаимного влияния всех трех объектов. Учитывая расположение подземных хранилищ газа, а также имеющиеся данные по глубинам очагов сейсмических событий (см. табл. 3.3) принято $H_{ca} = 10$ км. Среднее значение для соотношения $R/H_{ca}=10$. С учетом $n = 10$ и $H_{ca} = 10$ км. соответственно получим $R = 100$ км. На рисунке 4.3 цветной заливкой показано предполагаемое взаимодействие подземных хранилищ газа друг с другом.

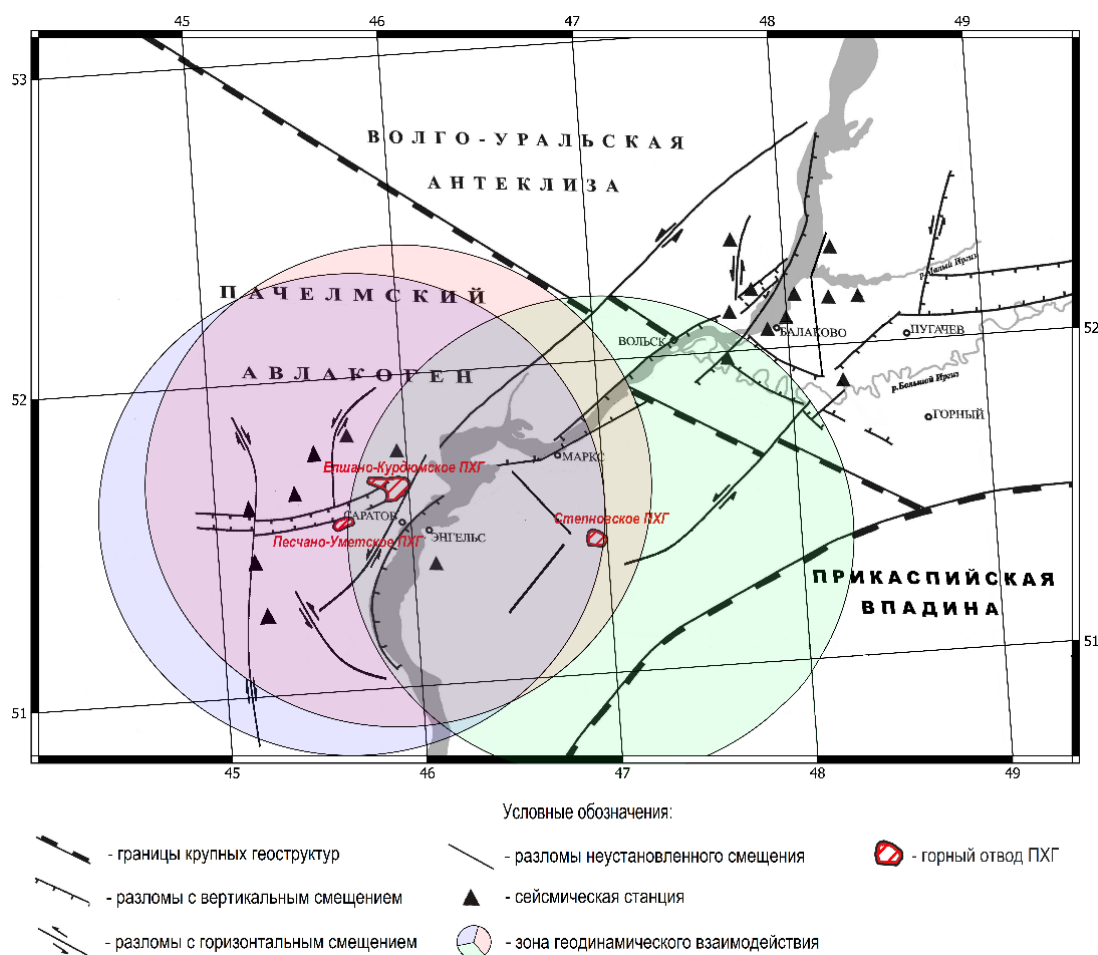


Рисунок 4.3. – Схема геодинамического взаимодействия ПХГ в Саратовской области.

В связи с вышеприведенной гипотезой и примером на Саратовском кусте ПХГ актуальным является вопрос о создании для каждого подземного хранилища газа нашей страны территориального геодинамического полигона, основанного на сейсмологических наблюдениях, которые позволяют регистрировать геодинамические процессы в недрах с оценкой их глубины непрерывно [Shevchuk et al., 2019; Шевчук и др., 2021].

4.2. Обоснование параметров локального геодинамического полигона.

Как было доказано во второй главе, влияние эксплуатации подземного хранилища газа регистрируется за пределами горного отвода, что нужно учитывать при создании локального геодинамического полигона. Данный вопрос требует детального изучения, однако, на сегодняшний день, основываясь на эмпирических данных, в данной работе предложено размеры

локального геодинамического полигона на ПХГ определять с учетом расстояния (А) от границ горного отвода, которое должно быть не менее:

$$A = 3H \times \operatorname{ctg} \delta, \quad (4.2)$$

где Н - максимальная глубина кровли эксплуатируемого пласта-коллектора на границах контура ГВК;
 δ - граничный угол.

Также по результатам имеющихся наблюдений на геодинамических полигонах подземных хранилищ газа было доказано, что знакопеременный процесс сдвижения земной поверхности слабо выражен и не способен привести к негативным геоэкологическим последствиям. В связи с этим практическая значимость существующих подходов по созданию профильных линий, пересекающих весь горный отвод, не высока при высоких затратах на мониторинг.

Основываясь на данном заключении, предложено локальный геодинамический полигон на подземных хранилищах газа создавать как совокупность профильных линий, приуроченных к выявленным опасным зонам. Реализация предлагаемого научно-производственного подхода возможна на основании того, что ширина зон динамического влияния разломов, влияющих на протекание геодинамических и геомеханических процессов на участках освоения недр, ограничена и зависит от амплитуды смещения крыльев разлома.

При разработке горно-геологического обоснования по результатам геологических, геоморфологических, геохимических, геофизических и других методов определяется ширина зон динамического влияния разломов (В). Считаем, что за пределами этой зоны влияние от разлома отсутствует. Таким образом геодезические сети принимаются длиной (L) не менее $B + 2l$ поперек зон влияния разломов, где l – расстояние между реперами, при этом $l \geq 100$ м. Конфигурацию профиля на местности создают таким образом, чтобы в каждом крыле разлома не менее чем одна твердая сторона располагалась бы за пределами зоны влияния разлома (см. рис. 4.4) [Патент РФ № 2020139742].

Предложенный подход позволяет повысить точность наблюдений и сократить затраты на проведение маркшейдерско-геодезических измерений, так как опорные репера находятся вблизи исследуемой зоны, что не требует проложения ходов большой протяженности от фундаментальных реперов, которые находятся в непосредственной близости от горного отвода и ошибочно считаются неподвижными.

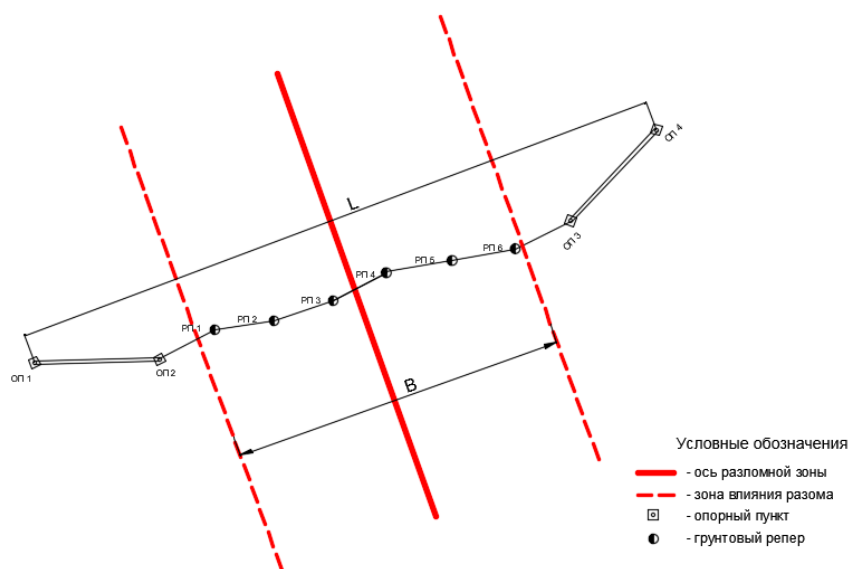


Рисунок 4.4 - Схема локальной геодезической сети на геодинамическом полигоне.

Учитывая предложенный новый подход к выбору параметров геодезических сетей на геодинамических полигонах подземных хранилищ газа, встает вопрос о необходимости создания реперов, которые будут считаться неподвижными на весь срок проведения геодинамических наблюдений. Эти репера могут быть использованы как опорные в составе профильной линии, так и исходные, находящиеся в непосредственной близости от запроектированных профильных линий, что направлено на снижение ошибки привязки опорных реперов.

Предлагается в состав геодинамического полигона включить вековые репера, представляющие собой законсервированные, разведочные или наблюдательные скважины с приваренной геодезической маркой [ГКИНП 03-010-02, 2003]. Для создания вековых реперов к использованию подлежат

только те скважины, забой которых находится ниже эксплуатируемого пласта коллектора. Подобные требования к реперам позволят максимально исключить влияние исследуемых геодинамических и геомеханических процессов на исходные пункты, что в значительной степени повысит представительность полученных данных.

Предложенный способ по созданию локальных профильных линий был внедрен на геодинамическом полигоне Невского ПХГ.

4.2.1 Тектоническая характеристика территории Невского ПХГ.

Невское ПХГ находится на территории Крестетского и Окуловского районов Новгородской области России в 70 км на юго-восток от г. Великий Новгород и в 20 км к северу-западу от пос. Крестцы. Через территорию хранилища проходит автомобильная магистраль Санкт-Петербург-Москва. Большая часть территории Невской площади занята лесами, лугами и болотами.

В тектоническом плане рассматриваемая площадь расположена в зоне сочленения Балтийского щита и Московской синеклизы. Длительное прогибание фундамента Московской синеклизы и в противовес ему - одновременное воздымание Балтийского щита, могли привести в пограничной зоне к растяжению и разрывам осадочного покрова над наиболее подвижными глыбами фундамента и смятию их в складки. К такому типу антиклинальных складок и относится Невская структура [[Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В., 2019](#)]. Невская структура расположена в наиболее активной части переходной зоны, в 60 км южнее ее северной границы в 30 км от северного борта Московской синеклизы. В связи с этим в ее строении проявились тектонические особенности, присущие как строению Балтийского щита, так и прибортовой части Московской синеклизы [[Буров Д.И., и др., 2017](#)].

Невское поднятие четко выделяется по всем горизонтам осадочной толщи. Фиксируется оно и по поверхности кристаллического фундамента, причем наблюдается соответствие структурных планов всех без исключения стратиграфических горизонтов осадочной толщи с морфологией поверхности

фундамента [Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В., 2019]. По кровле первого гдовского песчаника Невское поднятие представляет собой валообразную складку, осложненную 5-ю отдельными небольшими поднятиями амплитудой от 3-х до 8 метров (см. рис. 4.5). Следует, однако, отметить, что выделение некоторых осложнений произведено довольно условно. Общая протяженность структуры около 50 км. Простираение поднятия в южной и центральной части северо-восточное, в восточной части переходящее в субширотное. Более крутое северо-западное крыло, осложненное сбросом, переходит в узкий прогиб, максимальная глубина которого достигает 50 м. В южной части площади ширина его, по-видимому, резко сокращается.

На рисунке 4.6 представлены 3 геологических профиля по 1 гдовскому горизонту, отражающие строение центральной части Невского поднятия. На рисунке 4.7 представлен схематический профиль вдоль длинной оси Невского ПХГ (по С.И. Стражгородскому), демонстрирующий выклинивание пласта-коллектора на крайнем Северо-востоке структуры, за счет выступа кристаллического фундамента.

Погружение слоев на юго-восточном пологом крыле прослеживается на 30 м., среднее падение поверхности на участке между скважинами N 23 и N 51 по этому крылу составляет около 7 м. на 1 км.

По первому гдовскому песчанику установлен разрыв сплошности слоев, который зафиксирован в скважинах N 17 и N 32. В скважине N 17 до глубины 1022 м был вскрыт нормальный разрез гдовского горизонта, а далее отмечается появление пачки глин над вторым песчаным пластом, на глубинах 1036,4-1043,6 м - П песчаный пласт, далее нижняя глина и 1 песчаный пласт вскрытый повторно на глубинах 1064,8-1074,0 м. В скважине N 32 имеет место повторение слоев 1-го гдовского горизонта. Наличие нарушения подтверждается как по гидродинамическим материалам, так и по данным эксплуатации хранилища.

Исходя из имеющихся материалов, сделан вывод о происхождении в пределах северо-западного крыла разрывного нарушения в кристаллическом

фундаменте, которое трассируется с северо-востока на юго-запад севернее скважин N 65 и N 62 по скважине N 32, 100 м севернее скважины N 40, по скважине N 17, между скважинами N 26 и N 15 в направлении скважины N 22 (возможно западнее ее). Амплитуда смещения фундамента по разлому увеличена в северо-восточном направлении, где она превышает 40 м и уменьшается до 20 м в юго-западной прослеженной части разлома. Выше залегающие отложения гдовского горизонта также разорваны и смещены по линии разлома фундамента. Вверх по разрезу разрывное нарушение затухает в ляминаритовых глинах и переходит во флексуру, которая постепенно выполаживается вверх по разрезу.

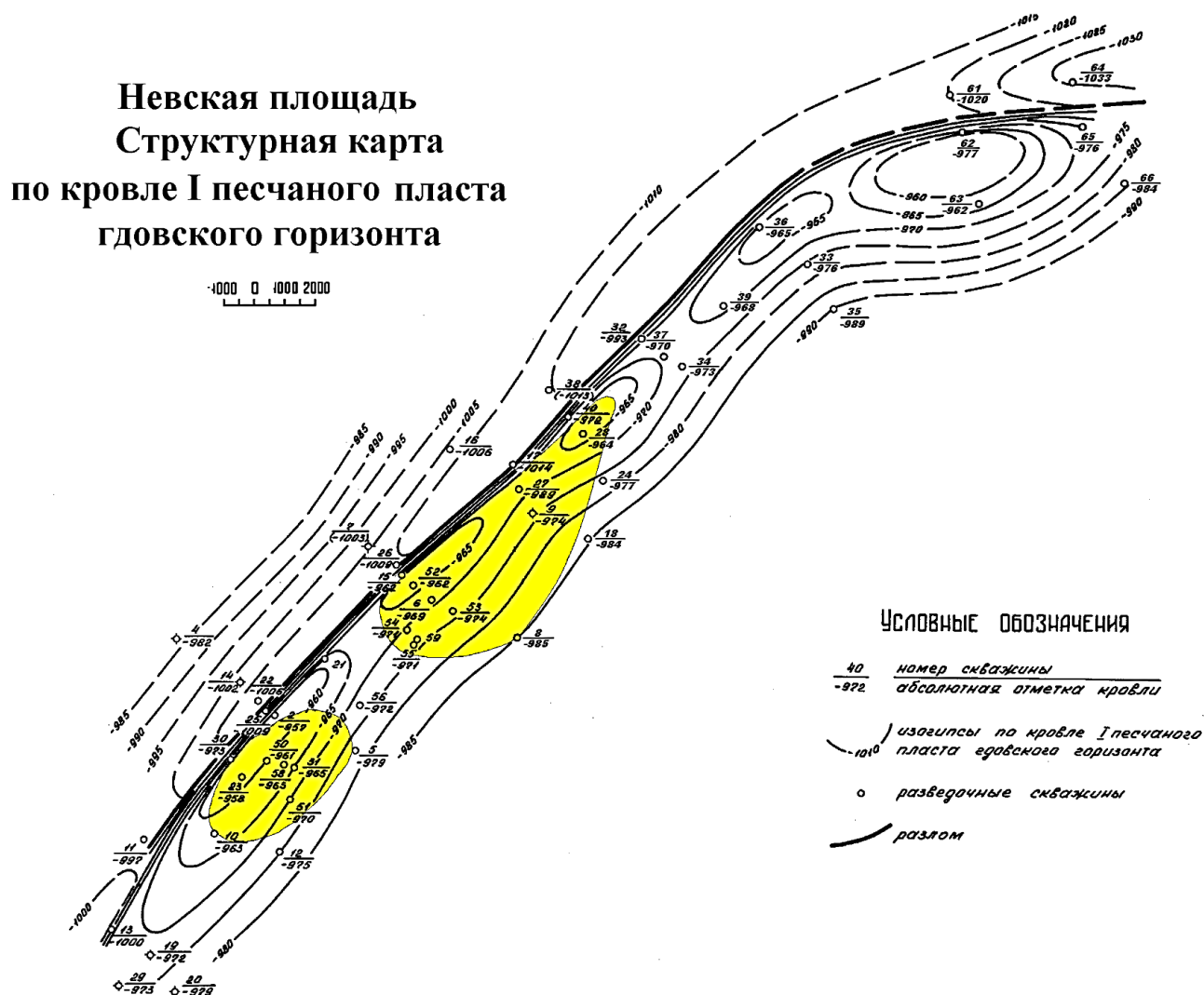


Рисунок 4.5 – Структурная карта по кровле 1-го гдовского горизонта.

Невское ПХГ

Геологические профили

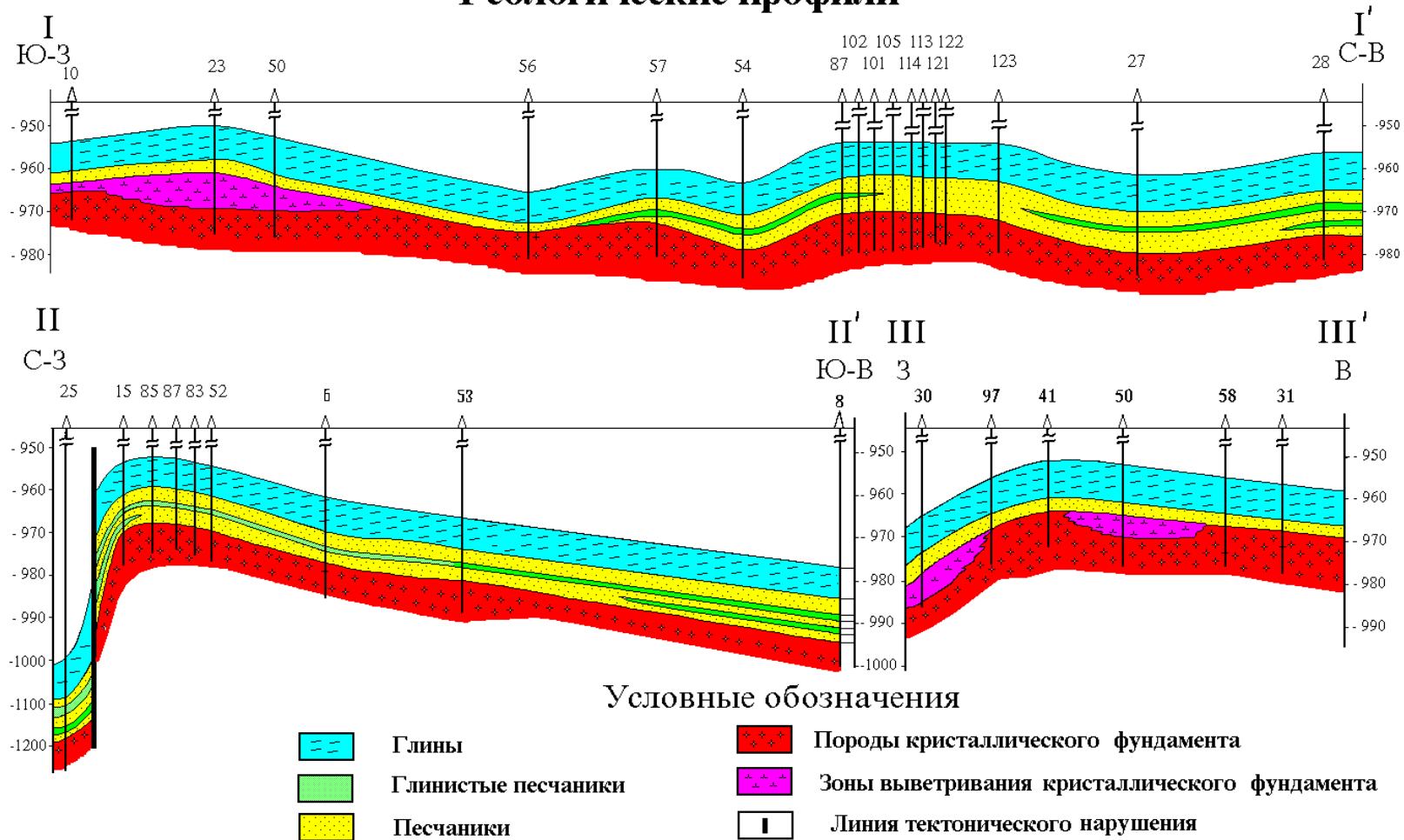
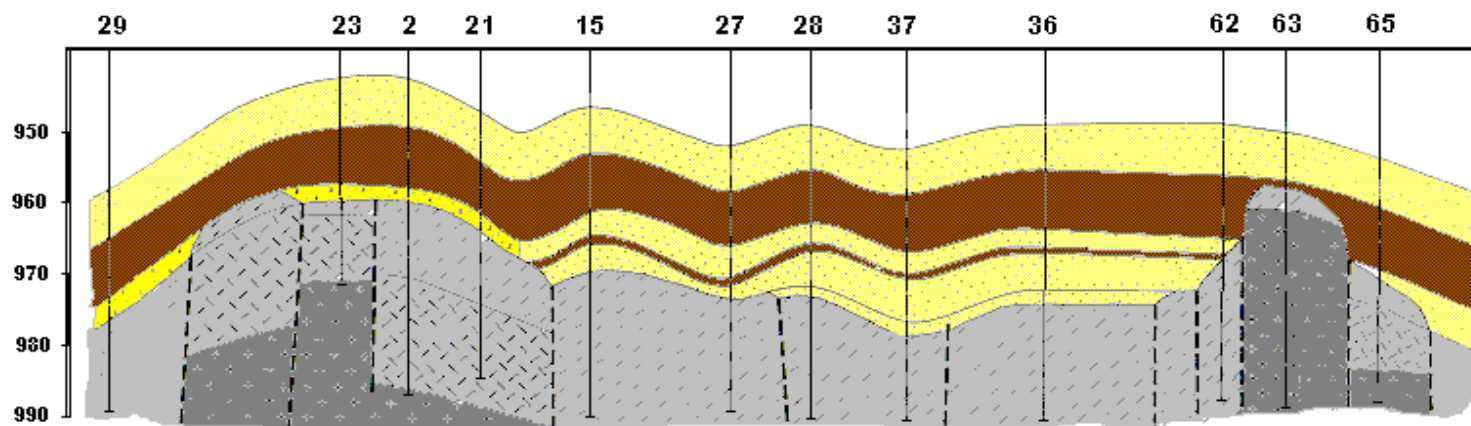


Рисунок 4.6 – Геологические профили по 1 гдовскому горизонту центральной части Невской структуры

НЕВСКОЕ ПХГ **СХЕМАТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ** (по данным С.И.Стражгородского)



Условные обозначения








	песчаники слабо сцементированные		породы фундамента		разломы предполагаемые
	песчаные породы сцементированные		кора выветривания (сильно выветрелые породы)		
	глины		кора выветривания (слабо выветрелые породы)		

Рисунок 4.7 – Схематический профиль вдоль длинной оси Невского ПХГ по данным С.И. Стражгородского.

Приведенное выше описание с достаточной степенью достоверности указывает на наличие здесь тектонического нарушения. Не исключено наличие на Невской структуре и менее значительных второстепенных разрывов и трещин, затухающих на некотором расстоянии от основного разлома. Так обращают внимание участки между скважинами N 54 и N 55, где несмотря на расположение скважин на широтном профиле, кровля фундамента и песчаник залегают на одинаковых отметках, что указывает на наличие малоамплитудной флексуры или разлома в фундаменте. Однако, достоверно их подтвердить не удалось, ввиду чего, при проектировании геодинамического полигона учитывался только основной разлом. При этом считается, что за пределами горного отвода, на расстоянии $A=1730$ м, определенном по формуле 4.2, разломные зоны также отсутствуют.

4.2.2 Расчет максимального вертикального вектора сдвижений земной поверхности.

В соответствии с п. 253 РД-07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ» при разработке горно-геологического обоснования в обязательном порядке должна быть проведена оценка вертикальных и горизонтальных составляющих векторов сдвижения.

Для оценки предельного возможного значения оседания земной поверхности принято допущение о том, что оно эквивалентно изменению мощности пласта в процессе деформации. Данное допущение ведет к искусственному завышению значений, что идет в запас при обосновании возможных геозкологических последствий. Для расчета оседания земной поверхности может быть использована формула 4.3.

$$\Delta = H(m\beta_{\text{пор}} + (1 - m)\beta_{\text{ТВ}})\Delta P, \quad (4.3)$$

где: m – пористость;
 H – эффективная мощность;
 $\beta_{\text{пор}}; \beta_{\text{ТВ}}$ – коэффициент сжимаемости порового пространства и твердой фазы;

ΔP – изменение давления в процессе разработки.

Основываясь на допущении о том, что коэффициент сжимаемости твердой фазы коллектора характеризуется маленькими величинами, а сжимаемость пласта зависит от коэффициента сжимаемости порового пространства, то будет справедлива следующая формула:

$$\Delta h = m \cdot H \cdot \beta_{\text{пор}} \cdot \Delta P, \quad (4.4)$$

где: m – пористость;
 H – эффективная мощность;
 $\beta_{\text{пор}}$ – коэффициент сжимаемости порового пространства;
 ΔP – изменение давления в процессе разработки.

Расчет максимально возможной величины оседаний земной поверхности проводился для 3 геологических профилей в программе, разработанной в Оренбургском федеральном исследовательском центре УрО РАН.

В качестве исходного материала для оценки максимального оседания земной поверхности были использованы вертикальные геологические разрезы по профилям, структурные карты по кровлям каждого продуктивного пласта, сводные геолого-геофизические разрезы, литолого-стратиграфические описания, энергетическая характеристика объектов разработки, а также данные о физико-механических свойствах горных пород.

В качестве конечных элементов рассматривается относительно однородный элемент земной коры в форме прямоугольного параллелепипеда, для которого рассчитывается величина уплотнения. По вертикали разбиение среды на конечные элементы определяется слоями пород, а по горизонтали – блоково-разломной структурой и свойствами пород геологической среды в районе ПХГ.

При составлении расчетной схемы подземного хранилища газа учитывались только основные, укрупненные элементы геологического разреза, состоящие из сходных по физико-механическим свойствам горных

пород. Расчетные модели по 3 геологическим профилям приведены на рисунках 4.8-4.10.

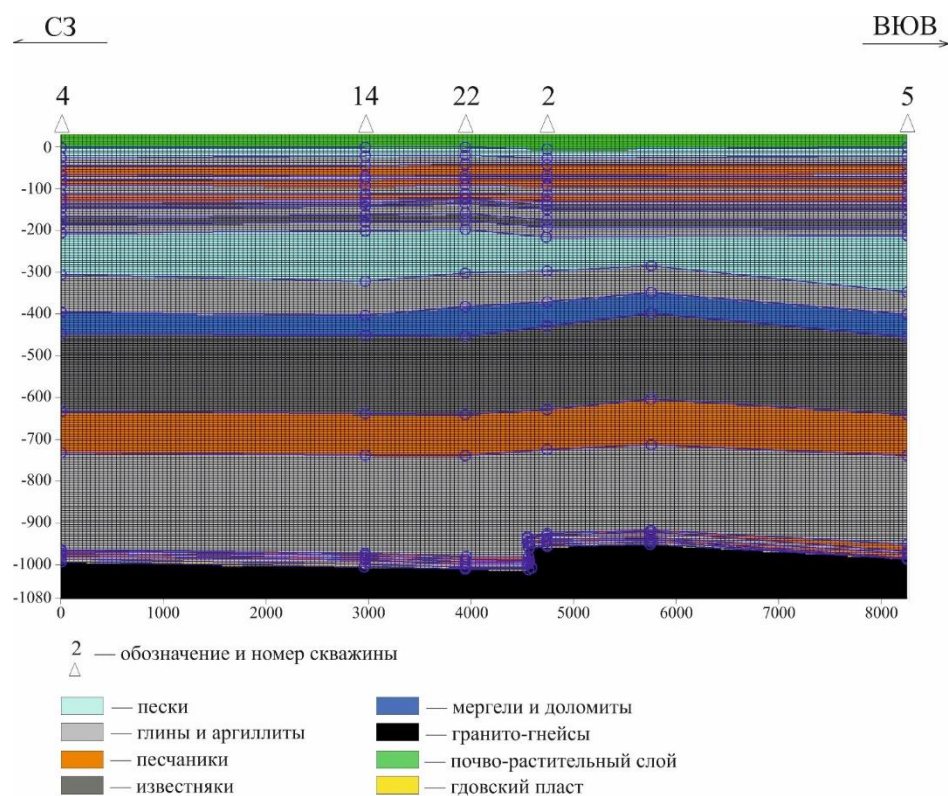


Рисунок 4.8 – Конечно-элементная модель района эксплуатации Невского ПХГ по профилю I-I.

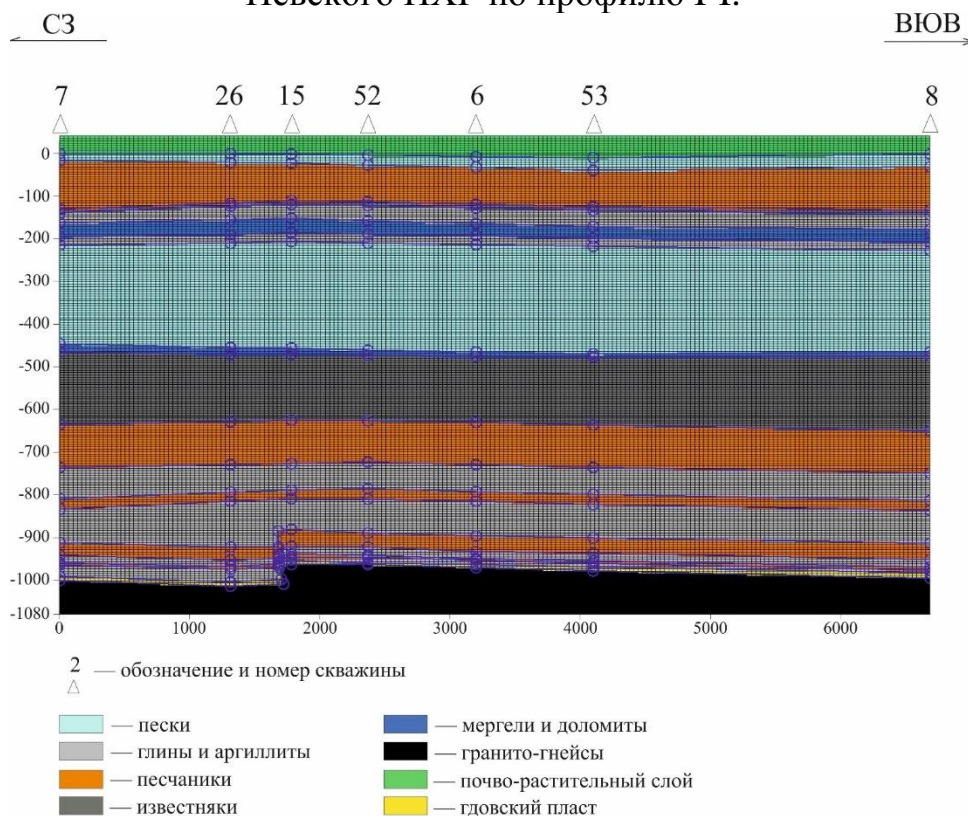


Рисунок 4.9 – Конечно-элементная модель района эксплуатации Невского ПХГ по профилю II-II.

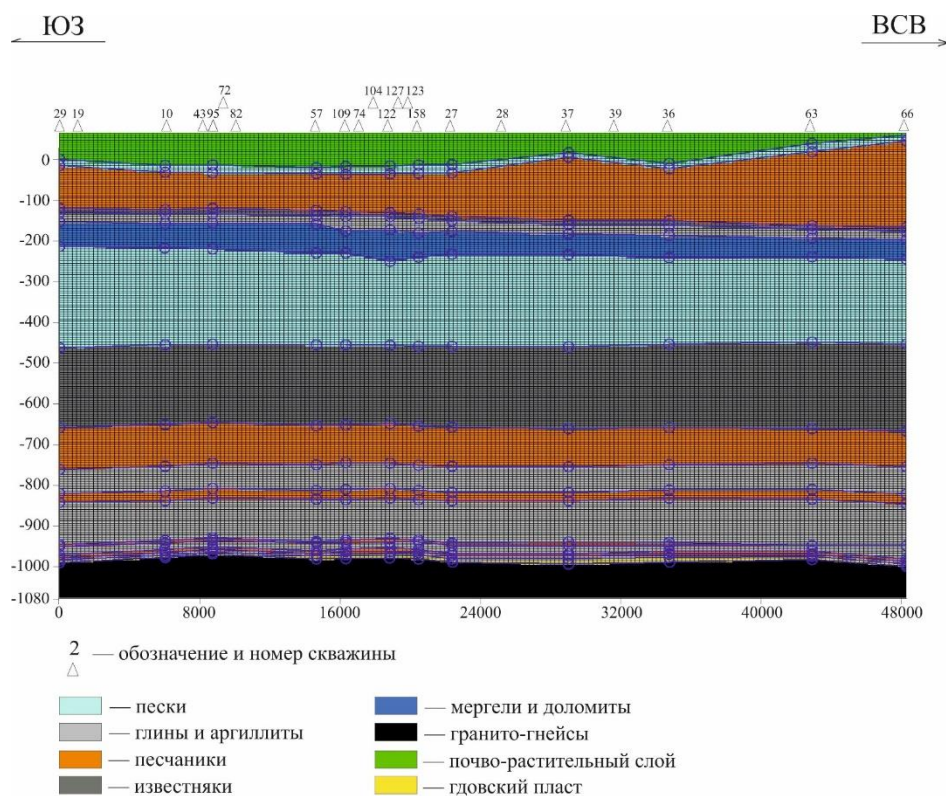


Рисунок 4.10 – Конечно-элементная модель района эксплуатации Невского ПХГ по профилю III -III

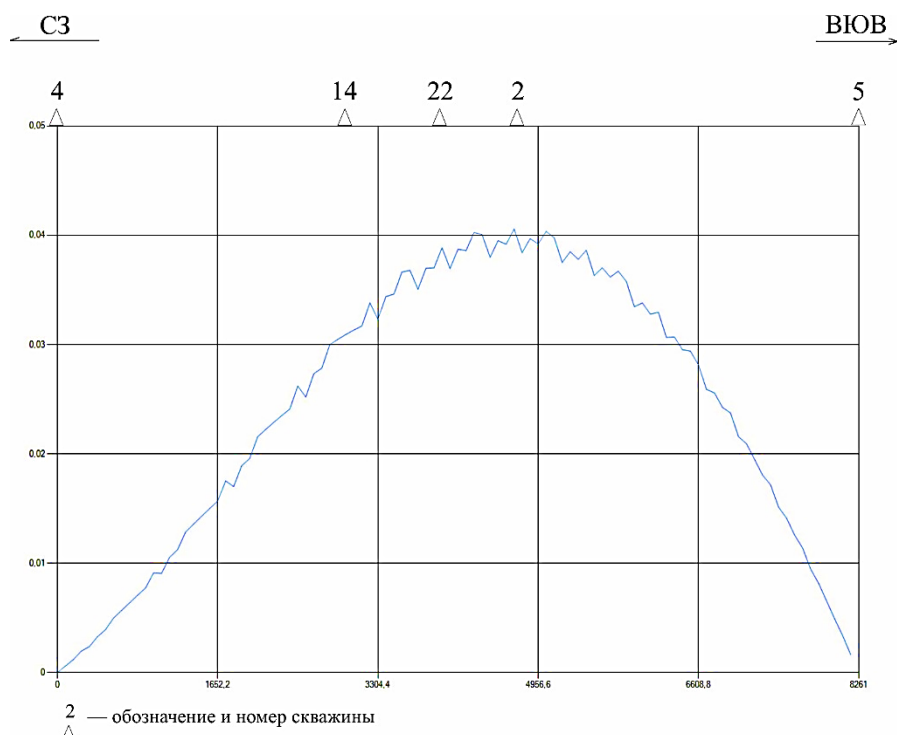


Рисунок 4.11 - Профиль сдвижения земной поверхности на этапе закачки газа по геологическому профилю I-I.

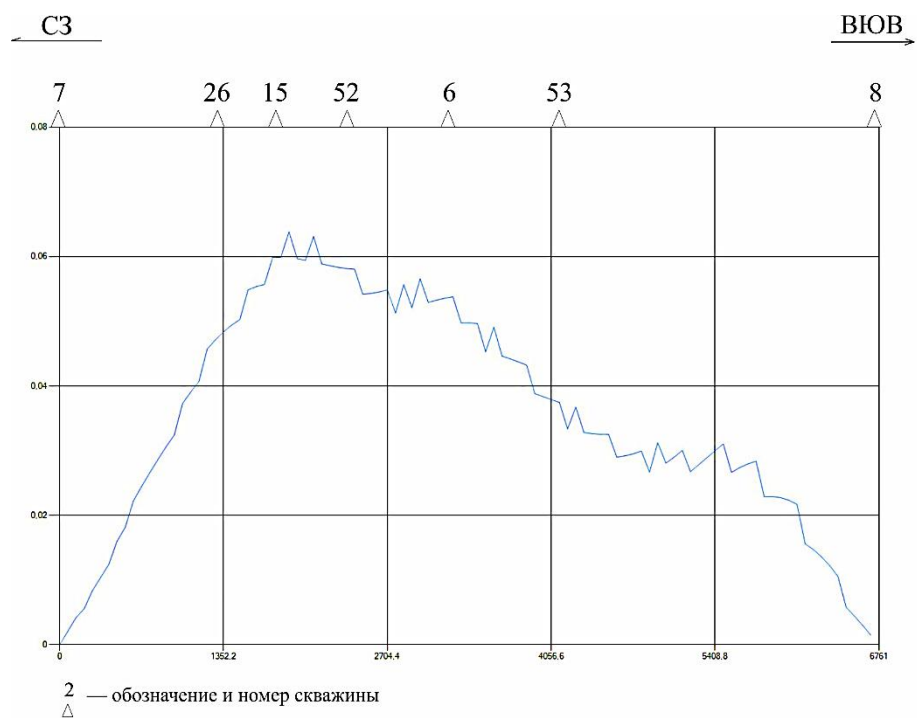


Рисунок 4.12 - Профиль сдвижения земной поверхности на этапе закачки газа по геологическому профилю II – II.

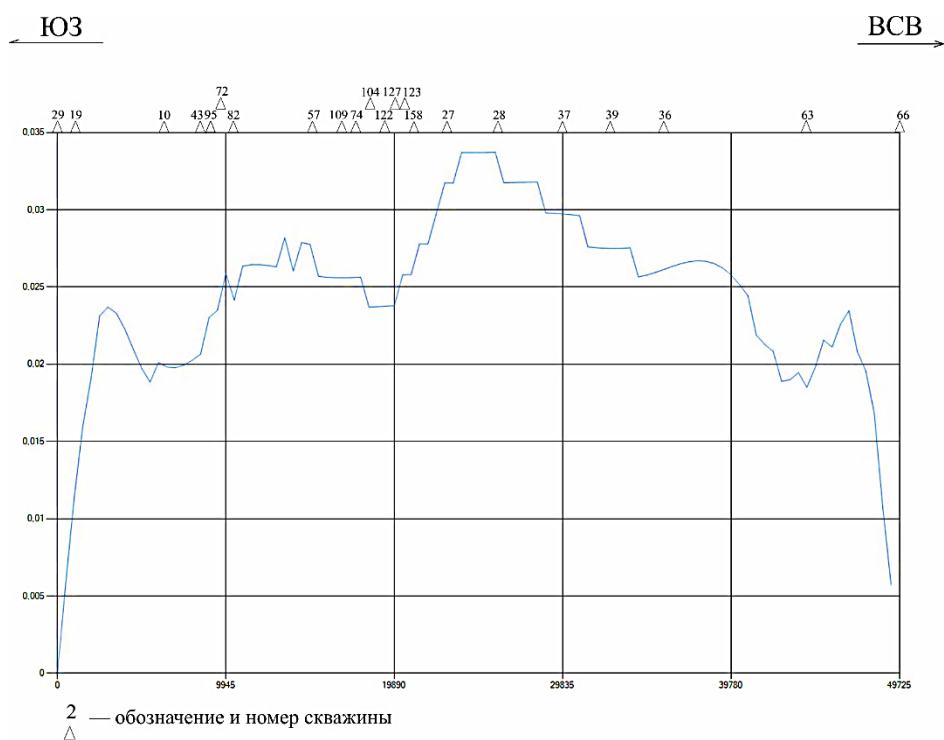


Рисунок 4.13 - Профиль сдвижения земной поверхности на этапе закачки газа по геологическому профилю III – III.

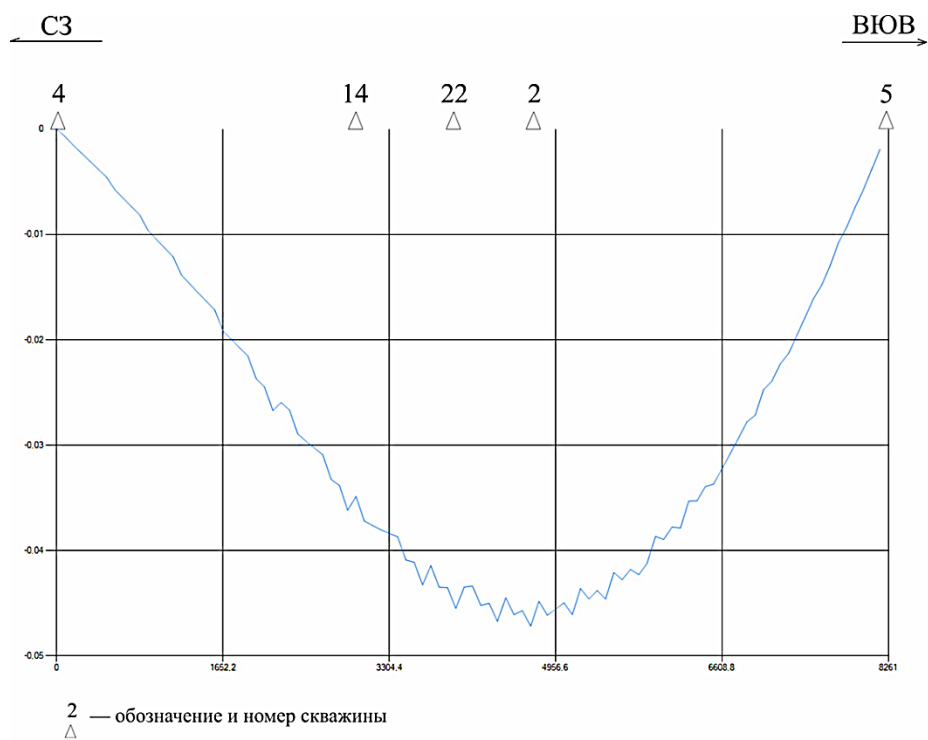


Рисунок 4.14 - Профиль сдвижения земной поверхности на этапе отбора газа по геологическому профилю I-I.

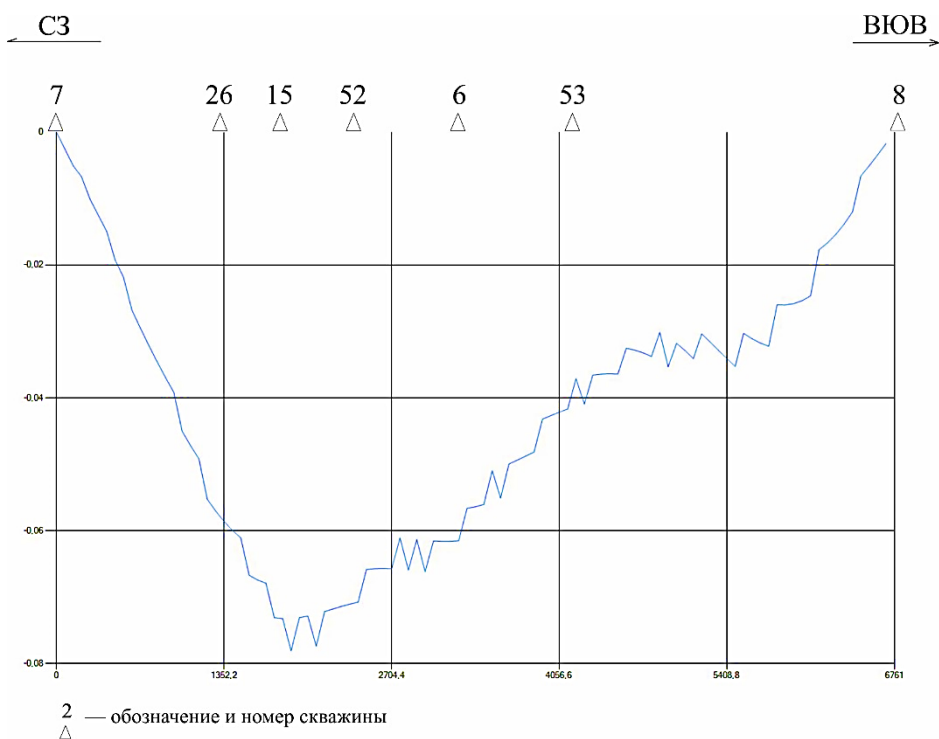


Рисунок 4.15 - Профиль сдвижения земной поверхности на этапе отбора газа по геологическому профилю II – II.

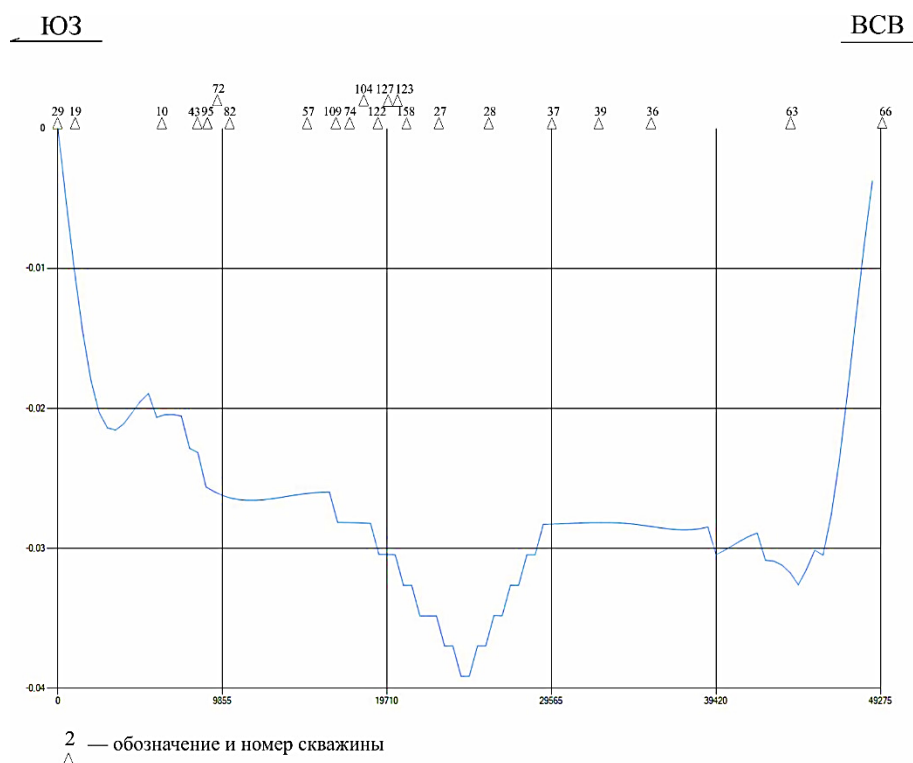


Рисунок 4.16 - Профиль сдвижения земной поверхности на этапе отбора газа по геологическому профилю III – III.

Максимальная амплитуда сдвижения земной поверхности между осенним и весенним нейтральными периодами составляет 142 мм по профилю II-II. При этом максимальное поднятие земной поверхности составляет 66 мм, а оседание 76 мм. Из результатов расчета видно, что данные значения приурочены к разломным зонам, что наиболее ярко выражено на профиле II-II. Полученные значения носят оценочный характер, но вместе с тем, однозначно можно констатировать факт того, что опасных обширных оседаний и аномальных поднятий земной поверхности не наблюдается. Происходящий циклический процесс сдвижения полностью компенсируется при закачке и отборе газа за пределами зоны динамического влияния разлома. В зоне динамического влияния разлома отмечается незначительное накопление оседания земной поверхности.

Оценка горизонтального вектора сдвижения не проводилась, так как известно, что в пределах разломных зон в условиях их активизации, в их центральной части вертикальная компонента сдвижения земной поверхности

всегда существенно больше горизонтальной (горизонтальная компонента практически равна нулю [Кузьмин Ю.О., 1999]).

Принимая во внимание полученные расчеты, подтверждены ранее описанные эмпирические данные об отсутствии аномальных значений сдвижения земной поверхности на территории горного отвода, что дополнительно обосновывает техническую значимость создания локальных профильных линий на данном ПХГ.

4.2.3. Структура локального геодинамического полигона Невского ПХГ.

Учитывая приведенные выше выводы, полученные по расчетам, можно утверждать, что единственным критерием создания локального геодинамического полигона на ПХГ является наличие активных разломных зон. Наблюдения направлены на изучение потенциально опасных разломов, способных в процессе эксплуатации ПХГ привести к аварийным ситуациям и последующим геоэкологическим последствиям как на объектах обустройства, так и для окружающей среды.

Ввиду географических особенностей территории Невского ПХГ применение спутниковой радиолокационной съемки и площадных наблюдений с использованием ГНСС-наблюдений технически невозможно и поэтому в данной работе не рассматривались. Геодинамический полигон Невского ПХГ запроектирован в виде трех локальных профильных линий.

Зона динамического влияния разлома определена по формуле (4.5), приведенной в работе [Sherman, Seminsky, 2010].

$$B=bL, \quad (4.5)$$

где: L – длина разломов, км;

b – коэффициент пропорциональности, принимаемый равным 0,04.

Согласно имеющейся геологической информации, длина разлома составляет 35 км. Пункт 265 инструкции по производству маркшейдерских работ регламентирует частоту заложения реперов геодинамического полигона за пределами разломных зон, которая должна составлять 300-500 метров.

Получается минимальная длина профильной линии не должна быть менее 2,4 км. Окончательная длина профильной линии выбирается с учетом наилучшего расположения реперов для обеспечения сохранности реперов и требуемой точности измерений.

Профильная линия I-I запроектирована вдоль автомобильной трассы Е105 и пересекает территорию Невского ПХГ с северо-запада на юго-восток. Она берет свое начало к северо-западу от скв. 22 и заканчивается к северо-востоку от скважины № 31. Протяженность профильной линии I-I составляет 2,5 км и состоит из 13 реперов, причем шесть из них опорные, которые образуют 2 треугольника на концах профилей. Профиль I-I пересекает разломную зону в районе реперов № 5-8. В местах пересечения профиля с разломными зонами расстояние между реперами сгущено до 80-100 м.

Профильная линия II-II пересекает территорию Невского ПХГ с севера на юг в центральной части лицензионного участка. Протяженность профильной линии II составляет 2,4 км, включающих 13 реперов (№14-26). Опорные репера закладываются аналогично первой профильной линии. Данный профиль пересекает разломную зону в районе реперов №18-21, где расстояние между реперами сгущено до 80-100 м.

Профильная линия III-III пересекает территорию Невского ПХГ с севера на юг в северо-восточной части лицензионного участка. Протяженность профильной линии III-III составляет 2,4 км. К закладке запроектировано 13 реперов (№27-39). Конфигурация профиля аналогична первым двум профилям. Пересечение данного профиля с разломную зону находится в районе реперов №31-34.

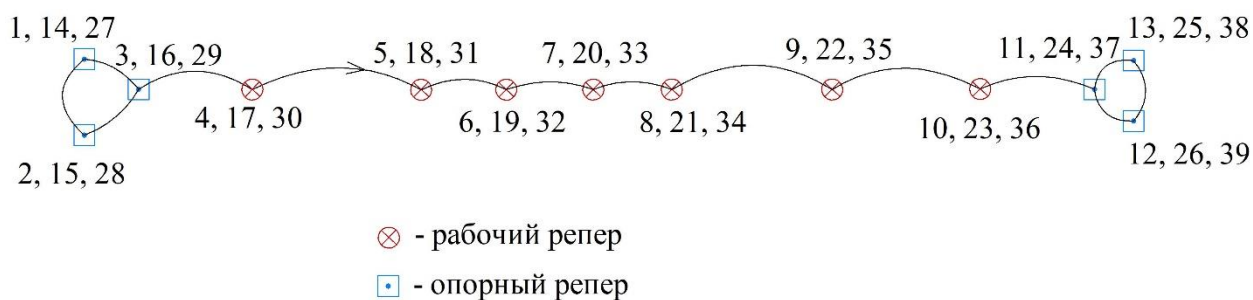


Рисунок 4.18 – Схема нивелирного хода по локальным профильным линиям.

Конструкция рабочих реперов представляет собой 160 оп. знак, а конструкция опорных реперов 161 оп. знак.

В качестве основных методов наблюдений на геодинамическом полигоне Невского ПХГ предложено использовать для определения горизонтального вектора сдвижения ГНСС-наблюдения вблизи оси разломной зоны, и на одном из трех опорных реперов, наиболее удаленном от зоны динамического влияния разлома. Вертикальный вектор сдвижения будет определяться проложением нивелирных ходов, при этом высотная отметка на опорные реперы передается с использованием ГНСС-наблюдений.

Для контроля положения опорных реперов, и определения сдвижения земной поверхности, вызванного необратимыми деформациями горных пород, опорные репера должны переопределяться не реже чем один раз в три года. В случае изменения высотной отметки опорных реперов на величину, превышающую ошибку измерений, им задается новое положение, а вычисленная разность отображается на эволюционных и пульсационных графиках, как накопленное оседание за данный период и все последующие наблюдения на профиле сравниваются с данным (новым) циклом наблюдений.

4.3. Обоснование периодичности наблюдений на локальном геодинамическом полигоне.

Обоснование периодичности наблюдений построено на результатах двухлетних наблюдений на геодинамическом полигоне Щелковского ПХГ [Шевчук и др., 2021]. Для изучения происходящих геодинамических процессов на рисунках 4.19-4.20 приведены эволюционные и пульсационные графики. Как было отмечено выше, первый цикл наблюдений был выполнен в весенний нейтральный период, все четные циклы проводились в осенний нейтральный период. При обосновании периодичности наблюдений будут рассмотрены только результаты нивелирования по профильным линиям.

Как было отмечено во второй главе, графики закономерно находятся выше оси абсцисс, что обусловлено положительным значением ΔP . Подтверждаются выявленные на стадии проектирования разломные зоны в районе реперов №№2-5, 17. Однако, сомнение вызывает поведение профильной линии вблизи границ горного отвода. Пульсационный график в третьем цикле, находится выше оси, что является нелогичным, так как давление в пласте коллекторе по сравнению с предыдущим циклом меньше. В четвертом цикле все значения реперов по отношению к предыдущему циклу имеют отрицательные значения, что также не согласуется с изменением давления в пласте.

Щелковское ПХГ имеет водонапорный режим эксплуатации. Учитывая этот факт, а также геологическую структуру можно утверждать, что поведение реперов профильной линии на периферии является процессом водооттеснения. Данное заключение полностью коррелируется с данными по пьезометрическим скважинам. На тех скважинах, которые наиболее приближены к 2-3 и 26-27 реперам, в начале периода закачки фиксируется резкое увеличение давления, по сравнению с остальными скважинами. В сентябре на этих скважинах отмечается понижение давления, когда на всех остальных происходит рост, связанный с процессом закачки.

Основываясь на полученных данных, можно сделать заключение, о том, что полученный вектор сдвижения в зоне разлома состоит из геомеханической составляющей, отражающей процесс цикличной эксплуатации ПХГ, и геодинамической, показывающей степень активности разломной зоны. Примером является 17 репер, который имеет одинаковую геодинамическую составляющую и в третьем, и в четвертом циклах, а его абсолютная отметка меняется в зависимости от изменения давления в пласте-коллекторе. Важно, что в районе расположения реперов №№ 26-27 геодинамическая составляющая не обнаружена, что позволяет отнести выявленные поднятия к геомеханической составляющей.

Для подтверждения предложенной гипотезы рассмотрим результаты нивелирования по профильной линии П-П. Эволюционные графики приведены на рисунке 4.21, пульсационные графики на рисунке 4.22.

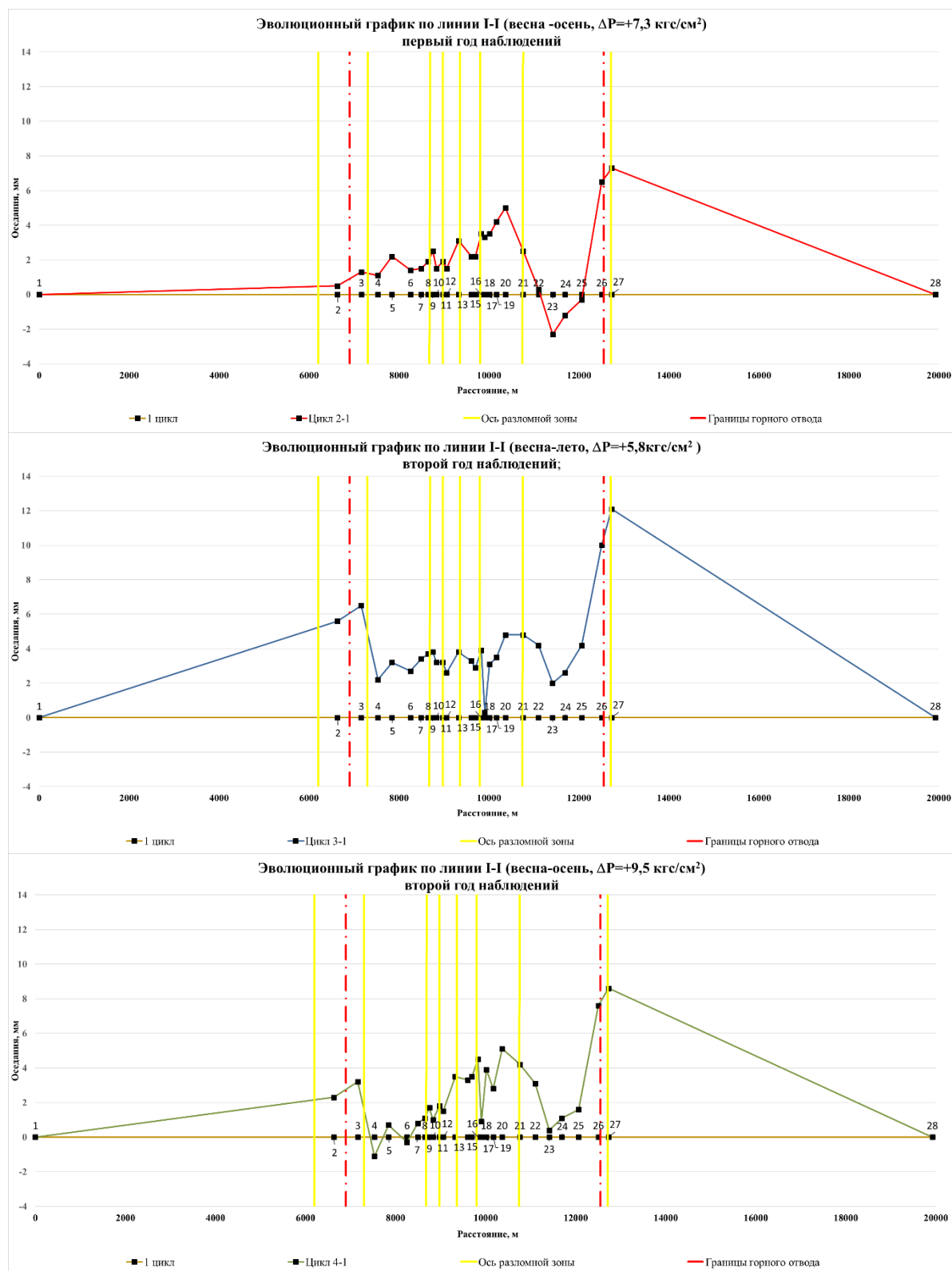


Рисунок 4.19 – Эволюционные графики профильной линии I-I.

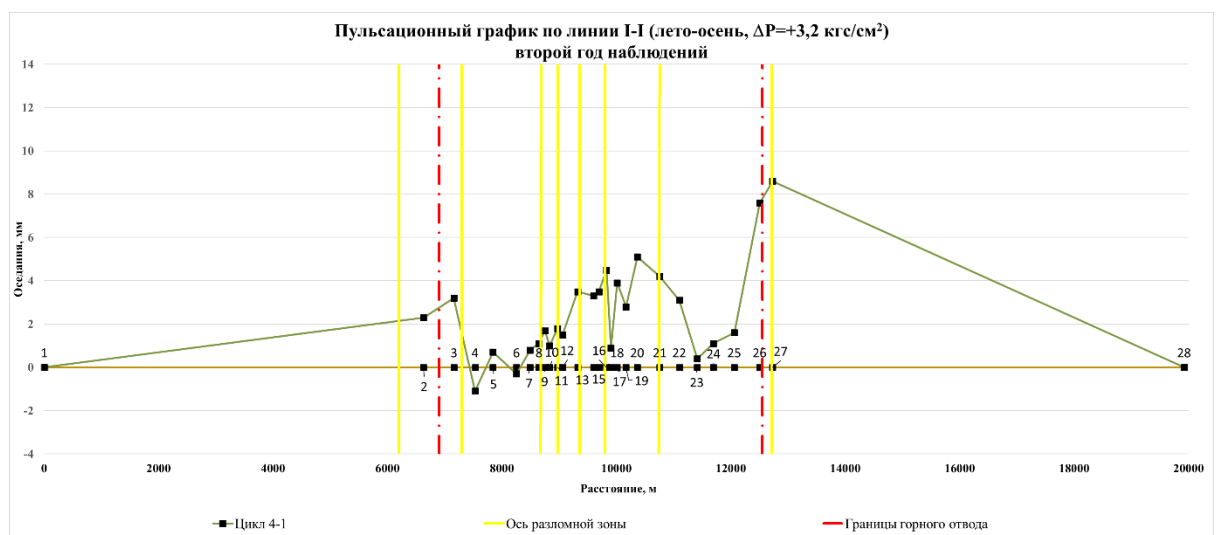
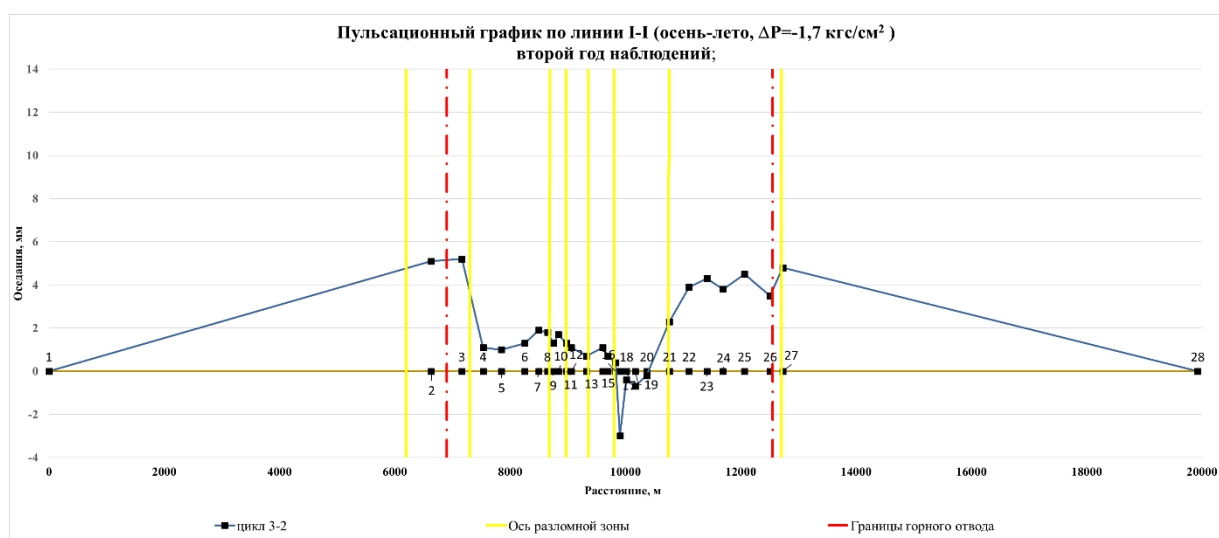
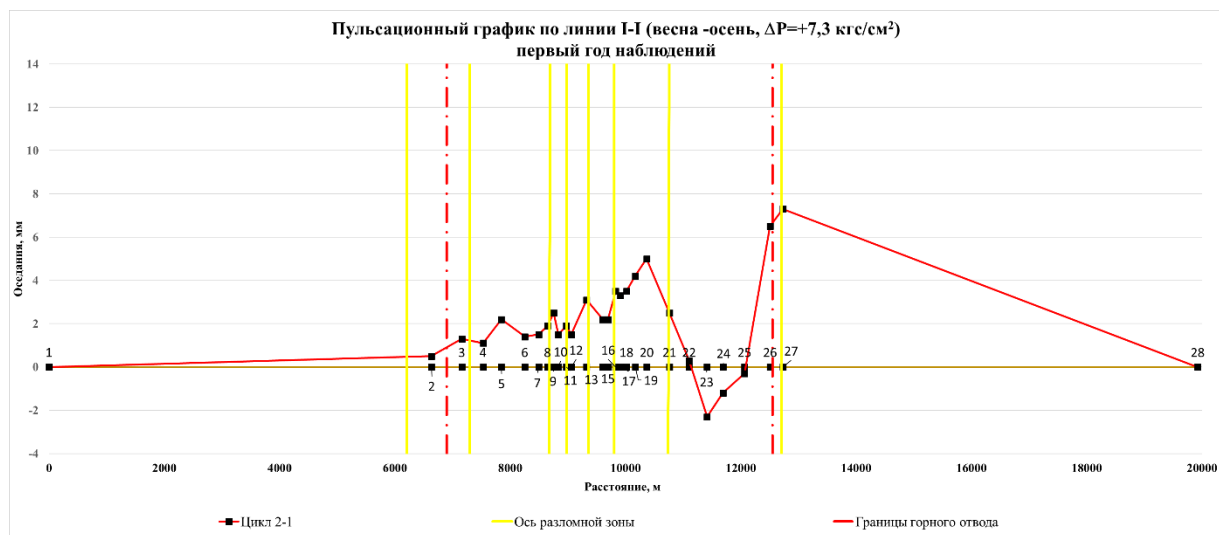


Рисунок 4.20 – Пульсационные графики профильной линии I-I.

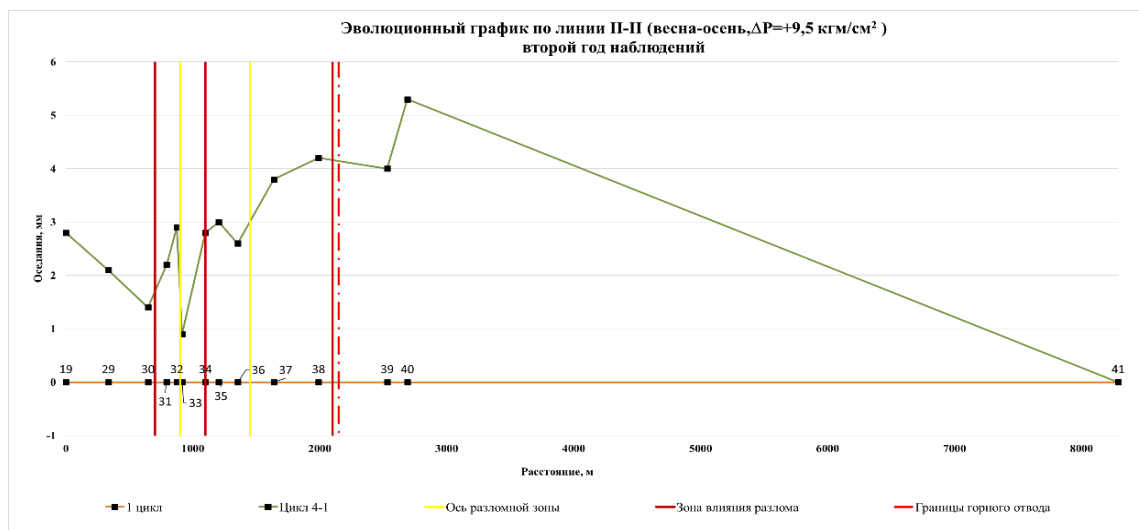
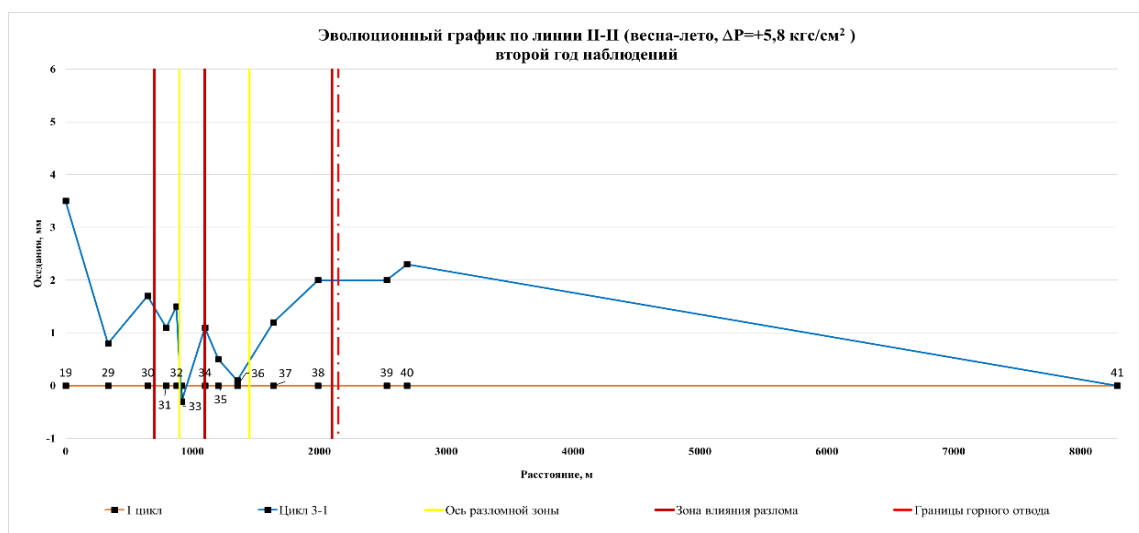
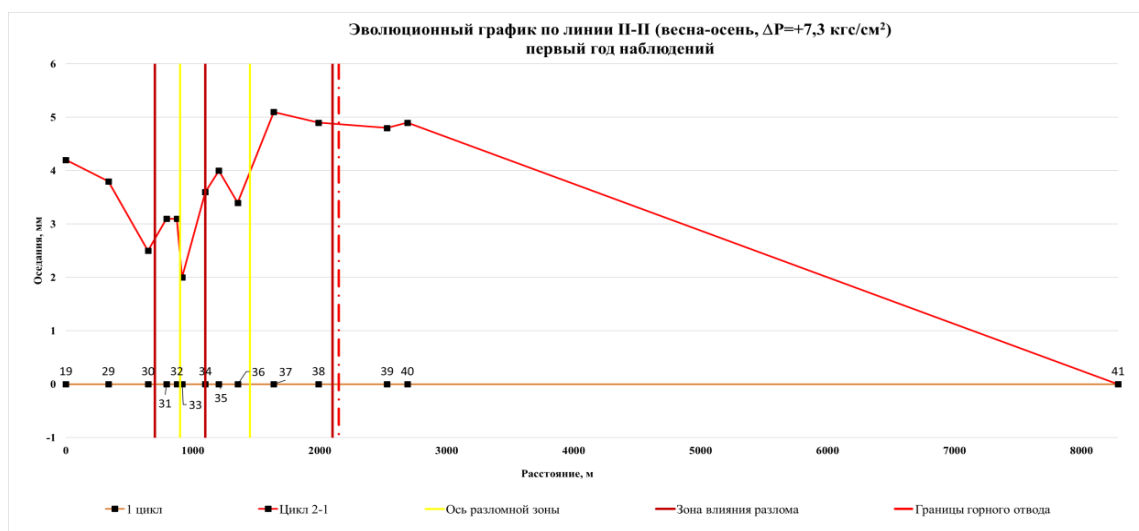


Рисунок 4.21 – Эволюционные графики профильной линии П -П.

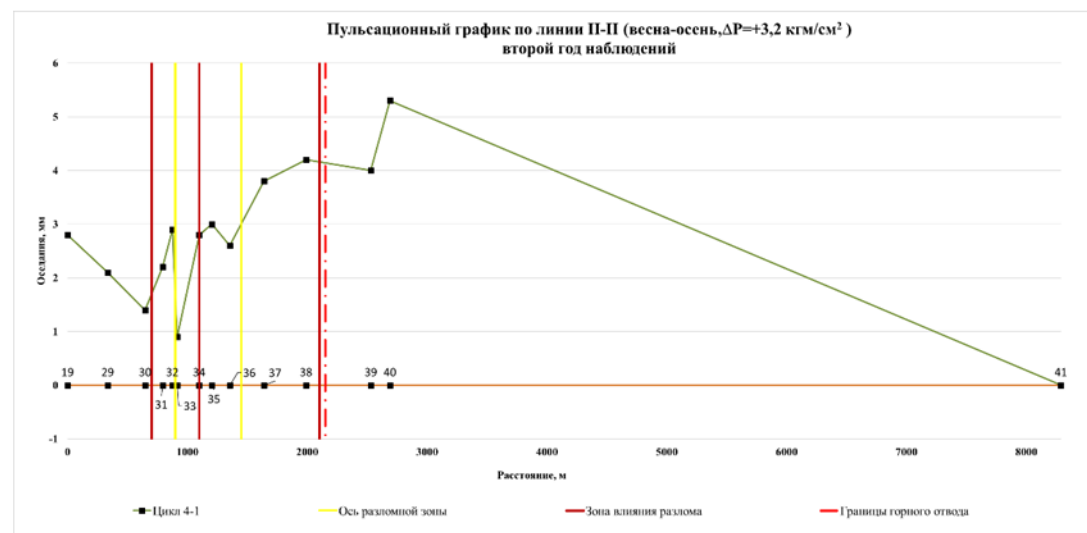
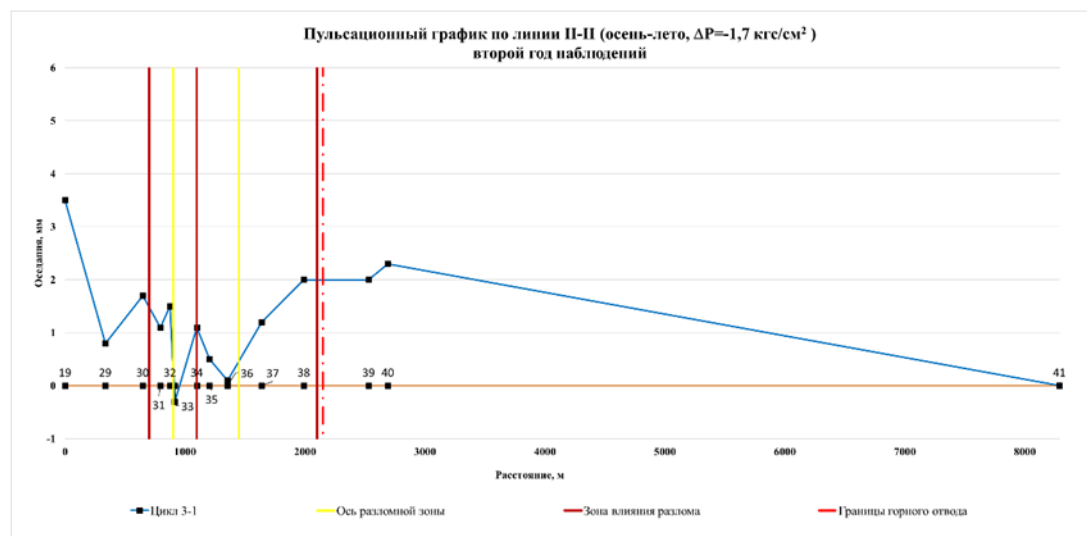
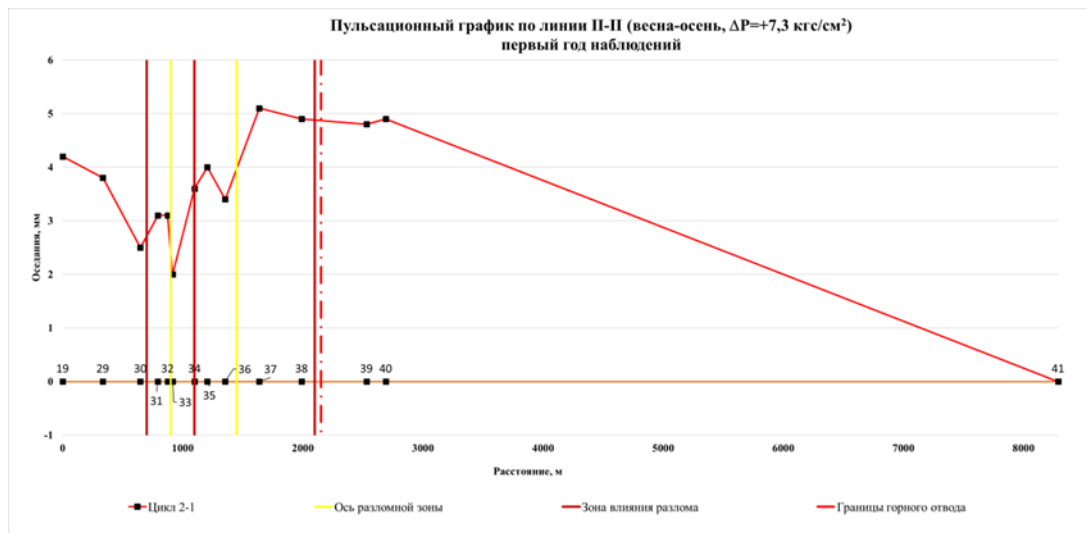


Рисунок 4.22 – Пульсационные графики профильной линии П-П.

Обратим внимание, что наблюдается визуальная корреляция данных пульсационных графиков с данными по давлению. При этом на периферии также отмечается локальное поднятие земной поверхности по отношению к центральной части. Разломные зоны вблизи реперов №38-40 отсутствуют, что исключает геодинамическую составляющую. Поэтому уверенно можно сказать, что на обоих реперах поднятия на границе горного отвода отражают геомеханическую составляющую, обусловленную процессом эксплуатации подземного хранилища газа. В очередной раз подтверждается наложение геодинамической и геомеханической составляющих в разломной зоне на примере 33 репера.

Проведение двух циклов в год и построение пульсационных и эволюционных графиков позволяют с высокой степенью достоверности выделить геомеханическую составляющую, однако, создают условия для неоднозначной интерпретации поведения реперов в разломных зонах. При таком подходе мала возможность определить абсолютные значения сдвижения земной поверхности, вызванные активизацией разломных зон. Основной ошибкой при традиционном подходе является то, что за первый (нулевой) цикл наблюдений принимаются значения, полученные в весенний нейтральный период. В весенний нейтральный период давление в пласте-коллекторе определяется рядом переменных факторов, что исключает достижение одинаковых условий на момент проведения наблюдений.

Для исключения неоднозначности при изучении геодинамических процессов предлагается наблюдения проводить только в осенний нейтральный период. На рисунке 4.23 и рисунке 4.24 приведены результаты геодинамического мониторинга на Щелковском ПХГ для двух осенних циклов наблюдений. Для того, чтобы исключить путаницу между наименованием графиков, графики, построенные по результатам наблюдений в один и тот же сезон времени, предлагается назвать сезонные пульсационные и сезонные эволюционные.

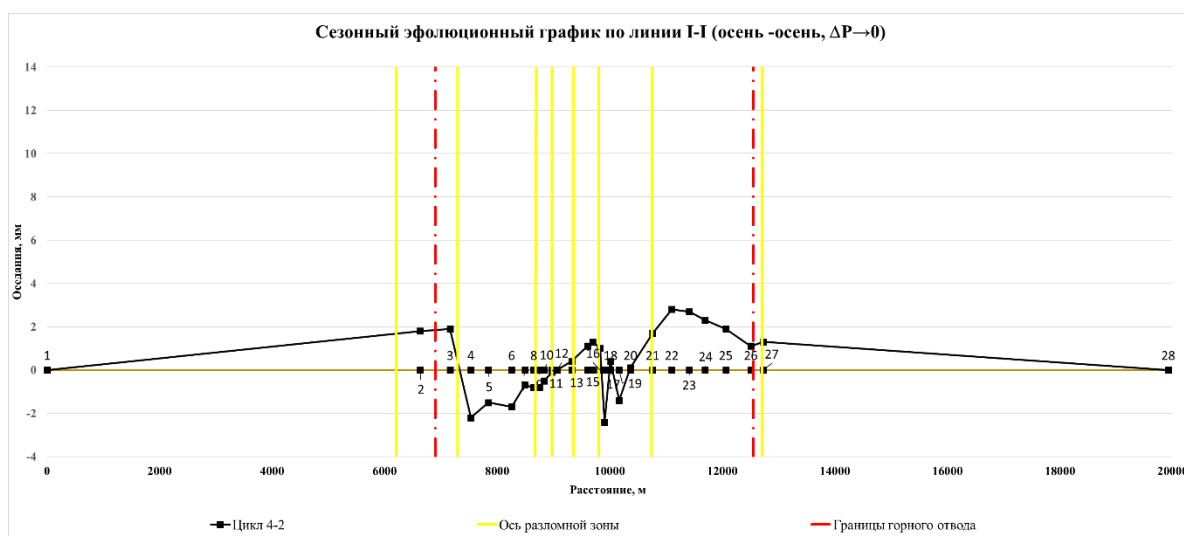


Рисунок 4.23 – Сезонный эволюционный график профильной линии I-I.

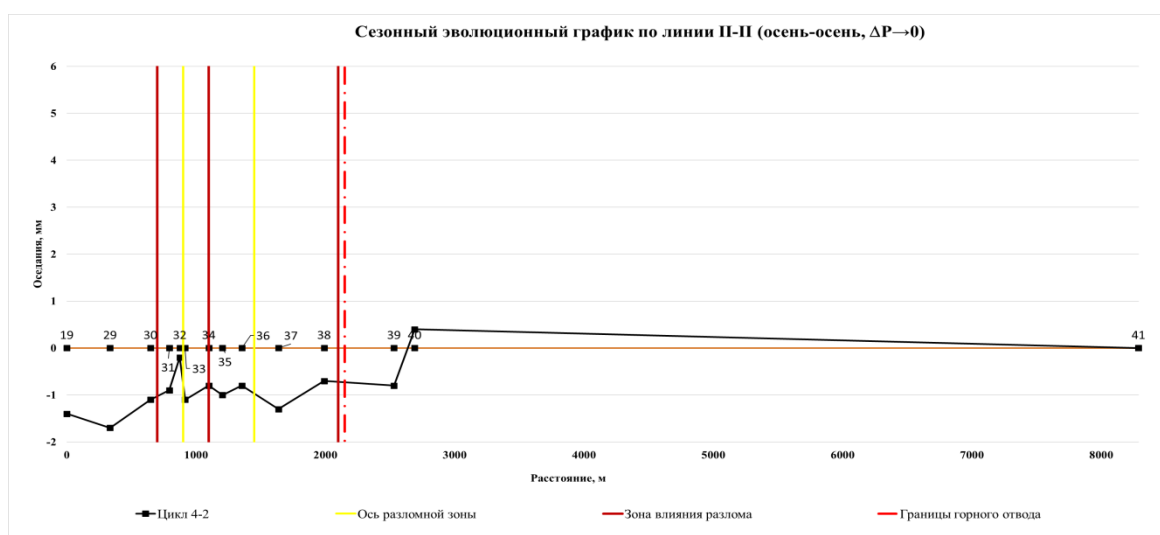


Рисунок 4.24 – Сезонный эволюционный график профильной линии II-II.

Примем во внимание, что разница давления между циклами не превышает $1,5 \text{ кгс/см}^2$. Анализ представленных графиков полностью позволяет исключить геомеханическую составляющую. Все выявленные разломные зоны, кроме разлома в районе 30-34 реперов, подтверждаются на данных графиках. Причем активность разломной зоны в районе реперов №№ 15-20 на этих графиках выражена более ярко за счет исключения геомеханической составляющей. Также отметим, что на данных графиках значения в аномальных зонах могут быть меньше по сравнению с ранее описанными, поскольку деформационные процессы в разломных зонах не являются линейной зависимостью от времени.

Таким образом, предлагается проводить один цикл наблюдений в осенний нейтральный период на геодинамических полигонах. Проведение одного цикла наблюдений не исключает определение сдвижения земной поверхности, вызванного усталостью горных пород. Поскольку при обеспечении одинаковых условий, нахождение графика ниже оси абсцисс говорит о наличии необратимых деформаций.

Учитывая, что по результатам проведенных наблюдений вертикальные сдвижения в зонах разломов в большинстве случаев малы, проводить ежегодные плановые наблюдения не имеет смысла. Основываясь на этом, плановые наблюдения должны проводиться один раз в три года, а при отсутствии опасных относительных деформаций допустимо сократить до одного раза в пять лет. Если по результатам геодинамического мониторинга регистрируются критические деформации, то частота плановых наблюдений должна быть увеличена до одного раза в год.

Предложенная периодичность наблюдений была внедрена при разработке проектов геодинамического полигона Невского, Гатчинского, Пунгинского ПХГ, Канчурино-Мусинского комплекса ПХГ и при корректировке проекта геодинамического полигона Калужского ПХГ. Все проекты получили положительное согласование в Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору.

4.4. Выводы к главе.

В четвертой главе для обоснования рекомендаций по совершенствованию геодинамического мониторинга обоснован подход к выбору размеров территориального геодинамического полигона, для ситуации, когда на территории расположено несколько опасных объектов освоения недр. Подход предусматривает оценку размеров зон геодинамического влияния таких объектов с учетом их геодинамической позиции и рекомендацию по объединению этих зон в единый геодинамический полигон.

Разработан подход к выбору конфигурации и размеров геодезических сетей на локальном геодинамическом полигоне для наблюдений за аномальным процессом сдвижения в пределах разломных зон, учитывающий ширину зон динамического влияния разломов. Разработанный способ направлен на повышение точности измерений и сокращение затрат на проведение геодинамического мониторинга. Рекомендации заключаются в создании совокупности локальных профильных линий, пересекающих разломные зоны. Длина профильных линий выбирается не менее ширины зоны влияния разлома.

Выполнено обоснование периодичности систематических маркшейдерско-геодезических наблюдений. На примере Щелковского ПХГ показано, что при классическом подходе к наблюдениям, получаемый вертикальный вектор сдвижения включает геомеханическую и геодинамическую составляющие, что не позволяет достоверно определить значения, характеризующие активность разломных зон и оценить уровень опасности разлома. Для исключения влияния геомеханической составляющей наблюдения рекомендовано проводить один раз в год в осенний нейтральный период, что повышает представительность результатов и снижает затраты на геодинамический мониторинг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В диссертационной работе дано решение актуальной научно–технической задачи совершенствования методов геодинамического мониторинга в районах расположения подземных хранилищ газа в пористых структурах для повышения уровня геоэкологической безопасности при их эксплуатации.

Получены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ существующего опыта изучения геодинамических процессов на подземных хранилищах газа и выявлены опасности при эксплуатации ПХГ. Эксплуатация ПХГ приводит к изменению геодинамической обстановки района расположения объекта, что ведет к образованию зон трещиноватости и возможной миграции газа в вышележащие горизонты, вплоть до выхода на земную поверхность, проявления аномального процесса сдвижения, техногенной сейсмичности.

2. Результаты многолетнего геодинамического мониторинга на ПХГ позволили выявить ранее неизвестный факт влияния эксплуатации ПХГ за пределами горного отвода. Для повышения геоэкологической безопасности эксплуатации ПХГ границы локального геодинамического полигона предложено определять с учетом расстояния от границ горного отвода не менее $3H \times \operatorname{ctg} \delta$, где H – максимальная глубина кровли эксплуатируемого пласта-коллектора на границах контура ГВК; δ - граничный угол.

3. Разработан способ выбора параметров территориального геодинамического полигона, для ситуации, когда на территории расположено несколько опасных объектов освоения недр. Способ предусматривает оценку размеров зон геодинамического влияния таких объектов с учетом их геодинамической позиции и объединение этих зон в единый территориальный геодинамический полигон.

4. На примере Саратовской области выполнено исследование сейсмической активности при эксплуатации подземных хранилищ газа и обоснована гипотеза о ее техногенной природе.

5. Разработан способ выбора конфигурации и размеров геодезических сетей на локальном геодинамическом полигоне для наблюдений за процессом сдвижения в пределах разломных зон, учитывающий ширину зон динамического влияния разломов. Разработанный способ направлен на повышение точности измерений и сокращение затрат на проведение геодинамического мониторинга и заключается в создании совокупности локальных профильных линий, пересекающих разломные зоны. Длина профильных линий выбирается не менее ширины зоны динамического влияния разлома, увеличенная на двойное расстояние между реперами.

6. Разработан способ геодинамического мониторинга, направленный на обеспечение экологической безопасности эксплуатации ПХГ, отличающийся периодичностью проведения маркшейдерско-геодезических наблюдений. На примере Щелковского ПХГ показано, что при классическом подходе к наблюдениям, получаемый вертикальный вектор сдвижения включает геомеханическую и геодинамическую составляющие, что не позволяет достоверно определить значения активности разломных зон и оценить уровень опасности разлома. Для исключения влияния геомеханической составляющей наблюдения предложено проводить 1 раз в год в осенний нейтральный период, что повышает представительность результатов и снижает затраты на геодинамический мониторинг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.

1. Адушкин В.В., Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г. Новый подход к мониторингу техногенно-тектонических землетрясений// Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – 2017. - №1. – С. 3-14.
2. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. М.: ИДГ РАН, 2015, 364 с.
3. Алексеев В.К., Батугин А.С., Батурина И.М. и др. Геодинамическое районирование территории Московской области. Ступино. - 2003. – 125 с.
4. Батурина И.М., Петухов И.М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. Недра. — 1988. — 166 с.
5. Батугин А. С., Шевчук С. В., Шерматова С. С., Головкин И. В., Бямбасурэн Зундуйжамц. К вопросу мониторинга геоэкологической опасности при геодинамическом взаимодействии объектов освоения недр // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10-1. — С. 63—73. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_63.
6. Буров Д.И., Лобанова А.Н., Малев А.Н., Сергеева Т.Ф. Результаты доразведки Невского подземного хранилища газа по данным сейсморазведочных работ// Каротажник. – 2017. - №11(281). – С.29-42.
7. Волков, В.И. Применение повторных геодезических наблюдений для контроля техногенных последствий разработки нефтегазовых месторождений на основе программно-целевого подхода / В.И. Волков, Н.В. Волков, О.В. Волков // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – №4. – С. 375-382.
8. Глубинные разломы сквозные. В кн. Геологический словарь. М.: «Недра». 1978. Т. 1.. С 176.
9. Горьков Ю.Д. Условия формирования и особенности строения тектонических структур (на примере Саратовского и Волгоградского Поволжья) // Недра Поволжья и Прикаспия. 2016. Вып. 85. С. 20-47

10. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. М.: ОИФЗ АН СССР. 1991. 217 с.
11. Жуков. В.С. Воздействие современных геодинамических процессов на фильтрационно-емкостные свойства коллекторов ПХГ // Международная конференция «Современная геодинамика недр и эколого- промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса». М.: ИПНГ РАН, 7–9 декабря 2009.
12. Закон Российской Федерации "О недрах" от 21.02.92 N 2395-1.
13. Заявка на изобретение 2021119199 от 30.06.2021 Способ геодинамического мониторинга в районах расположения подземных хранилищ газа/ Шевчук С.В., Батугин А.С., Шевчук Р.В., Квятковская С.С.
14. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Под редакцией Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю. К. Щукина. Книга 1. Петрозаводск. Кар НЦ РАН. 2007. 381 с.
15. Зубарев А.П., Полухина С.С., Кузьмин Ю.О. Геодинамическая безопасность при эксплуатации ПХГ// Газовая промышленность. – 2012. - №5. – С. 6-8.
16. Инструкция по нивелированию I, II III и IV классов. Федеральная служба геодезии и картографии России: [ГКИНП (ГНТА)-03-010-02: введ. 1.02.2004].
17. Инструкция по производству маркшейдерских работ. РД 07-603-03. – СПб.: ЦОТПБСП, 2003. – 122 с.
18. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В., Геоэкологические проблемы подземного хранения газа в России// Геоэкология нефти и газа. – 2016. - №3. – С.102-106.
19. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В., Техно-геоэкологические проблемы Невского подземного хранилища газа// Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019, С. 725-728.

20. Каледина Н.О., Коликов К.С., Кобылкин С.С. Кафедра Безопасности и экологии горного производства: прошлое, настоящее и будущее // Горный журнал. – 2018. – №3. – С. 21-28. DOI: 10.17580/gzh.2018.03.04
21. Карта новейшей тектоники Среднего и Нижнего Поволжья. Масштаб 1:500000// Ред. Ф.И. Ковальского, А.В. Вострякова. 1981.
22. Карта современных вертикальных движений земной коры России. Масштаб 1:15000000. В кн. Национальный атлас России. Том 2. Природа и экология. Геологическое строение и ресурсы недр// Отв. Ред. Г.Ф. Кравченко. ПКО «Картография» 2007.
23. Кашников Ю.А. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. М: Недра-Бизнесцентр, 2007. 467 с.
24. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья: Учебное пособие. – М. : Издательство «Горная книга», 2019. – 552 с.
25. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г., Шустов Д.В., Мусихин В.В., Никифоров С.Э. Организация геодинамического полигона на Ванкорском нефтегазоконденсатном месторождении// Нефть и газ – 2020. - №4. – С. 4-13.
26. Квятковская С.С., Кузьмин Ю.О., Никитин Р.С., Фаттахов Е.А. Анализ деформаций земной поверхности на Степновском подземном хранилище газа методами спутниковой и наземной геодезии // Вестник СГУГиТ. — 2017. — С. 16—32.
27. Квятковская С.С., Фаттахов Е.А. Сравнительный анализ деформационных процессов на подземных хранилищах газа // Проблемы Недропользователя. — 2019. — № 4. — С. 38—49. DOI: 10.25635/2313—1586.2019.04.038.
28. Козырев А. А., Онуприенко В. С., Жукова С. А., Журавлева О. Г. Развитие инструментального и методического обеспечения контроля наведенной сейсмичности на Хибинских апатит-нефелиновых месторождениях // Горный журнал. – 2020. - №9. – С.19-26. DOI:10.17580/gzh.2020.09.02

29. Константинова С.А., Хронусов В.В., Дубинский А.В. Об актуальности проблемы геодинамической безопасности при подземной разработке верхнекамского месторождения калийных и калийно-магниевых солей // Проблемы геодинамической безопасности. 2-е международное рабочее совещание. Санкт-Петербург. 1997. С. 94-101.
30. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: Агентство Экономических Новостей, 1999. - 220 с;
31. Кузьмин Ю.О., Никонов А.И. Эколого-геодинамическая опасность подземных хранилищ газа // Информационное обеспечение рационального природопользования. М., 2001. С. 163–171.
32. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: Горная книга, 2004. 262 с.
33. Кузьмин Ю.О. Современные аномальные деформации земной поверхности в зонах разломов: сдвиг или раздвиг? // Геодинамика и тектонофизика. — 2018. — Т. 9. — № 3. — С 967—987. DOI: 10.5800/GT-2018—9-3-0379.
34. Леонов Ю.Г., Гущенко О.И., Копп М.Л., Расцветаев Л.М. Взаимосвязь позднекайнозойских напряжений и деформаций в Кавказском секторе Альпийского пояса и в его северном платформенном обрамлении. //Геотектоника. 2001. №1. С. 36-59.
35. Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Соколов А.Г. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). – Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – 186 с.;
36. Никонов А.И. Роль геодинамических процессов в функционировании подземных хранилищ газа (на примере Щелковского и Касимовского подземных хранилищ): автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (25.00.12)/Никонов Александр Иванович; Институт проблем нефти и газа РАН и МО РФ. – Москва, 2003. – 26 с.

37. Николаев Н.И. Искусственные землетрясения // Природа.1973. № 7. С. 2–17.
38. Огаджанов В.А. О проявлениях сейсмичности в Поволжье после сильных землетрясений в Бассейне Каспийского моря// Физика Земли. 2002. №4. С 48-54
39. Огаджанов В.А., Огаджанов А.В Физико – геологические характеристики платформенной части Европейско – Африканского сквозного тектонического пояса// Геофизика. 2014. № 4. С. 33-39.
40. Огаджанов В.А., Огаджанов А.В., Маслова М.Ю. О цикличности в проявлениях локальной сейсмичности в районе Саратовского геодинамического полигона\\ Недра Поволжья и Прикаспия. 2013. № 76. С 52-57
41. Панжин А. А., Панжина Н.А. Мониторинг геодинамических процессов на горных предприятиях и урбанизированных территориях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. - № 3. – С. 171 – 183.
42. Поволжский регион. В кн. «Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России». Ред. В.В. Адушкина, А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС. 2013. С 250-259
43. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1467 "О лицензировании производства маркшейдерских работ"
44. Положения о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр, утвержденное Приказом Госгортехнадзора России от 22.05.2001 №18.
45. Прогноз и профилактика горных ударов на рудных месторождениях. М.: 1997.
46. Саркисян О.А. Некоторые соображения о характере, номенклатуре и классификации поперечных тектонических структур//Ученые записки Ереванского государственного университета. Естественные науки. Геология. 1982. №2. С 118-124

47. Смирнов А. К. Подземные хранилища газа в водоносных пластах: учеб. пособие для вузов / А. К. Смирнов. – М.: Компания Спутник+, 2003. – 115 с.
48. Смирнов В.А. Физические процессы в очагах горных ударов и региональный прогноз их по геофизическим полям: Автореф. дисс. д-ра техн. наук. – С.-Петербург: ВНИМИ, 1991. – 51 с.
49. Федеральный закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.1997 N 116-ФЗ.
50. Цвяк А.В. Методологические основы мониторинга техногенно-природных геодинамических процессов с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (на примере Южного Предуралья) // Международный научно-исследовательский журнал —2016. — № 10 (52). — С. 160—163. DOI: 10.18454/IRJ.2016.52.058.
51. Шабаров А.Н., Кротов Н.В., Крайнер Б.А., Кубланов А.В. Обеспечение геодинамической безопасности подземных хранилищ газа (ПХГ) // II международное рабочее совещание «Проблемы геодинамической безопасности» (г. Санкт-Петербург, 24-27 июня 1997 г.), Санкт-Петербург, 1997, С. 259-261.
52. Шатский Н.С. О глубоких дислокациях, охватывающих и платформы и складчатые области (Поволжье и Кавказ). // Изв. АН СССР, сер. Геология, 1948, №5. С 39-66
53. Шебалдин В.П. Тектоника Саратовской области. Саратов. ОАО «Саратовнефтегеофизика». 2008. 40 с. : ил.
54. Шевчук С.В. Повышение геомеханической и геодинамической безопасности на объектах ПХГ // Сборник трудов Всероссийского конкурса «Новая идея» (Минэнерго РФ). -2021.
55. Шевчук С.В., Квятковская С.С. Оптимизация выбора параметров геодинамического полигона на геодинамически опасных объектах освоения недр // Рационализаторское предложение от 10.08.2020 №01/01-20.

56. Шевчук С.В., Оптимизация исходных данных о геодинамических процессах при проектировании и строительстве подземных хранилищ газа в каменной соли // Рационализаторское предложение от 05.10.2020 №01/03-20.
57. Шевчук С.В., Батугин А.С., Квятковская С.С. Изобретение: Способ выбора конфигурации и размеров геодезических сетей при геодинамическом мониторинге на объектах освоения // Патент RU № 2757387 C1 от 14.10.2021, Бюл. №29.
58. Шевчук С.В., Батугин А.С., Квятковская С.С. Изобретение: Способ выбора параметров геодинамического полигона на геодинамически опасных объектах освоения недр // Патент РФ RU № 2761547 C1 от 09.12.2021, Бюл. № 34.
59. Шевчук С.В., Квятковская С.С., Шевчук Р.В. Новый подход к интерпретации данных геодинамического мониторинга на объектах подземных хранилищ газа // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2—1. — С. 77–91. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-77-91.
60. Шевчук С.В., Квятковская С.С., Шевчук Р.В., Шерматова С.С., Головки И.В. К вопросу геодинамического мониторинга территории Калининградской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2—1. — С. 298–309. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-298-309.
61. Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Цирель С.В. Природно-техногенная сейсмичность Кузбасса // ФТПРПИ, 2013, № 6, с. 20–34.
62. Ярыгин Г.А., Лукьянов О.В., Гизатуллин А.Р., Кузьмин Ю.О., Никонов А.И., Тюрин А.Л. Обоснование и проектирование геодинамического полигона на Шатровском ПХГ // Газовая промышленность, 2012. № S(684). С. 66–70
63. Anonymous. Literature review on injection-related induced seismicity and its relevance to nitrogen injection. In: Earth, Environmental and Life Sciences, Utrecht, Netherlands Report TNO 2014 R11761, pp. 46.
64. Butler T. G. & Simser B. S., 2017 Microseismic Monitoring Strategy and Early Rockburst Experience during the development of Glencore's Nickel Rim Deep

and Onaping Depth Projects. In: Proceedings of the Ninth International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines, Santiago Chile, on 15-17 of November, pp. 290-296.

65. Batugin A., A proposed classification of the Earth's crustal areas by the level of geodynamic threat, *Geodesy and Geodynamics*, <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.10.002>.

66. Batugina I M, Petukhov I M 1991 Bibliography of Rock Bursts. Balkema, Rotterdam

67. Benetatos C., Malek J., Verga F., 2013. Moment tensor inversion for two micro-earthquakes occurring inside the Haje gas storage facilities, Czech Republic. *J. Seismol.* 17, 557–577.

68. Benetatos, C.; Codegone, G.; Ferraro, C.; Mantegazzi, A.; Rocca, V.; Tango, G.; Trillo, F. Multidisciplinary Analysis of Ground Movements: An Underground Gas Storage Case Study. *Remote Sens.* 2020, 12, 3487. <https://doi.org/10.3390/rs12213487>

69. Bitelli, G.; Bonsignore, F.; Del Conte, S.; Franci, F.; Lambertini, A.; Novali, F.; Severi, P.; Vittuari, L. Updating the subsidence map of Emilia-Romagna region (Italy) by integration of SAR interferometry and GNSS time series: The 2011–2016 period. *Proc. IAHS* 2020, 382, 39–44. [CrossRef].

70. Bossu, R., Grasso, J. R., Plotnikova, L. M., Nurtaev, B., Fréchet, J., & Moisy, M. (1996). Complexity of intracontinental seismic faultings: The gazli, uzbekistan, sequence. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86(4), 959-971.

71. Carder D. S., Seismic investigations in the Boulder Dam area, 1940-1944, and the influence of reservoir loading on local earthquake activity. *Bulletin of the Seismological Society of America* 1945;; 35 (4): 175–192. DOI: <https://doi.org/10.1785/BSSA0350040175>

72. Cesca, S., Grigoli, F., Heimann, S., Gonzalez, A., Bufo, E., Maghsoudi, S., Blanch, E., Dahm, T., 2014. The 2013 September–October seismic sequence offshore Spain: a case of seismicity triggered by gas injection? *Geophys. J. Int.* 198, 941–953.

73. Chang, L., Ku, O., & Hanssen, R. (2019). Identification of deformation pattern changes caused by enhanced oil recovery (EOR) using InSAR. *International journal of remote sensing*, 40(4), 1495-1505. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1526426>
74. Cook N.G. Seismic location of rock bursts. In: Rock mechanics. Moscow., 1966. pp. 300-318.
75. Davis S.D., Frohlich C., 1993. Did (or will) fluid injection cause earthquakes? – criteria for a rational assessment. *Seismol. Res. Lett.* 64, 207–224.
76. Dahm, T., Becker, D., Bischoff, M., Cesca, S., Dost, B., Fritschen, R., Husen, S. (2012). Recommendation for the discrimination of human-related and natural seismicity. *Journal of Seismology*, 17(1), 197-202. DOI:10.1007/s10950-012-9295-6
77. Dahm, T., Cesca, S., Hainzl, S., Braun, T., & Krüger, F. (2015). Discrimination between induced, triggered, and natural earthquakes close to hydrocarbon reservoirs: A probabilistic approach based on the modeling of depletion-induced stress changes and seismological source parameters. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(4), 2491-2509.
78. Eppelbaum L. V., Katz Y. I. Significant Tectono-Geophysical Features of the African-Arabian Tectonic Region: An Overview//*Geotectonics* 2020, Vol. 54, No. 2, pp. 266–283.
79. Foulger G. R., Wilson M. P., Gluyas J. G., Julian B. R., Davies R. J. Global re-view of human-induced earthquakes // *Earth-Science Reviews*. 2018. Vol. 178. P. 438–514.
80. Gupta, H.K., 2002. A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India. *Earth Sci. Rev.* 58, 279–310 [http://dx.doi.org/10.1016/s0012-8252\(02\)00063-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0012-8252(02)00063-6)
81. Hamilton R. M., Smith B. E., Fischer F. G., Papanek P. J.; Earthquakes caused by underground nuclear explosions on Pahute Mesa, Nevada Test Site. *Bulletin of the Seismological Society of America* 1972; 62 (5): 1319–1341. doi: <https://doi.org/10.1785/BSSA0620051319>

82. Kundu, B., Vissa N.K., Gahalaut V.K. Influence of anthropogenic groundwater unloading in Indo-Gangetic plains on the 25 April 2015 Mw 7.8 Gorkha, Nepal earthquake // *Geophys. Res. Lett.*, 2015, Vol. 42, pp. 10607-10613.
83. Lizurek, G., Rudziński, Ł., Plesiewicz, B. 2015. Mining induced seismic event on an inactive fault. *ActaGeophysica* 6(1): 176-200. DOI: 10.2478/s11600-014-0249-y
84. Nicholson, C., & Wesson, R. L. (1992). Triggered earthquakes and deep well activities. *Pure and Applied Geophysics PAGEOPH*, 139(3-4), 561-578. DOI:10.1007/BF00879951
85. Panzhin, A. Identification of geodynamic movements based on the results of geodetic monitoring measurements. Paper presented at the E3S Web of Conferences, 2020, 192, DOI:10.1051/e3sconf/202019204001.
86. Plotnikova I.M., Nurtaev B.S., Grasso J.R., Matasova L.M., Bossu R. The character and extent of seismic deformation in the focal zone of Gazli earthquakes of 1976 and 1984, $M > 7.0$ // *Pure and Applied Geophysics*. 1996. Vol. 147. Pp. 377—387
87. Sherman S. I., Seminsky K. Zh. Tectonophysical research at Institute of the Earth's crust SB RAS: major achievements and actual problems, *Geodynamics & tectonophysics*, 2010. Vol. 1. № 1. 4–23
88. Simpson D. W., Leith W. The 1976 and 1984 Gazli, USSR, earthquakes – were they induced. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1985. Vol. 75, No. 5. pp. 1465–1468.
89. Stanton, A. G., & Glantz, P. (1994). *Primer of biostatistics*. New York Toronto, 459.
90. Tang, L., Zhang, M., Sun, L., Wen, L., 2015. Injection-induced seismicity in a natural gas reservoir in Hutubi, southern Junggar Basin, northwest China. In: *Transactions of the American Geophysical Union*, Abstract S13B-2847.
91. Wang, L.; Yang, L.; Wang, W.; Chen, B.; Sun, X. Monitoring Mining Activities Using Sentinel-1A InSAR Coherence in Open-Pit Coal Mines. *Remote Sens.* 2021, 13, 4485. <https://doi.org/10.3390/rs13214485>

92. Yang, Q., Zhao, W., Dixon, T. H., Amelung, F., Han, W. S., & Li, P. (2015). InSAR monitoring of ground deformation due to CO₂ injection at an enhanced oil recovery site, West Texas. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 41, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.06.016>

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. Удостоверение на рационализаторское предложение
№ 01/01-20 от 10.08.2020**



Общество с ограниченной ответственностью
«Газпром ПХГ»
(ООО «Газпром ПХГ»)

УДОСТОВЕРЕНИЕ
на рационализаторское предложение

Настоящее удостоверение выдано

Шевчуку Степану Васильевичу

(фамилия, имя, отчество автора)

на предложение № 01/01-20 от «10» августа 2020г., признанное рационализаторским
«28» августа 2020 г. и рекомендованное к использованию

в геологической службе филиала ООО «Газпром ПХГ» «Калининградское УПХГ».

(где: наименование организации, подразделения организации)

под наименованием:

**Оптимизация выбора параметров геодинамического полигона на геодинамически
опасных объектах освоения недр.**

Соавторами рационализаторского предложения являются:

Квятковская Светлана Сергеевна



Заместитель Генерального директора
по перспективному развитию
С.В. Курсанов

(подпись)

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Удостоверение на рационализаторское предложение
№ 01/02-20 от 10.08.2020**



Общество с ограниченной ответственностью
«Газпром ПХГ»
(ООО «Газпром ПХГ»)

УДОСТОВЕРЕНИЕ
на рационализаторское предложение

Настоящее удостоверение выдано

Шевчуку Степану Васильевичу

(фамилия, имя, отчество автора)

на предложение № 01/02-20 от «10» августа 2020г., признанное рационализаторским «28» августа 2020 г. и рекомендованное к использованию

в геологической службе филиала ООО «Газпром ПХГ» «Калининградское УПХГ».

(где: наименование организации, подразделения организации)

под наименованием:

**Оптимизация выбора конфигурации и размеров геодезической сети при
геодинамическом мониторинге на объектах освоения недр.**

Соавторами рационализаторского предложения являются:

Квятковская Светлана Сергеевна



Заместитель Генерального директора по
перспективному развитию

С.В. Кирсанов

(подпись)

**ПРИЛОЖЕНИЕ В. Удостоверение на рационализаторское предложение
№ 01/03-20 от 05.10.2020**



**Общество с ограниченной ответственностью
«Газпром ПХГ»
(ООО «Газпром ПХГ»)**

**УДОСТОВЕРЕНИЕ
на рационализаторское предложение**

Настоящее удостоверение выдано

Шевчуку Степану Васильевичу

(фамилия, имя, отчество автора)

на предложение № 01/03-20 от «05» октября 2020г., признанное рационализаторским
«22» октября 2020 г. и рекомендованное к использованию

в Службе геологоразведочных работ и Службе главного маркшейдера
ООО «Газпром ПХГ».

(где: наименование организации, подразделения организации)

под наименованием:

**Оптимизация исходных данных о геодинамических процессах при проектировании и
строительстве подземных хранилищ газа в каменной соли.**



Заместитель Генерального директора
по перспективному развитию
С.В. Кирсанов

(подпись)

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Акт об использовании объекта патентных прав.

ООО «Газпром ПХГ»

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер - первый заместитель
Генерального директора

(подпись) М.А. Колосов

«01» марта 2022 г.



АКТ об использовании объекта патентных прав за период с 01.01.2022 по 28.02.2022

«01» марта 2022 г.

№ патента 2 757 387.

Правообладатель ООО «Газпром ПХГ».

Название объекта патентных прав патент РФ на изобретение «Способ выбора конфигурации и размеров геодезических сетей при геодинамическом мониторинге на объектах освоения недр».

Правовая основа для использования объекта патентных прав является правообладателем.
Наименование и реквизиты объекта техники, в котором использован объект патентных прав Проект геодинамического полигона Невского ПХГ, утвержденный Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (письмо от 15.12.2021 г. № 01-05-03/1799).

Перечень технической и иной документации, на основании которой установлен факт использования объекта патентных прав:

Проект геодинамического полигона Невского ПХГ, утвержденный Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (письмо от 15.12.2021 г. № 01-05-03/1799).

Способ использования объекта патентных прав: Создание локальных профильных линий пересекающих разломную зону, с учетом зоны динамического влияния разлома.

Место использования объекта патентных прав: филиал ООО «Газпром ПХГ» «Невское УПХГ».

Реквизиты договора(-ов), при исполнении обязательств по которому(-ым) использован объект патентных прав указанным в настоящем акте способом: договор с третьими лицами отсутствует, объект патентных прав использован при выполнении работ собственными силами правообладателя.

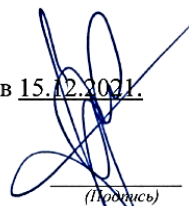
Объемы использования объекта патентных прав: запроектированы три локальных профильных линии длиной не более 2,5 км.

Настоящим актом подтверждается выполнение требований, на основании которых установлен факт использования объекта патентных прав указанным в настоящем акте способом.

Достигнут полезный технологический эффект.


Дата начала использования объекта патентных прав 15.12.2021.

Заместитель генерального директора –
главный геолог



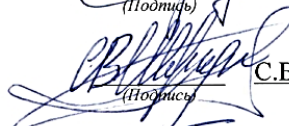
Р.С. Никитин

Заместитель генерального директора
по перспективному развитию



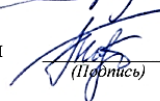
С.В. Кирсанов

Начальник службы - главный маркшейдер



С.В. Шевчук

Начальник Управления новой техники и технологии



В.Ю. Таргонский