

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова

Кафедра маркшейдерского дела и геодезии

УДК 553.068.1

На правах рукописи

Нұрлан Әділ Нұрланұлы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Геодинамический мониторинг земной поверхности на основе высокоточных
топографо-геодезических наблюдений

7M07210 – Геопространственная цифровая инженерия

Научный руководитель

Доктор тех. наук, профессор

 Ж.Ж. Байгурин

«23» июня 2021 г.



Нормоконтролер

м.тех.наук

 Ж.М.Нукарбекова

«22» июня 2021 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой МдиГ, доктор

PhD, ассоц.профессор

 О.Э. Орынбасарова

«22» июня 2021 г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова
Кафедра маркшейдерского дела и геодезии

7M07210 – Геопространственная цифровая инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой
МдиГ, доктор PhD,
ассоц.профессор



Орынбасарова Э.О
«22» июня 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Нұрлан Әділ Нұрланұлы.

Тема: Геодинамический мониторинг земной поверхности на основе высокоточных топографо-геодезических наблюдений.

Утверждена *приказом Ректора Университета №330-м от «11» ноября 2019 г.*

Срок сдачи законченной диссертации *«20» июня 2021 г*

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) Проведение мониторинга геодинамических процессов разрабатываемых месторождений нефти и газа и прилегающих территорий;
- б) Сбор и анализ материалов по напряжённно-деформированному состоянию земной поверхности исследуемой площади;
- в) Выявить высокоточные топографо-геодезические наблюдения за состоянием земной поверхности.

Рекомендуемая основная литература:

- 1 Справочник: УДК 551. 24 Ю.О. Кузьмин Ассоциация «Нефтегазэксперт», ИФЗ РАН, Москва
- 2 Отчеты по проведению геодинамических работ на нефтяных месторождениях.

АННОТАЦИЯ

Интенсивная и долговременная разработка нефтяных месторождений неизбежно сопровождается техногенным воздействием на геологическую среду. Оценка такого воздействия выполняется в результате анализа всей имеющейся информации о территории месторождения, в первую очередь с целью определения ожидаемых рисков.

В связи с этим необходимо проведение мониторинга геодинамических процессов разрабатываемых месторождений нефти и газа и прилегающих территорий. Данные работы должны быть увязаны с маркшейдерскими работами по определению координат и высотного положения реперов.

В диссертационной работе на основе нефтяного месторождения Кумколь проводится исследование геодинамического состояния месторождения с помощью нивелирования и GNSS измерения. На основе данного исследования будет предложен процесс автоматизации.

В целях анализа геодинамической обстановки, сложившейся в состоянии земной поверхности на территории месторождения Кумколь, будут проведены высокоточные инструментальные наблюдения и приведены результаты для выявления закономерностей деформации.

ANOTATION

Intensive and long-term development of oil fields is inevitably accompanied by a man-made impact on the geological environment. The assessment of such an impact is carried out as a result of the analysis of all available information about the field territory, primarily in order to determine the expected risks.

In this regard, it is necessary to monitor the geodynamic processes of the developed oil and gas fields and adjacent territories. These works should be linked to the survey work to determine the coordinates and altitude position of the reference points.

In the dissertation work on the basis of the Kumkol oil field, a study of the geodynamic state of the field is carried out using leveling and GNSS measurement. Based on this study, an automation process will be proposed.

In order to analyze the geodynamic situation that has developed in the state of the earth's surface on the territory of the Kumkol deposit, high-precision instrumental observations will be carried out and the results will be presented to identify the deformation patterns.

АНДАТПА

Мұнай кен орындарын қарқынды және ұзақ мерзімді игеру сөзсіз геологиялық ортаға техногендік әсермен бірге жүреді. Мұндай әсерді бағалау кен орнының аумағы туралы барлық қолда бар ақпаратты талдау нәтижесінде, бірінші кезекте күтілетін тәуекелдерді айқындау мақсатында орындалады.

Осыған байланысты игеріліп жатқан мұнай және газ кен орындары мен іргелес аумақтардың геодинамикалық процестеріне мониторинг жүргізу қажет. Бұл жұмыстар реперлердің координаттары мен биіктік жағдайын анықтау жөніндегі маркшейдерлік жұмыстармен байланыстырылуы тиіс.

Құмкөл мұнай кен орны негізіндегі диссертациялық жұмыста нивелирлеу және GNSS өлшеу көмегімен кен орнының геодинамикалық жай-күйін зерттеу жүргізіледі. Осы зерттеу негізінде автоматтандыру процесі ұсынылады.

Құмкөл кен орнының аумағында жер беті жағдайында қалыптасқан геодинамикалық жағдайды талдау мақсатында жоғары дәлдікті аспаптық бақылаулар жүргізіледі және деформация заңдылықтарын анықтау үшін Нәтижелер келтіріледі.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 Краткое геологическое строение	10
1.1 Гидрогеологические условия месторождений	12
2 Методика проведения мониторинга	14
2.1 Основные принципы создания геодинамического полигона	14
3 Краткая информация о геодинамической изученности месторождений Кумколь	17
3.1 Повторное точное нивелирования	17
3.2 Повторные высокоточные GNSS-измерения	19
4 Основные результаты 13-го и 14-го цикла точного нивелирования на территории месторождений Кумколь	Ошибка! Закладка не определена.
4.1 Аппаратура и методика выполнения работ. Оценка точности и качества. Обработка результатов измерений	21
4.2 Анализ результатов повторного точного нивелирования и сопоставление с результатами предыдущих циклов	23
5 Основные результаты 13-го и 14-го циклов высокоточных GNSS-измерений на территории месторождений Кумколь	33
5.1 Высокоточные GNSS измерения. Методика выполнения работ, оценка точности и качества. Обработка результатов измерений	33
5.2 Анализ результатов высокоточных GNSS измерений	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	51

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Земная поверхность находится в постоянном движении. Одни ее участки испытывают поднятия, другие медленно опускаются. На естественные условия напряженного геодинамического состояния могут накладываться антропогенные влияния, например, при разработке и эксплуатации нефтегазовых месторождений, которые способны приводить к формированию условий возникновения разрушающих катастрофических явлений.

В связи с этим необходимо проведение мониторинга геодинамических процессов разрабатываемых месторождений нефти и газа и прилегающих территорий. Данные работы должны быть увязаны с маркшейдерскими работами по определению координат и высотного положения реперов.

Земные недра, в том числе в районах нефтегазоносных бассейнов, подвержены современным геодинамическим процессам: это уверенно доказывают как практические наблюдения, так и теоретические исследования. Соответственно, говорить о безопасности и эффективности работы предприятий по добыче нефти и газа можно только в том случае, когда эти геодинамические процессы отслеживаются и принимаются во внимания.

Цель работы. Целью исследования является изучение состояний земной поверхности по геодинамическому мониторингу, с использованием высокоточных топографо-геодезических наблюдений.

Основные задачи:

- сбор и анализ материалов по напряжённно-деформированному состоянию земной поверхности исследуемой площади;
- выявить высокоточные топографо-геодезические наблюдения за состоянием земной поверхности;
- оценка потенциального геодинамического риска и возможных негативных последствий длительной разработки месторождений;
- построение графиков изменения параметров вдоль профилей и во времени;
- оценка уровня и масштаба проявления природно-техногенных деформационных процессов.

Объектом исследования является месторождение Кумколь, локализованное в южной части Тургайской низменности на территории Улытауского района Карагандинской области Республики Казахстан.

Фактический материал. Диссертация написана на базе отчетных материалов по геодинамическому мониторингу.

Практическое значение. Практическое значение работы заключается в использовании более точных и автоматизированных приборов для проведения геодинамического мониторинга.

Новизна работы. Новизна диссертационной работы заключается в выявлении вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности современными, точными и комплексными методами, которые необходимо

учитывать при добыче нефтяных месторождений.

Составная часть и объем магистерской диссертации. Диссертация написана на 51 страницах компьютерного текстового набора и состоит из аннотации, содержания диссертации, введения, пяти разделов, заключения и списка использованной литературы. Диссертация включает в себя 24 рисунков и 2 таблицы.

1. Краткое геологическое строение

Месторождения Кумколь и Восточный Кумколь расположены в центральной части Ащисайской системы палеозойских горст-антиклиналей Южно-Торгайского прогиба северо-восточной части Туранской плиты (рисунок 1.1).

Арыскупский прогиб в стратиграфическом диапазоне выполнен отложениями от нижне-юрских до четвертичных, залегающими на протерозойско-палеозойском складчатом фундаменте. Тектоника юрского рифтогенного комплекса характеризуется сложным строением по отношению к мел-палеогеновой толще и представлена системой узких асимметричных линейных отрицательных (грабен-синклиналей) и положительных (горст-антиклиналей) структур северо-западного простирания, протяженностью до 200 км. Платформенный мел-палеогеновый структурный комплекс толщиной до 1600м выполняет Арыскупский прогиб, наложенный на структуры юрского комплекса.

Глубина залегания поверхности фундамента в пределах Акшабулакского выступа до 2000м, в прилегающих частях достигает 5000м. Выступ имеет северо-восточное простирание и ограничен разломами, контролирующими выклинивание к нему среднего и нижнего ритмокомплексов юры, развитых в прилегающих частях.

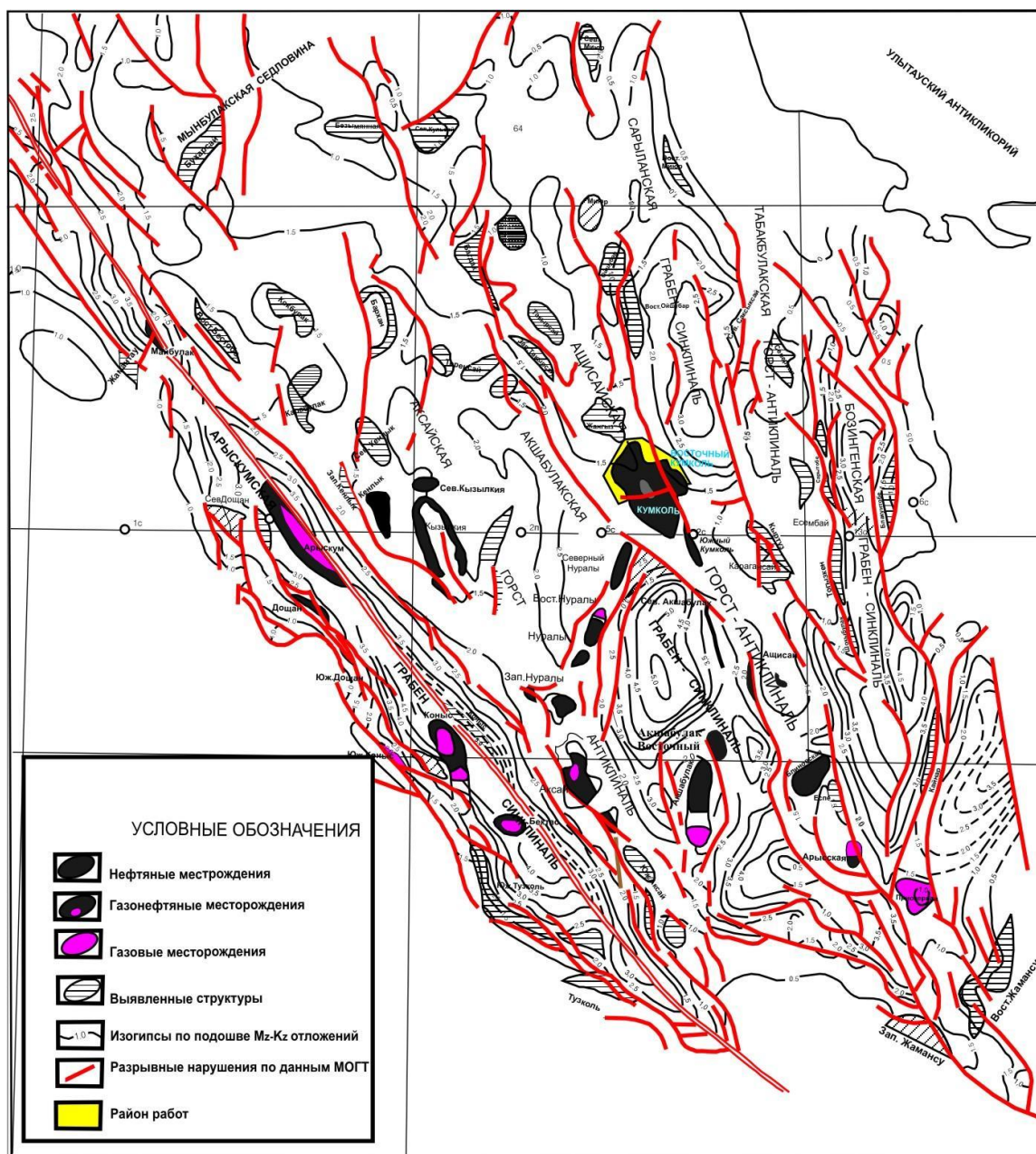


Рисунок 1.1 – Тектоническая схема Арыскупского прогиба

1.1. Гидрогеологические условия месторождений

По месторождению Восточный Кумколь гидрогеологическая характеристика аналогична месторождению Кумколь и Арыкумскому прогибу в целом.

В результате бурения и опробования глубоких параметрических, поисковых, гидрогеологических, структурных и разведочных скважин в Арыкумском прогибе выделены водоносные комплексы юрских, меловых, палеогеновых, неогеновых и четвертичных отложений.

По химическому составу пластовых вод в разрезе Арыкумского прогиба выделяются три гидрохимические зоны:

3 Верхняя зона включает водоносный комплекс верхнего мела со свободным фильтрационным гидродинамическим режимом. Комплекс ограничен флюидоупорами из глин палеогена и верхнего альб-сеномана. Пластовые воды пресные и слабосоленоватые с сульфатно-натриевым типом минерализации.

4 Средняя гидрохимическая зона приурочена к водоносному комплексу альб-сеномана, имеющего фильтрационный гидрохимический режим с более затрудненным водообменом. Пластовые воды солоноватые (около 3,5 г/л).

5 Нижняя гидрохимическая зона включает водоносные комплексы верхнего и нижнего неокома, верхней, средней и нижней юры, разобщенные глинистыми флюидоупорами.

Минерализация пластовых вод увеличивается вниз по разрезу от 36-40 до 80-85 г/л в неокоме и верхней юре. Тип воды хлоркальциевый, гидрохимический режим застойный, местами, возможно, слабовыраженный элизионный для юрских отложений.

Пластовые воды месторождения Восточный Кумколь по классификации В.А. Сулина определяются как соленые и рассолы хлоркальциевого типа, хлоридной группы, натриевой подгруппы. Величины минерализации в юрских отложениях в пределах 78-84 г/л, коэффициент $Na^+/Cl^- = 0,79$.

Воды верхних водоносных комплексов могут быть использованы для организации орошаемого земледелия, водоснабжения и обводнения пастбищных территорий. Для технических целей могут быть использованы воды альб-сеноманского комплекса. В пластовых водах месторождения нет элементов, представляющих промышленный интерес для попутного извлечения.

В настоящее время на находящемся в разработке нефтегазовом месторождении Кумколь, для поддержания пластового давления используются воды верхнеальб-сеноманского комплекса в смеси с попутной водой, добываемой вместе с нефтью. Эти же воды рекомендуется использовать на месторождении Восточный Кумколь, поскольку до настоящего времени при закачке этих вод в пласт не было проблем на месторождении Кумколь.

Для питьевого водоснабжения, из-за отсутствия питьевой воды в данном районе, рекомендуется использовать воды палеогенового или верхнетурон-сенонского водоносных комплексов с использованием малогабаритной опреснительной установки, а также артезианские воды верхнего мела.

2. Методика проведения мониторинга

2.1. Основные принципы создания геодинамического полигона

При создании геодинамических полигонов на месторождениях УВС следует исходить из того, что современные геодинамические процессы, возникающие, как правило, в зонах неоднородностей геологической среды (разломы, блоковое строение месторождения, повышенная трещиноватость, плотностные неоднородности пород-коллекторов и др.) при разработке месторождений нефти и газа, как следствие сложных взаимосвязанных сейсмодинамических и флюидодинамических процессов.

В связи с этим контроль (мониторинг) за развитием этих процессов должен осуществляться различными методами, что позволяет, при комплексном анализе и интерпретации результатов, вырабатывать представления о возможном развитии тех или иных форм аномальных событий.

Во избежание больших и неоправданных финансовых затрат, важное значение приобретает задача оптимизации методов. Главное условие состоит в необходимости получения в течение первых трех лет объективной исходной информации о современной геодинамической ситуации на территории месторождения, полнота и комплексность которой определяет в итоге получение достоверных результатов анализа, интерпретации и оценок риска возникновения геодинамических событий природно-техногенного генезиса.

Вышеуказанные процессы и формы их возможного проявления на территории разрабатываемых месторождений Кумколь и Восточный Кумколь определяют выбор методов мониторинга. При этом должны соблюдаться два главных требования.

Во-первых, сложность и многофакторная обусловленность геодинамических процессов природного и техногенного генезиса определяют необходимость проведения комплексного мониторинга в течение длительного периода для получения надежных результатов и оценок.

Во-вторых, природные и техногенные геодинамические процессы, как правило, развиваются в тесной взаимосвязи, что требует включения в единый комплекс адекватных методов наблюдений. Так, например, достаточно надежно установлено, что в зоне подготовки будущего очага землетрясения, в том числе связанного с операциями по добыче нефти или газа, происходит взаимодействие деформационных и флюидодинамических процессов, которые возникают и развиваются в условиях существенно неоднородной, трещиноватой среды, находящейся в поле постоянно действующих напряжений. Результатом этих процессов и их взаимодействия являются, кроме собственно сейсмических событий, также деформации и наклоны земной поверхности, вариации во времени геофизических полей, вариации

параметров флюидных систем во времени (динамики, состава и свойств флюидных систем). Возможное сочетание этих процессов приводит к необходимости применения комплекса методов для понимания связей между ними и оценки возможности выработки совокупности прогностических признаков.

Применение одного какого-либо метода даже в режиме мониторинга (например, сейсмологического) приведет к «пропуску» возможных предвестников развития других форм проявления геодинамических событий, например, просадочных явлений, активизации разломов и других форм, которые могут возникать одновременно с землетрясениями или без сейсмических событий. Поскольку каждый метод обладает собственным специфическим потенциалом в части возможной диагностики аномальных геодинамических и флюидодинамических ситуаций и выработки прогностических признаков, комплексирование методов позволит повысить достоверность оценок и прогнозирования. Этим будет повышаться предсказуемость всех возможных форм природно-техногенных геодинамических событий.

Основные требования к созданию геодинамического полигона на месторождениях Кумколь и Восточный Кумколь состоят в следующем:

- совмещенные по местоположению пункты различных методов комплексного геодинамического мониторинга;
- долговременная сохранность пунктов геодинамического мониторинга;
- отсутствие воздействия приповерхностных инженерно-геологических факторов (солончак, карст, возможность затопления и подтопления и др.);
- необходимость размещения деформационных, геофизических и других запланированных видов измерительных комплексов с повышенной пространственно-временной детальностью в районах концентрации систем и объектов разработки месторождений и одновременно удовлетворяющих оптимальным условиям регистрации событий и метрологического контроля измерений;
- надежный контроль условий возникновения и развития аномальных геодинамических событий природно-техногенного генезиса за счет оптимальной пространственно-временной детальности мониторинговых наблюдений;
- комплексирование с существующими видами геофизического и экологического контроля за эксплуатацией нефтяных месторождений Кумколь и Восточный Кумколь.
- необходимый и достаточный комплекс методов и видов мониторинга и оптимальный режим наблюдений (непрерывный или/и

дискретный), обеспечивающих регистрацию всех форм геодинамических событий, ответственных за потенциальные последствия;

- построение мониторинговых систем с использованием существующих высокоэффективных аппаратурно-технических средств.

Комплексное изучение природных и техногенных геодинамических процессов на территории нефтяных месторождений Кумколь и Восточный Кумколь позволит с определенной вероятностью ответить на ряд принципиальных вопросов, а именно:

- каков будет характер и интенсивность проявления напряженно-деформированного состояния геологической среды при длительном отборе жидкости из месторождения?

- как поведет себя толща осадочных отложений в течение длительной разработки месторождения и изменения напряженно-деформированного состояния продуктивных интервалов разреза?

- каков будет уровень вертикальных и горизонтальных подвижек и деформаций в пределах разломных зон в связи с развитием техногенных процессов в продуктивных интервалах разреза?

- какова будет деформационная (сейсмическая) реакция дискретной геофизической среды в окрестностях месторождения на процессы в продуктивных интервалах разреза, т.е. какова будет вероятность возникновения индуцированных сейсмических событий?

- как поведет себя флюидная система в деформируемой геофизической среде - один из источников экологических последствий в условиях возможного совместного развития аномальных природных и техногенных процессов?

Для получения представительной мониторинговой информации необходимо соблюдать ряд требования при организации систем наблюдений на территории нефтяных месторождений Кумколь и Восточный Кумколь. Системы геодинамического мониторинга должны размещаться в пределах наиболее информативных участков месторождений:

- в пределах активных разломов и в зонах их влияния; в пределах «сквозных» субвертикальных разуплотненных зон; в зонах предрасположенных к механической неустойчивости массивов горных пород; в зонах развития локальных аномалий напряжений (тектонических, весовых); в зонах с повышенной флюидной разгрузкой.

- на участках размещения систем и объектов обустройства нефтегазопромысла, включающих: фонд эксплуатационных скважин; наземные объекты обустройства месторождения; нефтесборные комплексы.

Вышеперечисленные исходные принципы положены в основу создания геодинамического полигона на месторождениях Кумколь и Восточный Кумколь.

3. Краткая информация о геодинамической изученности месторождений Кумколь и Восточный Кумколь

На территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь с 2014 г. по 2020 г., т.е. за 7 лет, выполнено 14 циклов комплексного геодинамического мониторинга для оценки уровня и масштаба развития современных деформационных процессов природно-техногенного генезиса. Выполнялось два цикла измерений в год. Этот сравнительно небольшой период проведения мониторинговых измерений (2014-2020г.г.) показал, что полученные результаты 14-ти циклов вполне укладываются в представления о пространственно-временных особенностях проявления современных геодинамических процессов установленных на ряде месторождений Западного Казахстана с более длинными рядами наблюдений.

В 2014 году было обосновано расположение профилей и пунктов геодинамического мониторинга и комплекс базовых методов (нивелирование II класса повышенной точности, GNSS-измерения).

Созданный в 2014 году геодинамический полигон представлен достаточно устойчивыми долговременными нивелирными пунктами, гравиметрическими пунктами, а также GNSS-пунктами.

Комплексный геодинамический мониторинг на месторождениях выполнялся с применением современной прецизионной высокотехнологичной аппаратуры.

Состояние текущей геодинамической изученности приводится ниже.

Общий объем на период завершения 14 цикла геодинамического мониторинга.

Нивелирные пункты – 55 пунктов.

Протяженность линий повторного точного нивелирования: - 35,0 км;

GNSS-пункты: - 17 пунктов;

3.1 Повторное точное нивелирования

Профиль 1-1 имеет длину 14,0 км и проходит по простиранию сводовой части брахиантиклинали Кумколь (рисунок 3.1). Вдоль этого профиля заложено 22 нивелирных пункта, в том числе 7 нивелирных пунктов, совмещенные с гравиметрическими пунктами. Пункты 21 и 32 выбраны в качестве узловых пунктов на пересечении с профилями 2-2 и 3-3. Среднее расстояние между нивелирными пунктами вдоль профиля составляет порядка 670 метров. Такая плотность нивелирных точек позволит предварительно оценить наличие и интенсивность деформационных процессов, которые происходят на месторождениях Кумколь.

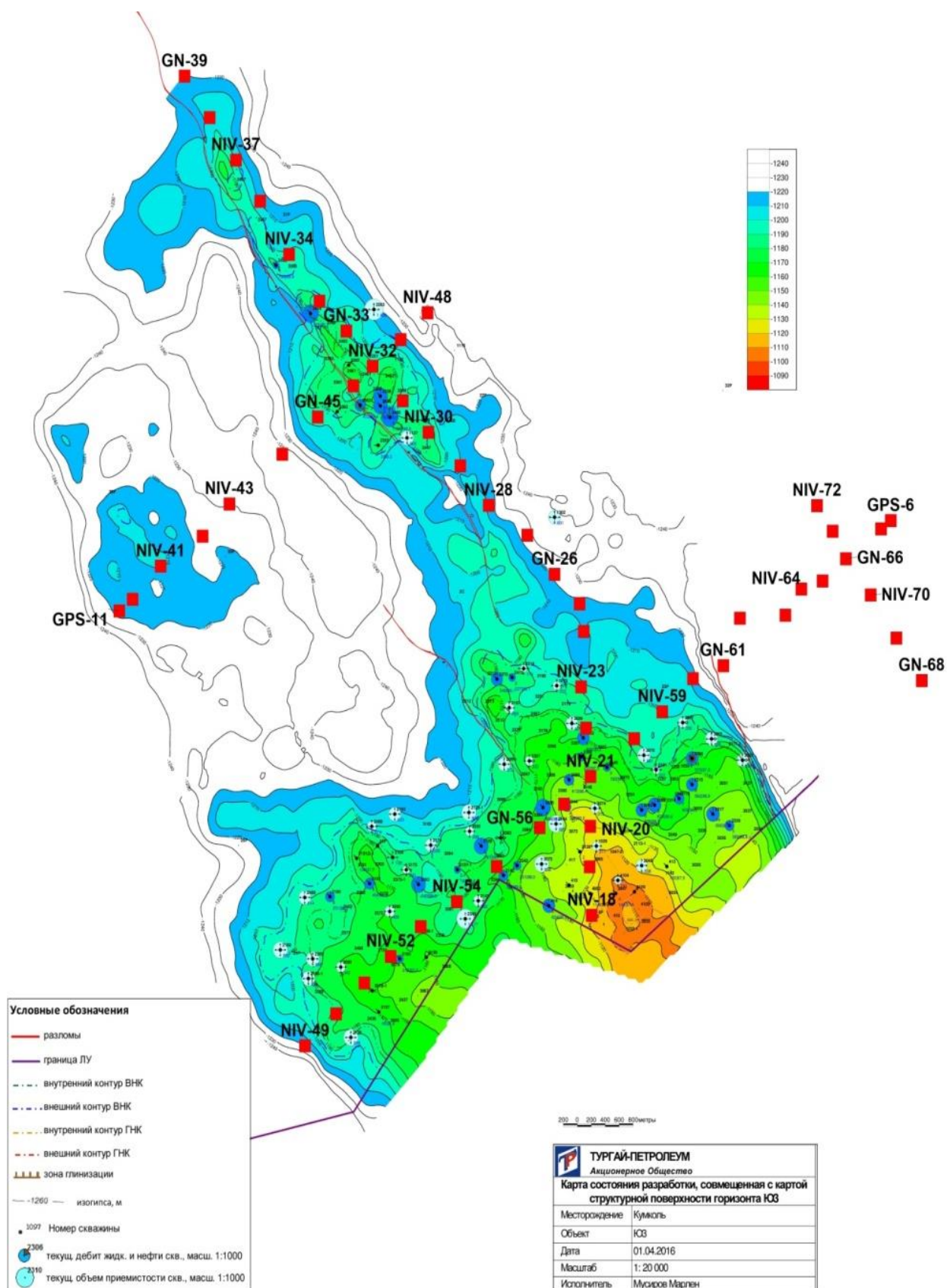


Рисунок 3.1 – Схема расположения линий и пунктов повторного нивелирования на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь в сопоставлении со структурной схемой по отражающему горизонту Ю-3

Профиль 2-2 имеет юго-запад-северо-восточное направление и пересекает вкрест простирания сводовую часть месторождений Кумколь и обособленный блок к юго-западу от свода (рисунок 3.1). Такое расположение профиля достаточно полно характеризует структурно-геологические и промыслово-геологические особенности этой части месторождения Кумколь. Протяженность 6,3 км. Вдоль профиля заложено 10 нивелирных пунктов с узловым пунктом №32 на пересечении с профилем 1-1 в пределах сводовой части месторождения. Среднее расстояние между нивелирными пунктами вдоль профиля составляет порядка 700 метров.

Профиль 3-3 имеет юго-запад – северо-восточное направление и также пересекает вкрест простирания брахиантуклиналиную складку Кумколь и Восточный Кумколь. Это наиболее широкая часть складки Кумколь (рисунок 3.1). Положение этого профиля также достаточно оптимально пересекает структурные и промыслово-геологические особенности месторождений Кумколь и Восточный Кумколь. Его протяженность 11,9 км. Вдоль профиля заложено 19 нивелирных пунктов, из которых 5 пунктов совмещенные с гравиметрическими пунктами. Пункты 21 и 66 являются узловыми при пересечении профиля 3-3 с профилями 1-1 и 4-4. Среднее расстояние между нивелирными пунктами составляет порядка 620 м.

Профиль 4-4 самый короткий из всех линий повторного нивелирования, который проходит по простиранию складки (рисунок 3.1). Его протяженность 2,8 км. Вдоль профиля 4-4 заложено 5 нивелирных пунктов, в том числе 1 пункт, совмещенный с гравиметрическим пунктом. Среднее расстояние между пунктами составляет около 580 м.

3.2 Повторные высокоточные GNSS-измерения

Одним из наиболее эффективных методов оценки геодинамического состояния недр следует считать повторные высокоточные GNSS-измерения. Эти измерения проводятся на специально построенных долговременных пунктах.

Повторные высокоточные GNSS - измерения проводятся с целью долговременного контроля за развитием деформационными процессами на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь. Исследуются закономерности пространственно-временного изменения горизонтальных и вертикальных компонент движений массивов геологической среды.

В соответствии с исходными принципами комплексного размещения пунктов геодинамического мониторинга на разрабатываемых месторождениях углеводородов, 17 GNSS-пунктов расположены рядом с нивелирными пунктами совмещенными с гравиметрическими пунктами. (рисунок 3.2).

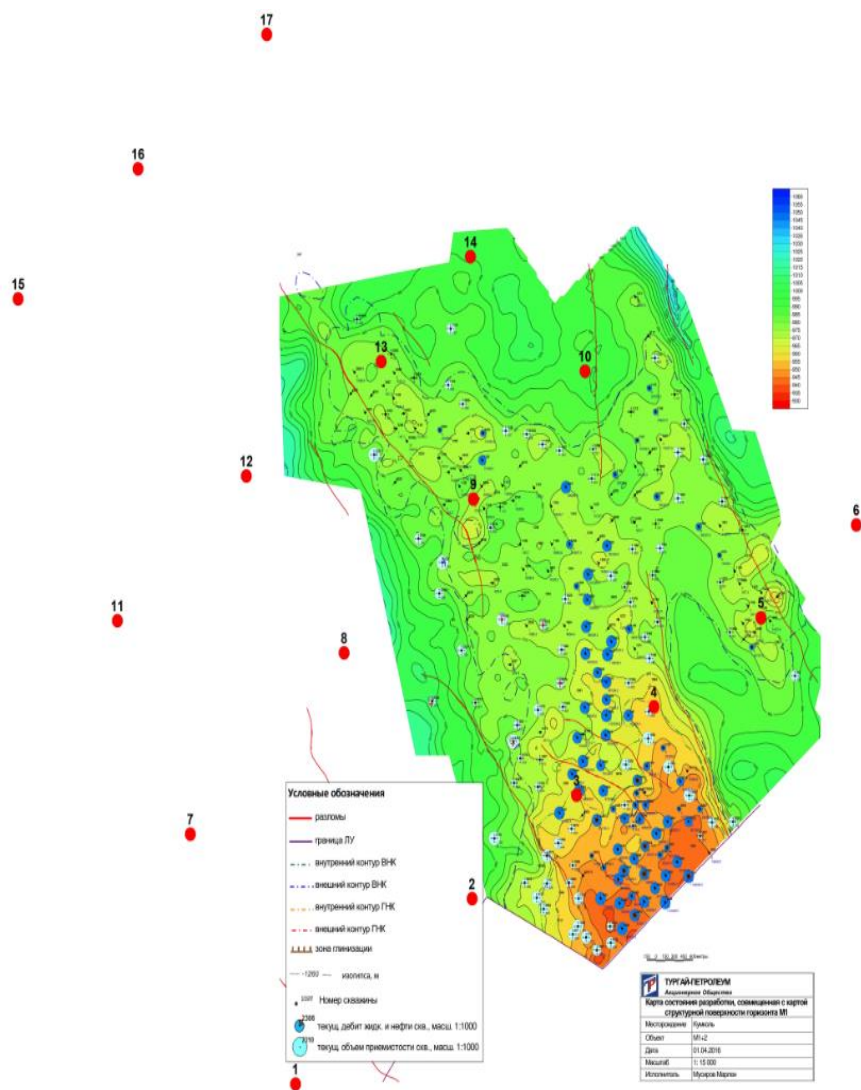


Рисунок 3.2 – Схема расположения GNSS-пунктов на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь в сопоставлении со структурной схемой по отражающему горизонту Ю-3

Такое расположение GNSS-пунктов позволяет на первом этапе мониторинга охарактеризовать всю территорию месторождения Кумколь и Восточный Кумколь в отношении особенностей горизонтальных и вертикальных движений и деформаций массивов горных пород природно-техногенного генезиса.

4 Основные результаты 13-го и 14-го цикла точного нивелирования на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь

4.1 Аппаратура и методика выполнения работ. Оценка точности и качества. Обработка результатов измерений

В соответствие с Программой работ в апреле и в октябре 2020 года на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь был выполнен 13-й и 14-ые циклы точного нивелирования.

Проведен необходимый комплекс организационных мероприятий по подготовке к проведению полевых измерений на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь. Выполнены необходимые исследования по подготовке прецизионной аппаратуры для выполнения измерений на территории месторождения.

В апреле и в октябре 2020 года нивелирование II класса повышенной точности было выполнено по 4-м профилям на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь.

Общая протяженность нивелирных профилей на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь в среднем по 13-му и 14-му циклам составила 35,2 км.

Для проведения высокоточного нивелирования применяются соответствующие высокоточные нивелиры, которые позволяют получить требуемую точность. Повторное высокоточное нивелирование повышенной точности на территории нефтяного месторождения Кумколь в 13-14-м цикле было выполнено современными прецизионными цифровыми нивелирами Leica LS15 (рисунок 4.1). В таблице 5.1 представлены технические характеристики этого нивелира.



Рисунок 4.1 – Внешний вид: цифрового нивелира Leica LS15

Таблица 4.1 Технические характеристики цифрового нивелира Leica LS15

Операция	Характеристика
Измерение высоты	Стандартное отклонение на км двойного хода (ISO 17123-2): электронные измерения с использованием - инварной рейки $\pm 0.3\text{мм}$ - стандартной рейки $\pm 1\text{мм}$
Измерение расстояния	Стандартное отклонение - 15мм/30м
Компенсатор	Маятниковый с магнитным демпфером и электронным контролем рабочего диапазона
Угол наклона	± 10 секунд
Коррекция оси визирования	Автоматическая
Рабочая температура	от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$

В таблице 4.2 приведена основная информация о качестве и точности выполненного нивелирования вдоль линий нивелирования месторождений Кумколь и Восточный Кумколь полученная по результатам 13-го и 14-го цикла нивелирования в 2020 году.

Таблица 4.2

№№ профиля	Длина профиля, (км)	Количество пунктов с учетом узловых пунктов	Допустимые и фактические невязки по профилям (мм)		Средне- квадратические случайные ошибки – η (мм).
13 цикл (апрель 2020)					
1-1	14,1	22	<u>±11,3</u>	+0,7	<u>±0,46</u>
2-2	6,3	9	<u>±7,5</u>	+1,1	<u>±0,34</u>
3-3	12,0	19	<u>±10,4</u>	+0,2	<u>±0,39</u>
4-4	2,9	5	<u>±5,1</u>	+1,7	<u>±0,30</u>
14 цикл (октябрь 2020)					
1-1	14,1	22	<u>±11,3</u>	+4,8	<u>±0,37</u>
2-2	6,3	9	<u>±7,5</u>	+2,8	<u>±0,41</u>
3-3	11,9	19	<u>±10,4</u>	+2,9	<u>±0,39</u>
4-4	2,9	5	+5,1	+1,2	+0,34

Эти данные включают длину профиля, допустимые и фактически полученные невязки по разностям измеренных превышений в прямом и обратном ходах между пунктами вдоль профилей. Величины среднеквадратических случайных ошибок составили менее $\pm 1,0$ мм/км, что полностью соответствует запланированным требованиям и требованиям соответствующих инструкций по нивелированию.

Из таблицы следует, что 13-ый и 14-ые циклы высокоточного нивелирования на территории месторождения Кумколь и Восточный Кумколь выполнен качественно и с очень высокой точностью.

В измерениях по всем профилям практически отсутствует влияние систематических ошибок, что позволит получать наиболее реальное

представление о современных деформационных процессах при сопоставлении с результатами нивелирования последующих циклов.

4.2 Анализ результатов повторного точного нивелирования и сопоставление с результатами предыдущих циклов

Для понимания особенностей проявления деформационных процессов на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь, кратко рассмотрим результаты повторного нивелирования, полученные до 2020 года.

На рисунке 4.2 и 4.3 приведены графики вертикальных движений земной поверхности вдоль профилей 1-1 и 3-3 наиболее полно отражающие основные особенности вертикальных движений земной поверхности на территории месторождения Кумколь.

Профиль 1-1.

Профиль 1-1 (рисунок 4.2) проходит по простиранию сводовой части месторождения Кумколь. Графики вертикальных движений построены за максимальные интервалы времени, но с годовой разницей – между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 10 (октябрь 2018), а также между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 12 (октябрь 2019). Вдоль профиля 1-1 имеет место полная синхронность изменения вертикальных движений, при этом следует отметить, что за больший интервал времени (цикл 1 – цикл 12) интенсивность вертикальных движений заметно ниже, чем за меньший, на год, интервал времени (цикл 1 – цикл 10). Это значит, что за один год (октябрь 2018 – октябрь 2019) вся территория сводовой части месторождения Кумколь вдоль профиля 1-1 испытала проседание земной поверхности с амплитудой до 6 мм. Наибольшее проседание характерно для юго-восточной части месторождения.

Вторая особенность связана с тем, что профиль 1-1 уверенно делится на две части – два блока – Северо-Западный и Юго-восточный (рисунок 4.2). Особенность северо-Западного блока – слабо дифференцированный и слабоинтенсивный характер графиков вертикальных движений земной поверхности. Юго-восточный блок отличается значительно большей интенсивностью вертикальных движений, т.е. относительным подъемом на фоне общего проседания всей территории месторождения вдоль профиля 1-1. Пограничная зона между блоками весьма устойчива по местоположению и во времени, так как она выделялась и за более ранние периоды времени.

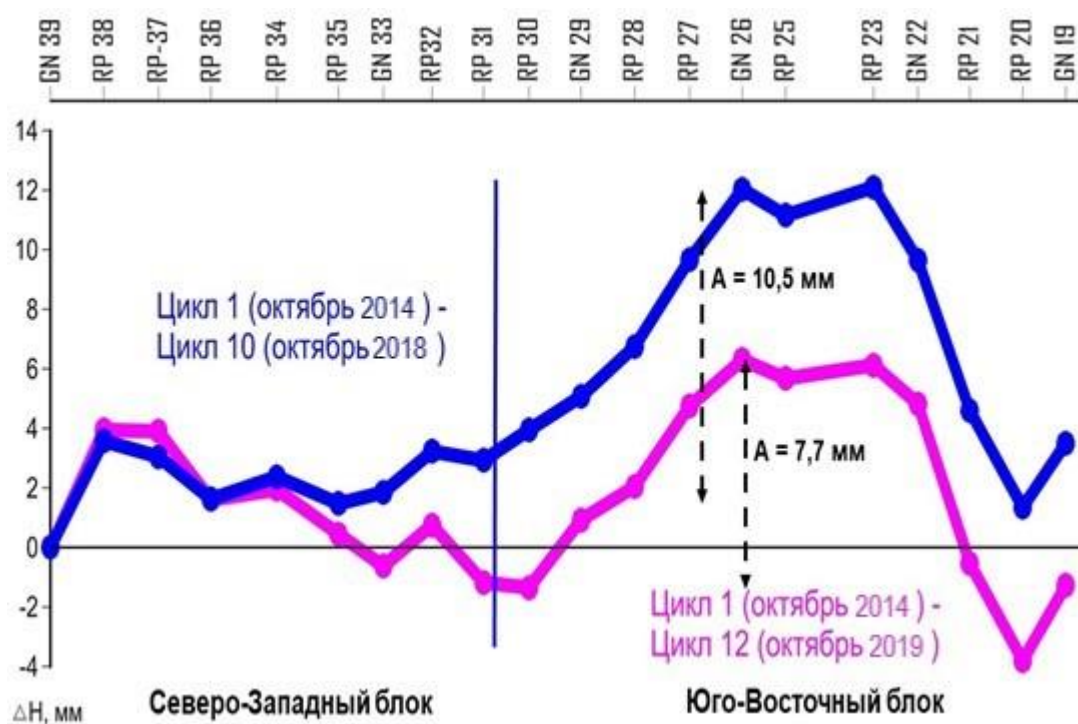


Рисунок 4.2 – Графики вертикальных движений земной поверхности вдоль профиля 1-1 за период между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 10 (октябрь 2018), а также между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 12 (октябрь 2019)

На рисунке 4.3 приведены графики вертикальных движений земной поверхности вдоль профиля повторного нивелирования 3-3 за период времени между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 11 (апрель 2019), а также между циклом 1 (2014) и циклом 12 (2019).

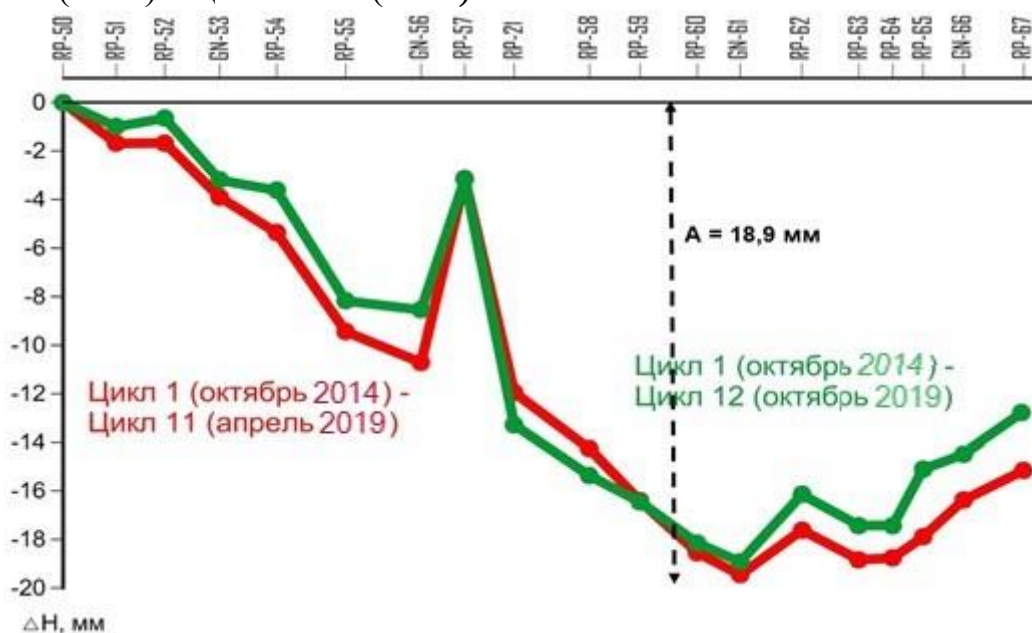


Рисунок 4.3 – Графики вертикальных движений земной поверхности вдоль профиля 3-3 - за интервалы времени между циклом

1 (2014) и циклом 11 (2019), а также между циклом 1 (2014) и циклом 12 (октябрь 2019)

Оба графика изменяются вдоль профиля синхронно, формируя обширную зону проседания земной поверхности с максимальными значениями между нивелирными пунктами 57 и 67. Максимальная амплитуда проседания земной поверхности в пункте 61 составляет 18-19 мм по отношению к нивелирному пункту RP50.

В среднем график вертикальных движений за меньший период времени (красного цвета) расположен ниже графика за больший интервал времени (цикл 1 – цикл 12). Хотя эти изменения небольшие (порядка 2 мм), тем не менее, это говорит о том, что вдоль профиля 3-3 общий фон вертикальных движений с увеличением интервала времени характеризуется небольшим подъемом земной поверхности. Следует отметить, что в месте пересечения профилем 3-3 на профиле 1-1 выявлено проседание земной поверхности (нивелирный пункт 20, рисунок 4.2).

В итоге один из основных выводов состоял в том, что процесс подъема земной поверхности в пределах Юго-Восточного блока и процесс проседания земной поверхности в юго-восточной части месторождения (профиль 3-3) продолжают активно развиваться.

В 2020 году повторное точное нивелирование вдоль линий нивелирования на территории месторождения Кумколь было продолжено. Это позволило рассмотреть процесс изменения вертикальных движений земной поверхности по мере увеличения интервала времени по отношению к циклу 1 (2014 г.).

Ниже рассматриваются графики вертикальных движений земной поверхности за последние полугодовой и годовой интервалы времени (рисунок 4.4) – между циклом 11 (апрель 2019) и циклом 13 (апрель 2020), а также между циклом 12 (октябрь 2019) и циклом 14 (октябрь 2020). Такое сочетание графиков связано с тем, что, во первых, оба графика построены за годовые интервалы времени, т.е. сопоставимы. Во-вторых, графики независимы друг от друга, так как построены за разные циклы измерений.

Одна из особенностей графиков вертикальных движений земной поверхности – это их синхронное изменение вдоль профиля 1-1, т.е. морфология графиков повторяет друг друга. Следует отметить, что график построенный за период между циклами 12 и 14 отражает развитие более поздних деформационных процессов, нежели график за период между циклами 11 и 13. Это значит, что после 12 цикла вся территория сводовой части месторождения Кумколь вдоль профиля 1-1 продолжала проседать - в среднем разница между графиками зеленого и красного цвета составляет около 3 мм.

Вторая особенность состоит в следующем. Анализ результатов независимых циклов показывает, что в средней части профиля имеет место зона перехода между Северо-Западным блоком и Юго-Восточным блоками в районе нивелирных пунктов RP-30 – RP-31. В пределах первого блока развиваются слабоинтенсивные (до ± 2 мм) и слабо дифференцированные вертикальные движения земной поверхности. В пределах второго блока выявлена явная тенденция к подъему земной поверхности с максимальными величинами до 6-8 мм. Таким образом, вновь стоит отметить устойчивое положение по месту и во времени указанной пограничной зоны между боками вертикальных движений с различной характеристикой. В пределах юго-восточного окончания профиля 1-1, т.е. в месте пересечения с профилем 3-3 начинается зона проседания земной поверхности (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Графики вертикальных движений земной поверхности вдоль профиля 1-1- за интервалы времени между циклом 11 (апрель 2019) и циклом 13 (апрель 2020), а также между циклом 12 (2019) и циклом 14 (октябрь 2020)

В соответствие с ранее принятой процедурой было исследовано развитие вертикальных движений земной поверхности вдоль профиля 1-1 за длинопериодные интервалы времени. На рисунке 4.5 приведены два графика вертикальных движений между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 12 (октябрь 2019), а также между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 14 (октябрь 2020), т.е. с увеличением интервала времени на один год. Как и для всех предыдущих примеров оба графика достаточно близки друг к другу по морфологии изменения вертикальных движений вдоль профиля 1-1. Как и для всех предыдущих примеров, профиль 1-1 делится на два блока – Северо-Западный и Юго-Восточный. Сохраняются наиболее существенные отличия между блоками. В пределах Северо-Восточного блока развиваются слабоинтенсивные вертикальные движения с величинами $\pm 2-3$ мм.

Исключение составляет локальная аномалия на нивелирном пункте RP-37 со значением +8,0 мм. Такой характер вертикальных движений продолжается длительное время, учитывая пример на рисунке 4.3.



Рисунок 4.5 – Графики вертикальных движений земной поверхности вдоль профиля 1-1 за период между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 12 (октябрь 2019), а также между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 14 (октябрь 2020)

В пределах Юго-Восточного блока ситуация иная. Этот блок характеризуется современным подъемом земной поверхности. За 5-летний интервал времени (цикл 1 – цикл 12) максимальные величины этого подъема составили около 7 мм. Через год, т.е. в октябре 2020 года (цикл 14) максимальная величина современного подъема блока за 6-летний интервал времени составила уже около 13 мм. Таким образом, за один год прирост современного подъема составил около 6-7 мм. Этот прирост отчетливо виден на рисунке 4.4. Следует отметить, что с юго-востока Юго-Восточный блок ограничен узкой зоной высоких градиентов вертикальных движений между нивелирными пунктами GN-22 и GN-20. Как правило, такие зоны интерпретируются как проявление современной активности разломов. Если это так, то, по-видимому, такая активность (амплитуда около 15 мм за 6-летний интервал времени) может быть связана с развитием поперечного разлома по отношению к сводовой части месторождения Кумколь.

За промежуточный 5,5-летний интервал времени – между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 13 ситуация не изменилась и на рисунке 4.6. график вертикальных движений земной поверхности практически совпадает с графиком движений за 6-летний интервал времени. Исключение составляет Северо-Западный блок, которые несколько просел (до 2,5 мм) за последний полугодовой интервал времени. Увеличение интервала времени между циклом 1 и циклом 14 (2020) не повлияло на местоположение пограничной зоны между Северо-Восточным и Юго-Западным блоками. Она сохранила свое

положение в районе нивелирных пунктов RP-30 и RP-31 уже в течении длительного времени. В итоге, по-видимому, эта пограничная зона структурно обусловлена и возможно также связана с современной активностью поперечной разломной зоной.

Месторождение Кумколь и Восточный Кумколь Профиль 1-1

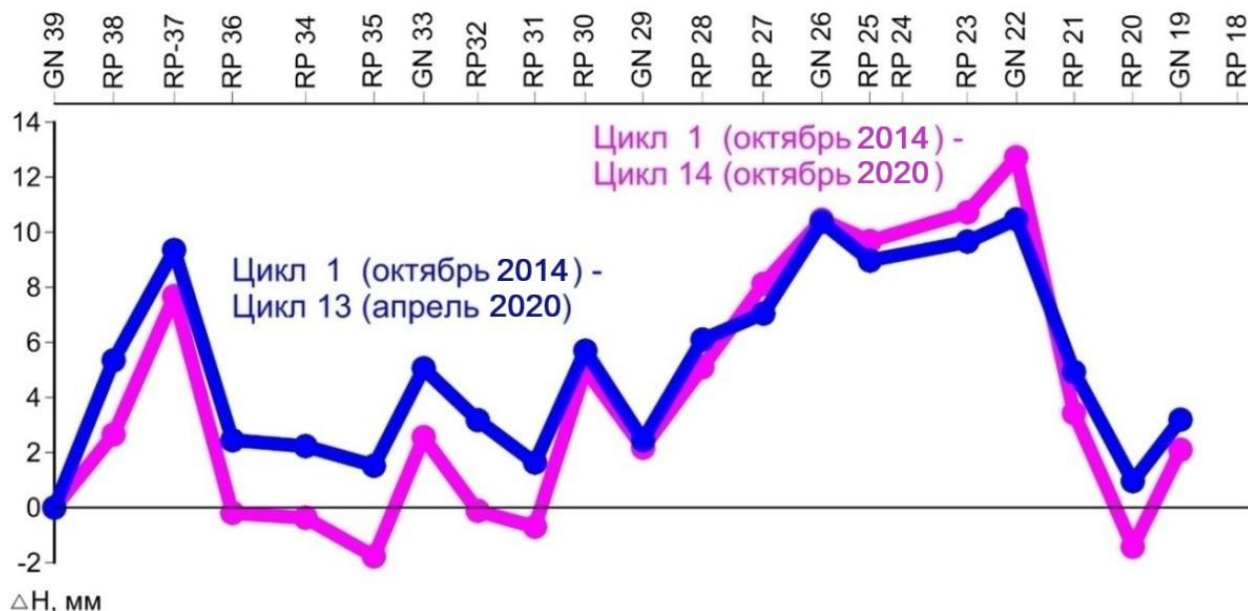


Рисунок 4.6 – Графики вертикальных движений земной поверхности вдоль профиля 1-1 за период между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 13 (апрель 2020), а также между циклом 1 (октябрь 2014) и циклом 14 (октябрь 2020)

Таким образом, во всяком случае с 6-8 циклов (2016-2017 г.г.) и до 14 цикл (2020), вдоль профиля 1-1 установлены одинаковые тенденции изменения вертикальных движений земной поверхности по отношению к 1-му циклу (2014) - слабо дифференцированный и слабоинтенсивный характер движений для Северо-Западного блока и значительное увеличение активности в форме подъема земной поверхности в пределах Юго-Восточного блока. Стабильной в пространстве и во времени остается пограничная зона между указанными блоками – RP-30 – RP-31.

Кроме профильного анализа систематически выполнялся анализ накопления изменений высотных отметок нивелирных пунктов с 1-го цикла (2014) по тот или иной текущий цикл. Ниже рассматриваются изменения (накопления) высотных отметок нивелирных пунктов во времени, начиная с 1-го цикла измерений, вдоль профиля 1-1.

На рисунке 4.7. представлен график изменения (накопления) средних значений высотных отметок всех нивелирных пунктов по мере увеличения интервала времени между циклом 1 (2014) и последующими циклами, вплоть до 2020 года. Совершенно очевидна общая тенденция – увеличение средних значений отметок всех пунктов на профиле 1-1 с 2014 года по 2020 год.

Построенный график имеет явно нелинейный характер – на фоне увеличения общего долгопериодного тренда (пунктирная линия) вертикальных движений имеют место локальные короткопериодные (годовые) изменения движений. Характерно, что в отдельные годовые интервалы происходят как увеличение (подъем), так и уменьшение (проседание) вертикальных движений. Амплитуды короткопериодных изменений средних значений отметок нивелирных пунктов достигают от 2 мм до 5 мм. Можно предположить следующее. Общий тренд подъема земной поверхности сводовой части месторождения Кумколь вдоль профиля 1-1 возможно связан с направленным развитием современных вертикальных движений структуры Кумколь и этот процесс природного генезиса, Если локальные короткопериодные изменения вертикальных движений имеют различную амплитуду во времени, значит меняется во времени источник, который формирует эти локальные короткопериодные изменения движений. Одним из источников может быть техногенный фактор – процессы, связанные с добычей углеводородного сырья и процессы воздействия на продуктивные пласты для поддержания пластового давления. Как известно эти процессы изменчивы во времени, что может повлиять на короткопериодное и локальное изменение высотных отметок нивелирных пунктов.

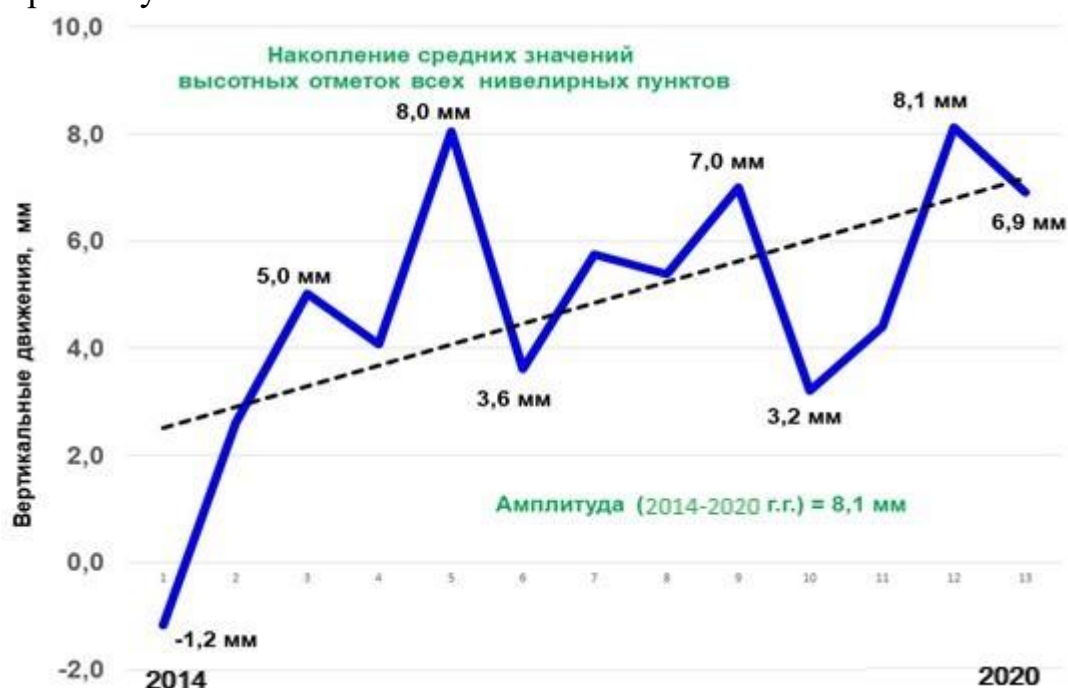


Рисунок 4.7 – График изменения (накопления) средних отметок для всех нивелирных пунктов по мере увеличения интервала времени между циклом 1 (2014) и последующими циклами вдоль профиля 1-1

Основной вклад в формирование графика средних значений отметок нивелирных пунктов (рисунок 4.7) конечно вносят нивелирные пункты входящие в состав юго-восточной части профиля 1-1, т.е. в состав Юго-Восточного блока, поднимающегося в настоящее время.

На рисунке 4.8 приведены графики накопленных изменений

вертикальных движений наиболее информативных пунктов, расположенных в пределах Юго-Восточного блока.

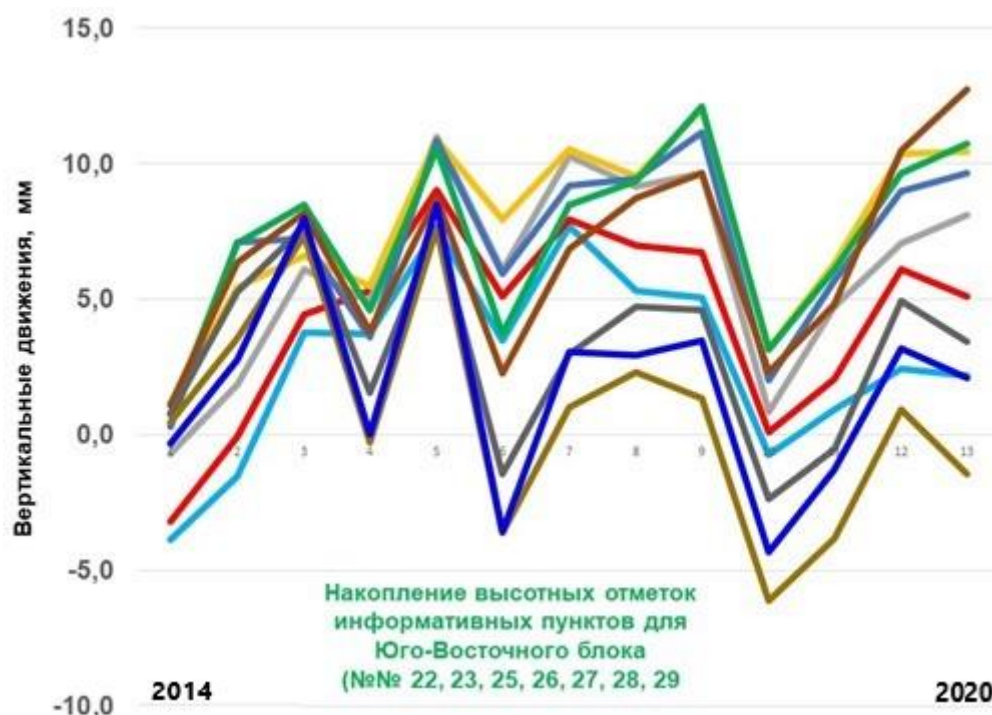


Рисунок 4.8 – Графики накопленных величин отметок информативных нивелирных пунктов, входящих в Юго-Восточный блок, по мере увеличения интервала времени с 2014 год по 2020 год

Анализ графиков показывает, что отметки нивелирных пунктов изменяются во времени синхронно между собой. Такая однотипность говорит о том, что перемещаются во времени не отдельные нивелирные пункты, а целом весь Юго-восточный блок, т.е. значительный участок месторождения Кумколь – от нивелирного пункта RP-30 до нивелирного пункта RP-20.

Наиболее убедительно это следует из рассмотрения графика средних значений отметок информативных пунктов, изменяющихся с 2014 года по 2020 год (рисунок 4.9). На графике отчетливо выделяются как локальные короткопериодные изменения отметок информативных нивелирных пунктов, так и общий длинопериодный тренд вертикальных движений (пунктирная линия). Максимальная амплитуда изменения средних значений высотных отметок информативных пунктов составляет 9,0 мм, т.е. в пересчете на 1 год это составит 1,5 мм. Амплитуды фактических локальных короткопериодных изменений отметок нивелирных пунктов (порядка 1 года) составляет до 6 мм, Это может говорить о том, что природные процессы, определяющие рост брахиантиклинали – это достаточно медленный процесс, что соответствует известным представлениям о закономерностях проявления современных вертикальных движениях земной поверхности. Техногенные процессы, как это хорошо известно из многих источников, могут приводить к вертикальным движениям земной поверхности со значительно большими величинами – до

метра и более за сравнительно короткие интервалы времени порядка десятков лет.



Рисунок 4.9 – График изменения (накопления) средних отметок для информативных нивелирных пунктов по мере увеличения интервала времени между циклом 1 (2014) и последующими циклами вдоль профиля 1-1

Результаты повторного точного нивелирования, полученные в 2020 году не изменили в целом обобщающих выводов по территории месторождения Кумколь и Восточный Кумколь. Вся территория месторождений делится на ряд зон, которые различаются по уровню и направленности вертикальных движений земной поверхности во времени. Так, северо-западная часть месторождения Кумколь характеризуется переменным по направленности движением земной поверхности, но с тенденцией к ее подъему. Центральная часть месторождения Кумколь характеризуется устойчивым проседанием земной поверхности за весь период измерений. Наконец, южная, наиболее широкая изученная часть месторождения устойчиво характеризуется устойчивым и нелинейным проседанием земной поверхности. В этой зоне сконцентрировано большинство добывающих скважин, что позволяет сделать заключение о влиянии на проседание земной поверхности процесса добычи углеводородного сырья. Наконец, следует отметить устойчивый и линейный процесс проседания месторождения Восточный Кумколь с максимальными значениями проседания в пределах сводовой части месторождения.

В итоге это позволяет сохранить основные элементы вертикальных движений земной поверхности и их границы на структурной схеме по горизонту Ю-3 (рисунок 4.9).

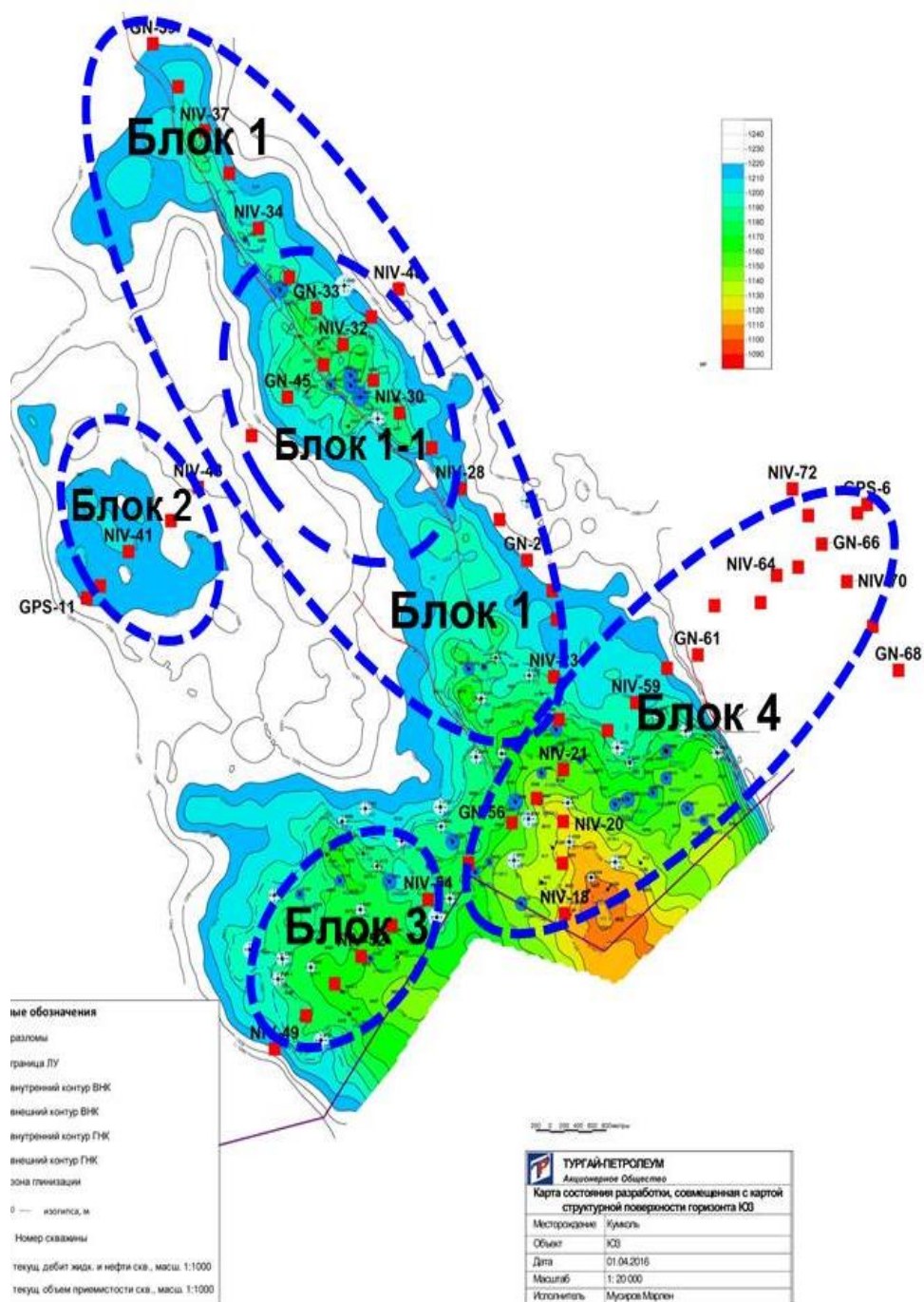


Рисунок 4.9 – Предварительная схема деформационного районирования по комплексу признаков пространственно-временного изменения отметок нивелирных пунктов за период 2014-2020 г.г

5. Основные результаты 13-го и 14-го циклов высокоточных GNSS-измерений на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь

5.1 Высокоточные GNSS измерения. Методика выполнения работ, оценка точности и качества. Обработка результатов измерений

Высокоточные GNSS-наблюдения выполнены на геодинатическом полигоне месторождения Кумколь в период с 6 по 9 апреля 2020 года – 13 цикл измерений и с 29 по 30 октября 2020 года – 14 цикл измерений на 17 GPS-пунктах, из них: 2 опорных пункта (GPS-6, 15), 15 рядовых.

Для выполнения измерений использовались 10 комплектов GPS оборудования: двухчастотные приемники типа Trimble R7, высокоточные антенны Trimble GNSS Choke Ring, источники питания.

Проверки применяемого при GNSS-наблюдениях оборудования были выполнены на специализированном полигоне в г. Атырау. Полигон состоит из 9 GPS-пунктов. Схема представлена на рисунке 5.1

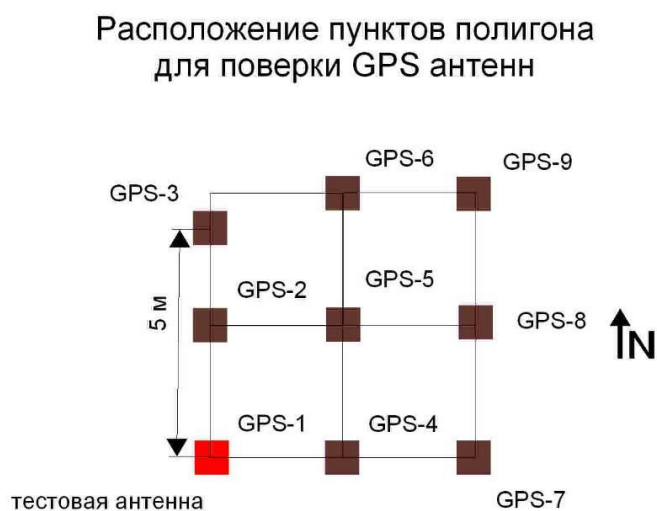


Рисунок 5.1 – Расположение пунктов полигона для проверки GPS антенн

На полигоне было выполнено 3 сеанса спутниковых наблюдений продолжительностью 24 часа с интервалом записи 15 секунд и маской превышения 15. После обработки данных в программном обеспечении Trimble Business Center были вычислены длины базовых линий от пункта 1 до пунктов 2-9 и превышения пунктов 2-9 по отношению к пункту 1.

Длины этих же базовых линий и превышения были получены высокоточными оптическими приборами. Среднеквадратическая ошибка единичного измерения длин базовых линий составила $\pm 1,2$ мм, превышений $\pm 0,0$ мм.

Сравнение результатов, полученных по GNSS-наблюдениям и оптическими приборами, показывает о хороших характеристиках применяемого оборудования. По результатам сравнения данных спутниковых наблюдений и измерений, полученных оптическими приборами, среднеквадратические ошибки единичных GNSS-измерений составляют в плане $\pm 1,9$ мм, высот - $\pm 1,8$ мм.

По результатам рекогносцировочного обследования составлен Акт обследования пунктов, сделаны фотографии различных ракурсов: обзорное фото, фотография штыря и фотография пункта с установленной антенной.

Позиционирование долговременных GPS-пунктов определено в статическом режиме с привязкой наблюдений к двум опорным пунктам GPS-6, 15. На геодинимическом полигоне месторождения Кумколь выполнено 3 сеанса измерений. Наблюдения выполнены в **режиме статики** продолжительностью синхронного сеанса **не менее 20 часов с интервалом записи 30 секунд и маской превышений 15°**.

Для каждого GPS-пункта после запуска очередного сеанса измерений и его завершения заполнялся журнал запуска, где указано время запуска и завершения измерений приемника, используемое при измерениях оборудование, высота антенны.

Обработка материалов 13 цикла - производилась в два этапа: полевой и камеральный. Полевая обработка выполнялась непосредственно на участке работ для оценки качества измерений и необходимости проведения дополнительных контрольных измерений без отбраковки некондиционных участков записей. Обработка проводилась по программном обеспечении Trimble Business Center методом расчета всех векторов с уравниванием. Координаты опорного пункта GPS-6 закреплены на все время мониторинга, координаты базы GPS-15 определены как среднеарифметические по трем сеансам измерений. На камеральном этапе обработка выполнена с отбраковкой некондиционных участков записей (по количеству спутников и другим характеристикам).

Среднеквадратическая ошибка измерения координат опорного пункта GPS-15 составила в плане ± 1.9 мм, высот - ± 1.0 мм. Среднеквадратическая ошибка единичного определения координат рядовых пунктов составила ± 1.1 мм, высот - ± 1.7 мм. На месторождении Кумколь контрольные измерения выполнены на 8 пунктах.

По результатам обработки составлены таблицы оценки качества результатов GNSS-измерений, выполненных в 13 цикле (апрель 2018 г.) мониторинга, для опорных и рядовых GPS-пунктов; составлен каталог координат GPS-пунктов.

Результаты измерений были использованы для расчетов векторов горизонтальных смещений и вертикальной составляющей GPS-пунктов на месторождении Кумколь за интервал времени между циклами 1 (октябрь 2014

г.), 2 (декабрь 2014 г.), 3 (май 2015), 4 (ноябрь 2015), 5 (апрель 2016), 6 (ноябрь 2016), 7 (апрель 2017), 8 (ноябрь 2017), 9 (апрель 2018), 10 (октябрь 2018), 11 (апрель 2019), 12 (октябрь 2019) и 13 (апрель 2020).

Обработка материалов 14 цикла - производилась в два этапа: полевой и камеральный. Полевая обработка выполнялась непосредственно на участке работ для оценки качества измерений и необходимости проведения дополнительных контрольных измерений без отбраковки некондиционных участков записей. Обработка проводилась по программному обеспечению Trimble Business Center методом расчета всех векторов с уравниванием. Координаты опорного пункта GPS-6 закреплены на все время мониторинга, координаты базы GPS-15 определены как среднеарифметические по трем сеансам измерений. На камеральном этапе обработка выполнена с отбраковкой некондиционных участков записей (по количеству спутников и другим характеристикам).

Среднеквадратическая ошибка измерения координат опорного пункта GPS-15 составила в плане ± 4.3 мм, высот - ± 1.2 мм). Среднеквадратическая ошибка единичного определения координат рядовых пунктов составила ± 2.1 мм, высот - ± 1.6 мм. На месторождении Кумколь контрольные измерения выполнены на 8 пунктах.

По результатам обработки составлены таблицы оценки качества результатов GNSS-измерений, выполненных в 14 цикле (октябрь 2020 г.) мониторинга, для опорных (Приложение 28.1) и рядовых GPS-пунктов; составлен каталог координат GPS-пунктов.

Результаты измерений были использованы для расчетов векторов горизонтальных смещений и вертикальной составляющей GPS-пунктов на месторождении Кумколь за интервал времени между циклами 1 (октябрь 2014 г.), 2 (декабрь 2014 г.), 3 (май 2015), 4 (ноябрь 2015), 5 (апрель 2016), 6 (ноябрь 2016), 7 (апрель 2017), 8 (ноябрь 2017), 9 (апрель 2018), 10 (октябрь 2018), 11 (апрель 2019), 12 (октябрь 2019), 13 (апрель 2020) и 14 (октябрь 2020).

5.2 Анализ результатов высокоточных GNSS измерений.

Основными параметрами, характеризующими деформационную ситуацию на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь являются вертикальная и горизонтальная компонента движений GNSS-пунктов. Иными словами исследуются пространственно-временные особенности вертикальных и горизонтальных движений массивов горных пород на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь.

Результаты измерений за различные интервалы времени между циклами были использованы для расчетов и анализа векторов вертикальной и горизонтальной компонент движения GNSS-пунктов на месторождениях Кумколь.

Сохраняя преемственность, приведем некоторые результаты анализа повторных высокоточных GPS-измерений, полученные до 2020 года. Наиболее общим результатов анализа данных GNSS-измерений за 2014-2019 г.г. следует считать последовательное нелинейное увеличение вертикальной и горизонтальной компонент движения GNSS-пунктов на территории месторождений Кумколь и Восточный Кумколь.

На рисунке 5.2. приведен сводный график изменения средних значений всех пунктов за указанный период. Этот график относится ко всей территории месторождения Кумколь и стало быть отражает направленный подъем земной поверхности этой территории



Рисунок 5.2 – График изменения средних значений 17 GNSS-пунктов, расположенных на территории месторождения Кумколь за период 2014-2019 г.г

Анализ пространственно-временного изменения горизонтальных векторов движения GNSS-пунктов за период времени между циклом 1 (2014) и циклом 12 (2019) то обобщающий вывод будет следующим.

Учитывая изменение во времени средних значений длин горизонтальных векторов всех 17 GNSS-пунктов по отношению к циклу 1, можно заключить, что на всей территории месторождения Кумколь происходит направленное и нелинейное увеличение длин векторов горизонтальной компоненты движения GNSS-пунктов (рисунок 5.3).



Рисунок 5.3 – Графики изменения средних значений длин векторов горизонтальной компоненты движений 17-ти GNSS-пунктов за период 2014-2019 г.г. на территории месторождения Кумколь

Результаты повторных высокоточных GNSS-измерений на сети GNSS-пунктов, предшествующие выполнению 13-го и 14-го циклов (до 2020 год) привели к выводу о развитии нелинейного деформационного процесса на территории месторождения Кумколь. Анализ изменения параметров деформационного процесса (вертикальной и горизонтальной компоненты движений GNSS-пунктов) за весь период измерений показал последовательное увеличение (тенденцию) этих параметров. Накопление значений этих параметров во времени происходит с кратковременным их уменьшением за короткие интервалы времени (полугод, год). Нестабильность процесса накопления значений указанных параметров определяется явной нестабильностью источника формирующего указанную изменчивость деформационного процесса. Было высказано предположение, что на фоне длительной тенденции увеличения компонент деформационного процесса предположительно природного генезиса, локальные, короткопериодные довольно интенсивные знакопеременные изменения компонент могут быть связаны с техногенным фактором (добычей углеводородного сырья).

Результаты GNSS-мониторинга, полученные в 2020 году в значительной мере, подтверждают, этот тезис и приводятся ниже. Учитывая, что GNSS-измерения в 2020 году только часть длительного процесса измерений, основные особенности развития параметров деформационного процесса сохраняются с предыдущих периодов. Следует напомнить ряд некоторых основных положений.

Пространственно-временные изменения компонент движения конкретных GNSS-пунктов зависят от ряда факторов, которые можно разделить на две группы – природные (тектонические) и техногенные

(процессы добычи углеводородов). Например, такой процесс как медленный подъем территории месторождения, скорее всего, связан с природным фактором, но в определенной мере может быть связан с воздействием на залежи углеводородов. Достаточно быстрые и короткопериодные проседания земной поверхности, особенно в районах концентрации добывающих скважин определенно связано с техногенным фактором – извлечением объемов углеводородного сырья из залежей.

Эти факторы проявляются в различной морфологии движения GNSS-пунктов во времени, в изменении знака и направленности движений пунктов и т.д. Эти факторы проявляются в определенной взаимосвязи друг с другом, при этом не исключено, что один доминирующий фактор может вуалировать развитие другого фактора. Так, за короткие интервалы времени изменения компонент движения GNSS-пунктов вуалируют более медленные природные процессы. Наоборот, за длительные интервалы времени лучше проявляются тенденции изменения компонент природного генезиса.

Ниже приводятся результаты анализа данных GNSS-измерений за 2020 год в сопоставлении с результатами предыдущих циклом измерений.

Первая задача состояла в оценке упорядоченности в изменении вертикальной компоненты движений GNSS-пунктов на территории месторождения Кумколь за период 2014-2020 г.г. В соответствии с графиками, приведенными на рисунках 5.2 и 5.3 были проанализированы изменения компонент движений всех GNSS-пунктов на территории месторождения. В результаты были построены соответствующие графики изменения высотных отметок. Затем по единству ряда признаков все графики изменения высотных отметок GNSS-пунктов были объединены в группы (блоки). Это исследование выполнено для максимального интервала времени, т.е. между циклом 1 (2014) и циклом 12 (2019). В итоге за этот период на территории месторождения Кумколь и Восточный Кумколь было выделено 3 блока с разными площадями развития. Кратко остановимся на обоснованности выделения каждого блока.

Блок 1.

Этот блок расположен к западу от сводовой части месторождения Кумколь. В состав блока по комплексу признаков входят 7 GNSS-пунктов № 1, 2, 7, 8, 11, 12 и 15. Территория блока 1 включает два поднятия, одно из которых является западной частью обширной юго-восточной периклинали месторождения Кумколь, а второе локальное изолированное поднятие расположено к западу от сводовой части месторождения Кумколь.

На рисунке 5.4. приведены графики пяти наиболее информативных GNSS-пунктов, которые характеризуют основные особенности изменения вертикальной компоненты движений GNSS-пунктов за 2014-2020 г.г., входящих в состав блока 1.



Рисунок 5.4 – Графики изменения вертикальных движений информативных GNSS-пунктов, входящих в блок 1 за период 2014-2020г.г

Во-первых, следует отметить, что высотные отметки всех информативных GNSS-пунктов изменяются во времени практически синхронно. Это значит, что имеет место вертикальное движение земной поверхности достаточно крупной территории, разные части которой участвуют в квазиоднородном деформационном процессе. Из анализа графиков следует, что процесс деформирования во времени (2014-2020) не линеен во времени. Если говорить о крупных временных отрезках, то 2014 год является пограничным в том отношении, что после него наклон тренда графиков вертикальных движений заметно возрос (рисунок 5.4). Это говорит о возрастании скорости подъема земной поверхности после 2016 года.

Во-вторых, важная особенность графиков состоит в том, что за короткие интервалы времени одновременно все GNSS-пункты испытывают значительные опускания. Иными словами на всей территории блока 1 развиваются короткопериодные процессы проседания или последующего подъема земной поверхности. Продолжительность «жизни» таких аномалий на графиках фоновго подъема на графиках фоновго подъема GNSS-пунктов составляет около 1 года. Такие аномалии выявлены в 2016 г., 2018 г. и в 2020 г. Амплитуда этих аномалий достигает величин от 7 мм до 11 мм. Следует отметить, что проседание земной поверхности – это обратный процесс подъему земной поверхности. Это значит, что за длительный интервал времени на территории блока 1 действуют два конкурирующих источника обеспечивающих процесс вертикальных движений GNSS-пунктов, причем длинопериодный процесс проявляется с меньшими годовыми скоростями, а короткопериодный деформационный процесс проявляется с повышенными

годовыми скоростями. Как отмечалось, выше эти процессы могут быть связаны с источниками природного и техногенного генезиса.

Наиболее корректно эти особенности следуют из анализа графика средних значений высотных отметок информативных GNSS-пунктов за период 2014-2020 г.г (рисунок 5.5)



Рисунок 5.5 – График изменения средних значений высотных отметок информативных пунктов, входящих в состав блока 1 за интервал времени между циклом 1 (2014) и циклом 14 (2020)

Рассматриваемый график характеризует наиболее общие особенности изменения вертикальных движений земной поверхности для территории блока 1. График весьма информативен с точки зрения, сочетания фонового подъема земной поверхности блока 1 с кратковременными высокоамплитудными изменениями вертикальными движениями территории блока 1. На построенном графике в полной мере отразились все основные элементы вертикальных движений, отмеченные для каждого информативного GNSS-пункта, входящего в состав блока 1.

Из графика, следует также, что наибольшие кратковременные проседания земной поверхности территория блока 1 испытала в 2016 году, в 2018 году и в 2020 году.

Линейное приближение к графику (пунктирная линия) в полной мере отражает достаточно быстрый подъем земной поверхности с 2014 года по 2020 год, что, по-видимому, связано с природным фактором.

За последний, 2020 год следует отметить два полугодовых интервала с разной направленностью вертикальных движений. В первое полугодие – октябрь 2019 – апрель 2020 графики всех GNSS-пунктов, т.е. вся территория блока 1 испытали заметное уменьшение значений вертикальных движений. Величины этих движений составили от -4,0 мм (GNSS-7) до -8,0 мм (GNSS-15). Во втором полугодии – апрель 2020 – октябрь 2020 все GNSS-пункты

блока 1 испытали относительный подъем с амплитудой от +4,0 мм (GNSS-8) до +5,0 мм (GNSS-11). Таким образом, нелинейный процесс вертикальных движений блока 1, состоящий из квазипериодического кратковременного проседания и подъема земной поверхности продолжался и в 2020 году, но с сохранением направленного долгопериодного подъема этой территории,

В итоге, анализ блокового изменения высотных отметок GNSS-пунктов, входящих в систему повторных GNSS-измерений на территории месторождения Кумколь показал, что за период 2014-2020 г.г. эта территория весьма неоднородна, в отношении развития вертикальной компоненты движения эта территория весьма неоднородна в отношении развития вертикальной компоненты движения GNSS-пунктов. За длительный интервал времени выделяются участки относительного современного подъема земной поверхности и ее проседания. Вся информация, полученная за период 2014-2020 г.г. позволила составить обобщенную схему вертикальной компоненты за период 2014-2020 г.г. (рисунок 5.6).

На схеме выделяются две крупные зоны, на северо-западе и на юго-востоке с относительным проседанием земной поверхности. Максимальные значения проседания составляют 10-13 мм за 6-летний интервал времени. В центральной части месторождения выделяется обширная зона подъема земной поверхности за этот же интервал времени. Значения современного подъема достигают более 10 мм. Еще одну особенность следует выделить на составленной схеме – это узкие зоны высоких градиентов вертикальных движений продольного и поперечного простирания. Недостаточная степень изученности не позволяет детально исследовать отношение этих узких и протяженных зон к структурным особенностям. Тем не менее, из большого объема исследований можно полагать, что такие зоны могут быть связаны с разломами, отражая их современную активность.

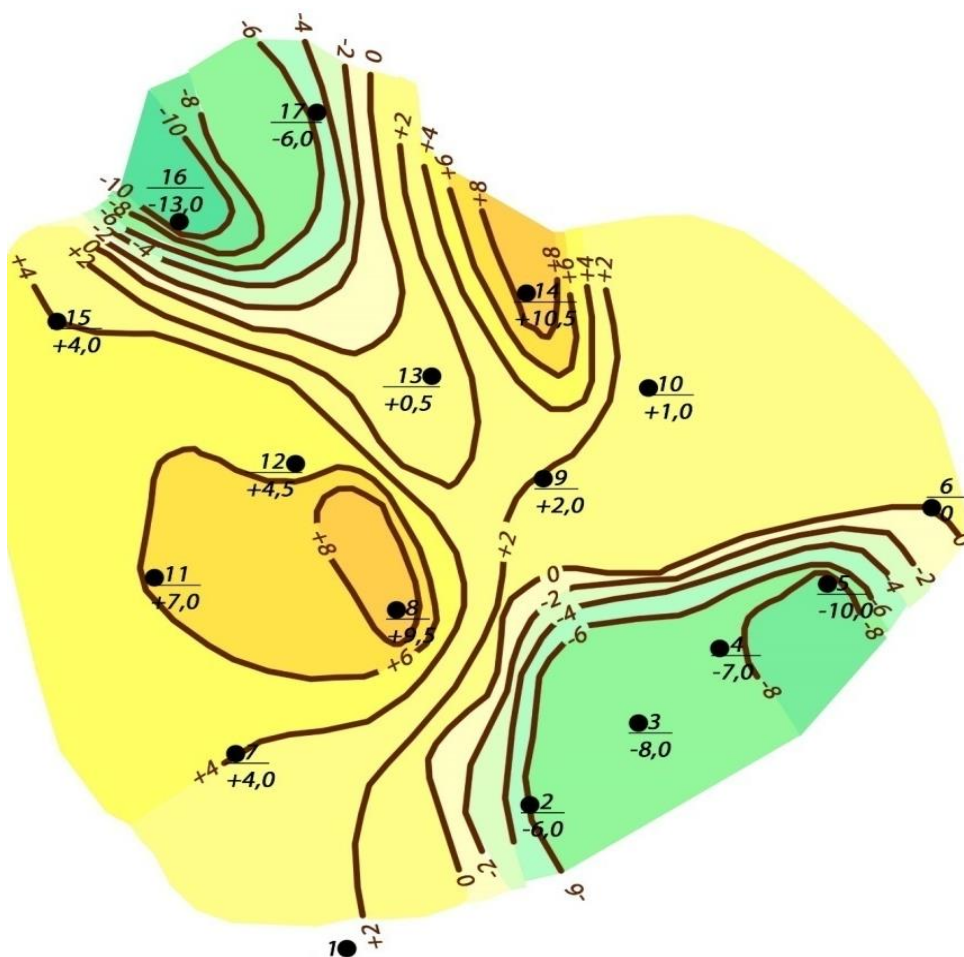


Рисунок 5.6 – Схема площадного распределения вертикальной компоненты на территории месторождения Кумколь за период 2014 (цикл 1) и 2020 (цикл 14)

На рисунке 5.7 приведена та же схема вертикальной компоненты, но в сопоставлении со структурной схемой по поверхности горизонта Ю4. Из анализа, обобщенной за указанный период схемы следует, что сводовая часть месторождения Кумколь в целом характеризуется пониженными (в центральной части) и отрицательными (северо-западная и юго-восточная части) значения вертикальных движений GNSS-пунктов. Иными словами – относительным проседанием земной поверхности. Хотя существующий уровень изученности весьма небольшой, тем не менее, можно сформулировать следующий вывод – на фоне современного подъема земной поверхности всей территории месторождения Кумколь, видимо тектогенного генезиса, сводовая часть месторождения относительно проседает и это может быть связано с техногенным фактором – добычей углеводородного сырья.

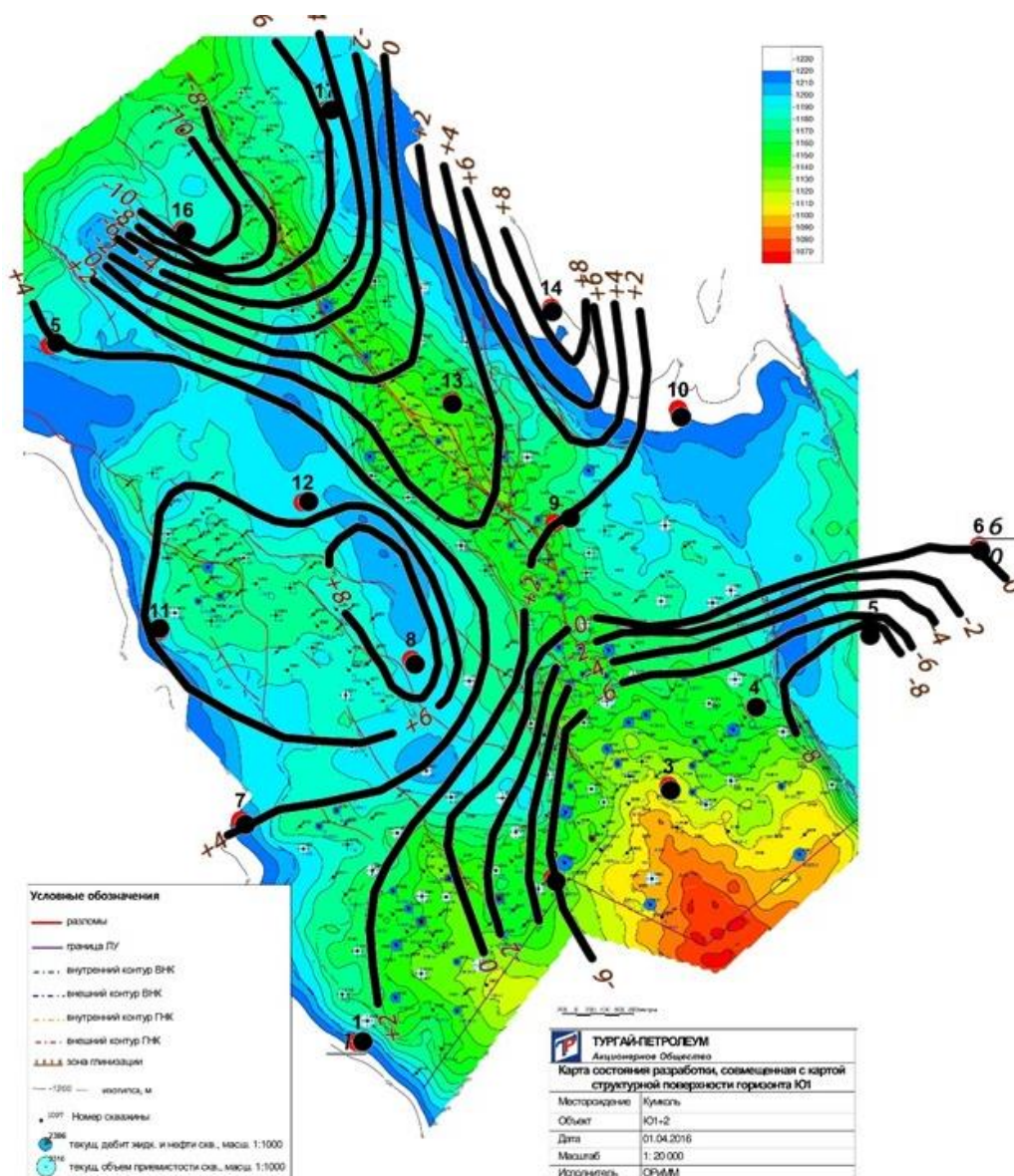


Рисунок 5.7 – Схема площадного распределения вертикальной компоненты на территории месторождения Кум коль за период 2014 (цикл 1) и 2020 (цикл 14) в сопоставлении со структурной схемой по поверхности горизонта Ю4

Изменение горизонтальной компоненты движения GNSS-пунктов.

При проведение повторных высокоточных GNSS-измерений и последующей обработке результатов получают две составляющие движений GNSS-пунктов – вертикальную и горизонтальную.

Краткие результаты, полученные в 2019 году состоят в следующем.

1. За период 2014 – 2019 г.г. величины векторов изменяются в значительных пределах – от 2,5-3,2 мм до 10,5-37,4 мм.
2. По величинам накопленных значений горизонтальной компоненты трудно наметить какую-либо упорядоченность в движениях GNSS-пунктов в целом для всей территории месторождения Кумколь.

3. Некоторую упорядоченность можно отметить в направлении азимутов горизонтальных движений отдельных групп пунктов. Так, группа GNSS-пунктов №№ 11-17 имеет однородную тенденцию движения в северо-западном направлении. Группа GNSS-пунктов №№ 2-5 на юге месторождения наоборот характеризуется тенденцией движения в юго-восточном направлении. Центральная группа GNSS-пунктов (№№ 8-10) имеет минимальные значения векторов с разными азимутами движений GNSS-пунктов.

В отчете за предыдущий год был сделан вывод о том, что такая деформационная ситуация может иметь место только в одном случае, когда имеет место процесс подъема земной поверхности, в стороны от которого, в районы относительного опускания земной поверхности, происходит горизонтальное смещение массивов горных пород. Было показано, что такой подъем земной поверхности в пределах центральной части месторождения Кумколь, по данным точного нивелирования и GNSS-измерений, действительно существует.

Проведение очередного цикла высокоточных GNSS-измерений в 2020 году позволило получить новые результаты и продолжить анализ изменения длин векторов горизонтальной компоненты движений GNSS-пунктов.

Получены значения векторов за различные интервалы времени, в т.ч. за максимальный интервал времени между циклом 1 (2014) и циклом 14 (2020). Диапазон изменения длин векторов за 6-летний интервал времени составил от 7,2-9,0 мм до 33,3-44,6 мм. Средняя величина векторов за указанный период составила 12,5 мм, т.е. увеличилась по сравнению с 2019 годом – 7,6 мм.

Накопленная, с учетом 2020 года, информация позволила, исходя из существующей, изученности исследовать некоторые особенности проявления горизонтальной компоненты движений GNSS-пунктов на территории месторождения Кумколь.

С некоторой долей уверенности удалось сгруппировать GNSS-пункты по ряду признаков в отдельные блоки.

Блок 1

Более-менее обоснованно группируются в самостоятельный блок 6GNSS-пунктов, расположенные к западу от сводовой части месторождения Кумколь. Это GNSS-пункты №№ 2, 7, 8, 11, 12 и 15, объединяющиеся в блок 1 (рисунок 5.8). Два основных признака послужили объединению графиков в единый блок. Во-первых, повышенная дифференциация графиков во времени, с 2014 года по 2020 год. Амплитуды короткопериодных (годовых) изменений горизонтальной компоненты достигают 7-11 мм. Это достаточно большие величины сопоставимые с накопленными величинами за весь интервал измерений, которые составляют около 14 мм (GNSS-8). Во-вторых, все графики отличаются значительным фоновым трендом. Иными словами имеет место квазипериодическое накопление величин горизонтального вектора с 2014 г. по

2020 г. Обращает на себя внимание три импульса аномальных изменений горизонтальной компоненты, которые произошли в 2014г., в 2016 г. и в 2020 году. Сопоставление с короткопериодными вертикальными движениями GNSS-пунктов блока 1 показало, что короткопериодные импульсы движения горизонтальной компоненты возникают после развития короткопериодных вертикальных импульсов движений GNSS-пунктов. Это, по-видимому, говорит о связи этих компонент в периоды активизации деформационных процессов на территории месторождения Кумколь.

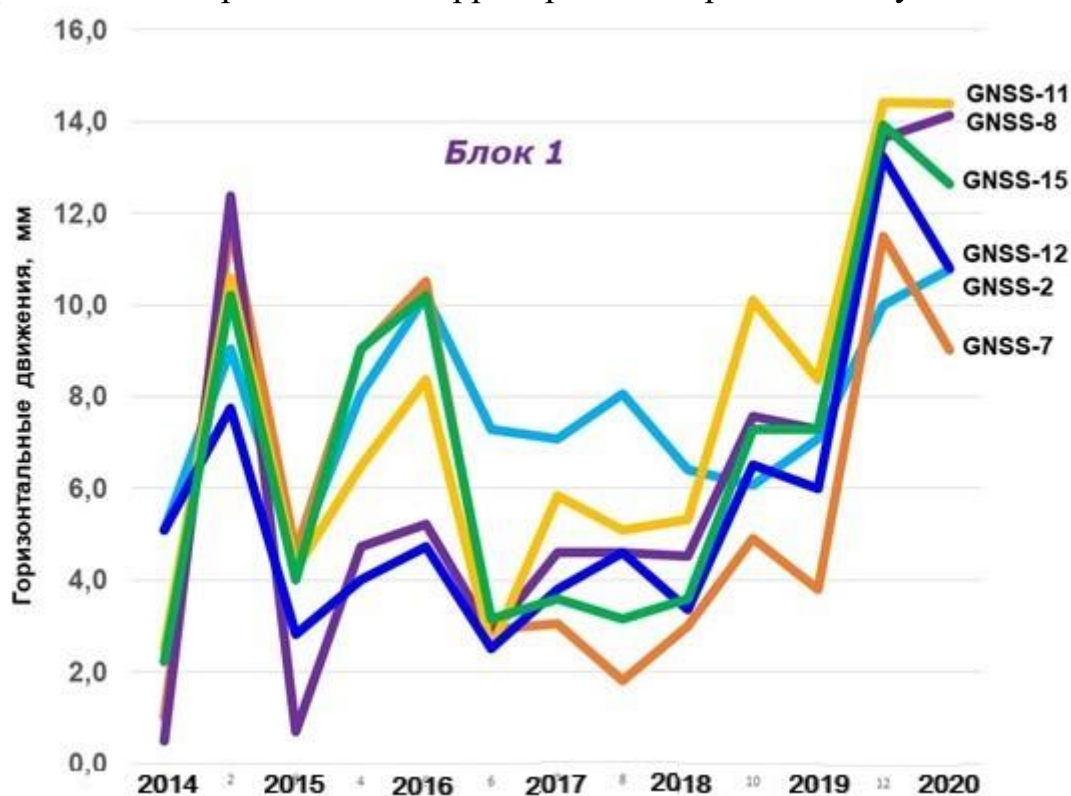


Рисунок 5.8 – Графики изменения горизонтальных движений информативных GNSS-пунктов, входящих в блок 1 за период 2012-2018г.г

Указанные особенности достаточно наглядно представлены на графике изменения средних значений горизонтального вектора пунктов, входящих в блок 1 за период 2014-2020 г.г. (рисунок 5.9).

Из анализа рисунок 5.9 следует, что с 2014 года по 2016 год на территории блока 1 происходили достаточно большие изменения длин векторов, но за короткие интервалы времени. Этот процесс охватил значительную территорию – от широты южной части месторождения до широты северной периклинали. После 2016 года произошла относительная стабилизация деформационного процесса вплоть до 2019 года и этот процесс также охватил всю территорию блока 1, так как отрезок со слабодифференцированным изменением горизонтальной компоненты проявился на всех графиках. В 2020 год, деформационный процесс снова

активизировался путем повышенного прироста длин векторов горизонтальной компоненты всех GNSS-пунктов, входящих в состав блока 1.

В целом, график на рисунке 5.9 наиболее полно отражает длинопериодную составляющую горизонтальных движений GNSS-пунктов. При общей амплитуде изменения графика средних значений в 9,3 мм, средний фоновый тренд горизонтальных движений имеет амплитуду 5 мм (пунктирная линия). Это говорит об устойчивом направленном изменении горизонтальной компоненты движений GNSS-пунктов.



Рисунок 5.9 – График изменения средних значений горизонтальных векторов GNSS-пунктов, входящих в состав блока 1 за период 2014-2019 г.г

Максимальные изменения длин векторов после 2017 года составили: на пункте 9 – 10,6 мм, на пункте 10 – 19,2 мм, на пункте 13 – 10,4 мм, на пункте 14 – 13,6 мм. Таких больших изменений длин векторов на фоне их слабоинтенсивного изменения с 2014 года и по 2019 год не наблюдалось. Возможно, такое изменение связано с положением блока 4 в зоне относительного подъема земной поверхности, что возможно предопределяет увеличение горизонтальной компоненты в условиях увеличения подъема земной поверхности (рис. 6.10). По данным повторного точного нивелирования блок 4 расположен в градиентной зоне перехода от пониженных значений вертикальных движений к участку подъема земной поверхности (рисунок 5.6).

Проведение последующих циклов высокоточных GNSS-измерений позволит уточнить развитие горизонтальных деформаций после 2020 года.

Общее представление о площадном распределении векторов горизонтальной компоненты движений GNSS-пунктов дает составленная схема на рисунке 5.10. Эта схема построена за интервал времени между циклом 1 (2014) и циклом 14 (октябрь 2020).

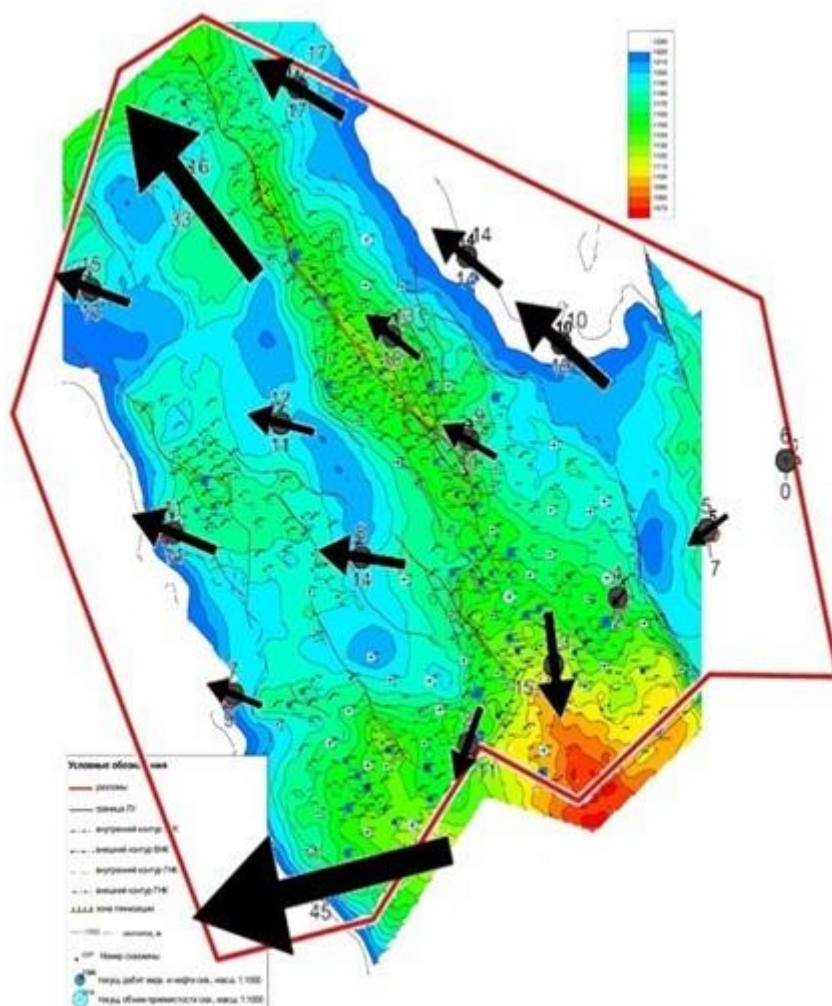


Рисунок 5.10 – Схема площадного распределения векторов горизонтальной компоненты движения GNSS-пунктов на территории месторождения Кумколь за период 2014-2020 г.г. в сопоставлении со структурной схемой по поверхности горизонта Ю4

Из рассмотрения схемы следует, что как упоминалось выше, значительное число пунктов накопило небольшие изменения в длинах векторов за указанный период – от 3-7 мм до 10-14 мм. Максимальные значения векторов горизонтальной компоненты сохранили GNSS-пункты № 17 – 17 мм, №10 – 19 мм, №16 – 33 мм и №1 – 45 мм. Средняя величина горизонтальной компоненты на конец 2019 года составила 7,6 мм, а на конец 2020 года возросла до 12,5 мм. Очевидно, в начале 2020 года произошла активизация деформационного процесса.

Но вышеприведенный анализ графиков показал, что внутри интервала 2014-2019 г.г. развивались короткопериодные, но достаточно интенсивные горизонтальные смещения GNSS-пунктов, которые объединяются в самостоятельные блоки. Большая часть территории месторождения перемещается в северо-западном направлении и только южная обширная периклиналь месторождения перемещается в противоположную сторону. Граница между этими противоположными направлениями движений расположена в зоне перехода между подъемом земной поверхности в пределах центральной и северо-западной частях месторождения и проседанием земной поверхности в юго-восточной части месторождения (рисунок 5.7).

В итоге можно констатировать, что с некоторым приближением на территории месторождения Кумколь существует определенная упорядоченность в пространственно-временном распределении векторов горизонтальной компоненты движения GNSS-пунктов. В соответствие с выбранными признаками удалось выделить участки территории месторождения Кумколь с квазиидентичными показателями изменения горизонтальной компоненты движения GNSS-пунктов за период 2014 – 2020 г.г. Иными словами продолжить выполнение районирования территории месторождения.

На рисунке 5.11 приведена такая схема, в построении которой были учтены результаты последних 4-х циклов, выполненных в 2019 – 2020 г.г.

На схеме выделяется 4 блока, которые распределены в целом в соответствии со структурными особенностями месторождения Кумколь. Блок № 1 занимает участок с совокупностью локальных структурных поднятий к западу от сводовой части месторождения Кумколь. Этот участок соответствует блоку 1 на схеме вертикальной компоненты (рис. 6.15). Блоки 2, 3 и 4, хотя и изолированы друг от друга, но вместе они соответствуют сводовой части месторождения Кумколь. Все-таки для длиннопериодной составляющей изменения горизонтального вектора, основным может быть природный фактор.

Обзор пространственно-временного изменения длин векторов горизонтальной компоненты движений GNSS-пунктов показал следующее. Во-первых, практически значения всех векторов горизонтальной компоненты движения GNSS-пунктов, в разной мере для каждого, увеличиваются по мере увеличения интервала времени по отношению к циклу 1. Во-вторых, скорости увеличения векторов разные для разных GNSS-пунктов. Величины изменения векторов для большинства GNSS-пунктов за 6-летний период достигают 30-40 мм. В-третьих, внутри 6-летнего тренда возникают короткопериодные (годовые) аномальные увеличения длин векторов до 15-16 мм.

В целом, если учитывать изменение во времени средних значений длин горизонтальных векторов всех 17 GNSS-пунктов по отношению к циклу 1, то можно заключить, что на всей территории месторождения Кумколь

происходит направленное и нелинейное увеличение длин векторов горизонтальной компоненты движения GNSS-пунктов в течении всего периода измерений с 2014 года по 2020 год.

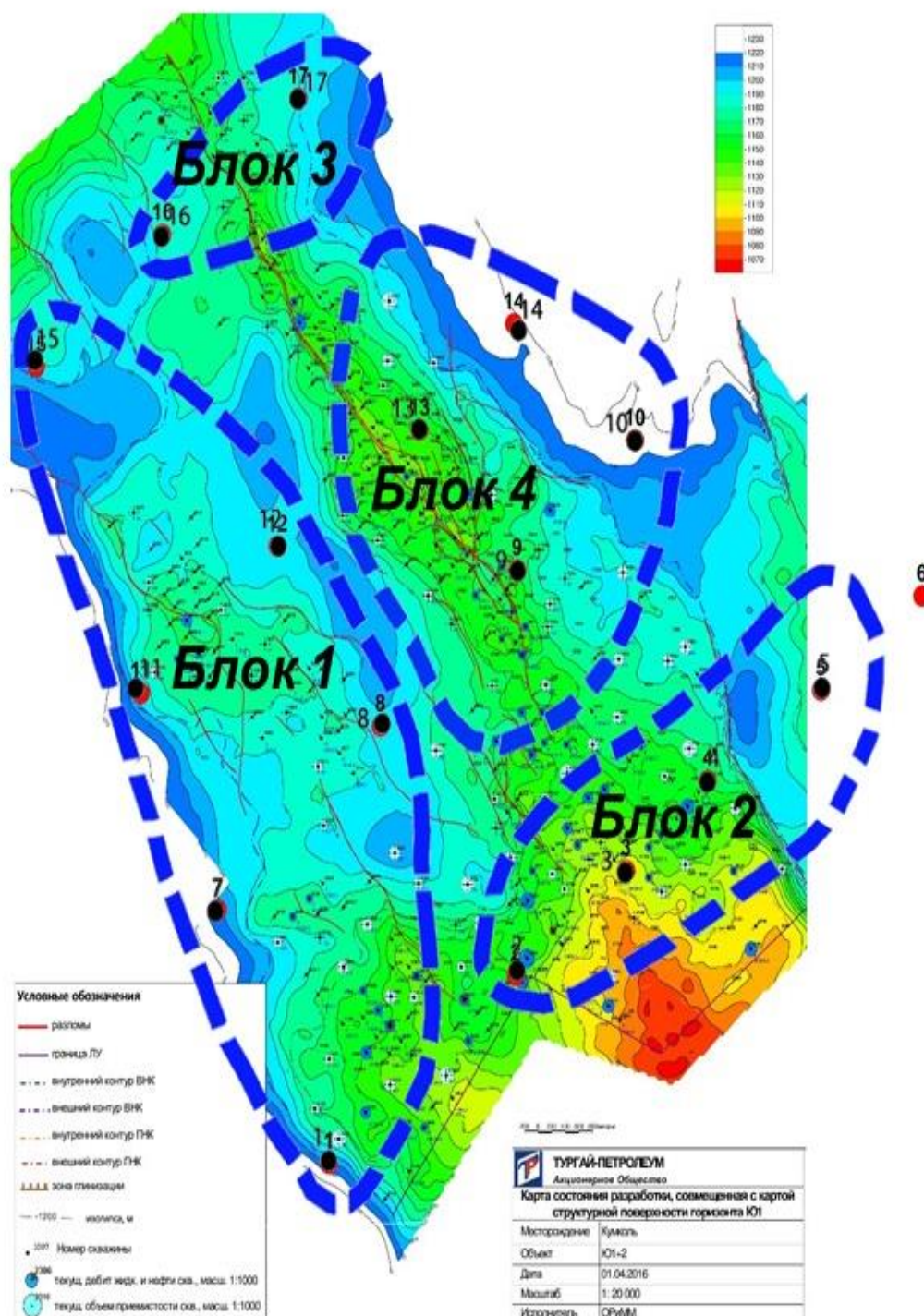


Рисунок 5.11 – Схема расположения блоков (районирование) с различными характеристиками изменения во времени горизонтальной компоненты движений GNSS-пунктов за период 2014-2020г.г. в сопоставлении со структурной схемой по поверхности горизонта Ю4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания магистерской диссертации, были достигнуты цели по изучению состояний земной поверхности по геодинамическому мониторингу, с использованием высокоточных топографо-геодезических наблюдений месторождения Кумколь. Согласно полученным данным, были выявлены вертикальные и горизонтальные смещения земной поверхности во времени. На основе этого были сделаны следующие выводы:

- На территории месторождения Кумколь существует определенная упорядоченность в пространственно-временном распределении векторов горизонтальной компоненты движения GNSS-пунктов.

- На всей территории месторождения Кумколь происходит направленное и нелинейное увеличение длин векторов вертикальной и горизонтальной компоненты движения GNSS-пунктов в течении всего периода измерений с 2014 года по 2020 год

- Процесс подъема земной поверхности в центральной части месторождения и процесс проседания земной поверхности в юго-восточной части месторождения продолжают активно развиваться.

Основным практическим результатом исследования является современный и комплексный метод проведения геодинамического мониторинга, обеспечивающая достоверную и точную оценку уровня и масштаба проявления природно-техногенных деформационных процессов.

Данные о состоянии недр, накопленные с момента организации системы мониторинга состояния недр, будут использованы для оценки состояния недр и недропользования, составления прогнозов изменения состояния недр, контроля и оценки эффективности мероприятий по предотвращению вредного воздействия на недра, а также экологическому оздоровлению недр и их рациональному использованию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ данных по состоянию недр при добыче УВС – Алматы: НИЦ «Гылым», 2003г., Садыков Д.Ш., Истомина Е.Е., Садыкова Г.Д.
2. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы) – Российская академия наук институт динамики ГЕОСФЕР, 2005г., В.В. Адушкин, С.Б. Турунтаев.
3. Методическое руководство по ведению гидрогеодинамического мониторинга на месторождениях УВС для оценки гидродинамического риска – Институт сейсмологии, Алматы, 2004г.
4. Концепция «Геодинамическая безопасность освоения УВС РК», Алматы, 2002г.
5. «Единые правила по рациональному и комплексному использованию недр при разведке и добыче полезных ископаемых», утвержденные постановлением Правительства РК от 10 февраля 2011 г. №123.
6. «Единые правила охраны недр (ЕПОН) при разработке месторождений твердых полезных ископаемых, нефти, газа, подземных вод в Республике Казахстан», от 21 июля 1999 г. №1019.
7. РД 39-4-699-82 «Руководство по применению геолого-геофизических, гидродинамических и физико-химических методов контроля разработки нефтяных месторождений», г. Москва, 1982 г.
8. РД 153-39.0-109-01 «Руководство по комплексированию и этапности выполнения геофизических, гидродинамических и геохимических исследований нефтяных и нефтегазовых месторождений», г.Москва, 2002г.
9. Уточненный проект разработки месторождения Кумколь по состоянию на 01.07.2008 г. Байназарова Н.С., Турнияз М.Б., Дружинина О.Н. и др. АО «НИПИнефтегаз», г. Актау, 2007 г.
10. Технологическая схема разработки нефтяного месторождения Восточный Кумколь. Абитова А.Ж., Телегенов А.С., Шиланов А.С. и др. АО «КазНИПИмунайгаз», г. Актау, 2010 г.