

Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет имени  
К.И. Сатпаева

УДК 553.98:551.24:550.837:551.435

На правах рукописи

**ҚҰДАЙБЕРГЕНОВА САБИНА САТЫБАЛДЫҚЫЗЫ**

**Современные технологии геодинамического мониторинга при изучении и  
картировании быстроменяющихся природно-техногенных процессов на  
месторождениях углеводородов**

8D07104 – Нефтегазовая и рудная геофизика

Диссертация на соискание степени  
доктора философии (PhD)

Научный консультант:  
Абетов А.Е. д.г.-м.н., профессор,  
член-корреспондент НАН РК

Зарубежный научный консультант:  
Сидоров В.А. к.т.н.,  
член-корреспондент РАЕН

**Республика Казахстан**

**Алматы, 2023**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ .....</b>	<b>6</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....</b>	<b>8</b>
<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....</b>	<b>11</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>12</b>
<b>1.ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ДЕСТРУКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКОВ В РАЙОНАХ ИНТЕНСИВНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ.....</b>	<b>17</b>
<b>2.СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ. СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПО ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЛАСТЕЙ.....</b>	<b>22</b>
2.1 Современная природная геодинамика недр .....	22
2.2 Техногенная геодинамика недр .....	30
2.2.1 Опасные геодинамические явления, связанные с разработкой месторождений углеводородов.....	31
2.2.1.1. Анализ техногенной и индуцированной сейсмичности на зарубежных разрабатываемых месторождениях углеводородов.....	33
2.2.1.2. Техногенные деформации (проседания) дневной поверхности на зарубежных разрабатываемых месторождениях углеводородов.....	47
2.2.1.3. Горизонтальные сдвиги массивов горных пород и поверхностное разломообразование на зарубежных разрабатываемых месторождениях углеводородов.....	51
2.3. Закономерности возникновения и развития природно-техногенных геодинамических событий. Негативные последствия проявления сильных сейсмодеформационных событий .....	53
2.3.1. Модели формирования техногенной и техногенно-индуцированной сейсмичности на примере зарубежных разрабатываемых месторождениях углеводородов.....	55

2.3.2	Негативные последствия проявления сильных сейсмодиформационных и других событий в зарубежных нефтегазоносных бассейнах.....	57
<b>3.</b>	<b>ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НЕДР НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ.....</b>	<b>62</b>
3.1	Опыт организации и ведения геодинамического мониторинга недр на месторождениях углеводородов в Казахстане.....	62
3.2	Зарубежный опыт организации и ведения геодинамического мониторинга недр на зарубежных месторождениях углеводородов.....	65
3.3	Опыт организации и ведения геодинамического мониторинга недр на месторождениях углеводородов в Российской Федерации.....	67
<b>4.</b>	<b>КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>70</b>
4.1	Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение (КНГКМ).....	70
4.2	Газонефтяное месторождение Бозашы Северный (ГНМБС).....	74
<b>5.</b>	<b>МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ И АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА на месторождениях Казахстана.....</b>	<b>78</b>
5.1.	Виды, объемы и точность наблюдений базового комплекса методов геодинамического мониторинга.....	78
5.2.	Методика проведения комплексного геодинамического мониторинга на примере месторождений УВС.....	81
5.2.1.	Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение (КНГКМ).....	81
5.2.2	Газонефтяное месторождение Бозашы Северный (ГНМБС).....	82
5.2.3.	Нивелирование II класса повышенной точности.....	83
5.2.4.	Высокоточные спутниковые GPS измерения.....	84
5.2.5.	Гравиметрические измерения.....	84
5.2.6.	Сейсмологический мониторинг на КНГКМ.....	87
5.2.7.	Космический радарный мониторинг на ГНМБС.....	87

5.2.8. Комплекс методов электроразведки, гравиметрии, спутниковой геодезии и лабораторных исследований грунтов для решения задач ГДМ на КНГКМ....	88
5.3. Современное аппаратурно-методическое обеспечение при проведении геодинамического мониторинга .....	89
<b>6. СЕЙСМОДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ, ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ.....</b>	<b>96</b>
6.1. Тектогенные (природные) и техногенные факторы геодинамического риска на разрабатываемых месторождениях углеводородов.....	96
6.2. Показатели и параметры современной природно-техногенной геодинамики недр на разрабатываемых месторождениях УВ.....	98
6.3. Геодинамические и экологические риски при изучении и картировании быстроменяющихся природно-техногенных процессов на месторождениях углеводородов.....	101
6.3.1. Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение (КНГКМ) .....	101
6.3.1.1. Вертикальные движения дневной поверхности по данным повторного высокоточного нивелирования .....	101
6.3.1.2 Площадное распределение векторов горизонтальных движений GPS-пунктов по данным высокоточных спутниковых измерений.....	103
6.3.1.3. Вариации силы тяжести по данным повторных высокоточных гравиметрических измерений .....	106
6.3.1.4 Сейсмичность по данным сейсмологического мониторинга .....	107
6.3.1.5 Суффозионно-карстовые процессы по данным комплексных геолого-геофизических и геодезических измерений .....	109
6.4. Факторы потенциального геодинамического риска на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении и газонефтяном месторождении Бозашы Северный .....	124
6.4.1. Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение .....	124
6.4.2. Газонефтяное месторождение Бозашы Северный.....	125

6.4.3. Выводы по факторам потенциального геодинамического риска на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении и газонефтяном месторождении Бозашы Северный .....	127
6.5. Обсуждение результатов исследований по геодинамическим рискам на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении и газонефтяном месторождении Бозашы Северный .....	129
6.5.1. Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение (КНГКМ) .....	129
6.6. Развитие экзогенных процессов геологических процессов на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении .....	133
<b>7. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....</b>	<b>141</b>
7.1. Рекомендации по дальнейшему проведению геодинамического мониторинга на КНГКМ и ГНМБС.....	143
7.2. Направления работ на КНГКМ.....	145
7.2.1. Рекомендации по изучению экзогенного фактора на КНГКМ .....	145
7.3. Направления работ на ГНМБС .....	147
7.4. Ожидаемые результаты .....	147
7.5. Рекомендации по расширению комплексного изучения природных и техногенных факторов на КНГКМ и ГНМБС.....	148
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>153</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>161</b>

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие документы и стандарты, нормативно-правовые акты:

- 1 Правила присуждения ученых степеней, утвержденных приказом МОН РК от 31 марта 2011 года №127.
- 2 Государственный общеобязательный стандарт образования Республики Казахстан послевузовское образование. Докторантура. ГОСО РК 5.04.034 – 2011.
- 3 Правила присуждения ученых степеней от 31 марта 2011 года №127; межгосударственные стандарты: ГОСТ 7.32-2001 (изменения от 2006 г.). Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
- 4 ГОСТ 8.417-81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.
- 5 ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.
- 6 ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214-74) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу Реферат и аннотация. Общие требования.
- 7 Методическое руководство (регламент) по созданию комплексных геодинамических полигонов и проведению многофункционального мониторинга природно-техногенных сейсмодиформационных и флюидодинамических процессов при освоении углеводородного потенциала недр Республики Казахстан, 2003.
- 8 Методическое руководство по ведению мониторинга современных движений высокоточными спутниковыми GPS-наблюдениями для прогноза геодинамического состояния территорий и нефтегазовых месторождений, 2004.
- 9 Методическое руководство по производству высокоточного нивелирования для прогноза геодинамического состояния территорий нефтегазовых месторождений, 2004.
- 10 Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов ГКИНП (ГНТА)-03-002-07, Агенство Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами, Астана, 2007.
- 11 Методическое руководство (регламент) по созданию комплексных геодинамических полигонов. Сидоров В.А., Нусипов Е., Оспанов А.Б. и др., Алматы: Ғылым, 2003.
- 12 Сейсмологический мониторинг на месторождениях углеводородов (Методические указания). Сидоров В.А., Нусипов Е., Алматы, 2004.
- 13 Методическое руководство. Гидрогеодинамический мониторинг на месторождениях углеводородов для оценки гидродинамического риска, 2004.

- 14 Закон Республики Казахстан от 5 июля 1996 года № 19-І «О чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 09.02.2009 г.).
- 15 Закон Республики Казахстан «Об охране окружающей среды».
- 16 Закон Республики Казахстан «О нефти» от 28 июня 1995 г. № 2350.
- 17 Закон Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» от 27 января 1996 года № 2828 (с изменениями и дополнениями по состоянию на 24.06.2010 г.).
- 18 Постановление Правительства Республики Казахстан от 27 января 1997 г. № 106 «Об утверждении Положения о государственном мониторинге недр в Республике Казахстан».
- 19 Постановление Правительства Республики Казахстан от 20 декабря 2010 г. № 1373 «О правилах осуществления государственного мониторинга недр».
- 20 Концепция «Геодинамическая безопасность освоения УВС РК», Алматы, 2002 г.
- 21 Казахстанский Сектор Каспийского Моря. Государственная программа освоения КСКМ, утвержденная Указом Президента Республики Казахстан № 1095 от 16 мая 2003 г.
- 22 Концепция экологической безопасности Республики Казахстан на 2004-2015 гг. (Указ президента РК 03.12.2003 года № 1241).
- 23 Концепция предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и совершенствования государственной системы управления в этой области (Одобрена постановлением Правительства РК 23.11.2005 года № 1154).
- 24 Правила осуществления государственного мониторинга недр (Утверждены постановлением Правительства РК от 20 декабря 2010 года № 1373).
- 25 Специальные формы геологической отчетности, представляемой недропользователями о состоянии недр (Утверждены постановлением Правительства РК 30.12.2010 года № 1459).

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В диссертации в соответствии с ее целевой направленностью используются следующие основные понятия.

**Недра** – в пространственном отношении представляют собой верхнюю часть земной коры, расположенную ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже земной поверхности и дна водоемов и водотоков, простирающуюся до глубин доступных для геологического изучения и освоения. Недра состоят из трех основных компонентов геологической среды – твердого, жидкого и газообразного.

**Разлом (разрыв)** – тектоническая деформация, сопровождаемая перемещением частей деформированного геологического тела относительно сместителя (разлома, трещины различной формы и наклона).

**Активный разлом** – разлом, движения по которому происходили однократно или многократно в течение последних примерно 100 тыс. лет (для тектонически подвижных областей) или 700 и более тыс. лет (для тектонически стабильных областей – платформ).

**Современный активный разлом** – разломная зона как тектоническая деформация, в пределах которой в настоящее время происходят современные короткопериодические (месяцы, годы), квазипериодические и/или знакопеременные деформации со скоростями не менее 10-5 в год. Природа и механизм современной активности разломов – кратковременные параметрические деформации горных пород геосреды в зонах разломов.

**Геодинамика** – научная дисциплина, изучающая движения, происходящие в земной коре, мантии и ядре, и причины этих движений.

**Современная геодинамика** – составная часть общей геодинамики, изучающая современные (от первых лет до десятков и первых сотен лет) процессы пространственно-временного перераспределения вещества и энергии в земной коре (деформации, флюидодинамика) и различные формы проявления этих процессов с помощью точных инструментальных повторных или непрерывных методов измерений. Принципиально важно то, что в отличие от геодинамики, изучающей только природные процессы, в современной геодинамике исследуются процессы как природного, так и техногенного генезиса.

**Геодинамические события** (современные природные) – совокупность различных форм проявления природного напряженного состояния геосреды – землетрясения, активизация разломов, деформации (просадки или поднятия) земной поверхности, горизонтальные сдвиги массивов горных пород, поверхностное разломообразование и связанные с ними опосредованные явления – оползни, сейсмодислокации, карст и др.

**Геодинамическая опасность** – установленный или прогнозируемый факт подверженности определенной территории воздействию аномальных (опасных) сейсмодеформационных процессов природного и техногенного генезиса, которые при определенных обстоятельствах могут привести к негативным последствиям для человека и среды его обитания.

**Геодинамическая безопасность природно-технических систем** – защищенность природно-технических систем и объектов, функционирующих в районах активной хозяйственной деятельности человека, позволяющая обеспечить минимально допустимый риск для людей, природно-технических систем и объектов окружающей среды. Понятие «геодинамическая безопасность» включает сейсмическую, деформационную и флюидодинамическую составляющие.

**Геодинамический риск** – это вероятность возникновения и аномального развития сейсмодеформационных процессов природно-техногенного генезиса, способных к выводу объекта риска из нормального функционирования, который сопровождается материальным ущербом.

**Допустимый уровень геодинамического риска** – показатель риска возникновения повреждения или аварии природно-технических систем и объектов, учитывающий предельно допустимые (безопасные) количественные параметры современного геодинамического состояния недр, установленные нормативными документами.

**Геоэкология** – часть экологии, занимающаяся вопросами исследования взаимодействия между биотой (включая человека), с одной стороны, и частью недр, вовлеченных в хозяйственное использование.

**Геоэкологическая безопасность** – защищенность природных компонент геосреды и природно-технических систем и объектов, созданных человеком, которая должна характеризоваться принятыми нормативными показателями.

**Геоэкологический риск** – степень зависимости устойчивости природно-технических систем и защищенности природной среды от масштаба и уровня современных геодинамических процессов природного и природно-техногенного генезиса.

**Геодинамический мониторинг** – это система постоянных и дискретных во времени или непрерывных измерений комплексом методов с последующим анализом и прогнозированием изменений современного геодинамического состояния недр природного и техногенного генезисов, проводимые в рамках заданного регламента в пределах рассматриваемой природно-технической системы.

**Природно-технические системы (ПТС)** – совокупность объектов, созданных природой и человеком и вовлеченных в единый взаимосвязанный процесс освоения недр (недропользования). Виды ПТС – разрабатываемые месторождения углеводородов (резервуар с находящейся в нем залежью нефти, газа или газоконденсата), подземные хранилища газа, а также промышленных отходов (созданных, в том числе с помощью подземных ядерных взрывов), скважины, объекты обустройства нефтегазопромыслов, нефтегазоперерабатывающие комплексы, нефте-газо- и продуктопроводы и др.

**Техногенное воздействие на недра** – все виды хозяйственной деятельности человека по освоению недр, связанные с изъятием и перемещением горных масс, добычей углеводородов и приводящие к

качественному изменению состава и свойств основных компонентов недр – твердой, жидкой, газообразной.

**Природно-техногенные геодинамические события** – геодинамические события, связанные с активным техногенным воздействием на недра и их природное напряженное состояние. Различают два процесса: «возбуждение» и «иницирование». Возбуждение – это техногенное воздействие на определенную (например, перенапряженную) зону земной коры, вызывающее событие (например, землетрясение или интенсивные просадки земной поверхности) которое бы без такого воздействия не произошло (по-английски – induce). Иницирование – воздействие, например, на очаг готовящегося землетрясения, ускорение события, его «запуск» или воздействие на активный разлом, существенно его активизируя (по-английски – trigger).

**Обеспечение геодинамической безопасности природно-технических систем и объектов** – разработка и осуществление комплекса превентивных мер по предупреждению (или снижению уровня) повреждений и аварий природно-технических систем и объектов, связанных с чрезвычайными геодинамическими событиями.

**GNSS-наблюдения** – наблюдение за положением объекта (точки, тела, пункта) в течение определенного интервала времени посредством GNSS-технологий (спутниковая геодезия).

**Деформационный мониторинг** – картирование активных разломов и просадочных явлений по профилям геодинамического полигона путем проведения повторного точного нивелирования.

**Гравиметрический мониторинг** – оценка деформационных процессов в продуктивных отложениях (сжатие, уплотнение пород-коллекторов) и контроль за объемами добываемого и закачиваемого флюида путем проведения повторных высокоточных гравиметрических измерений.

**Сейсмологический мониторинг** – регистрация местных, близких и удаленных землетрясений природного и техногенного генезиса и изучение сейсмического режима.

**Гипоцентр** землетрясения - место в очаге, в котором начинается разрыв, а его проекция на земную поверхность называется эпицентром.

**Геодинамический полигон** - наблюдательная сеть на выбранной территории, в пределах которой ведется комплекс периодических высокоточных гравиметрических и геодезических наблюдений на установленных на местности планово-высотных пунктах.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АВПД – Аномально Высокое Пластовое Давление  
БД – База Данных  
ПО – Программное Обеспечение  
УВ – Углеводороды  
УВС – Углеводородное Сырье  
ГДМ – Геодинамический Мониторинг  
ГДП – Геодинамический Полигон  
МОН РК – Министерство Образования и Науки Республики Казахстан  
МЧС РК – Министерство Чрезвычайных Ситуации Республики Казахстан  
РГУ – Республиканское Государственное Учреждение  
МЦАиРМ – Международный Центр Анализа и Разработки Месторождений  
МД – Межрегиональный Департамент  
НПЦ – Научно-Производственный Центр  
РЦГИ – Республиканский Центр Геологической Информации  
РФ – Российская Федерация  
НГО – Нефтегазоносная Область  
GPS (Global Position System) - Глобальные Спутниковые Системы  
GNSS (Global Navigation Satellite System) – Глобальные Навигационные Спутниковые Системы  
ПТС – Природно-Технические Системы  
ПТГС – Природно-Техногенные Геодинамические События  
КПО – Карачаганак Петролеум Оперейтинг  
КБТУ – Казахстанско-Британский Технический Университет  
ИНГГ СО РАН – Институт Нефтегазовой Геологии и Геофизики (Сибирское Отделение) Российской Академии Наук  
СБЗ – Северно-Бортовая Зона  
ВЭЗ – Вертикальное Электрическое Зондирование  
ЭТ – Электротомография  
ЗС – Зондирование Становлением Поля  
ЧЗ – Частотное Зондирование  
ПР – Профиль  
ПК – Пикет  
УЭС – Удельное Электрическое Сопротивление  
КНГКМ – Карачаганакское Нефтегазоконденсатное Месторождение  
ГНМБС – Газонефтяное Месторождение Бозашы Северный  
ГЭС – Гидроэлектростанция  
АЭС – Атомная электростанция  
SU – Satbayev University  
СМУ – Совет Молодых Ученых  
SH - SinkHole

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность** диссертационной работы определяется сложностью, системностью и многофакторностью проблемы обеспечения геодинамической безопасности освоения недр РК, что, во-первых, определяет необходимость более углубленного изучения условий формирования быстроменяющихся природно-техногенных событий, учитывая большое разнообразие геодинамических и экологических рисков, а, во-вторых, требует существенного развития подходов к своевременному выявлению этих рисков, а также реальных оценок последствий проявления сейсмодиформационных процессов на разрабатываемых месторождениях углеводородов.

В свою очередь, это вызывает актуальную необходимость использования системного подхода с применением теоретических, модельных, экспертных и других видов исследований по результатам геодинамического мониторинга.

**Объекты исследований** – разрабатываемые месторождения нефти и газа Западного Казахстана, РФ и зарубежных стран.

**Предметами исследования** являются вариации силы тяжести, удельное электрическое сопротивление горных пород, параметры сейсмических и деформационных процессов, а также техногенные процессы в приповерхностной части геологического разреза.

**Методология** – синтез и системный анализ, переобработка и переинтерпретация, моделирование геолого-геофизических данных с применением современного ПО на базе результатов комплекса методов, охватывающего высокоточный гравиметрический мониторинг, электротомографию, вертикальное электрическое зондирование, электромагнитное зондирование становлением поля, частотное зондирование, повторное точное нивелирование, GPS-измерения (частично радарную интерферометрию и сейсмологический мониторинг).

**Цель** – на основе долговременного контроля за быстроменяющимися природно-техногенными процессами, связанными с аномальными изменениями параметров геофизического поля (силы тяжести, удельного электрического сопротивления) и сопутствующих им деформационных геодинамических параметров (просадок, горизонтальных сдвигов, землетрясений) изучение особенностей (закономерностей) проявления природно-техногенных сейсмодиформационных процессов на разрабатываемых месторождениях УВ.

**Инструменты исследований** – программное обеспечение Grapher, Surfer, Didger (США, Golden Software), ArcGIS&Esri (США), Coscad 3D, SiBER Tools (Новосибирск, РФ), RES2D (Geotomo softwear, Малайзия), Эра, EMS (ИНГГ СО РАН) и ZondTEM1D и т.д.

### **Решаемые задачи:**

- сбор, анализ и обобщение имеющихся фондовых материалов, опубликованной отечественной и зарубежной литературы, составление аналитических обзоров случаев возникновения деформационных и сейсмических событий на разрабатываемых месторождениях УВ;

- анализ методов, аппаратурного обеспечения и методики проведения

ГДМ;

- оценка достоверности БД по комплексному ГДМ за современным природно-техногенными процессами на месторождениях УВ;

- выявление закономерностей возникновения и пространственно-временного развития различных форм проявления природно-техногенной геодинамики недр;

- выполнение геодинамического районирования территории месторождений УВ – выделение зон и участков геодинамического риска по комплексу геолого-геофизических и геодезических методов исследований;

- обоснование рекомендаций по оптимизации комплексного ГДМ для решения задач по размещению систем и объектов обустройства на месторождениях УВ, что позволит избежать возникновения возможных аварийных ситуаций, связанных с геодинамическим фактором.

**Научная новизна** диссертационных исследований состоит в анализе многолетних измерений и в обобщении методологии комплексного мониторинга геофизических и геодинамических процессов земной коры в районах добычи нефти и газа с оценкой техногенных изменений в верхней части земной коры и их последствий; в установлении и подтверждении общих и локальных особенностей влияния добычи нефти и газа на геодинамические процессы и сейсмичность; в обосновании комплекса геофизических методов в составе гравиразведки и электроразведки при изучении суффозионно-карстовых процессов в районах разработки месторождений нефти и газа, техногенных воздействий и зон повышенной сейсмической активности; в выполнении районирования территории нефтегазоносного региона по уровню сейсмической активности. На основе выполненных исследований предлагается современная технология контроля техногенных изменений в динамике земной коры на разрабатываемых месторождениях углеводородов путем создания геодинамических полигонов.

**Практическая значимость** – полученные выводы подтверждают принципиальную возможность оценки возникновения различных сценариев геодинамических ситуаций и экологических рисков, связанных с разработкой месторождений УВ, рекомендованы мероприятия с целью снижения этих геодинамических рисков.

Результаты диссертационных исследований представляют практический интерес для компаний ведущих операционную и сервисную деятельность на месторождениях УВ Казахстана.

**Достоверность полученных результатов** – подтверждается фактическими материалами по ГДМ на месторождениях УВ зарубежных стран, РФ и Западного Казахстана, в том числе сравнительным анализом методики и оценок точности измерений, полнотой комплекса методов с использованием современных программных пакетов и сопоставлением теоритических результатов с результатами других авторов, проводивших исследования на месторождениях УВ Западного Казахстана.

**Личный вклад автора.** Состоял в сборе, систематизации, обобщении, переработке и переинтерпретации геолого-геофизических данных,

построении схем и карт, в обосновании рекомендаций по снижению геодинамических рисков с целью обеспечения экологической безопасности районов интенсивной добычи УВ РК и в личном участии в составлении программ, выполнении отчетных и проектных исследований по ГДМ (как соавтор/ответственный исполнитель):

- участие в разработке комплексных долгосрочных программ по проведению ГДМ на месторождениях УВ РК – составление отдельных разделов, проектирование наблюдательных систем на территории месторождений углеводородов. Месторождения Бозашы Северный, Карачаганак, Урихтау, Толкын, Боранколь и др.

- проведение комплексной обработки результатов полевого ГДМ и составление системы обобщающих цифровых документов для последующего анализа и интерпретации (сводные каталоги, таблицы, графики). Месторождения Бозашы Северный, Карачаганак, Урихтау, Тенгиз, Чинаревское, Кумколь, Кара-Арна, Кок-Арна, Матин, Сазтобе, Елемес, Каражанбас, Алибекмола, Кожасай, Емир, Аксаз, Долинное и др. (2014-2023 гг.).

- участие в комплексном анализе результатов ГДМ – составление отдельных текстовых разделов и итоговой авторской графической информации в комплексных отчетах по проведению ГДМ на месторождениях УВ РК. Месторождения Дунга, Узень и Карамандыбас, Урихтау, Бозашы Северный, Карачаганак, Кемерколь, Кумколь, Айранколь, Жанаталап, Сазанкурак, Кырыкмылтык и др.

#### **Защищаемые положения:**

1. На разрабатываемых месторождениях углеводородов наличие техногенного фактора проявляется в свде локальных структур уменьшением значений локальной составляющей гравитационного поля, сопровождающегося увеличением амплитуды вертикальных просадок дневной поверхности и уменьшением пластового давления.

2. Относительно пониженные значения аномалий гравитационного поля соответствуют зонам возникновения сейсмодеструктивных процессов (в форме очагов землетрясений и зон активизации разломов в результате увеличенных объемов добычи углеводородов), с которыми связаны просадки земной поверхности и уменьшение пластового давления.

3. Комплексные исследования методами гравиразведки, электроразведки и лабораторных исследований образцов керны дают возможность выявить зоны формирования суффозионно-карстовых воронок в результате совместного проявления поверхностных факторов и глубинной тектоники.

4. Система мониторинга геолого-геофизическими и геодезическими методами при изучении и картировании природно-техногенных сейсмодеструктивных процессов требует постоянного совершенствования в методике и аппаратном обеспечении.

**Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами:**

Тема и содержание, цели и задачи диссертационной работы связаны с научно-исследовательским отчетом по теме: «Создание геоинформационной системы для визуализации результатов гравиметрического мониторинга», ИРН проекта AP05135158 (А.Т. Нурсейтова и др.) - г. Алматы, 2020 г.

### **Апробация**

Основные научные положения диссертационной работы докладывались: на международном форуме «Карбонатные бассейны Казахстана и сопредельных территорий» (г. Туркестан, май 2022 г.), на международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, экологии и химии с использованием современных образовательных технологий» (г. Алматы, февраль 2022 г.), на 17-ой конференции Европейской Ассоциации Геоученых и Инженеров (г. Геленджик, апрель 2021 г.), на СМУ ИГиНГД (апрель 2021, январь 2023г.), на СМУ SU (январь 2023 г.), в Институте сейсмологии МЧС РК (январь 2023 г.), на кафедре «Маркшейдерского дела и геодезии» (январь 2023 г.), в Международном центре анализа и разработки месторождений SU (февраль 2023 г.) и на внутренних кафедральных заседаниях.

В период с 6 по 30 апреля 2022 года была пройдена научная стажировка в Erciyes University г. Кайсери, Турция, под руководством профессора, доктора Абдурахман Геймена.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 9 научных трудах, в т.ч. 4 статьи опубликованы в журналах, входящих в базу данных Scopus и Clarivate Analytics, 1 статья в других научных журналах и изданиях, 4 публикации – в изданных трудах международных конференций, казахстанских и зарубежных.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация изложена на 174 страницах компьютерного набора и состоит из введения, семи разделов, заключения и списка использованных источников, включающего 201 наименований. Диссертация иллюстрирована 45 рисунками и 7 таблицами.

### **Фактографическая база**

Фактографическую базу диссертационных исследований составили изданные материалы авторских исследований, опубликованные статьи и монографии в отечественных и зарубежных изданиях, а также фондовые отчеты по теме диссертации.

### **Благодарности.**

В заключении считаю своим долгом выразить благодарность научным консультантам за конструктивные и ценные профессиональные советы и рекомендации д.г.-м.н., профессору, член-корреспонденту НАН РК Абетову А.Е., а также к.т.н., член-корреспонденту РАЕН Сидорову В.А.

На протяжении всего периода работы автор чувствовал постоянное внимание и поддержку со стороны ТОО «НПЦ «ГЕОКЕН» в лице Генерального директора Шагирова М.Б, его первых заместителей - Шагирова Б.Б. и Коврижных П.Н., начальника отдела инженерных изысканий и мониторинга недр. Ли Л.В.

Отдельную благодарность за ценные консультации и советы по улучшению структуры и содержания диссертации автор выражает директору ГИН, д.г.-м.н., академику АМР РК Жолтаеву Г.Ж., зам.директору ИС МЧС РК Узбекову Н.Б., ассоциированному профессору доктору PhD Умировой Г.К., ученому секретарю специализированного диссертационного совета Ауелхан Е.С., зав.кафедры «Маркшейдерского дела и геодезии» Орынбасаровой Э.О., председателю совета молодых ученых ИГНиГД Акпанбаеву Р., председателю совета молодых ученых Satbayev University Ахымбаевой Б.С., декану Высшей школы КБТУ к.г.м.н. Ахметжанову А.Ж., всему профессорско-преподавательскому составу кафедры Геофизики и другим коллегам.

# 1. ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ДЕСТРУКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКОВ В РАЙОНАХ ИНТЕНСИВНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Многообразная хозяйственная деятельность человека по освоению недр имеет тенденцию к расширению и усилению. Она стала оказывать заметное влияние не только на недра, но и на среду обитания человека, на созданные им объекты и сооружения. В ряде случаев последствия техногенного влияния человека на недра уже можно сравнить с проявлениями природных процессов.

Один из наиболее существенных видов техногенного воздействия на недра связан с освоением ресурсов УВС.

Создаются крупные территориальные комплексы по добыче углеводородов, прокладываются магистральные нефте-, газо- и продуктопроводы, работают центры по переработке УВС, возводятся подземные хранилища углеводородного сырья и емкости для закачки в них промышленных, в том числе опасных отходов.

Вместе с тем, возрастающее техногенное воздействие на недра нарушает их природное состояние, обостряя одновременно экологическую ситуацию.

Функционирование нефтегазового комплекса уже приводило к хорошо известным негативным экологическим последствиям на поверхности земли и в атмосфере, в том числе к нарушению и загрязнению земель при строительстве объектов добычи и переработки сырья, выбросам загрязняющих веществ в атмосферу, сбросам в поверхностные и подземные воды, захоронению отходов, аварийным разливам нефти и нефтепродуктов.

За последние 20-25 лет в различных нефтегазодобывающих регионах мира появились многочисленные, хорошо задокументированные и опубликованные факты, которые показывают существенную значимость геодинамического фактора в системе промышленного и экологического рисков при освоении ресурсов недр (см. список литературы).

Полученные результаты, их анализ и обобщение позволили обосновать выделение двух основных групп деструктивных факторов геодинамического и геоэкологического рисков в районах интенсивной добычи углеводородов.

Во-первых, недра, в отличие от других природных сред, сами являются мощным источником природных деструктивных процессов. Большой объем экспериментальных данных, полученных в ряде регионов мира, их анализ и интерпретация позволили доказать **увеличенную современную тектоническую активность недр** обширных платформенных территорий, где сосредоточен основной ресурсный потенциал недр. Эта активность проявляется, главным образом, в форме аномальной современной активности платформенных разломов земной коры и в виде землетрясений различной интенсивности, в том числе, относительно редких, но сильных (с  $M = 5-6$ ) на территории древних и молодых платформ.

Эти процессы являются, как оказалось, мощным источником природных деструктивных явлений, которые необходимо учитывать при освоении ресурсов недр. В этой связи, системы нефтегазовых комплексов

(месторождения, скважины, объекты обустройства, трубопроводы и др.) в период их длительного функционирования находятся в обстановке постоянного активного воздействия на них природных геодинамических процессов различного уровня и масштаба.

Во-вторых, процесс функционирования вышеуказанных природно-технических систем может активно воздействовать на неустойчивое деформационное состояние недр и выводить их из этого состояния в форме аномальных (опасных) геодинамических событий.

Таким образом, **природно-технические системы могут явиться источником деструктивных процессов, но уже техногенного генезиса**, т.е. создавать предпосылки для возникновения разнообразных форм аномальных геодинамических событий. По своей интенсивности и масштабам проявления эти события оказались, в ряде случаев, сравнимы с природными геодинамическими событиями. Особенность сильных природно-техногенных геодинамических событий состоит в том, что они не могли бы возникнуть без активного воздействия человека на недра.

В последние годы внимание государственных органов Республики Казахстан, контролирующих производственную деятельность недропользователей, а также руководства компаний нефтегазодобывающей отрасли существенно усилилось в отношении необходимости обеспечения геодинамического контроля за состоянием недр и изменением этого состояния во времени в связи с разработкой месторождений углеводородов.

Основанием для этого послужили, во-первых, многочисленные случаи возникновения сильных и, в ряде случаев, катастрофических природно-техногенных геодинамических событий (землетрясения и просадки дневной поверхности) на месторождениях углеводородов в США, Канаде, Франции, России, Туркменистане, Узбекистане, Венесуэле, на Северном море, в Азербайджане и в других странах.

Во-вторых, имеет место расширение масштабов освоения углеводородного потенциала недр в районах с развитой нефтегазодобычей Республики Казахстан – Атырауская, Западно-Казахстанская, Актюбинская, Мангистауская и другие области.

Особенно это относится к шельфу Каспийского моря - уникальному природному объекту, на территории которого в XXI веке ожидается интенсивное и длительное освоение углеводородного потенциала недр. Поэтому, контроль за современным геодинамическим состоянием недр и изменением этого состояния во времени в этих и других регионах с последующей оценкой риска возникновения аномальных (сильных) геодинамических событий и прогнозированием последствий становится для Республики Казахстан актуальной практической задачей.

В Республике Казахстан жесткие требования к рациональному использованию недр, охране окружающей среды и обеспечению **экологической безопасности** в районах добычи, переработки и транспортировки углеводородного сырья позволили существенно снизить влияние вышеуказанных ситуаций на окружающую среду.

Необходимость принятия и механизм решения геодинамического контроля за состоянием недр отражены в ряде документов. К ним следует относить законы РК «Об охране окружающей среды», «О чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера», Указы Президента Республики «О недрах и недропользовании», «О нефти», Постановление Правительства РК №745 от 18.06.1996 г., Постановление Правительства Республики Казахстан №106 от 27.01.1997 г. «Положение о Государственном мониторинге недр в Республике Казахстан». Важнейшим этапом стало решение Комитета геологии и недропользования РК о разработке «Методического руководства по проведению Государственного мониторинга за состоянием разработки месторождений углеводородного сырья Республики Казахстан».

Следует отметить, что развитию комплексной проблемы геодинамического мониторинга недр в Казахстане способствовала активная позиция Комитета геологии и недропользования МЭМР РК в части необходимости организации единой мониторинговой системы наблюдений за современным геодинамическим состоянием недр для обеспечения их рационального использования и устранения проявлений негативных процессов, а также в части разработки соответствующих регламентирующих документов.

Так, на совещании-семинаре «Мониторинг недропользования углеводородного сырья» (г. Атырау, апрель 2008 г.), организованном Комитетом геологии и недропользования было рекомендовано включить в состав методического руководства по ведению Государственного мониторинга за состоянием разработки месторождений УВ РК, разрабатываемому по заказу Комитета геологии и недропользования раздел «Методическое руководство по проведению геодинамического мониторинга».

Вместе с тем, по ряду объективных причин недостаточно внимания уделялось и уделяется изучению причин, времени и места возникновения природно-техногенных геодинамических процессов, которые происходят в недрах (ниже поверхности земли) в связи с освоением их ресурсов.

Имело место явная недооценка роли и масштабов проявления этих процессов при решении проблемы обеспечения **геодинамической безопасности** природно-технических систем нефтегазового комплекса.

До последнего времени отсутствовала общая стратегия системы комплексного геодинамического мониторинга недр для районов интенсивной добычи углеводородного сырья с научно-обоснованной системой оценок геодинамического риска, прогнозирования негативных экономических и экологических последствий и с разработкой превентивных мер для снижения или предотвращения потенциального ущерба.

В настоящее время на территории Республики Казахстан, например, на ряде месторождений углеводородов уже выполняется геодинамический мониторинг природно-техногенных сейсмодиформационных процессов, связанных с разработкой этих месторождений.

Однако эти работы нуждаются в усилении координации в рамках единой государственной программы исследований.

Сложность, системность и многофакторность проблемы обеспечения геодинамической безопасности освоения недр Республики Казахстан обосновывают её развитие по следующим основным направлениям.

Во-первых, требуют дальнейшей, более углубленной разработки методических и технических требований по строительству геодинамических полигонов и проведению многофункционального сейсмодеформационного мониторинга, учитывая большое разнообразие типов объектов (месторождений углеводородов), а также факторов геодинамического риска в части истории геологического развития, структурно-геологических и гидрогеологических особенностей, типов пород-коллекторов, промыслово-геологических характеристик и истории разработки месторождений углеводородов.

Во-вторых, существует настоятельная необходимость развития проблемы оценок геодинамического риска и прогнозирования последствий проявления сильных геодинамических событий на разрабатываемых месторождениях углеводородов, что требует использования системного подхода с применением теоретических, модельных, экспертных и других видов исследований с опорой на результаты геодинамического мониторинга.

Принципиальной новизной является то обстоятельство, в соответствии с которым впервые в Республике Казахстан, с учетом мирового и национального опыта, представлена диссертационная работа, в которой исследованы конкретные виды опасных геологических процессов – сейсмические, деформационные и карсто-процессы природно-техногенного генезиса.

Диссертационные исследования связывают не только все стадии решения проблемы обеспечения геодинамической безопасности промышленного освоения недр, но и предусматривает решение вопросов по координации систем мониторинга государственного уровня и уровня недропользователей.

В диссертационной работе дан глубокий анализ по необходимости и достаточности базового комплекса методов мониторинга, принципы размещения систем наблюдений в зависимости от типа и характеристик объектов исследований, а также методические и метрологические требования к отдельным видам измерений, режиму мониторинга, пространственно-временной этапности развития геодинамического мониторинга в районах интенсивной разработки месторождений углеводородов.

Важное место в диссертации отведено попыткам решения задач по вероятностным оценкам риска возникновения сильных природно-техногенных сейсмодеформационных событий (землетрясений различного генезиса, просадок и др. событий) и принципов прогнозирования негативных последствий.

Разнообразие объектов, форм проявления геодинамических событий различного генезиса и методов их регистрации неизбежно предусматривают унификацию всех решений для получения сопоставимых результатов.

Практическая эффективность реализации диссертационной работы определяется снижением возможного воздействия потенциальных природно-техногенных геодинамических событий на системы и объекты нефтегазовых

комплексов Республики Казахстан, а также на среду обитания человека за счет применения системы превентивных мер.

По итогам диссертационной работы сделаны рекомендации, направленные на обеспечение геодинамической безопасности функционирования систем и объектов на разрабатываемых месторождениях углеводородов, от дополнения комплексного, многофункционального, геодинамического мониторинга до оценок геодинамического риска и прогнозирования негативных последствий.

## 2. СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ. СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПО ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЛАСТЕЙ

В настоящей диссертационной работе приводятся сведения по современной природной и техногенной геодинамике недр в районах с развитой добычей углеводородов. При написании диссертации были использованы данные многолетнего труда ученого – В.А. Сидорова по исследованию эколого-геодинамических проблем, содержащиеся на страницах научных изданий и фондовых документах, полученных из Республиканского Центра Геологической Информации «Казгеоинформ».

### 2.1 Современная природная геодинамика недр

Полученная к настоящему времени обширная информация о современных движениях и деформациях литосферы показала принципиальную необходимость конкретизировать термин «современный» при раскрытии содержания современной геодинамики, как раздела общей геодинамики.

В геологии и геоморфологии под современной геодинамикой понимают, как правило, движения и деформации дневной поверхности, которые произошли за последние тысячи и десятки тысяч лет и отразились в элементах рельефа и ландшафта дневной поверхности, что действительно является кратковременным «современным» процессом если учитывать геологический возраст, например, платформенных регионов [54, 64].

Другая группа исследователей, опираясь на результаты повторных геодезических и геофизических наблюдений, в содержание современной геодинамики вкладывает изучение кинематических характеристик движений и деформаций дневной поверхности [59, 16] или установление механизма движущих сил (глубинных процессов), отражением которых являются современные движения земной.

Очевидно, что принимать кинематическое или силовое толкование содержания проблемы современной геодинамики не в полной мере является очевидным.

Так, например, по инструментальным данным можно зарегистрировать тренд движений унаследованных от движений прошлых геологических эпох. Но последние по длительности протекания формирующих их процессов нельзя относить к категории современных.

С другой стороны с помощью геодезических наблюдений невозможно измерять типичный для современной геодинамики процесс – приливные деформации, так как для этого вида наблюдений место существенное *ограничение по чувствительности и временной детальности*. Такие примеры можно приводить и далее.

В связи с вышеизложенным, одним из главных условий адекватной трактовки измеряемых процессов является соизмеримость длительности

протекания современных геодинамических процессов с длительностью самого процесса измерений.

Поэтому, *раздел современной геодинамики можно определить как часть общей геодинамики, изучающей тектонические движения и причины их вызывающие, когда время возникновения, развития и завершения последних соизмеримо с длительностью самого процесса измерений [48].*

В 70-е - 80-е годы была получена принципиально новая информация о параметрах проявления современных движений земной коры на платформенных территориях [28, 80] по результатам повторных нивелировок, которые были выполнены на территории бывшего СССР и других стран, начиная с 1900 года. Эта информация кардинально изменила представления о формах, масштабах проявлений и источниках современных движений земной коры – была установлена высокая современная тектоническая активность разломов на древних платформах [29, 31].

В качестве примера на рисунке 1.1 приведены результаты повторного нивелирования по профилю, пересекающему систему Маньчских прогибов, расположенных между Ростовским выступом докембрийского фундамента и складчатым Донбассом.

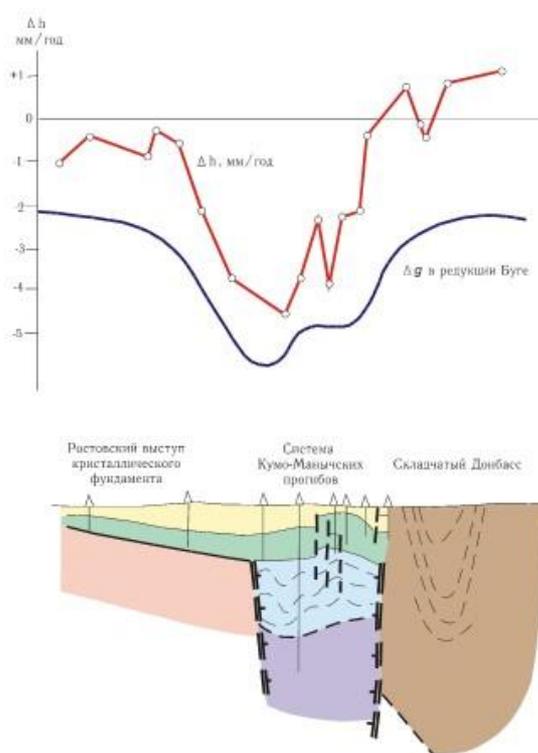
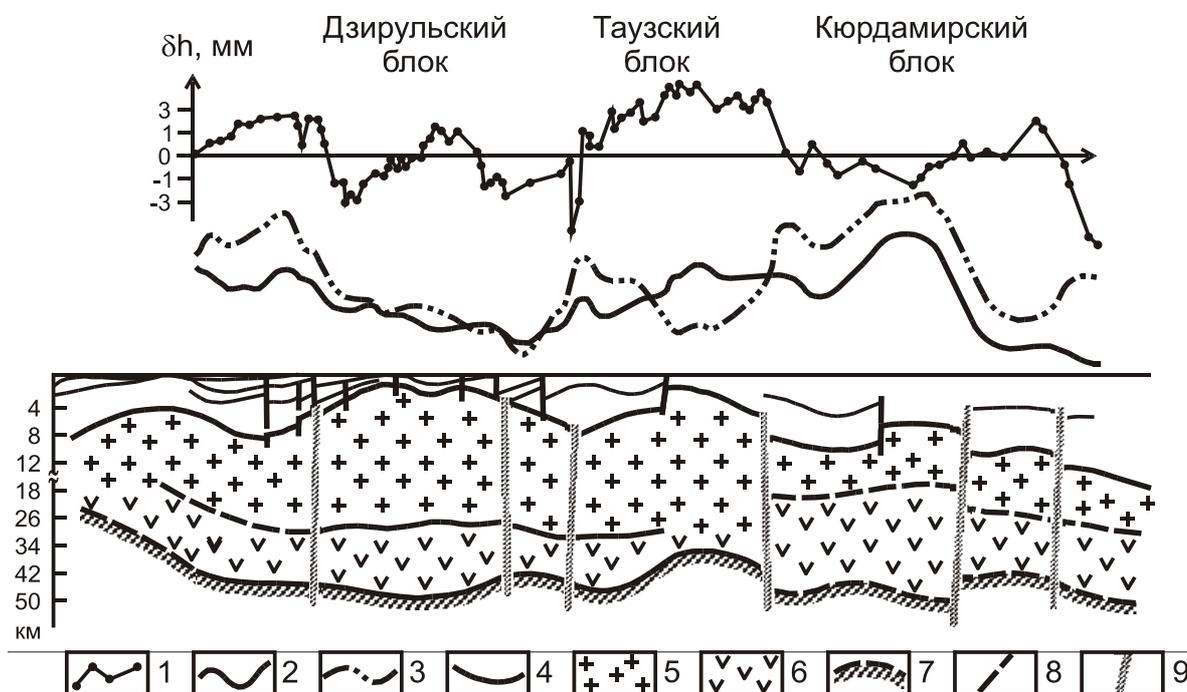


Рисунок 1.1 – Современные вертикальные движения дневной поверхности ( $\Delta h$ , мм) и график силы тяжести в редукции Буге ( $\Delta g$ ) вдоль профиля через систему Маньчских прогибов (по В.А. Сидорову, 1989)

Видно, что система прогибов по линии профиля интенсивно опускалась (за период в 8 лет), а ограничивающие его разломы характеризуются высокой современной активностью. Амплитуда скоростей движений в зоне разломов достигла 5,5 мм/год. Следовательно, накопленные за 8 лет смещения по

разломам достигают 45 мм.

На рисунке 1.2 приведены результаты повторного нивелирования, которое было выполнено вдоль профиля Сухуми-Баку по простиранию Рионо-Куринского прогиба - сейсмоактивного региона [80].



Условные обозначения: 1- график современных вертикальных движений дневной поверхности по данным повторного нивелирования за интервал времени 1940-1957 гг.; 2- график силы тяжести в редукции Буге; 3-остаточная кривая силы тяжести (снято влияние земной коры); 4-основные границы раздела в земной коре; 5-т.н. гранитный слой; 6-т.н. базальтовый слой; 7-поверхность Мохо; 8-разломы в осадочной толще; 9-глубинные разломы в земной коре

Рисунок 1.2 – Современные вертикальные движений земной коры и изменение силы тяжести вдоль профиля по простиранию Рионо-Куринского межгорного прогиба (по В.А. Сидорову, 1989)

Из сопоставления следует, что опускающиеся и поднимающиеся участки дневной поверхности за указанный период времени по местоположению полностью совпадают с блоками земной коры. Основные изменения интенсивности современных вертикальных движений дневной поверхности выявлены непосредственно в пределах зон глубинных разломов. Скорость вертикальных подвижек по разломам составила около 4-5 мм/год. Следовательно, за период между нивелировками взаимное перемещение блоков составило более 7 см.

Результаты *региональных* работ на территории платформ явились существенным обоснованием для развития работ по выяснению возможностей использования данных по современной геодинамике при поисках, разведке и разработке месторождений углеводородов. С 1972 года по 1992 год

Миннефтепром СССР провел цикл полевых и тематических работ по изучению современной геодинамики ряда нефтегазоносных областей для поисково-разведочных целей. Созданные геодинамические полигоны и результаты комплексного геодинамического мониторинга были использованы, в том числе для оценки уровня и масштабов деформационных процессов на разрабатываемых месторождениях углеводородов.

Детальный пространственно-временной масштаб систем мониторинга и большой объем полученной информации привели к установлению новых важных закономерностей проявления современных деформационных процессов в зонах платформенных разломов – *их высокая современная тектоническая активность* [77, 80] в форме интенсивных (порядка 4-6 см/год и более), локальных (ширина зоны активизации – первые км), короткоживущих (формирование аномалий в среднем около 1-1,5 года) и квазипериодических (периодичность около 4-6 лет) аномалий вертикальных и горизонтальных движений дневной поверхности [78, 79].

Другой важной закономерностью стала идентичность пространственно-временных характеристик аномального проявления современной активности разломов как для асейсмичных, так и для сейсмоактивных регионов.

Эти закономерности, несомненно, указывают на локальную пространственно-временную нестабильность процессов современного деформирования недр в разломных зонах, которые получили оригинальную трактовку как *локальные вариации параметров среды (жесткостных, прочностных, емкостных) внутри дизъюнктивов в обстановке квазипостоянной внешней (региональной) нагрузки* [47].

Такой характер возникновения и развития деформационных процессов назван внутриразломными **параметрическими деформациями** [47].

Пример кратковременного формирования аномальной современной *тектонической* активности надсолевых разломов в период 1988-1992 гг. на территории нефтегазового месторождения Тенгиз приведен на рисунке 1.3.

После начала разработки данного месторождения только в период 1989-1990 гг. проявилась аномальная активность разлома. Остаточные деформации сохранялись вплоть до 1992 года.

Следующий период активизации надсолевых разломов произошел в 1995-1996 гг. В период активизации надсолевых разломов было зарегистрировано аномальное увеличение концентрации гелия, растворенного в воде приповерхностных горизонтов (кривая зеленого цвета).

На рисунке 1.4 приведен еще один пример локальной аномальной современной активности крупно- и малоамплитудных разломов в низах осадочной толщи и в фундаменте Припятской впадины (Белоруссия). Над активными разломами выявлены также аномальное увеличение силы тяжести за тот же интервал времени, что и между нивелировками.

Аномалии гелия (Рисунок 1.3) и вариации геофизических полей (Рисунок 1.4) указывают на значительную роль флюидодинамических (гидрогеологических) процессов в современной аномальной активизации разломов осадочных (нефтегазоносных) бассейнов.

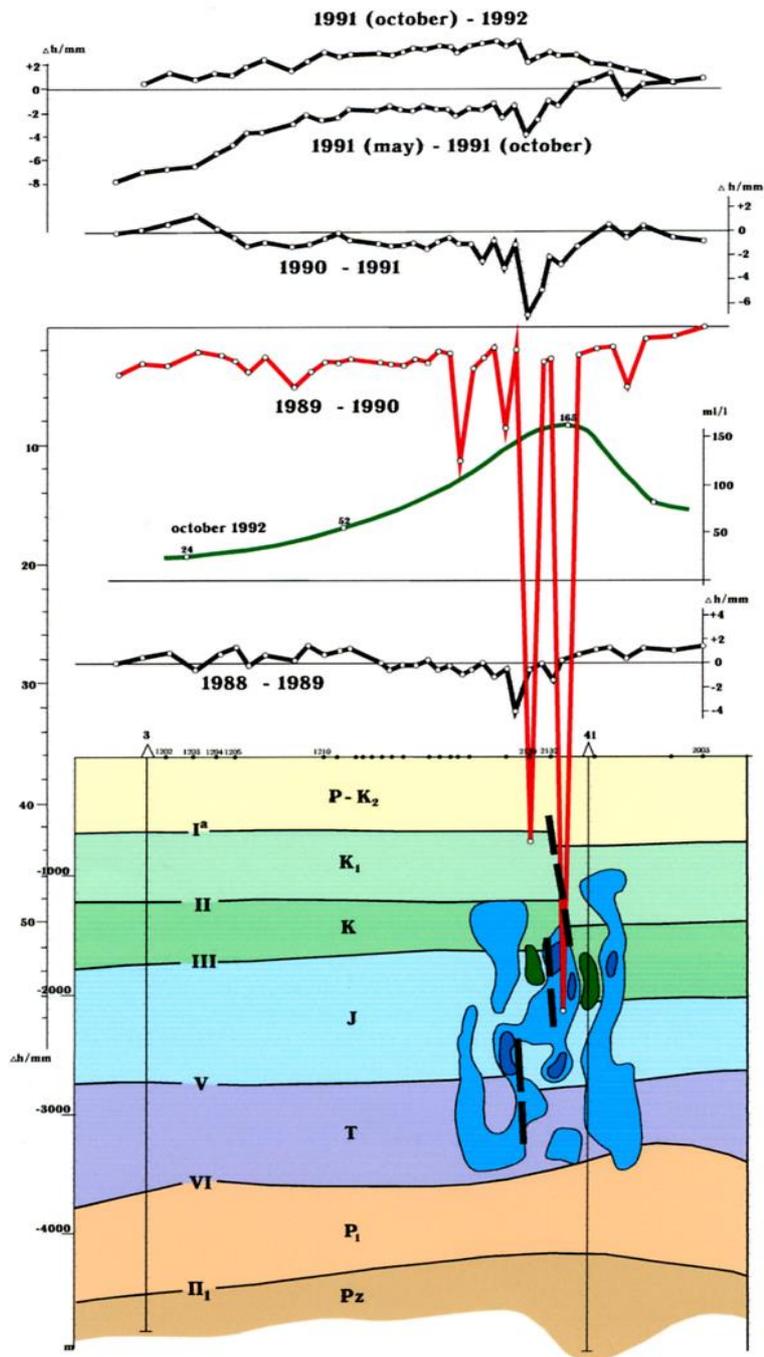


Рисунок 1.3 – Пример локальной кратковременной активизации надсолевых разломов на территории нефтяного месторождения Тенгиз (по В.А. Сидорову, 1992)

Становится очевидным, что в случае квазипериодического, но однонаправленного тренда таких подвижек по разломам во времени, суммарно накопленные смещения за весь период разработки крупных месторождений углеводородов (30 - 50 лет и более) могут достичь значительных величин, которые могут быть предельными для устойчивости объектов нефтегазопромыслов.

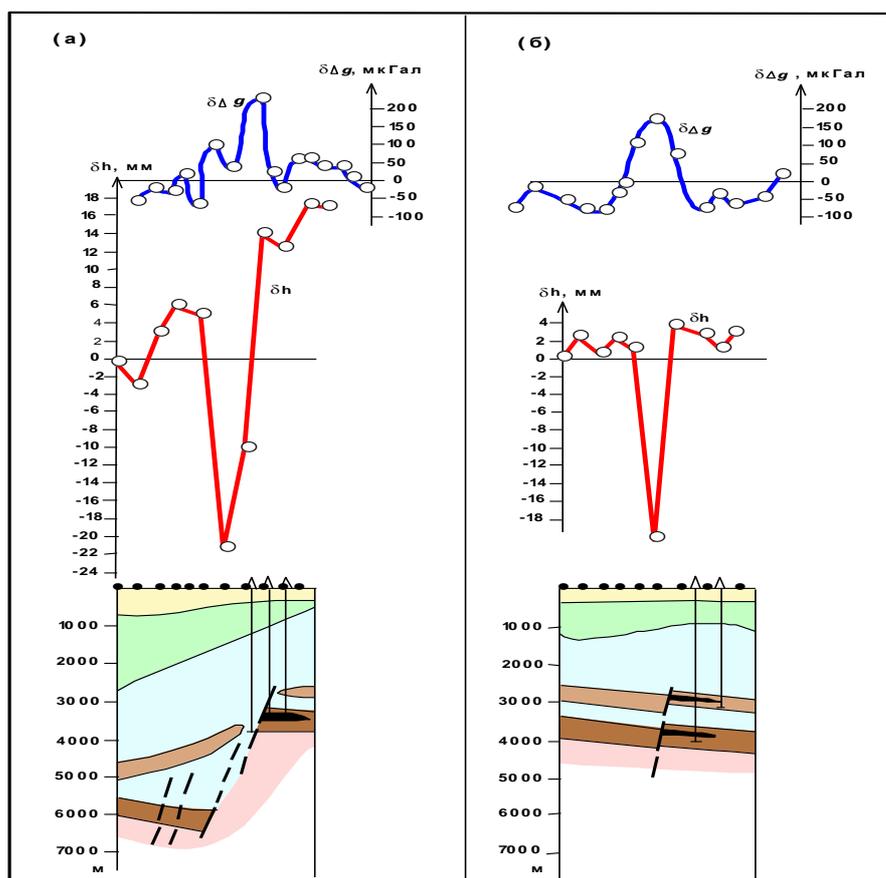


Рисунок 1.4 – Пример аномальной современной активности рупноамплитудных и малоамплитудных разломов в соотношении с аномальным изменением силы тяжести за годовой интервал времени на территории Припятской впадины (по В.А. Сидорову, 1987)

К примеру, для аномалий с амплитудой порядка 4-6 см/год были рассчитаны значения выделившейся энергии, которые составили величины порядка  $10^{10}$ - $10^{12}$  Джоулей, что соответствует количеству энергии выделившейся при мощном горном ударе с магнитудой порядка 4-4,4 [1] или землетрясению с магнитудой до  $M=4$ .

Обнаружение аномальной современной активности в зонах разломов нефтегазоносных областей приводит к коренному пересмотру представлений о масштабах и роли современной природной геодинамики в безопасной разработке месторождений углеводородов, так как проектирование и создание объектов обустройства нефтегазопромислов не предусматривало учет *реального современного геодинамического состояния недр в период длительной эксплуатации месторождений нефти и газа, главным образом, в форме аномальной современной активности разломов.*

Важно, что установленные в массовом порядке факты природной современной геодинамической активности разломов имеют характер региональной закономерности, поскольку оказались широко распространенными в пределах всех изученных платформенных нефтегазоносных областей, которые ранее традиционно считались достаточно

стабильными в геодинамическом отношении и соответственно безопасными в отношении функционирования объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих регионов.

Существенно изменились также представления об уровне сейсмичности в пределах платформенных областей.

Джонстон и Кантер (1990 г.) опубликовали сводку сильнейших землетрясений с магнитудой  $M > 7$  (Таблица 1.1), которые произошли на Южно-Китайской платформе ( $M_{\text{прв}} = 7,8$ ; 16.07.1976;  $h = 9$  км), на Северо-Африканской платформе (Ливийское землетрясение  $M_{\text{прв}} = 7,1$ ; 19.04.1935), на Канадском щите ( $M = 6,8$ ; 14.10.1968;  $h = 1$  км).

Одним из наиболее ярких примеров служит Нью-Мадридский район (штат Миссури, США), расположенный в центральной части Северо-Американской платформы, с магнитудой 8,3.

Таблица 1.1 - Сильные землетрясения, зарегистрированные в пределах стабильных участков земной коры (Джонстон, Кантер, 1990)

№ п/п	Землетрясения (место, год)	Магнитуда (M)
1	Нью-Мадрид, 1812	8,3
2	Нью-Мадрид, 1812	8,2
3	Нью-Мадрид, 1812	8,1
4	Кач, 1819	7,8
5	Море Баффина, 1933	7,7
6	Тайванский пролив, 1604	7,7
7	Южная Каролина, 1886	7,6
8	Нанай, 1918	7,4
9	Большие Банки, 1929	7,4
10	Базель, 1356	7,4
11	Хайнань, 1605	7,3
12	Плато Эксмаус, 1906	7,2
13	Ливия, 1935	7,1
14	Португалия, 1858	7,1
15	Южно-Тасманское поднятие	7,0

По имеющимся инструментальным и макросейсмическим данным на территории Восточно-Европейской платформы зарегистрированы многочисленные землетрясения, информация о которых была обобщена в работе И.В.Ананьина [2].

Автором отмечается, что эпицентры землетрясений зарегистрированы практически во всех районах Русской равнины и на Урале (Рисунок 1.5) и имеют интенсивность  $I_0 = 4-6$  баллов (по шкале MSK-64), магнитуду  $M = 3-4$

(магнитуды отдельных землетрясений достигали 5,0-5,5) и глубины очагов  $h = 3-10$  км.

Наиболее сильные землетрясения произошли в районе городов Сыктывкар (1939 г.,  $M_{LN} = 4,7$ ;  $I_0 = 7$  баллов), Кирова (1897 г.,  $M = 5,0-5,2$ ;  $I_0 = 7$  баллов;  $h = 10$  км), Тамбова (1954 г.,  $M = 4,8$ ;  $I_0 = 6-7$  баллов), Перми (1908, 1911, 1931 и 1956 гг. с  $M_{LN} = 4,8$ ). Только в последние годы (1986-1991 гг.) произошли землетрясения с магнитудой до 3,0-3,5 вдоль нижнего течения р. Волги, в районе городов Волгограда, Камышина и Самары.

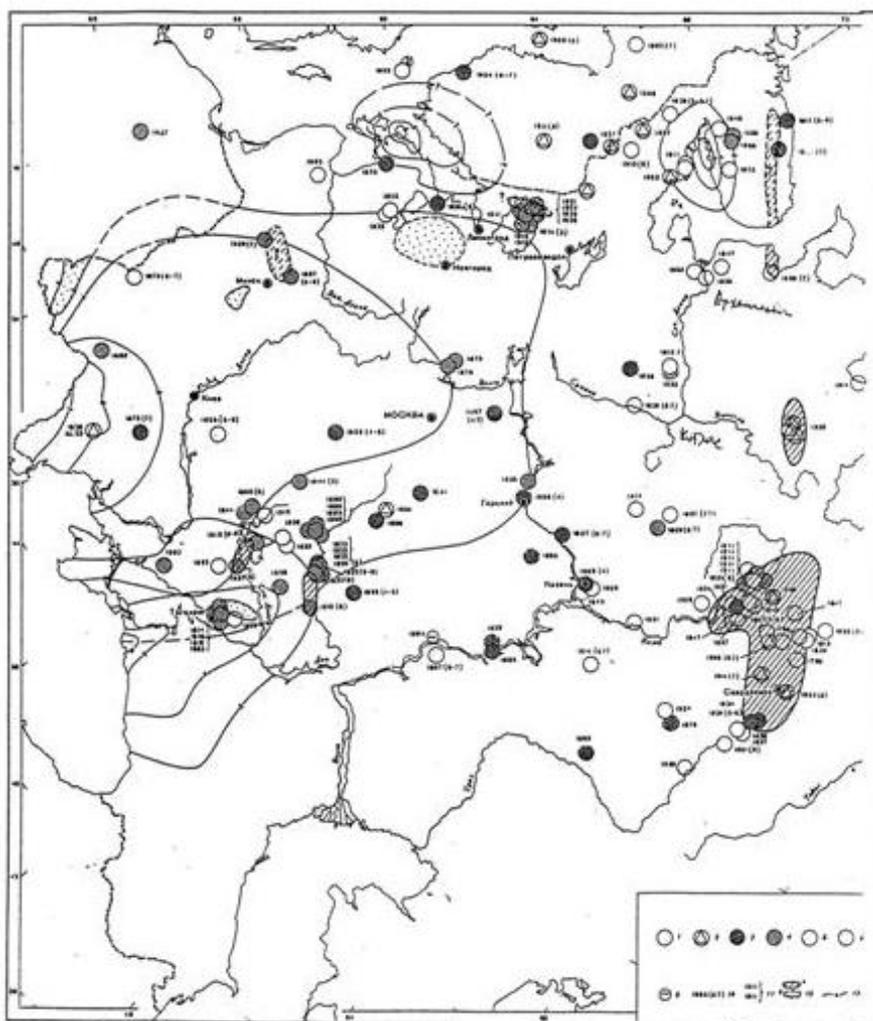


Рисунок 1.5 – Схема расположения эпицентров землетрясений на территории Русской платформы (по инструментальным и макросейсмическим данным, И. Ананьин, 1980 г.)

На юго-восточной периферии Русской или Восточно-Европейской платформы, в Прикаспийской впадине видимое отсутствие регистрации сейсмических событий в период 70-90-х годов прошлого столетия могло быть обусловлено слабой изученности (в плане размещения системы региональных сейсмических станций).

Событием, в пользу представлений о потенциальной природной сейсмичности в Прикаспийской впадине, стало происшедшее 26 апреля 2008 года в 19 часов 14 минут по астанинскому времени (26 апреля 13 часов 14

минут по Гринвичу) землетрясение с магнитудой 4.61, эпицентр которого находился примерно в 100 км от города Уральск. Согласно заключению Института сейсмологии МОН РК это землетрясение вызвано разработкой нефтегазоконденсатного месторождения Карачаганак (Рисунок 1.6). Институтом Сейсмологии МОН РК за последние годы составлено несколько карт сейсмического районирования территории Республики Казахстан. Следует отметить, что ряд сейсмогенерирующих зон повышенной интенсивности относится к нефтегазоносным областям платформенных территорий.

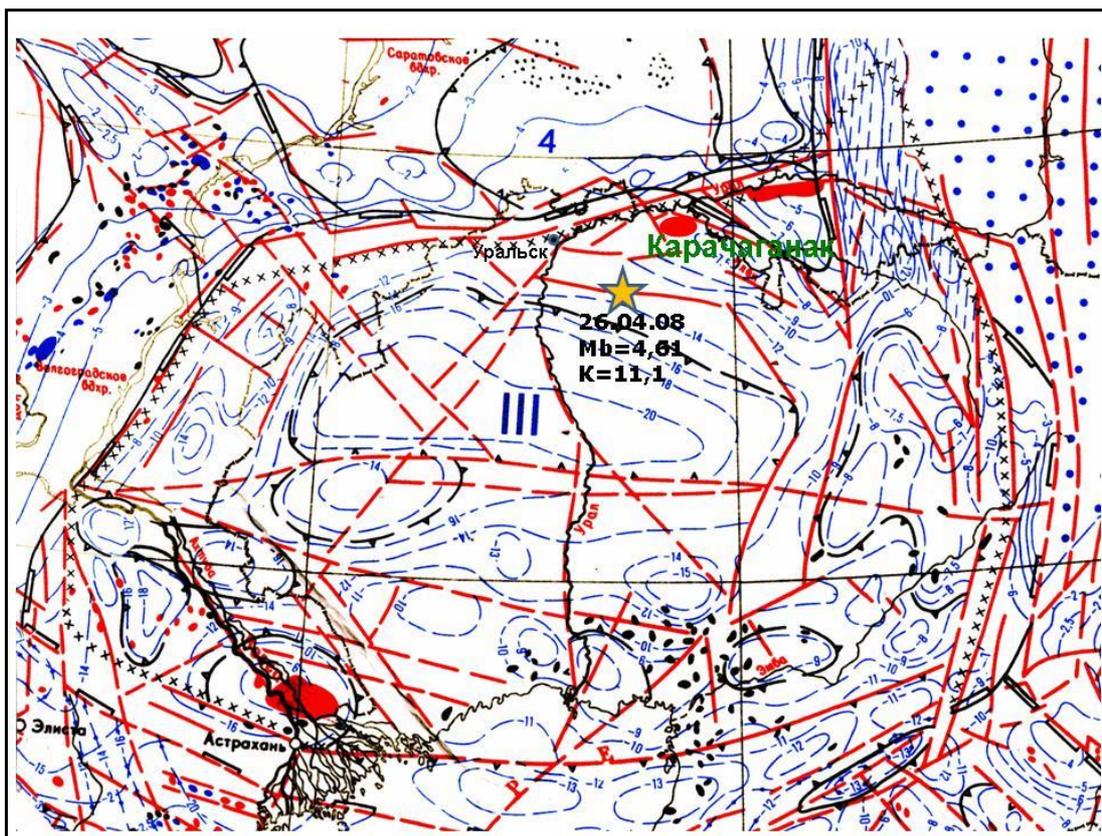


Рисунок 1.6 – Схема расположения эпицентра землетрясения 26 апреля 2008 года в северо-восточной части Прикаспийской впадины с  $M_b = 4,61$

*На основании вышеизложенного можно прийти к заключению, что при строительстве и эксплуатации особо важных инфраструктурных объектов нефтегазовой отрасли нет никаких оснований считать платформенные области тектонически стабильными, лишенными естественных источников деформационных процессов.*

*Поэтому следует признать тот факт, что современные геодинамические процессы в литосфере - это широко распространенный природный процесс.*

## 2.2 Техногенная геодинамика недр

Территориально сконцентрированная и все возрастающая техногенная деятельность человека и развитие современных сейсмодеформационных

процессов на обширных территориях платформ на территории Республики Казахстан обусловили формирование новой природно-антропогенной системы, в которой активно взаимодействуют процессы тектонического (природного) и техногенного генезисов.

Факты возникновения индуцированных сейсмодиформационных проявлений показывают, что верхние слои литосферы, традиционно воспринимаемые как инертная часть экосистем, активно участвуют в глобальном деформационном процессе и способны реагировать даже на малые по величине техногенные воздействия. К таким воздействиям мы относим процессы, связанные с освоением месторождений углеводородов.

Существуют два принципиальных различия в механизмах формирования деформационных и сейсмических процессов или «возбуждения» и «инициирования» землетрясений, обусловленных разработкой месторождений УВС [65].

При этом под возбуждением понимается воздействие на определенную зону земной коры, вызывающее землетрясения, которое бы без такого воздействия не произошло. Инициирование – это воздействие на зону, которая подготовлена к возникновению землетрясения, т.е. ускорение события.

В западных публикациях в основном употребляют термин – «индуцированные землетрясения» на разрабатываемых месторождениях углеводородов [129, 107, 133]. Однако целесообразно, по - видимому, различать два типа сейсмических процессов: ***техногенные и техногенно-индуцированные*** в соответствии с механизмом их возникновения [52].

Техногенные землетрясения не могут происходить без разработки месторождений полезных ископаемых, а техногенно-индуцированные землетрясения происходят только в тех случаях, когда разработка месторождений производится в условиях, потенциальной готовности геологической среды к развитию сейсмического процесса.

Аналогичным образом возможно разделение деформационных процессов. Техногенные деформации – это обширные просадки, провалы, смещения земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых (углеводородов). Техногенно-индуцированные деформации – это значительное увеличение современной активности разломов, которая индуцирована процессами разработки этих месторождений. До воздействия на геологическую среду разломы имели фоновую активность [79].

В последующих главах приводится аналитический обзор наиболее известных и хорошо задокументированных случаев возникновения землетрясений, просадок земной поверхности и других геодинамических явлений, связанных с разработкой месторождений углеводородов в различных регионах мира.

### **2.2.1 Опасные геодинамические явления, связанные с разработкой месторождений углеводородов**

Техногенная и индуцированная (или наведенная, вызванная, инициированная) сейсмичность известна сравнительно давно. Она отмечена

при заполнении водохранилищ и изменении в них объемов воды, при разработке месторождений полезных ископаемых, проведении ядерных взрывов и т.д. Для возникновения техногенной и индуцированной сейсмичности должны быть определенные условия и предпосылки.

При этом важной предпосылкой является наличие определенного уровня (фона) аномального напряженно-деформированного состояния гетерогенной геологической среды.

В одном случае предпосылкой развития сейсмичности является достижение за счет энергии воздействия такого уровня напряженного состояния среды, который способен активизировать сейсмодинамические процессы. Этот тип сейсмичности можно назвать собственно техногенным.

В другом случае основной предпосылкой является нарушение состояния регионального поля напряжений в окрестностях объекта, так что сейсмичность развивается за счет энергии естественных деформационных процессов. При этом даже слабые воздействия могут привести к возникновению сильной техногенно-индуцированной сейсмичности. Теоретически энергия таких землетрясений может достигать максимальных для естественной сейсмичности значений и определяться уровнем аномального напряженно-деформированного состояния региона. Гипоцентры этого типа землетрясений могут быть расположены как в районе объекта, так и в ближних к нему зонах.

При изучении техногенной и техногенно-индуцированной сейсмичности предварительно необходимы сведения о природной активности разломов и сейсмичности в районе разрабатываемого месторождения, а также об уровне напряженного состояния недр, о свойствах горных пород и флюидодинамических (гидрогеологических) процессах, от темпов и интенсивности разработки месторождения.

Работ, связанных с изучением механизма возникновения техногенной или индуцированной сейсмичности, закономерностей поведения напряженно-деформированного состояния геосреды как следствие процессов разработки месторождений, сравнительно мало.

До конца не ясен вопрос: являются ли землетрясения на разрабатываемых месторождениях нефти производными возрастания напряжений в геосреде как следствие разработки месторождений, или же процессы разработки месторождений служат как бы триггерным (спусковым) механизмом для разрядки уже накопившихся, в ходе тектонической эволюции, упругих деформаций. Одно из распространенных мнений состоит в возможном существовании обеих форм процессов подготовки землетрясений.

Из всего многообразия известных случаев возникновения сейсмодинамических событий на разрабатываемых месторождениях углеводородов выделены следующие случаи возникновения сейсмических событий с очагами землетрясений:

- над залежами углеводородов (в покрышке) в результате отбора углеводородного сырья и уменьшения пластового давления;
- в интервале продуктивных комплексов при отборе углеводородного сырья и закачке флюида в пласты;

- на больших глубинах под залежами углеводородов при отборе углеводородного сырья и операциях по вторичному воздействию на залежь.

### 2.2.1.1. Анализ техногенной и индуцированной сейсмичности на зарубежных разрабатываемых месторождениях углеводородов

В диссертационной работе были детально проанализированы случаи возникновения техногенной и индуцированной сейсмичности на территории зарубежных месторождений углеводородов и составлена сводка этих событий с основными параметрами месторождений, условий разработки и сейсмических событий (Таблица 1.2) [82, 83].

Таблица 1.2 - Сейсмические события на разрабатываемых месторождениях нефти и газа

Название месторождения, страна, начальное пластовое давление, источник	Вид техногенного воздействия	Глубина резервуара Глубина очагов землетрясений	Начало разработки месторождения, год	Начало регистрации сейсм. событий, год	Время между нач. разработки и нач. событий, год	Макс. Магнитуда -М или баллы- $I_0$ кол-во событий
1	2	3	4	5	6	7
Газовое месторождение Лак (Франция), $P_{пл.}= 67$ Мпа [Wittlinger,1980]	Отбор газа	3500 – <u>4500 м</u> 2500 – 3500 м	1957	1969	12	<u>М=4,2</u> Всего >1000
Газовое месторождение <b>Snipe Lake</b> (Канада) [Milne,1970]	Отбор газа	<u>2400 м</u> 9000 м	1963	1970	7	<u>М<sub>max</sub>=5,1</u> в 1970 г.
Газовое месторождение <b>Strachan</b> (Канада) [Wetmiller, 1984]	Отбор газа	<u>2850 м</u> 4000 м	1972	1974	2	<u>М=3,4</u> 146 за 1 мес. в 1980г.
Газовое месторождение <b>Fashing</b> (США) $P_{пл.}=35,2$ Мпа [Nicholson et al., 1990]	Отбор газа	<u>3400 м</u> 1000-4500 м	1958	1973	16	<u>М=4,3</u> 1983 г.
Газовое месторождение <b>Газли</b> (Узбекистан) [Simpson, Leith, 1985]	Отбор газа	<u>800-1350 м</u> 15000- 25000 м	1964	1976- 1984	12	<u>М=6,8-7,3</u>
Нефтегазовое месторождение <b>Imogene</b> (США). $P_{пл.}=24,6$ МПа [Nicholson et al.,1990]	Отбор нефти, газа и конденсата	<u>2400 м</u>	1944	1973	29	<u>М=2,4-3,3</u> 1947-1961
Нефтяное месторождение <b>Rangely</b> (США), $P_{пл.}=17$ МПа. [Pakiser et al.,1969]	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт	<u>1830 м.</u> 1830-3550 м	1943	1962	19	<u>М=3,4</u> 976 за 1962-1970

1	2	3	4	5	6	7
Нефтяное месторождение <b>Gobles</b> (Канада) [Mereu, 1982]	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт	$\frac{884 \text{ м}}{900 \text{ м}}$	1960	1979	19	$\frac{M=3,5}{478 \text{ за } 1980-1984}$
Нефтяное месторождение <b>Sleepy Hollow</b> (США) [Rothe et al., 1983]	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт	$\frac{1100 \text{ м.}}{\text{ок.}2000 \text{ м}}$	1960	1979	19	$\frac{M=2,9}{22 \text{ за } 1979-1980}$
Нефтяное месторождение <b>Cogdel</b> (США) $P_{\text{пл.}}=21,5 \text{ МПа}$ [Nicholson et al., 1990]	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт	$\frac{2100 \text{ м}}{1900-2100 \text{ м}}$	1949	1974	25	$\frac{M=4,7}{20 \text{ за } 1979-1981}$
Нефтяное месторождение <b>Wilmington</b> (США) [Kovach, 1974]	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт	$\frac{760-1830}{500 \text{ м.}}$	1926	1947	21	$\frac{M=3,9}{1984 \text{ г.}}$
<b>Старогрозненское</b> нефтяное месторождение, $P_{\text{пл.}}=70 \text{ МПа}$ [Смирнова, 1977]	Отбор нефти	$\frac{4000 \text{ м.}}{2500 \text{ м} - 9000 \text{ м}}$	1963	1971	8	$\frac{M=4,7}{22 \text{ за } 1971-1973 \text{ г.}}$
<b>Ромашкинское</b> нефтяное месторождение (РФ)	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт	$\frac{1500 \text{ м}}{3000-5000 \text{ м}}$	1947	1986	39	$\frac{I_0=6\text{бал}}{675 \text{ за } 1986-1996}$
Нефтяное месторождение <b>Coalinga</b> (США) [Segal, 1985]	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт	$\frac{2300}{10000 \text{ м}}$	1896	1983	87	$\frac{M=6,7}{1983, \text{ более } 100 \text{ афтершоко в}}$
Нефтяное месторождение <b>Кум-Даг</b> (Туркменистан) [Борисов, Рогожин, 1984]	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт	$\frac{485-1520\text{м}}{7000-8000 \text{ м}}$	1949	1983	34	$\frac{M=5,7}{\text{катаст. з-ние, около } 90 \text{ афтершоко в с } 03 \text{ по } 12.1983}$
<b>Бурунное</b> нефтяное месторождение (Туркменистан)	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт	$\frac{1190-4460 \text{ м}}$	1971	1984	13	$\frac{M=6,0}{\text{катастроф ич. земл.}}$
Нефтяное месторождение <b>Долина</b> (Украина) [Костюк, Руденская, 1980]	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт	$\frac{2500 \text{ м.}}{2500-3000 \text{ м}}$	1950	1976	26	$\frac{I_0=6\text{бал}}{\text{более } 100 \text{ в } 1976 \text{ г.}}$

1. Газовое месторождение Лак (Франция) – случай проявления сейсмических событий в интервале покрышки (над газовой залежью).

Месторождение Лак расположено на северном борту предгорного прогиба Пиренейских гор в 40 км от Северо-Пиренейского сейсмически активного разлома.

Продуктивность месторождения представлена двумя горизонтами. В отложениях верхнего мела, на глубине 650-700 метров находится небольшая нефтяная залежь, гидродинамически связанная с обширным водоносным горизонтом. [137].

Примерно на глубине 3500 метров в доломитах и трещиноватых известняках неокома и верхней юры переменной пористости (от 4-6% до менее, чем 1%) находится крупная газовая залежь с большим содержанием серы (Рисунок 1.7). Мощность залежи - до 500 метров. Начало разработки месторождения – 1957 г.

На начало разработки пластовое давление на глубине 3700 метров составляло 67 МПа. К началу 90-х годов оно упало до 9 МПа в кровле продуктивного горизонта.

Залежь нарушена сбросами, что определяет повышенную трещиноватость пород резервуара. Покрышка газовой залежи выполнена мергелями нижнеаптского возраста. Ее мощность в сводовой части достигает 600 метров.

Согласно G. Wittlinger [137] покрышка обладает и надежными изолирующими свойствами и препятствует миграции газа по разломам в перекрывающие отложения. Он показал, что закачка воды в газовую залежь могла оказать на нее лишь локальное воздействие, не приводя к возникновению сейсмичности.

Гораздо большее значение для возникновения землетрясений оказывает извлечение газа и соответственно падение пластового давления.

Сейсмологические наблюдения начались в апреле 1974 года, спустя 10 лет после начала разработки месторождения, а к июлю 1976 года сеть была расширена до семи станций [137].

Нижний предел регистрации ограничен землетрясениями с магнитудой  $M = 1$ . Количество событий в год доходило до 160 землетрясений.

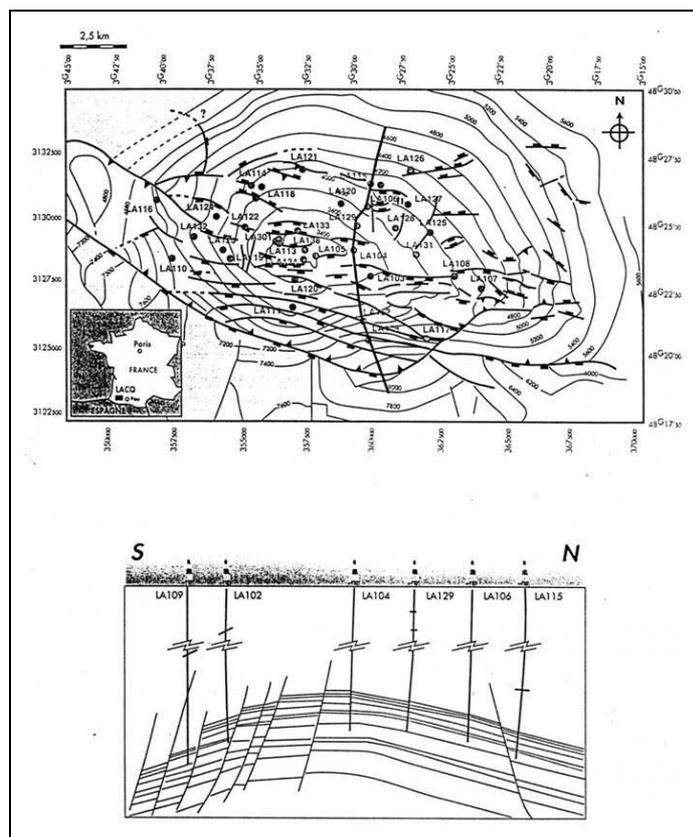


Рисунок 1.7 – Структура газового месторождения Лак (Франция) по поверхности резервуара и геологический разрез через месторождение (по Wittlinger, 1980)

С апреля 1974 года по декабрь 1989 г. было зарегистрировано более 900 сейсмических событий с магнитудой больше 1 [120]. Свыше 90% событий имеют эпицентры внутри контура газоносности. Ошибки определения местоположения гипоцентров землетрясений составляли около 1 км.

Результаты проведенных исследований показали, что сейсмические события индуцированы разработкой месторождения и связаны с развитием трещиноватости горных пород с различной ориентировкой плоскостей разрывов на локальных участках.

В тектоническом плане механизмы очагов сейсмических событий согласуются с ориентировкой регионального поля напряжений и структурной дифференциацией региона [137].

Гипоцентры в подавляющем большинстве располагаются над кровлей и в кровле неокомских отложений, т.е. над газовой залежью (Рисунок 1.8). Анализ показал, что очаги 95% сейсмических событий сосредоточены преимущественно в восточной части месторождения и непосредственно в надкупольной зоне, тогда как западная часть залежи асейсмична (Рисунок 1.9).

Так как падение давления практически равномерно для территории всей газовой залежи, то возникновение сейсмоактивных и асейсмичных зон определяется главным образом наличием геологических неоднородностей (литологических, геомеханических и др.) в интервале выше этой залежи, т.е. в покрышке

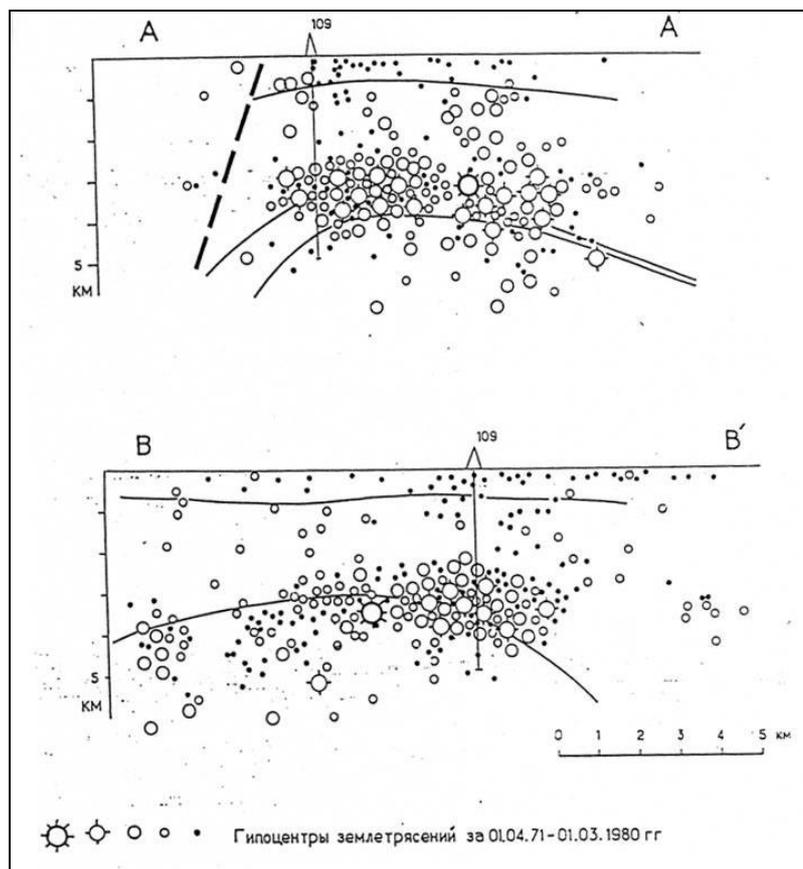


Рисунок 1.8 – Распределение очагов землетрясений по глубине на газовом месторождении Лак (Франция) (по Wittlinger, 1980)

Сейсмичные зоны приурочены к обводненным, трещиноватым и хорошо проницаемым известнякам с жестким и хрупким скелетом (модуль упругости – 60 000 МПа). Асейсмичные зоны связаны с мергелями со значениями модуля упругости – 33 000 МПа.

Модель возникновения сейсмичности по G.Wittlinger [137] состоит в следующем. При снижении пластового давления в резервуаре и в нижней части покрышки уплотнение пород-коллекторов делает затруднительным появление в них нарушений сплошности.

Отсутствие связи с вышележащей толщей ведет к накоплению напряжений и последующей их разрядки в форме сейсмичности в наиболее слабых в механическом отношении участках среды.

Снижение давления в нижней толще нарушает равновесие сил, действующих в вышележащей толще, что в отсутствии гидродинамической связи с резервуаром приводит к росту напряжений в «надрезервуарной» толще.

Эти процессы повлекли за собой снижение прочности трещиноватых пород и увеличению тангенциального напряжения в толще пород над покрышкой и резервуаром, а также в окрестности раздела двух толщ, что способствует разрядке напряжений в покрышке в форме сейсмичности.

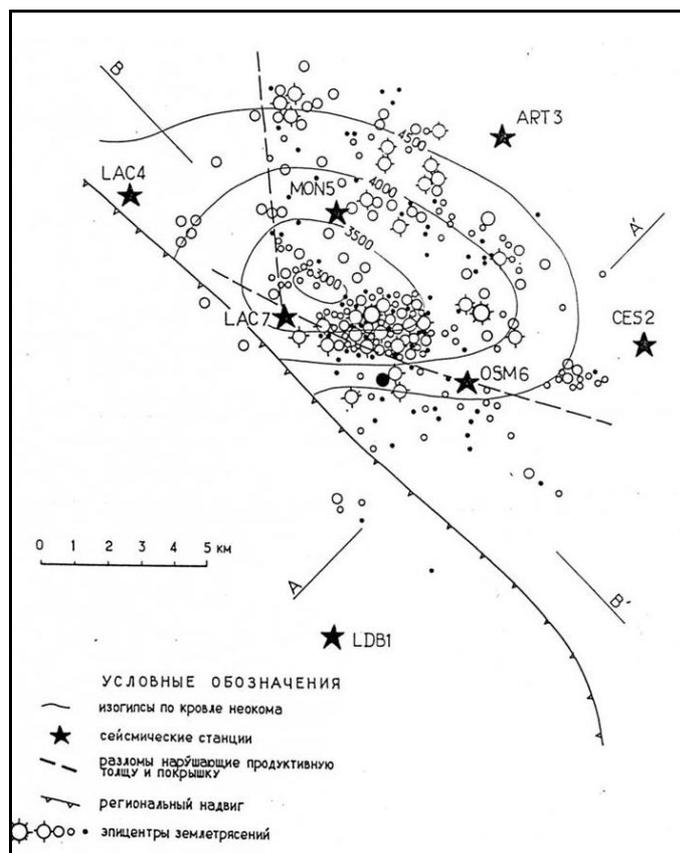


Рисунок 1.9 – Распределение местных землетрясений на территории газового месторождения Лак (Франция) (по Wittlinger, 1980)

При этом вода может играть роль смазки. Нарушение изолированности верхней толщи от нижней в результате развития интенсивных сейсмодетформационных процессов, с появлением проницаемых субвертикальных зон, может способствовать усилению миграционных процессов из резервуара.

Флюидная система, обогащенная содержанием сероводорода, может явиться причиной нарушения экосистем верхних частей геологического разреза, в первую очередь водных ресурсов.

Таким образом, сейсмичность месторождения Лак является примером, когда разработка месторождения со значительной глубиной резервуара (около 4000 метров) привела к появлению ощутимых землетрясений (с магнитудой до 4,2) с концентрацией очагов над резервуаром. Основную роль в возникновении техногенно-индуцированной сейсмичности сыграл процесс извлечения больших объемов газа и, соответственно, снижение пластового давления.

2. Нефтяное месторождение Rangely (Колорадо, США) – случай проявления сейсмических событий при закачке жидкости в продуктивные пласты.

Классический случай сейсмичности, вызванной нагнетанием жидкости в продуктивные пласты, произошел на нефтяном месторождении Rangely в Колорадо (США).

На данном месторождении нефть добывается с глубины 1830 метров из ловушки антиклинального типа. Начало разработки месторождения - 1945 г. В 1957 году, после 12 лет эксплуатации месторождения, пластовое давление сильно упало, и для его восстановления было проведено законтурное нагнетание воды. В результате закачки воды (2200 т/сутки) объем добываемой нефти увеличился.

В ноябре 1962 года в 65 км к северо-западу от месторождения была открыта сейсмическая станция, которая сразу же начала фиксировать слабые землетрясения с эпицентрами из района промысла [123].

К 1970 году эта станция зарегистрировала 976 сейсмических событий. В 1969 году вокруг месторождения Rangely была установлена плотная сеть из 14 сейсмостанций для определения гипоцентров и ориентации плоскостей сброса в очаге.

За период с октября 1969 года по ноябрь 1970 год было зарегистрировано около 1000 землетрясений с магнитудой от 0,5 до 3,5. Было обнаружено, что сейсмическая активность сконцентрирована в двух местах: на северо-западном участке месторождения, где давление закачиваемой воды было наиболее высоким и в южной части центрального участка месторождения вдоль зоны разлома (Рисунок 1.10).

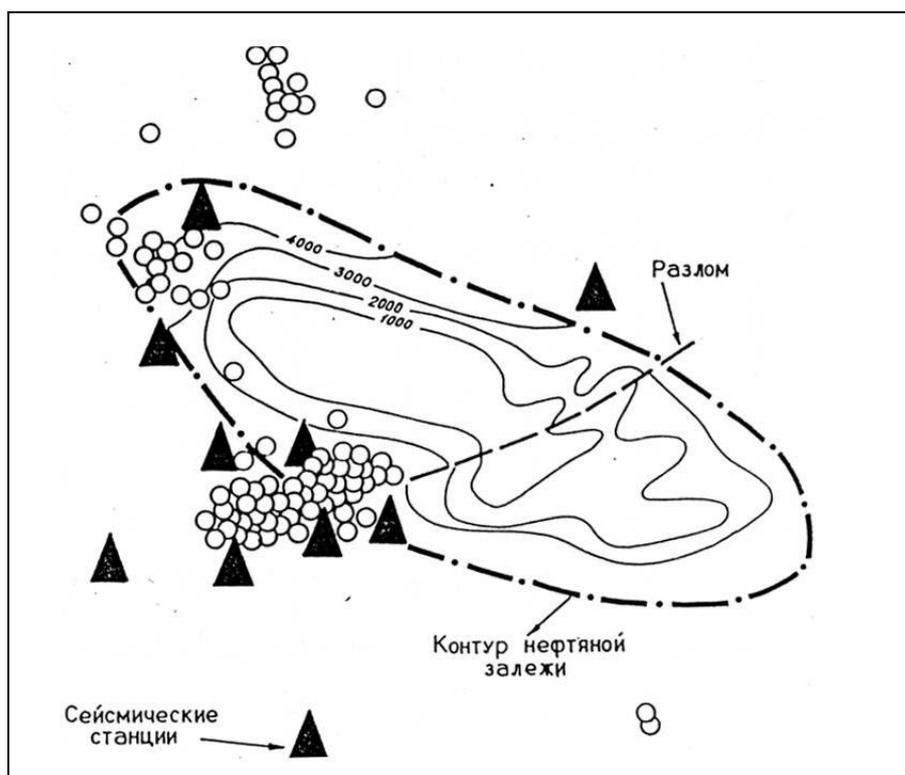


Рисунок 1.10 – Эпицентры местных землетрясений на нефтяном месторождении Rangely (США) (по Raleigh)

Гипоцентры землетрясений сконцентрировались в две группы. Одна группа на глубинах 2,0-2,5 км, вторая – на глубинах 3,0-3,6 км. Было также установлено, что вследствие нагнетания (давление нагнетания – 275 бар)

поровое давление в этих местах превысило начальное (собственное пластовое давление в резервуаре составляло 170 бар) [134].

В конце 1970 года после прекращения закачки частота землетрясений уменьшилась от 30 событий до одного - двух событий в месяц.

В августе 1972 года закачка воды продолжилась, и давление начало возрастать. По достижении давления 275 бар сейсмическая активность возобновилась и с февраля по апрель 1973 года снова составила около 30 сейсмических событий в месяц. В мае 1973 года давление нагнетания снизили, и с этого времени землетрясения прекратились (Earth. Inform., 1973).

Была осуществлена оценка уровня напряжений в породах методом гидравлического разрыва в одном из интервалов разреза. По знаку первых вступлений продольных волн было найдено, что плоскости гидроразрыва соответствуют простиранию вертикальных разломов, вытянутых в направлении северо-восток или северо-запад.

Плоскость сдвига в очаге землетрясения, ближайшего к гидроразрыву, ориентирована в направлении на северо-восток.

Таким образом, механизмы очагов землетрясений и гидроразрыва были согласованы друг с другом.

Имеющиеся данные позволили рассчитать касательные и нормальные напряжения на плоскости разрыва. По данным натурных и лабораторных исследований было установлено, что критическая величина порового давления для развития сдвиговых нарушений в кварцевых песчаниках составляет 252 бара. К этой величине близко давление на забое нагнетательной скважины (275 бар) во время максимальной частоты землетрясений.

Спустя месяц после того, как была начата откачка жидкости из четырех экспериментальных скважин и давление в забое снизилось до 35 бар, землетрясения в районе этих скважин прекратились.

Вероятно, требуемая для возбуждения землетрясений величина давления нагнетания на месторождении Rangely близка к 275 бар. Аналогичные механизмы возникновения землетрясений были известны и на других месторождениях, например Goose Creek.

### 3. Нефтяное месторождение Cogdell (Восточный Техас, США) – случай проявления сейсмических событий при интенсивном нагнетании жидкости в продуктивные пласты.

Наиболее полный анализ условий возникновения сейсмических событий на месторождении Cogdell был выполнен в работе S.Davis, W. Pennington [107].

Авторы отмечают, что на нефтяном месторождении Cogdell в западном Техасе с 1974 г. по 1982 г. произошла серия индуцированных землетрясений, которые произошли внутри расстановки нагнетательных скважин по периметру данного месторождения. Последнее разведано в западном Техасе и приурочено к карбонатному массиву с крупными залежами нефти.

Породы-коллектора здесь представлены известняками, кровля которых установлена на глубине 2,1 км. Месторождение открыто в 1949 году. Нагнетание соленой воды для повышения нефтеотдачи начали в 1956 году.

Самое раннее подтвержденное землетрясение на территории

месторождения Cogdell относится к 22 ноября 1974 г. [122]. Наиболее сильный толчок произошел 16 июня 1978 года с магнитудой по разным оценкам от  $M_L = 4,3$  до  $M_b = 5,3$ . Глубина гипоцентра – 3 км с эпицентром внутри контура месторождения.

За период с февраля 1979 по август 1981 годов в районе месторождения Cogdell зарегистрировано 20 сейсмических событий. Средняя глубина по локальной сети станций составила 1,9 км, т.е. на глубине продуктивных пород.

Так как сейсмическая активность находится на глубине нагнетания, а до его начала не было сейсмичности, то было высказано предположение об индуцированном характере землетрясений [112].

Вместе с тем, S.Davis и W. Pennington (1989) поставили следующий вопрос – почему на соседних с Cogdell месторождениях нефти, где давление нагнетания даже больше, не происходят сильные землетрясения (с  $M > 4$ ).

В связи с постановкой вопроса, авторы исследовали две модели возникновения сейсмичности.

В первой модели сейсмический процесс происходит только в том случае, когда давление флюида превысило некоторую критическую величину, т.е. сейсмический процесс возникает после воздействия на пласт и обусловлен изменениями эффективного напряжения в геологической среде за счет изменения режима нагнетания флюида в продуктивные пласты (например, на месторождении Rangely).

Во второй модели землетрясения происходят не в зоне повышенного давления нагнетания, а в зоне перехода между низким и высоким давлением в пласте.

Согласно этой модели сначала развиваются асейсмические деформационные процессы в зонах повышенного давления нагнетания. В свою очередь это вызвало повышение напряженного состояния в пределах участков пониженных давлений в пласте, в зонах разломов с повышенным сопротивлением к деформациям.

При определенном уровне накапливаемых напряжений в таких зонах происходят землетрясения.

Таким образом, во второй модели возникновение землетрясений в зонах пониженных пластовых давлений происходит опосредованно через влияние асейсмических деформаций на напряженное состояние в зонах разломов на участках пониженных давлений. Этим и объясняются существенные временные задержки между увеличением давления нагнетания и возникновением сейсмичности на территории месторождения.

S.Davis и W. Pennington [107] количественно рассчитали условия возникновения землетрясений на месторождении Cogdell, беря за основу известные представления о влиянии флюида на поведение разлома.

Увеличение порового давления, во-первых, снижает эффективную прочность пород (сопротивление к деформации) в зоне разлома, во-вторых, может изменить вид деформаций от сейсмического прерывистого до асейсмического непрерывного скольжения.

Авторы показали, что увеличение давления от исходного гидростатического более чем на 100-200 бар приводит к возникновению землетрясений.

В итоге они сравнили две модели деформаций на месторождении Cogdell. Для модели 1 важно только давление флюида в управлении деформаций на месторождении. Сейсмичность возникает, когда давление нагнетания превышает некоторое критическое значение.

Согласно модели 2, для управления сейсмодоформационным процессом важно как давление флюида, так и увеличение напряжений в процессе нагнетания. Высокое давление нагнетания по контуру месторождения приводит к асейсмическим деформациям. Расчет вертикальных смещений в этом случае составляет порядка 3 см.

По мере увеличения количества нагнетательных скважин, повышения давления нагнетания и продолжения асейсмических деформаций, происходит накопление напряжений ближе к зоне пониженных давлений. При достаточном уровне напряжений в этих зонах происходят землетрясения.

Отсутствие зарегистрированных землетрясений на большинстве месторождений в Восточном Техасе объясняется влиянием давления нагнетания, которое проявляется в виде асейсмического крипа или слабых местных землетрясений, которые не фиксируются существующей сетью сейсмостанций.

Главный недостаток данной модели состоит в том, что отсутствуют данные по разломам на месторождении, информация о современной активности разломов и о распределении аномалий квазистационарного поля напряжений района.

4. Газовое месторождение Strachan (Альберта, Канада) – случай проявления сейсмических событий, расположенных под продуктивными интервалами месторождения.

Пример возникновения сейсмических событий, связанных преимущественно с отбором углеводородов (без закачки жидкости) из крупного газового месторождения имел место в зоне Rocky Mountain House в штате Альберта (Канада).

В 1980 г. был проведен полевой эксперимент по изучению землетрясений в пределах этой зоны и исследованию их связей с добычей углеводородов. Анализ результатов этих работ приводится в статье R. Wetmiller [136].

Было зарегистрировано 146 микроземлетрясений ( $M \leq 3,4$ ), для 67 событий были определены эпицентры. Для 11 землетрясений были вычислены параметры источника, для 48 событий определены гипоцентры, глубина которых не превысила  $4 \pm 1$  км.

Эпицентры зарегистрированных землетрясений сконцентрированы в зоне диаметром около 3-4 км, которая по местоположению совпадает с газовым месторождением Strachan.

Резервуар этого месторождения представлен девонским известняковым рифовым комплексом и разведан на глубине 2800 м. Начало разработки месторождения – 1972 г. Другие залежи газа, входящие в состав зоны Rocky

Mountain House оказались асейсмичны.

Площадное распределение эпицентров сейсмических событий приведено на рисунке 1.11. Сейсмическая активность проявилась в интервале, расположенном ниже газового резервуара и приуроченный к низам осадочной толщи и приповерхностной части докембрийского фундамента.

R. Wetmiller высказал предположение о локализации сейсмических событий в зонах надвигов с плоскостями падения в северном направлении, выявленных в фундаменте, т.е. ниже газовой залежи.

Пространственные и временные особенности землетрясений в районе месторождения Strachan позволяют предположить, что сейсмичность инициирована длительной добычей газа, приведшей к понижению давления в залежи.

Таким образом, ситуация на месторождении Strachan была прямо противоположна той, которая имела место на месторождении Rangelly.

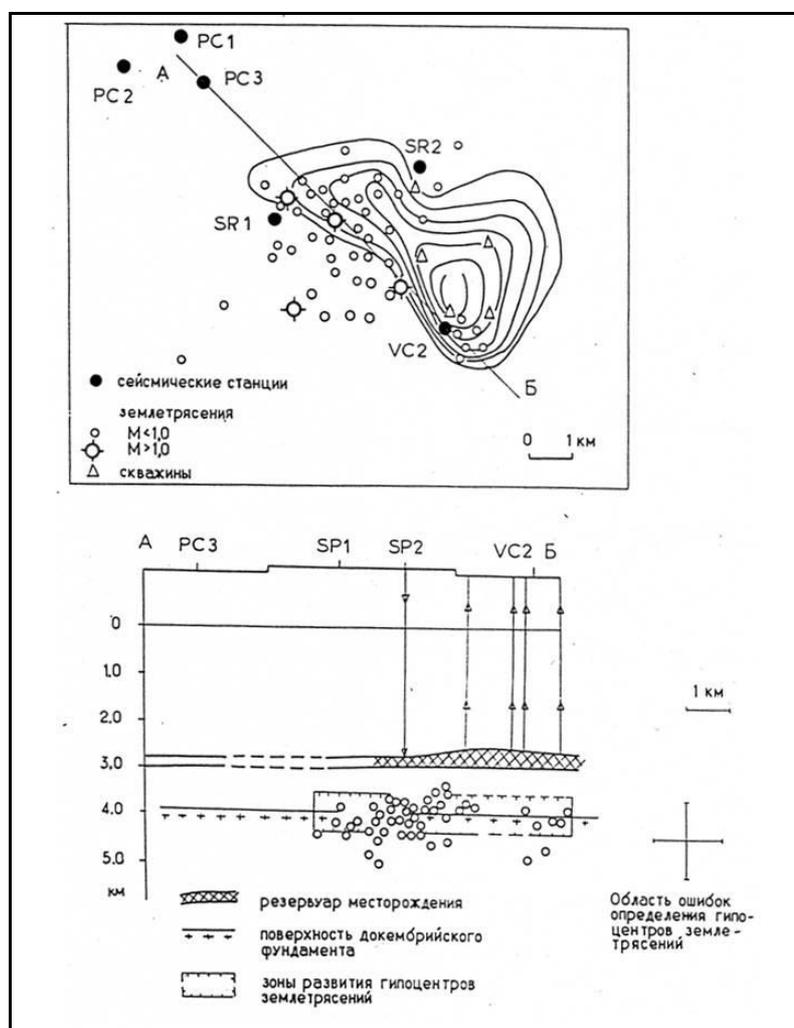


Рисунок 1.11 – Эпицентры местных землетрясений в 1980 году на месторождении Strachan (Канада) (по Nicholson, Wesson, 1990)

Одним из возможных механизмов могло быть локальное снятие нагрузки массы углеводородов и серы, на породы фундамента [136].

Однако, R.Wetmiller считает маловероятным участие в возникновении сейсмичности только одного этого фактора и указывает на присутствие еще двух факторов. Во-первых, уменьшение пластового давления может вызвать сильную реакцию перенапряженной геосреды в зонах разломов и, как следствие, появление сейсмичности. Во-вторых, сжатие продуктивных горизонтов за счет извлечения углеводородов и снижение пластового давления может вызвать сброс напряжений, что повлечет за собой появление сейсмической активности.

Следовательно, минимум три фактора, связанных с разработкой месторождения Strachan, могут инициировать возникновение землетрясений.

Кроме того, существенную роль, по-видимому, могут играть уровень регионального поля напряжений и степень потенциально активности разломов в фундаменте. R.Wetmiller обращает внимание на то, что другие залежи УВ на рассматриваемой площади за этот же период были асейсмичны. По мнению автора, если накопившаяся упругая энергия в пределах аналогичных разрабатываемых месторождений не высвобождается ни за счет крипповых движений, т.е. сбрасывается посредством активности разломов за счет микроземлетрясений, то возможно сильное землетрясение с магнитудой более 5-6.

Таким образом, обобщение имеющейся информации показало следующее:

1. Сейсмическая активность на газовом месторождении Strachan (провинция Альберта, Канада) зафиксирована ниже рифового комплекса (ловушки УВ) и выходит за его пределы, т.е. является индуцированной.

2. Землетрясения вызваны не закачкой флюидов, а отбором газа и сопутствующих флюидов и соответственно разгрузкой резервуара (ловушки УВ).

3. Механизм очагов связан с надвиговым смещением, с падением в северном направлении и горизонтальным сжатием в направлении восток-запад.

4. Сброс напряжений в форме появления сейсмической активности мог произойти в интервале докембрийско-палеозойского контакта в зоне разломов в фундаменте.

5. Газовое месторождение Газли (Узбекистан) – случай возникновения индуцированных землетрясений большой интенсивности и на больших глубинах.

В районе Газлийского газового месторождения в 1976 г и в 1984 г. произошли разрушительные землетрясения.

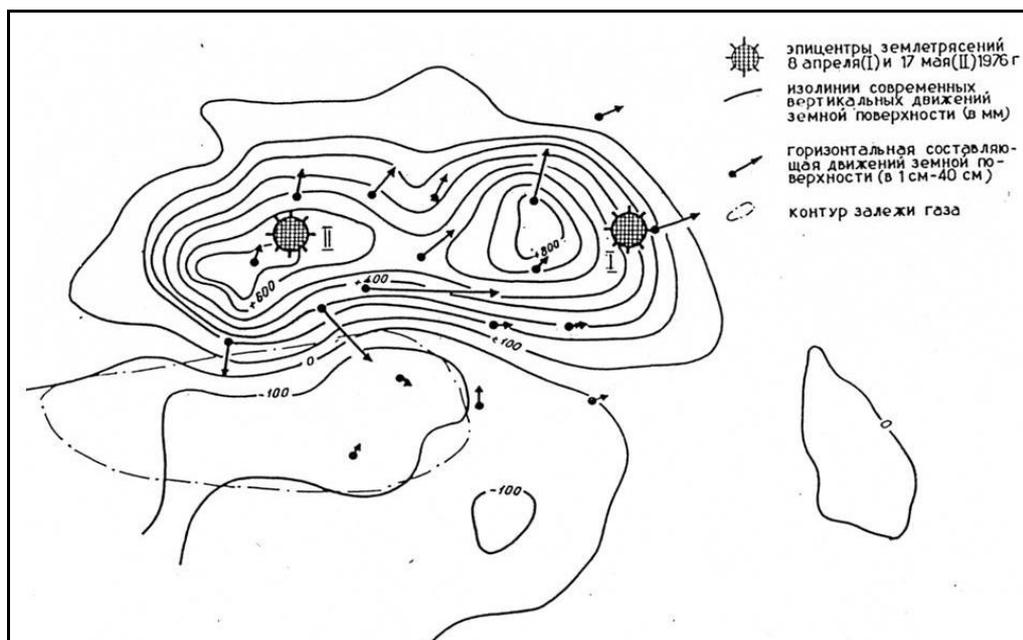


Рисунок 1.12 – Деформации дневной поверхности в эпицентральной зоне Газлийских землетрясений 8 апреля 17 мая 1976 года (по Н.А. Корешкову и А.Н. Райзману)

8.04.1976 года в 20 км от газового комплекса Газли произошло разрушительное землетрясение с магнитудой  $M=6,8$  ( $K=16$ ). На дневной поверхности это землетрясение проявилось с силой 8-9 баллов (по шкале MSK-64). 17.05.1976 г. в 27 км западнее произошло еще более сильное землетрясение с магнитудой  $M=7,3$ . На поверхности оно проявилось с силой 9-10 баллов (Рисунок 1.12.). Глубина очагов землетрясений в апреле-мае 1976 года составила около 25-30 км.

Наконец, 20.03.1984 г. в 15 км к западу от эпицентра второго толчка произошло еще одно разрушительное землетрясение с магнитудой  $M=7,2$ . Особенность проявления Газлийских землетрясений состояла в следующем:

- это крупнейшие из известных землетрясений на платформенной территории Средней Азии, которые ранее относилась к пяти-шестибальной зоне и в пределах которой землетрясения такой силы не предполагались;
- в одном районе с 40-дневным интервалом произошли два катастрофических землетрясения, что является крайне редким случаем.

Характерная особенность очагов заключается в субмеридиональной близгоризонтальной ориентации главной оси сжатия и близвертикальном положении оси растяжения, что согласуется с геолого-тектонической реконструкцией поля напряжений.

Эпицентры землетрясений тяготеют к слабо дифференцированному в геоморфологическом отношении участку дневной поверхности.

После землетрясений 1976 г. на территории месторождения были проведены повторные геодезические наблюдения, которые выявили аномальный характер проявления как вертикальной, так и горизонтальной составляющих смещений дневной поверхности.

В 15 км к северу от центральной части Газлийского месторождения произошел интенсивный подъем дневной поверхности с амплитудой до 800 мм (Рисунок 1.12). Область поднятия имеет ширину 10-12 км и по простиранию полностью соответствует простиранию месторождений.

За этот же интервал времени по осевой части современного поднятия имели место интенсивные деформации растяжения (величины горизонтальных смещений составили около 100 мм).

Наряду с представлениями о чисто тектонической природе Газлийских землетрясений, ряд авторов показывают их возможный индуцированный характер и связь с процессами разработки одноименного газового месторождения, которое расположено примерно в 20 км к югу от эпицентров землетрясений.

Так, А.М. Акрамходжаев и соавторы, учитывая, что в результате разработки в резервуар было закачено около 600 млн. м<sup>3</sup> воды (примерно 1 млн. тонн на каждый км<sup>2</sup>) для поддержания пластового давления, проводят аналогию с процессами возникновения наведенной сейсмичности при заполнении водохранилищ, т.н. плотинные землетрясения.

В работе Волейшо (1985 г.) на основании установленной связи между поровым давлением и эффективным напряжением, испытываемым скелетом породы продуктивного пласта под влиянием интенсивной разработки, рассмотрены оценки дополнительных напряжений, которые возникли под влиянием интенсивной разработки Газлийского месторождения накануне землетрясений. Намечена пространственная корреляция границ балльности с контурами участков дополнительных эффективных напряжений.

Неоднозначность толкования причин Газлийских землетрясений еще раз указывает на необходимость тщательного комплексного и систематического контроля за взаимодействием процессов разработки месторождений и природных процессов в геосреде с целью оценок риска возникновения сильных геодинамических событий в условиях ее аномальной напряженности.

5. Газовое месторождение Fashing и нефтегазовое месторождение Imogene (Южный Техас, США) – случаи проявления сейсмических событий при отборе углеводородного сырья (без вторичного воздействия).

Существуют также примеры, когда землетрясения возникают на территории разрабатываемых месторождений углеводородов в условиях извлечения УВС и последующего уменьшения пластового давления.

Механизм возникновения подобных землетрясений еще неясен. К таким случаям можно отнести землетрясения на месторождениях Fashing и Imogene в Южном Техасе [108].

Природная сейсмичность в данном районе достаточно низкого уровня ( $M < 4$ ). Добыча нефти и газа на месторождении Imogene началась в 1944 году. Глубина продуктивного горизонта – 2,4 км. Средняя пористость пород составила – 16,5%. Начальное пластовое давление составляло - 246 бар, которое уменьшилось до 146 бар в 1973 году. На газовом месторождении Fashing добыча началась в 1958 году на глубине 3,4 км. Пористость пород составила – 15%. Начальное пластовое давление было 352 бара и снизилось до 71 бара к

1983 году. Начало сейсмической активности связывалось с добычей нефти и газа [124].

Сейсмическая активность на вышеуказанных месторождениях началась в 1973 году. Со временем имело место увеличение количества сейсмических событий. Землетрясение с  $M=3,9$  произошло на месторождении Imogene в марте 1984 года. Наиболее сильное землетрясение ( $M=4,3$ ) произошло 9 апреля 1993 года на территории месторождения Fashing.

Основываясь на известных фактах возникновения землетрясений на ряде нефтяных и газовых месторождений и анализируя материалы по землетрясениям в районах месторождений Fashing и Pleasanton, W. Pennington с соавторами [124] обосновали вывод о том, что эти землетрясения были обусловлены процессами добычи газа и сильного снижения пластового давления.

Механизм возникновения сейсмичности определялся дифференциальным сжатием пород-коллекторов и сбросом напряжений в зонах разломов на контактах блоков в форме землетрясений.

Предполагается, что по мере дальнейшего уменьшения пластового давления этот процесс может повторяться, и существует вероятность возникновения более сильных землетрясений.

Учитывая образующуюся в результате разработки месторождений, повышенную проницаемость разломов, обсуждается еще один механизм возникновения индуцированных землетрясений - гидрогеологический. Движение флюида (воды) по ослабленным зонам приводит к снижению коэффициента трения в зонах разломов, что в условиях перенапряженной геосреды приводит к возникновению землетрясений.

В этом случае, по мере уменьшения пластового давления возможно увеличение напряжений в зоне разрывных нарушений, ограничивающих месторождений. Ниже определенного уровня пластового давления происходит сброс накопленных напряжений посредством землетрясений. Этот процесс может развиваться. При этом магнитуды будущих землетрясений могут увеличиваться за счет продолжения уменьшения пластового давления [108].

### **2.2.1.2. Техногенные деформации (проседания) дневной поверхности на зарубежных разрабатываемых месторождениях углеводородов**

Деформации (просадки) дневной поверхности широко распространены при длительной разработке месторождений углеводородов. Для подавляющего большинства месторождений УВ скорости просадок составляют около 1,0-2,0 см/год, а накопленные их величины не превышают первых десятков сантиметров.

Просадки порядка первых метров встречаются сравнительно реже, но влекут за собой опасные последствия: сильные деформации наземных сооружений, слом обсадных колонн, разрывы трубопроводов, заболачивание или затопление опускающихся участков.

Ниже рассматриваются наиболее характерные примеры деформаций

(просадок) дневной поверхности, вызванные длительной разработкой месторождений углеводородов.

1. Нефтяное месторождение Willmington (Калифорния, США) – случай катастрофического проседания дневной поверхности, проявления сейсмичности и горизонтальных смещений массивов горных пород в результате добычи нефти.

Это один из наиболее известных природно-технических объектов, где проводились длительные наблюдения за осадками дневной поверхности. Разработка месторождения началась в 1926 году и к 1967 году оседание дневной поверхности над месторождением достигло 8,7 метра [139].

Протяженность месторождения 32 км. Добыча нефти ведется из семи горизонтов (миоценовые и плиоценовые отложения) на глубинах от 600 до 1800 метров. Верхняя часть месторождения сложена песчаниками, алевролитами и сланцами. Пористость пород в резервуаре колеблется в пределах 33-37%, а проницаемость в среднем от 500 до 2000 миллидарси.

За 20 лет эксплуатации месторождения произошло заметное удлинение трубных соединений, вплоть до критического уровня растяжения, предшествующего разрыву. Удлинение труб произошло в большей части обсадных колонн. Суммарное растяжение труб в отдельных интервалах составило от 0,21 до 0,24 м.

По изменению длины обсадных колонн была установлена связь между уплотнением различных интервалов разреза и оседанием устья скважин. По измерениям величин пластового давления, диаграммам относительной проницаемости пород было показано изменение пластовых характеристик залежей нефти.

Большинство исследователей связывало оседание с уплотнением породы в нефтеносных отложениях, что вызывалось понижением давления в результате отбора жидкости из пласта. Было предложено решить проблему опускания дневной поверхности, восстановив пластовое давление путем заводнения нефтеносных отложений с интенсивностью от 100 000 до 200 000 куб.м./сутки. Заводнению подверглись четыре верхние зоны и почти сразу же оседание поверхности прекратилось или скорость его существенно снизилась (до 25 мм/год). Одновременно повысилась нефтеотдача. В некоторых местах наблюдалось поднятие дневной поверхности, свидетельствующие о возрастании пористости и проницаемости пород пласта при закачке воды.

Площадь поверхности, поднявшейся за период с 1960 по 1967 гг., составила более 20,7 кв.км, а поверхность в центре осевшей зоны поднялась на 0,54 метра.

2. Нефтяное месторождение Экофиск (Северное море, Норвегия) – случай неожиданного катастрофического проседания поверхности дна в результате добычи нефти. Это месторождение относится к крупным. Оно открыто в 1970 году.

В связи с тем, что в течение 14 лет эксплуатации месторождения эффективная проницаемость пород резервуара не снижалась, не было подозрений о возможном сжатии продуктивных пластов и соответственно о возможных сильных просадках поверхности дна. Дополнительные аргументы –

большая глубина, крупные размеры и жесткость перекрывающих отложений. В сумме все перечисленные факторы не должны были привести к существенному оседанию.

Поэтому начавшееся оседание морского дна оказалось неожиданным для нефтяников, разрабатывающих это месторождение [117].

Залежь нефти расположена на глубине около 3000 метров от поверхности морского дна. Две трети запасов углеводородов сосредоточено в верхней формации Экофиск датского возраста. Верхняя и нижняя формации сложены трещиноватыми меловыми породами. Толщина пласта 122-183 м, пористость пород изменяется от 35% до 45%. Начальное пластовое давление составляло 48 МПа и к 1985 году оно упало до 23,4-30,0 МПа. Сочетание этих параметров способствовало развитию процесса оседания поверхности морского дна в процессе добычи нефти на месторождении Экофиск.

С помощью систематических повторных наблюдений было установлено, что опускание поверхности морского дна происходит практически равномерно со скоростью 0,4-0,7 м/год. Максимальное оседание морского дна в районе месторождения к концу 1985 года составило 2,9-3,0 м. [105]. Диаметр зоны опускания - около 6 км, т.е. просадкой охвачена только часть нефтяного месторождения Экофиск (Рисунок 1.13). На других участках месторождения просадки достигали лишь нескольких десятков сантиметров [117]. Общее оседание в феврале 1989 года составило около 4,4 метра.

Как было установлено, причина, по которой вышележащие породы деформируются в ответ на снижение пластового давления, связана с нагрузкой вышележащей толщи, вес которой эквивалентен 62,1 МПа на уровне залежи. Первоначально нагрузка полностью сдерживалась матрицей и, находящимся в ней под давлением, флюидом.

По мере уменьшения порового давления и соответственно увеличения эффективного напряжения нижняя часть погребенных пород опускалась вниз. Согласно выполненному моделированию, опускание в вертикальном разрезе происходило неравномерно. Наиболее сильно прогибалась нижняя часть толщи над резервуаром. С меньшей амплитудой прогибались вышележащие отложения и поверхность дна.

Этот пример показывает, что длительный процесс разработки крупных нефтяных месторождений требует не только обязательного контроля за развитием возможных деформаций (просадок) с самого начала освоения месторождения, но и заблаговременной оценки (прогнозирования) этих процессов и принятия решений по снижению опасных последствий.

### 3. Нефтяное месторождение Инглвуд (Калифорния).

Месторождение расположено Южной Калифорнии, Глубина залежи – 900 метров. Участок Болдуин-Хилз сложен третичными и четвертичными отложениями, залегающими на кристаллическом фундаменте (на глубине 3050 м.). Строение участка осложнено Инглвудским разломом, по которому происходили существенные горизонтальные смещения. В пределах этого разлома были зафиксированы землетрясения (1812, 1920, 1933 гг.), самое сильное из которых имело магнитуду 5,0-5,5.

Повторное нивелирование, проводившееся на территории площадью 26 кв.км. с 1910 года со средним интервалом 4 года, выявило чашу дифференцированного опускания размерами 4,3 x 3,2 км. Опускание дневной поверхности началось в 1926 году и к 1962 году составило от 1,17 м. до 1,32 м. Максимальное накопленное опускание – 1,7 метра (Yerkes, Castle 1970).

Контур просадки дневной поверхности совпадал с контуром нефтяного месторождения. Наблюдалась прямая корреляция между объёмами отобранной из пласта жидкости и величинами опускания.

***Общие выводы по сейсмодетформациям (просадкам) дневной поверхности, связанных с разработкой месторождений углеводородов***

Обобщение, которое выполнили R.Yerkes и R.Castle [139], показало, что только на территории нефтегазоносных бассейнов США известно более 40 случаев возникновения деформаций (просадок) дневной поверхности, связанных с разработкой месторождений углеводородов.

Следует иметь в виду, что информацию о деформационных процессах получают из результатов специальных инструментальных наблюдений – повторных нивелировок или спутниковых геодезических наблюдений. Поэтому ***начальные этапы*** возникновения и развития сильных (катастрофических) просадочных явлений на разрабатываемых месторождениях углеводородов (особенно если они крупные, многопластовые и длительно разрабатываемые) могут быть незамеченными, без соответствующего контроля и инструментальных наблюдений.

Неконтролируемые деформации (просадки) обнаруживаются лишь по достижении ими опасных значений, а также по результатам их воздействия на системы и объекты обустройства нефтегазопромыслов – деформации наземных сооружений, слом и смятие обсадных колонн скважин, т.е. когда уже необходимо затрачивать значительные материальные ресурсы на ликвидацию последствий развития этих деформаций.

В этом отношении наиболее характерный случай произошел при разработке нефтяного месторождения Экофиск (Северное море). Неконтролируемый процесс разработки этого месторождения привел к аномальному опусканию дна моря (до 3 метров), что привело к опасности опрокидывания платформы из-за уменьшения зазора между ней и поверхностью моря. Нарращивание «ног платформы» и последующие мероприятия по прекращению просадки дна привело к значительным дополнительным финансовым затратам.

Несмотря на то, что в различных нефтегазоносных бассейнах мира было зарегистрировано значительное количество случаев проседания дневной поверхности, связанных с разработкой месторождений углеводородов, тем не менее, работы по определению параметров просадочных явлений не носили системного характера.

Обычно использовались существующие сети повторного нивелирования, где периодическая съемка выполнялась через несколько лет. В литературе отсутствуют сведения о мероприятиях по сгущению нивелирных сетей для

конкретизации пространственного распределения параметров проседания дневной поверхности.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно говорить, что имеет место ряд устойчивых закономерностей возникновения и развития аномальных деформаций (просадок) дневной поверхности массивов горных пород при разработке месторождений нефти и газа, в том числе:

1. Наличие аномально высокого пластового давления и темп его снижения в процессе освоения месторождения;
2. Предрасположенность резервуара к сильной сжимаемости;
3. Отбор пластовых флюидов происходит из рыхлых, неконсолидированных, слабосцементированных песков и песчаников, переслаивающихся с глинами. Значения пористости для этих пород достигают 25-30% и более. В этих условиях на поверхность вместе с пластовой жидкостью выносятся, как правило, значительное количество породы;
4. Относительно небольшая глубина разрабатываемых залежей (в основном до 1000-2000 метров);
5. Значительная суммарная мощность продуктивных отложений и площадь разрабатываемого месторождения.

Установлено, что при интенсивном законтурном заводнении прекращается процесс оседания дневной поверхности (например, в случае с месторождениями Willmington, Ecofisk, Inglewood).

Обобщение имеющейся информации также показало, что для месторождений углеводородов с коллекторами трещинно-кавернозного типа, как правило, интенсивных просадок дневной поверхности (накопленные величины - более первых дециметров) не наблюдается.

### **2.2.1.3. Горизонтальные сдвиги массивов горных пород и поверхностное разломообразование на зарубежных разрабатываемых месторождениях углеводородов**

К другим опасным геодинамическим явлениям, связанным с разработкой месторождений углеводородов следует относить горизонтальные сдвиги массивов горных пород и поверхностное разломообразование.

При эксплуатации ряда месторождений нефти и газа были выявлены случаи возникновения значительных по величине *горизонтальных сдвигов массивов горных пород* в интервале от нескольких дециметров до нескольких метров по результатам повторных точных инструментальных наблюдений.

На нефтяном месторождении Willmington (США) максимально известное горизонтальное смещение составило 3,66 метра за период 1937-1966 г.г. [139].

На нефтяном месторождении Buena Vista (США) с 1932г. по 1959 г. имело место дифференцированное горизонтальное смещение приповерхностных массивов пород, превышающее 39 см [139].

Оседание морского дна при разработке месторождения Экофиск (Северное море, Норвегия) сопровождалось горизонтальным сдвижением массивов пород к центру чаши оседания [105].

В центре месторождения происходит латеральное сжатие близповерхностных слоев, тогда как на периферии наблюдается их расширение. Моделирование показывает, что горизонтальное смещение находится в пределах 0,5-1,0 м на 1 км в зоне сжатия (т.е. над центром резервуара) и меньшее в районе расширения, т.е. на периферии резервуара.

На нефтяном месторождении Lagunilas (Венесуэла) максимальное смещение приповерхностных массивов горных пород составило около 24 см за полугодовой интервал времени [110].

На газовом месторождении Шебелинка (Украина) повторные геодезические наблюдения выявили горизонтальные смещения массивов пород от периферии к центру месторождения, при этом периоды максимальных горизонтальных деформаций коррелировали с периодами максимальных просадок дневной поверхности, связанных с отбором газа. Максимальные накопленные горизонтальные смещения составили 42 см [95].

После начала деформаций (просадок) дневной поверхности в 1926 году на нефтяном месторождении Inglewood (США) были выявлены крупные горизонтальные сдвиги массивов горных пород от периферии месторождения к центру оседания. За период 1934-1965 гг. накопленные максимальные горизонтальные смещения, выявленные по инструментальным данным, достигли 67 см, причем в центральной части зоны опускания регистрировалось сжатие, а на периферии – растяжение [139].

В отличие от легко регистрируемых просадок и горизонтальных смещений массивов горных пород, *поверхностное разломообразование* развивается, как правило, внезапно и, следовательно, более разрушительно по отношению к объектам и системам обустройства нефтегазопромыслов.

К примеру, на нефтяном месторождении Baldwin Hills (США) зафиксированы поверхностные трещины, которые начали образовываться в 1951 году. Суммарное смещение по трещинам достигает 16-18 см с эпизодическими однонаправленными сдвигами. Трещины проникают на глубину до 250-300 метров.

Поверхностное разломообразование на нефтяном месторождении Kern Front (США) произошло над известным разломом. Следовательно, произошла активизация существующего разлома, но вызванная разработкой месторождения. Смещение по разлому составляло 34 см и продолжалось около 20 лет [139].

Поверхностное разломообразование на нефтяном месторождении Buena Vista (США) имеет длину 2,6 км. Техногенная активность разлома известна около 35 лет. Смещение по поверхности составило около 74 см за период с 1932 по 1967гг. [121].

В результате деформаций (просадок) на нефтяном месторождении Goose Creek (США) вдоль чаши оседания образовались поверхностные разрывы общей длиной 700 метров и горизонтальными смещениями до 40 см.

На нефтяном месторождении Кум-Даг (Туркменистан) в результате землетрясения 1983 года образовался поверхностный разрыв протяженностью 20 км с локальным растяжением до 20 см [13].

Обобщая вышеизложенное, можно говорить, что особенности проявления *горизонтальных сдвигов массивов* горных пород состоят в следующем:

1. Горизонтальные сдвиги массивов горных пород являются, как правило, следствием интенсивных деформаций (просадок) толщи пород, перекрывающих разрабатываемый резервуар, при достижении определенного уровня просадочных явлений;

2. Мощность сдвигаемых массивов горных пород составляет, обычно, от сотен и более метров, начиная от поверхности земли;

3. Одно из важных условий, способствующих возникновению горизонтальных сдвигов, состоит в наличие относительно тонких (несколько десятков метров) регионально выдержанных прослоек глинистого материала (например, глинистые прослойки в соленосных отложениях), играющего роль «смазки», по которым происходит сдвижение массивов при потере ими механической устойчивости в силу природных или техногенных причин.

В отличие от легко регистрируемых просадок и горизонтальных смещений массивов горных пород поверхностное разломообразование развивается, как правило, внезапно и, следовательно, более разрушительно по отношению к объектам и системам обустройства нефтегазопромислов. Смещения по образовавшимся «техногенным» трещинам может достигать от сантиметров до десятков сантиметров.

Обобщение информации о разломообразовании, происшедших в США показало, что такой процесс обычно возникает спустя 15-20 лет после начала разработки месторождения УВС.

### **2.3. Закономерности возникновения и развития природно-техногенных геодинамических событий. Негативные последствия проявления сильных сейсмодеформационных событий**

Анализ и обобщение случаев возникновения природно-техногенных геодинамических событий, связанных с разработкой месторождений нефти и газа, а также опыт собственных работ, позволили выявить следующие закономерности их проявления.

1. Сейсмические события (от слабых до сильных землетрясений) на разрабатываемых месторождениях УВС возникают как при интенсивном отборе флюидов и снижении пластового давления, так и при вторичном воздействии на пласт путем закачки в него жидкости для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи пласта.

2. Для техногенных землетрясений с очагами в резервуаре и в примыкающей вмещающей геосреде характерна магнитуда землетрясений порядка 3,5-4,5 и менее.

3. Более интенсивны ( $M > 4,5$ ) и поэтому наиболее опасны техногенно-индуцированные землетрясения, очаги которых расположены ниже или даже в стороне от разрабатываемых резервуаров. Возникновение таких землетрясений обусловлено реакцией напряженно-деформированной среды на техногенные воздействия, связанные с добычей углеводородов.

Положение очагов индуцированных землетрясений контролируется разломами, которые ориентированы соответствующим образом по отношению к существующему региональному полю напряжений и предрасположены к сдвиговым деформациям. По существу индуцированные события являются тектоническими, но их возникновение инициировано процессами разработки месторождений, без чего такие события могли бы и не произойти.

Важное значение для последствий проявления таких событий имеет глубина гипоцентра. Так, если бы глубины гипоцентров Газлийских землетрясений 1976 г. и 1984 г. были бы меньше на несколько километров, то последствия для газопромысла Газли были бы весьма серьезными.

4. Увеличение давления нагнетания в скважинах (для нефтяных месторождений) в ряде случаев приводит к увеличению сейсмичности, при этом сейсмический риск связан не с тем, что вторичное воздействие на залежь может вызвать накопление напряжений и ее реализацию в форме землетрясений, а с тем, что нагнетаемый флюид, повышая поровое давление и/или уменьшая коэффициент трения в зонах разломов, может инициировать землетрясения на участках, где уровень девиаторов напряжений, накопившихся за счет природных тектонических процессов, находится около критического состояния.

5. Отбор значительных масс флюида из резервуара и быстрое снижение аномально высокого пластового давления (АВПД) в резервуаре может приводить к соответствующему уменьшению нагрузки, например, на нижележащие аномально напряженные комплексы породы (например, фундамента), что может привести к сильным техногенно-индуцированным сейсмическим событиям.

6. На месторождениях нефти в перенапряженных объемах геологической среды даже небольшое повышение давления нагнетания флюида (на несколько десятков бар) может вызвать реакцию ранее относительно спокойной среды в форме сильных сейсмических событий.

7. Превышение объемов закачиваемой жидкости над объемами извлекаемого флюида или наоборот (в основном для месторождений нефти), приводит к увеличению количества сейсмических событий. Соблюдение баланса иногда стабилизирует сейсмическую обстановку, вплоть до уменьшения или прекращения сейсмических событий.

8. Снижение пластового давления в резервуаре и его объемное сжатие приводит к деформации толщи (покрышки), непосредственно залегающей над резервуаром и которая не сжимается. В этом случае возникновение землетрясений контролируется прочностными свойствами пород покрышки.

9. Зависимости между началом разработки месторождений углеводородов и началом возникновения сейсмичности не обнаружены (Таблица 1.3), т.е. фактор, длительностью разработки месторождения не проявляется. Становится очевидным, что имеет место совокупное влияние ряда факторов, инициирующих возникновение техногенной и техногенно-индуцированной сейсмичности.

Таблица 1.3 - Временные интервалы между началом разработки месторождений углеводородов и началом возникновения техногенной и техногенно-индуцированной сейсмичности

Название месторождения, страна	Интервал времени между началом разработки и проявлениями сейсмичности, годы
Нефтяное месторождение <b>Старогрозненское</b> (Россия)	8
Нефтяное месторождение <b>Love Country</b> (США)	12
Нефтяное месторождение <b>Бурунное</b> (Туркменистан)	13
Нефтяное месторождение <b>Sleepy Hollow</b> (США)	19
Нефтяное месторождение <b>Rangely</b> (США)	19
Нефтяное месторождение <b>Gobles</b> (Канада)	19
Нефтяное месторождение <b>Willmington</b> (США)	21
Нефтяное месторождение <b>Cogdell</b> (США)	25
Нефтяное месторождение <b>Долина</b> (Украина)	26
Нефтегазовое месторождение <b>Imogene</b> (США)	29
Нефтяное месторождение <b>Кум-Даг</b> (Туркменистан)	34
Нефтяное месторождение <b>Ромашкинское</b> (Россия)	39
Нефтяное месторождение <b>Coalinga</b> (США)	87
Газовое месторождение <b>Strachan</b> (США)	2
Газовое месторождение <b>Rocky Mountain</b> (США)	4
Газовое месторождение <b>Лак</b> (Франция)	12
Газовое месторождение <b>Газли</b> (Узбекистан)	12
Газовое месторождение <b>Fashing</b> (США)	16

### 2.3.1. Модели формирования техногенной и техногенно-индуцированной сейсмичности на примере зарубежных разрабатываемых месторождений углеводородов

Аналитический обзор и обобщение результатов сейсмологического мониторинга на разрабатываемых месторождениях углеводородов позволили обосновать четыре возможных модели формирования техногенной и техногенно-индуцированной сейсмичности.

#### **Модель 1.**

*Закачка флюида в глубокие скважины для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи может вызвать землетрясения, в том числе достаточно сильные (магнитуда до 4-5). Надежно задокументированы случаи таких землетрясений в США (Rocky Mountain Arsenal, Ashtabula, месторождение нефти Rangely), Канаде (месторождения углеводородов Snipe Lake, Eagle).*

Оценки и моделирование привели к пониманию возможного физического механизма инициирования таких землетрясений и понимания критериев для будущего прогнозирования. Основными аргументами для отнесения этих событий к инициированным стали: непосредственная близость между пунктами

нагнетания флюида и положение гипоцентров землетрясений, превышение порога между существующими напряжениями в зоне разрывов и трещин и давлениями нагнетания, связь между временем нагнетания флюида с повышенным давлением и временем проявления землетрясений.

При этом, генерация последних также связано с соотношением ориентации разрывов или трещин по отношению к природному полю напряжений, коэффициентом трения на разрыве или трещине и величиной давления порового флюида.

Если по мере нагнетания флюида в зону напряженного разрывного нарушения давление нагнетания превосходит локальное напряжение в зоне разрыва или трещины, то происходит снижение коэффициента трения вдоль разрыва или систем трещин и его последующая реакция либо в виде усиления крипповой (асейсмической) подвижки по разрыву, либо в виде возникновения землетрясений вдоль разрывного нарушения или систем трещин. Если эти условия не соблюдаются, то событий может не произойти.

Поэтому, важно знать распределение локальных природных напряжений, литологические свойства горных пород, а также наличие и ориентацию разрывных нарушений в месте нагнетания флюида.

Можно полагать, что для месторождений с поровым типом пород-коллекторов такой механизм маловероятен. Вместе с тем, в условиях разработки малопроницаемых терригенных пород, когда требуются повышенные объемы закачки флюида и повышенное давление нагнетания, возможно возникновение локальной техногенной сейсмичности из-за превышения давления нагнетания и предела прочности пород-коллекторов.

Некоторые авторы [122] рекомендуют проведение гидроразрыва для определения уровня давления нагнетания, которое не вызовет микроземлетрясения.

При оценках необходимо учитывать гидрогеологические свойства пород-коллекторов, так как повышенная проницаемость требует пониженных величин давления нагнетания и соответственно меньший уровень риска возникновения сейсмических событий или аномальной активизации разломов.

Тем не менее, еще достаточно сложной остается проблема оценки максимальной интенсивности ожидаемых землетрясений, инициированных давлением нагнетания флюида в скважины и местоположения очагов землетрясений относительно положения скважины.

### ***Модель 2.***

*В случае значительных просадок массивов горных пород, связанных с добычей нефти, могут возникать интенсивные горизонтальные сдвиги массивов горных пород по разломам в сторону мульды проседания.*

Эти процессы иногда могут сопровождаться возникновением землетрясений с магнитудами порядка  $M=3,5-4,5$  вдоль разломов в верхней части разреза, по которым происходит основное горизонтальное сдвигание массивов горных пород. Данный механизм возможен только при возникновении аномальных просадок массивов горных пород величиной более 1 метра (месторождение углеводородов Willmington, США).

### **Модель 3.**

*При значительном снижении пластового давления и наличии жесткой покрышки возможно существенное деформирование последней с появлением в интервале покрышки многочисленных очагов землетрясений.*

Появление очагов землетрясений с магнитудой до  $M=3,0-4,0$  в интервале покрышки может привести к ее разгерметизации и возникновению миграционных процессов из резервуара в вышележащие толщи. В этом случае необходимо оценивать прочностные свойства пород покрышек и проводить соответствующее площадное районирование. Наиболее типичный пример такого механизма возникновения землетрясений имел место на газовом месторождении Лак во Франции.

### **Модель 4.**

Для этой модели возможны два механизма. Первый механизм может быть реализован в случае добычи значительных масс нефти из резервуара крупных месторождений (до момента закачки флюида), что приводит к снятию нагрузки на подстилающие отложения.

Такая разгрузка может приводить к возникновению сильных ( $M=5$  и более) техногенно-индуцированных землетрясений с большой глубиной очага землетрясения (более 10-15 км). Примером может служить сильное индуцированное землетрясение на месторождении Coalinga в США.

Второй механизм связан с добычей больших объемов газа из крупных месторождений и замещением газа пластовыми водами. В этом случае, наоборот, имеет место увеличение весовой нагрузки на подстилающие породы. Если эти породы находились в аномально напряженном состоянии, то возможна их реакция в форме сильных индуцированных землетрясений. Примером может служить серия сильнейших землетрясений с  $M>6$  и глубиной гипоцентров 15-17 км в районе газового месторождения Газли в Узбекистане.

## **2.3.2 Негативные последствия проявления сильных сейсмодинамических и других событий в зарубежных нефтегазоносных бассейнах**

Во многих нефтегазоносных бассейнах мира, включая платформенные территории, произошло, как показано выше, значительное количество случаев сильных, а нередко и катастрофических геодинамических событий (землетрясения, интенсивные просадки и горизонтальные сдвиги массивов горных пород, активизация разломов), которые были вызваны процессами разработки месторождений углеводородов.

Слабая разработанность вопросов прогнозирования природно-техногенных геодинамических событий и, как правило, неожиданное их возникновение может приводить, и в ряде случаев приводили, к значительным повреждениям систем и объектов обустройства нефтегазопромыслов и, соответственно, к значительным материальным затратам на их восстановление.

Рассматривая проблему геодинамического риска при разработке месторождений УВ, G. Nicholson и R. Wesson [122] отмечают, что практически

ни одно из землетрясений максимальной интенсивности ( $M=5,0-5,5$  и более), индуцированных разработкой месторождений углеводородов, не рассматривалось бы как катастрофическое, если бы оно произошло в сейсмоактивном районе.

Землетрясения такого уровня в платформенных условиях вызывают повреждения на гораздо больших площадях, чем в сейсмоактивных районах, а последствия от таких землетрясений могут принимать катастрофический характер из-за небольших глубин очагов и неадекватной сейсмостойкости, надежности объектов обустройства и скважин против такой возможной интенсивности событий.

R.Yerkes и R.Castle [139], обобщая результаты исследований деформационных последствий разработки месторождений нефти и газа в США, также утверждают, что почти каждый вид природно-техногенных геодинамических явлений приводил к тем или иным повреждениям или разрушениям поверхностных структур и соответственно к дорогим восстановительным работам.

Ликвидация этих последствий требует значительных финансовых и материальных затрат. Так, например, смятие или срезание обсадных колонн из-за сильных сейсмодформационных процессов в массивах горных пород приводило к потерям скважин и объемов добычи, а также к последующим затратам на бурение новых скважин для восполнения объемов добычи углеводородного сырья.

В обобщенном виде эти события приводили к следующим экономическим, экологическим и даже социальным последствиям:

Экономические последствия:

- кратковременное прекращение добычи углеводородного сырья;
- повреждение фонда эксплуатационных скважин (нарушение герметичности, смятие, отрыв и срезание обсадных колонн за счет развития локальных аномальных современных напряжений в зонах разломов, а также горизонтальных сдвижений массивов горных пород и поверхностного разломообразования);
- сильные деформации (вплоть до разрушения) наземных сооружений и объектов обустройства нефтегазопромыслов (производственные здания, резервуары для сбора и хранения углеводородного сырья) и трубопроводных систем за счет сейсмических и просадочных деформационных событий;
- сильная деформация резервуара и «разгерметизация» вышележащей крыши с последующей утечкой газовой фазы; даже слабые сейсмические события с очагами в верхней части резервуара и в крышке могут со временем стимулировать процесс трещинообразования и разгерметизации крыши;
- повреждение подземных хранилищ газа, отходов и продуктов переработки за счет потери механической устойчивости массивов горных пород и особенно соляных куполов и антиклиналей.
- повреждению оборудования и нарушению электроснабжения промыслов;

- подтоплению и частичному затоплению территории промыслов и прилегающих территорий с сооружениями и объектами;
- повреждения в близлежащих населенных пунктах, что создает беспокойство у населения.

#### Экологические последствия – наиболее серьезные.

Поскольку сильные сейсмодиформационные события могут воздействовать через нарушения природно-технических систем, через изменения экосистем на условия жизнедеятельности человека.

Следует различать текущие и отдаленные экологические последствия сильных сейсмодиформационных процессов на разрабатываемых месторождениях УВ.

Деформации (проседания) дневной поверхности связанные с отбором углеводородного сырья могут привести и уже приводили к подтоплению и заболачиванию территорий промыслов и прилегающих участков, т.е. к изменению природных ландшафтов, что является признаком возможных необратимых изменений экологической ситуации.

Нарушения скважин за счет сильных сейсмодиформационных событий (разгерметизация, срезание) может приводить к загрязнению геологического разреза и водных ресурсов.

Разгерметизация покрышки и вышележащей толщи над залежами углеводородов в форме активизации разломов, а также в форме сейсмичности (даже слабой, но длительного действия) за счет сильной деформации (сжатия) пород-коллекторов может привести к загрязнению водных ресурсов и атмосферы посредством усилившихся субвертикальных миграционных процессов.

#### Социальные последствия:

Связаны с тем, что сейсмические процессы, индуцированные разработкой месторождений углеводородов, происходят внезапно, без ощутимых предвестников. Производственный персонал и население в районе разрабатываемого месторождения оказываются практически неподготовленными к моменту возникновения таких событий, особенно если последние происходят в пределах платформенных регионов.

Ниже приводятся некоторые примеры негативных последствий проявления сильных сейсмодиформационных событий на месторождениях углеводородов.

В результате интенсивного проседания дневной поверхности на нефтяном месторождении *Willmington* (Калифорния, США), землетрясения и горизонтального смещения массивов горных пород имело место массовое срезание обсадных колонн, обширные повреждения трубопроводов, зданий и портового оборудования. Только одно техногенное землетрясение в 1949 году высокой интенсивности ( $M=5,1$ ), происшедшее на месторождении *Willmington* привело к прекращению работы более чем 200 скважин, часть из которых была полностью разрушена. Затоплена военно-морская верфь Лонг-Бич. Ущерб оценивался в десятки миллионов долларов.

Наибольшее повреждение в результате происшедшего техногенного землетрясения в пределах газового месторождения *Fashing* (Техас, США), произошло на нефтеперерабатывающем заводе – треснули и частично были разорваны железобетонные плиты фундамента, повреждены соединения труб и др. Движение грунта во время землетрясения привело к прекращению работы на заводе из-за чрезвычайной ситуации. Локальные разрушения были в ближайшем населенном пункте, а сотрясения чувствовались на расстоянии 70 км [122].

На нефтяном месторождении *Coalinga* (США) после техногенно-индуцированного землетрясения была прекращена добыча нефти на один день. На 26 скважинах имелись повреждения - перегибы, искривления и разрыв обсадных колонн. В течение нескольких дней было нарушено электроснабжение промысла. Были повреждены насосные установки и резервуары для хранения нефти [115].

Опускание дна на нефтяном месторождении *Ekofisk* (Норвегия, Северное море) привело к необходимости наращивания высоты буровых платформ над уровнем моря с учетом максимальной высоты волн для предотвращения их повреждений, что потребовало значительных финансовых затрат. Имели место деформации обсадных колонн с их разгерметизацией в интервале резервуара и вышележащей толщи, что связано с процессами сжатия пород-коллекторов в резервуаре [117].

Интенсивное проседание дневной поверхности на нефтяном месторождении *Lagunillas* (Венесуэла) привело к частичному затоплению территории месторождения, а совместно с разломообразованием – к смятию обсадных колонн и разрывам коммуникаций [105].

Для защиты от затопления были построены бетонные защитные стенки общей длиной 43 км. Интенсивные просадки дневной поверхности и разломообразование привело к смятию обсадных колонн скважин и разрывам коммуникаций [105].

Интенсивные просадки дневной поверхности и горизонтальные смещения массивов горных пород на нефтяном месторождении *Inglewood* (США) привели к срезанию обсадных колонн скважин, пересекающих трещины. Произошли сильные разрушения объектов нефтепромысла на поверхности [121].

В результате техногенного землетрясения на *Старогрозненском* нефтяном месторождении (Россия) разрушен политехникум, поликлиника, частично разрушены жилые и административные здания. В большом количестве произошло смятие и срезание обсадных колонн нефтяных скважин [86].

Техногенное землетрясение в пределах нефтяного месторождения *Catoosa District* спровоцировало разрушение скважин в интервале резервуара.

Наиболее сильное землетрясение на нефтяном месторождении *Rangely* (Колорадо, США) вызвало небольшие повреждения в одноименном городе.

В результате интенсивного проседания дневной поверхности на нефтяном месторождении *Goose Creek* (США) по периметру мульды оседания

образовались поверхностные разрывы общей длиной около 700 метров. Оседание сопровождалось затоплением прибрежных участков части территории месторождения [139].

Горизонтальные смещения массивов горных пород от периферии к центру газового месторождения *Шебелинка* (Украина) привели к оползневым процессам, что явилось причиной разрыва газопроводных труб и смятия эксплуатационных колонн скважин [95].

В результате деформационных процессов, вызванных техногенными землетрясениями на *Долинском* нефтяном месторождении (Украина), произошло срезание эксплуатационных колонн нефтяных скважин, повреждение зданий ГПЗ (газоперерабатывающего завода) и жилых домов [46].

Итак, можно считать установленным, что такие формы воздействия на недра, как разработка месторождений углеводородов могут, при определенных условиях, сильно изменить природное геодинамическое состояние недр вплоть до возникновения сильных деформаций и сейсмических событий.

Интенсивность этих событий, как показано выше, может быть достаточно высока, чтобы привести к сильным повреждениям скважин и объектов обустройства.

Следовательно, ни одно крупное и длительно разрабатываемое месторождение углеводородов не застраховано от проявления в их пределах сильных и даже катастрофических геодинамических событий. При этом имеет место, как правило, комбинированное проявление этих событий. В каждом отдельном случае в подготовке и реализации событий участвует разная комбинация основных факторов, что делает проблему прогнозирования пока еще достаточно сложной.

Количественный и качественный учет факторов возникновения аномальной природно-техногенной геодинамики недр будет способствовать снижению рисков повреждений и аварийности технических систем и объектов, улучшению состояния окружающей среды в районах нефтегазодобычи.

Это может быть достигнуто за счет применения ряда вышеуказанных и вновь разрабатываемых превентивных мер, в том числе, проведения комплексного геодинамического мониторинга, заблаговременного выделения зон и участков потенциального геодинамического риска, прогнозирования уровня и масштаба возможных форм проявления опасных геодинамических процессов, оптимального размещения разведочных и эксплуатационных скважин (вне зон повышенного риска), усиления конструктивных характеристик объектов обустройства, согласования режимов разработки месторождений УВ с природными деформационными режимами и т.д.

### **3. ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НЕДР НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Изучение современной геодинамики недр на специальных геодинамических полигонах разного целевого назначения, как крупная научная и важная практическая проблема, получила свое развитие в середине 60-х годов. По инициативе советских ученых была обоснована необходимость создания мировой системы геодинамических полигонов для изучения закономерностей, природы и механизма геодинамических процессов [15].

Уже при постановке данной проблемы большое внимание уделялось необходимости международной координации работ на полигонах в части унификации методов и режима мониторинга. Основное внимание предлагалось сосредоточить на проведении повторного высокоточного нивелирования с обоснованным выбором мест заложения нивелирных пунктов и линий повторного нивелирования.

Предполагалось целесообразным дополнять повторное нивелирование измерениями горизонтальной компоненты движений, а нивелирные линии прокладывать через существующие сейсмические станции. В пределах полигонов предлагалось организовать систематические наблюдения за эрозионными, аккумулятивными и гравитационными процессами, имеющими опасный характер, с помощью гидрогеологических и геоморфологических методов.

В качестве важной задачи считалось тщательное изучение всех возможностей практического использования данных о современных движениях земной коры, в том числе для поисков месторождений нефти и газа, а также наблюдение за ходом эксплуатации месторождений нефти, газа, каменного угля и т.д. [57].

В части решения теоретических вопросов по исследованию механизма и природы техногенной геодинамики, математического и физического моделирования природно-техногенных процессов, прогнозирования и оценок риска возникновения природно-техногенных геодинамических событий приоритет принадлежит зарубежным странам – США, Франции, России и др.

#### **3.1 Опыт организации и ведения геодинамического мониторинга недр на месторождениях углеводородов в Казахстане**

Первый опыт при проведении инструментальных наблюдений за сейсмичностью в Казахстане получен в 1927 г., с 1950 г. организована сеть высокочувствительных станций.

За период 1965-1992 гг. на территории бывшего СССР было организовано около 80 геодинамических полигонов различного целевого назначения – полигоны прогностические (в сейсмоактивных зонах), полигоны ГЭС, полигоны АЭС, полигоны на месторождениях углеводородов, полигоны на месторождениях угля и др.

В числе первых был создан хорошо организованный Алматинский геодинамический полигон, который в 70-е и в начале 80-х годов считался одним из лучших полигонов в мире по концепции создания (учет геолого-геофизических, геоморфологических и сейсмологических данных), по оптимальному размещению пунктов мониторинга, по организации и научному сопровождению мониторинга.

В последующем, позиции полигона были несколько утрачены из-за ряда объективных причин, связанных с отсутствием современных высокоэффективных аппаратурных средств (GPS-приемники, цифровые нивелиры, цифровые сейсмостанции, автоматизированные высокоточные гравиметры).

Геодинамический мониторинг с использованием ограниченного комплекса методов проводился также на Талгарском, Чон-Кеминском и Чиликском геодинамических полигонах. Соответственно выполнялся большой комплекс теоретических, методических и интерпретационных работ силами специалистов Института сейсмологии АН Казахской ССР (Ержанов, Гарагаш и др.), Алматинского архитектурно-строительного института (Атрушкевич и др.), Казахского Политехнического института, а также ряда других организаций.

По результатам работ на полигоне была опубликована монография «Геодинамические исследования на Алматинском полигоне» [4].

На базе Алматинского полигона в 1971 в г. Алма-Ате были проведены 3-е (1971 г.) и 6-е (1978 г.) Межведомственные совещания по современным движениям земной коры на геодинамических полигонах СССР, организованные Институтом сейсмологии АН КазССР и Архитектурно-строительным институтом (г. Алма-Ата).

В целом, на территории Республики Казахстан до 1992 года геодинамический мониторинг выполнялся на ряде полигонов различного целевого назначения. Для него были присущи следующие особенности:

1. Большое количество и разнообразие геодинамических полигонов, что позволяло углубленно исследовать пространственно-временные закономерности проявления современных геодинамических процессов. Результаты работ нашли отражение в целом ряде публикаций [96, 88, 89, 90, 91, 92, 76, 43].

2. Комплексный подход к организации и проведению геодинамического мониторинга на полигонах различного целевого назначения, где проводились работы по сейсмическому мониторингу, повторному точному нивелированию, повторным триангуляционным и светодальномерным измерениям, повторным высокоточным гравиметрическим и магнитометрическим измерениям. На ряде полигонов выполнялись повторные гидрогеологические и геохимические наблюдения [43, 89, 92].

3. Тщательное геоморфологическое изучение мест заложения пунктов на линиях мониторинга для их размещения вне зон развития опасных экзогенных процессов [89].

4. Развитие теоретических основ природы и механизма современных движений земной коры [40, 60], а также вопросов физического моделирования современных геодинамических процессов [109, 52].

В 80-х годах XX столетия в СССР получило развитие новое направление – комплексное изучение современных геодинамических процессов на разрабатываемых месторождениях полезных ископаемых.

Для нефтяного месторождения Тенгиз была разработана комплексная программа (автор и ответственный исполнитель работ – В.А. Сидоров) и в течение пяти лет (до 1992 года) на этом месторождении УВ впервые для Казахстана проводился систематический комплексный геодинамический мониторинг (объединение «Тенгизнефтегаз») в составе следующих методов: повторное точное нивелирование, повторные высокоточные светодальномерные, гравиметрические и магнитометрические измерения, геохимические наблюдения, сейсмическое просвечивание и повторный гравикаротаж, комплекс дистанционных методов исследований.

Мониторинг подкреплялся комплексом теоретических, модельных и интерпретационных исследований. В программе принимало участие 13 научных, учебных и производственных организаций.

Значение этого периода мониторинга состояла в том, что полученные результаты характеризовали природный геодинамический фон, который проявился, главным образом, в форме высокого уровня современной активности разломов, аномалий вариаций силы тяжести над активными разломами, аномалий гелия, растворенного в воде приповерхностных горизонтов, в изменении уровня грунтовых вод и ряда других параметров.

В дальнейшем, полученные результаты позволили довольно эффективно выделять техногенную составляющую современной геодинамики недр.

После 1992 года в Казахстане продолжились работы на государственной сейсмологической сети и на отдельных полигонах по Программе прогноза землетрясений. Развивались работы по изучению опасных геологических процессов. Принимались также решения по созданию документов, регламентирующих проведение мониторинга.

Современная геодинамическая изученность площадей месторождений УВ во многом базируется на обязательном ведении мониторинга разрабатываемых месторождений.

В последние годы, с единых научно-методических позиций, с учетом мирового опыта работ были разработаны комплексные программы работ для ряда месторождений УВ, в том числе таких крупных как Карачаганак, Узень-Карамандыбас, «Королевское», Чинаревское и на многих др. месторождениях УВ (ТОО НПЦ «Экогеоунайгаз», ТОО НПЦ «ГЕОКЕН», Институт сейсмологии МОН РК, ТОО «Геостройсервис» и др.) и началось систематическое проведение геодинамического мониторинга в различных нефтегазоносных провинциях Казахстана.

При этом используются высокоэффективные современные аппаратные средства – цифровые нивелиры, высокоточные GPS-приемники и антенны, автоматизированные цифровые гравиметры и сейсмостанции.

Многолетний мониторинг на месторождениях углеводородов показал, что применяемая методика повторных измерений приводит к получению результатов высокого качества и точности. Это позволяет надежно выявлять пространственно-временные особенности геодинамических параметров природно-техногенного генезиса.

Комитет геологии и недропользования МЭ и МР РК совместно с региональными контролирующими органами активно вовлекает недропользователей в процесс организации и проведения комплексного геодинамического мониторинга недр в районах интенсивной добычи углеводородов.

В целом, современный уровень проведения геодинамического мониторинга на месторождениях углеводородов на территории Республики Казахстан соответствует мировому уровню проведения таких работ как в отношении аппаратурно-метрологических, так и методических требований.

Вместе с тем, в отношении развития комплексного подхода к созданию геодинамических полигонов, проведения геодинамического мониторинга, анализа и обобщения получаемой информации, уровень решения проблемы в Республике Казахстан значительно выше по сравнению с другими странами.

В силу этих мотивов необходимо в дальнейшем повышать уровень исследований по интерпретации результатов, математическому моделированию процессов, оценкам геодинамического риска и другим научно-методическим аспектам сложной и комплексной проблемы. Весь положительный опыт работ в различных аспектах решения этой проблемы должен быть использован при проведении геодинамического мониторинга и истолкования результатов в Республике Казахстан.

### **3.2 Зарубежный опыт организации и ведения геодинамического мониторинга недр на зарубежных месторождениях углеводородов**

В нефтегазоносных провинциях ряда зарубежных стран геодинамическим мониторингом было охвачено значительное число месторождений углеводородов, только на территории США за 50-летний период – более 30.

Самым распространенным методом геодинамического мониторинга на зарубежных месторождениях УВ является сейсмологический. Существенное преимущество зарубежных сейсмологических исследований состояло в хорошей организации и аппаратурно-методическом обеспечении.

В исследованиях использовались как специально размещенные системы сейсмостанций на месторождениях, так и сейсмостанции из состава постоянно действующей региональной сети. *Разворачивалась эти системы лишь после возникновения ощутимых или сильных сейсмических событий.*

Это связано не с особыми возможностями и преимуществами метода, а с тем, что после неожиданного возникновения сейсмических событий на разрабатываемых месторождениях углеводородов гораздо легче организовать проведение этого вида мониторинга и быстрее получить данные о характеристике исследуемого процесса.

Сейсмологические наблюдения выполнялись на месторождениях углеводородов США, Канады, Франции, Венесуэлы, Норвегии (Северное море), Венгрии и др. стран.

***Практически во всех случаях сейсмологический мониторинг начинался после, а не до возникновения сейсмических событий,*** что существенно ограничивало возможности выработки прогностических признаков.

Несмотря на то, что факты инициированных сейсмодиформационных событий на месторождениях углеводородов давно и хорошо известны, до сих пор за рубежом практически нет длительных (режимных) измерений комплексом методов, что позволило бы изучать вариации различных параметров недр и их связей с процессами разработки месторождений для последующих оценок геодинамического риска и предотвращения его последствий.

В отношении результатов геодинамического мониторинга зарубежные специалисты получили значительное количество новых данных по закономерностям изменения геодинамических параметров, по математическому моделированию, например, процессов проседания и оценкам напряженного состояния и, особенно, по исследованию связей между результатами мониторинга и процессами разработки месторождений углеводородов [106, 130].

Результаты моделирования связей между изменением объемов добычи углеводородного сырья и величинами оседания дневной поверхности совместно анализировались с экспериментальными данными. Была оценена роль процессов нагнетания в возникновении сейсмических событий. Были выведены формулы расчета напряжений за счет изменения современных деформационных процессов в продуктивных пластах при добыче углеводородов.

Вместе с тем, существует ряд особенностей проведения геодинамического мониторинга в зарубежных странах, снижающих достоверность полученных данных.

К примеру, при выполнении повторного нивелирования и повторных GPS-измерений обычно использовались существующие линии нивелирования на территории месторождений УВ, которые в ряде случаев не оптимально пересекают их территорию. Специальная система линий нивелирования не закладывалась.

Кроме того, R. Castle и R. Yerkes [139] отмечают, что на месторождениях УВ нивелирование проводится по недостаточно плотной сети. К тому же, повторное нивелирование и повторные GPS-измерения по распространению уступают сейсмологическим методам мониторинга.

По опыту проведения полевого геодинамического мониторинга на месторождениях зарубежных стран можно выделить следующие обобщающие пункты:

1. Практически на всех исследуемых месторождениях углеводородов в мире не проводился специально организованный комплексный

геодинамический мониторинг, сочетающий в едином пространственно-временном режиме ряд методов, результаты которого отражали бы все основные формы проявления природно-техногенных геодинамических событий.

А именно – проседания дневной поверхности, сейсмические процессы, горизонтальные смещения массивов горных пород, поверхностное разломообразование, деформационные процессы в продуктивных комплексах.

Исключение составляют единичные примеры организации и ведение комплексного мониторинга, например, на нефтяном месторождении Willmington (Калифорния, США). Используемые методы на этом месторождении позволили выявить просадки дневной поверхности, горизонтальные смещения массивов горных пород и техногенную сейсмичность.

2. Ни на одном месторождении УВС в мире не было работ по организации и проведению мониторинга за несколько лет до начала их разработки, что не позволило в полной мере оценить историю и закономерности проявления современной геодинамики недр природного генезиса.

3. Отсутствует информация о разработке комплексных программ по проведению геодинамического мониторинга на разрабатываемых месторождениях углеводородов. Однако, имеются крупные обобщения результатов геодинамического мониторинга на месторождениях углеводородов, по районам закачки флюидов в недра [122] с обоснованием выделения мест подверженных геодинамическим рискам и мерам по снижению последствий воздействия человека на недра. Этот опыт должен учитываться в национальных программах геодинамического мониторинга.

### **3.3 Опыт организации и ведения геодинамического мониторинга недр на месторождениях углеводородов в Российской Федерации**

В 90-х годах в Российской Федерации были усилены работы по изучению природно-техногенных геодинамических процессов в районах с развитой нефтегазодобычей. Были разработаны комплексные программы геодинамического мониторинга для отдельных регионов (Республика Коми, Дальний Восток) и для крупнейших месторождений углеводородов (нефтяного Самотлор, газоконденсатного Астраханского и др.), на которых выполняется геодинамический мониторинг различными организациями.

В основном, комплекс методов включал повторное точное нивелирование, повторные высокоточные гравиметрические и частично GPS-измерения.

В Российской Федерации сеть сейсмических наблюдений ведет постоянный сейсмический мониторинг территории всей страны. Она имеет иерархическую трехуровневую структуру. В нее входит телесеismicкая сеть и 10 региональных сейсмических сетей, в состав которых в свою очередь

входят локальные сети. Всего в сети работает более 250 сейсмических станций и 10 информационно-обрабатывающих центров (ИОЦ).

На всех месторождениях углеводородов в России проводится сейсмологический мониторинг, который входит в комплекс методов геодинамического мониторинга.

Представительным, с точки зрения проведения комплексного геодинамического мониторинга, является Ромашкинское месторождение нефти в Татарстане [40].

С 1989 года здесь систематически выполнялся сейсмологический мониторинг, а в 1995 году - был создан комплексный геодинамический полигон, на котором, кроме сейсмологического мониторинга, началось проведение повторных нивелировок, повторных гравиметрических и гелиометрических измерений силами НПЦ «Экогеоцентр», НПЦ «Геодинамика» (ОАО «Татнефть») и ТНПЦ «Геомониторинг РТ» (ГУП «НПО Геоцентр РТ»). Мониторинг подземных вод выполняется в рамках отдельной программы.

Высокие информативные результаты получены при исследовании короткопериодных деформаций разломных зон верхней части дневной коры с использованием комплексов спутниковой геодезии в России [70, 74].

Комплекс геофизических методов в рамках проведения геодинамического мониторинга геологической среды представлен рядом методов.

Опыт проведения непрерывного тензометрирования имеется на Сургутском полигоне. В Алтае-Саянской сейсмической зоне выполнены эксперименты по измерению напряжений в массиве методами электромагнитной эмиссии; аналогичные работы проводились на Урале.

Наиболее часто применяемым методом геофизических наблюдений являются повторные гравиметрические измерения. Еще в Советском Союзе для проведения гравиметрических съемок на всей территории в разные годы создавалась Государственная гравиметрическая опорная сеть, предназначенная для приведения съемок к единому общегосударственному уровню.

В настоящее время гравиметрический мониторинг проводится на всех эксплуатируемых углеводородных месторождениях России и Казахстана. За рубежом повторные геофизические измерения в составе геодинамического мониторинга используются редко. В первую очередь это относится к единичным случаям использования повторных гравиметрических измерений.

Гидрогеохимический метод мониторинга часто проводится в рамках мониторинга подземных вод. Но имеется опыт определения концентрации радона в воздухе подземных выработок, основанный на том факте, что радон - индикатор напряженного состояния горного массива. Это привело к обнаружению нового эффекта в распределении концентрации радона при изменении напряженно-деформированного состояния горного массива.

К настоящему времени накопился богатый опыт использования космических технологий в целях геодинамического мониторинга. Ретроспективный анализ космических данных позволяет сделать выводы о высокой активности геодинамических, геокриологических и других природных

процессов за период времени, охватывающий несколько десятилетий. Космические наблюдения проводятся на нефтегазоконденсатных месторождениях Ямала (Бованенковское, Новопортовское и др.), Заполярья, нефтяных месторождениях Татарстана (Ромашкинское) и др.

В 2003 г. в России были выполнены исследования динамики систем линеаментов, выделяемых по космическим изображениям в периоды сильных землетрясений.

В Российской Федерации выполняется большой цикл работ по изучению природы и механизма современной геодинамики разломов в нефтегазоносных областях, включая математическое и физическое моделирование природных и техногенных процессов в пределах осадочных (нефтегазоносных) бассейнов [50, 51].

Результаты этих работ представлены в монографиях В.Сидорова и Ю.Кузьмина [79], В.Сидорова, С.Атанасян и др. [78], Ю. Кузьмина [50, 51]; Ю.Кузьмина и В.Жукова [52]. Итоги работ по моделированию механики горных пород при разработке месторождений углеводородов изложены в монографии Ю.Кашникова и С.Ашихмина [42].

## 4. КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение (КНГКМ)

В тектоническом плане КНГКМ расположено во внутренней части северной прибортовой зоны Прикаспийской впадины, характеризующейся большой толщиной осадочного чехла и проявлением соляной тектоники (галокинеза).

Бурением глубоких скважин вскрыты кайнозойские, мезозойские и палеозойские отложения на максимальную глубину 6458 м.

Сложная история геологического развития КНГКМ, проявилась в контрастном изменении морфологии залегания основных литолого-стратиграфических комплексов и их мощности.

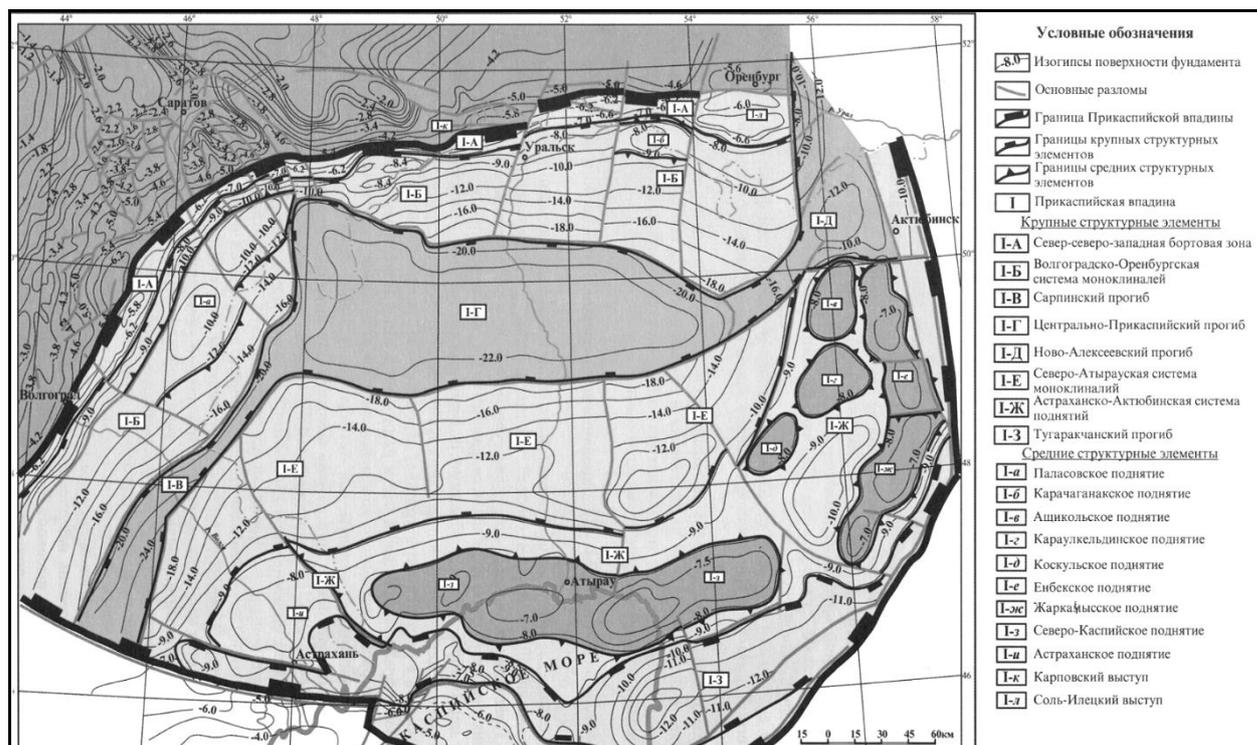


Рисунок 4.1 - Схема тектонического районирования Прикаспийской впадины

В районе месторождения по данным сейсморазведки на глубине 6-7 км выделяется выступ фундамента со сложным строением, с амплитудой поднятий и прогибов около 400 м, ограниченный с севера дугообразным прогибом [140], (Рисунок 4.1).

С юга выступ окаймляется двумя ветвями субширотного сброса (с амплитудой до 1200 м), по которым поверхность фундамента ступенчато погружается с севера на юг.

На КНГКМ над комплексом пород фундамента выявлены три структурно-литологических этажа: подсолевой, солевой и надсолевой, образованные

отложениями среднего-верхнего палеозоя, мезозоя (триасовая, юрская и меловая системы) и кайнозоя (неогеновая и четвертичная системы).

Все эти этажи по-разному реагировали на тектонические стрессы и образовали специфические, присущие только им дислокации.

Структура КНГКМ представляет собой карбонатный массив с размерами 30x15 км, формировавшийся с позднего девона по артинский век нижней перми.

Массив осложнен куполами: северным, центральным двухкупольным, южным и западным. Генетически этот массив связан с образованием гетерогенного рифа и платформенного карбонатного комплекса (Рисунок 4.2).

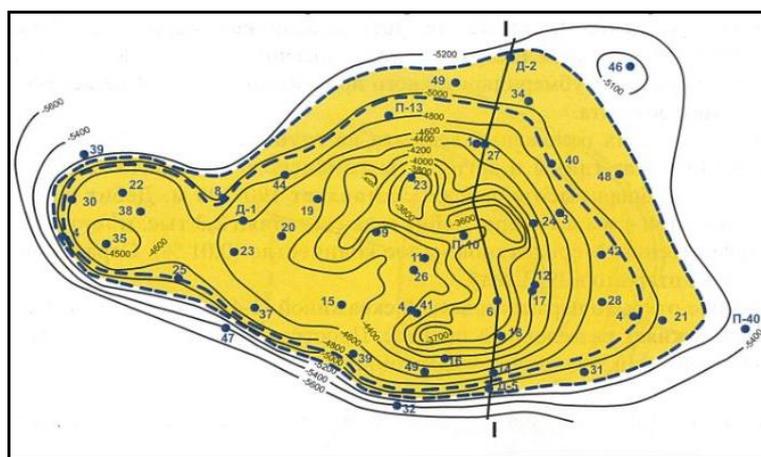


Рисунок 4.2 – Структурная карта по кровле карбонатного коллектора [165 с.247]

Верхнепалеозойский структурный этаж разделяется на три подэтажа: верхнедевонско-турнейский, визейско-башкирский и раннепермский, каждый из которых характеризуется несколько отличным от других структурным планом (Рисунок 4.3).

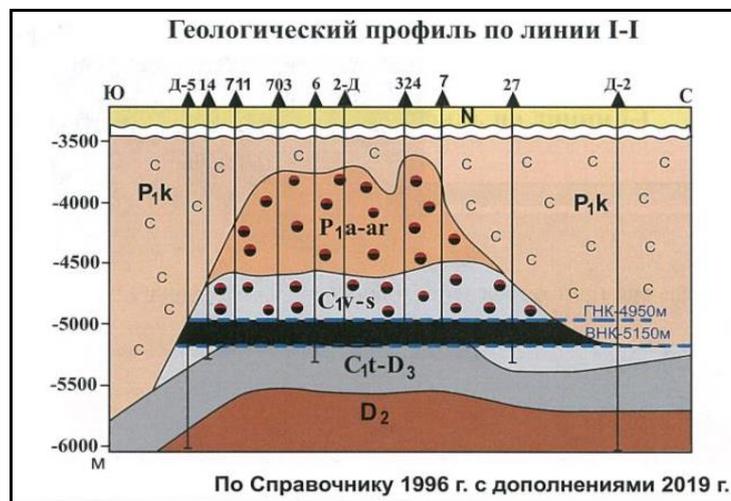


Рисунок 4.3 - Типовой схематический геологический разрез КНГКМ [165 с.247]

Разрывные нарушения берут начало в кристаллическом фундаменте и прослеживаются вплоть до филипповского горизонта нижней перми. Данные разломы являлись причиной генерации ослабленных зон, по которым впоследствии происходило внедрение соли и образование соляных куполов.

Нижний структурно-литологический этаж охватывает породы от девона до артинского века включительно и характеризуется распространением рифовых массивов (Рисунок 4.3). Разделяется на три подэтажа: верхнедевонско-турнейский, визейско-башкирский и раннепермский, каждый из которых характеризуется отличным от других структурным планом и формационным наполнением.

Каменноугольные коллектора разделены на слоистую серию верхней внутренней платформы, нижнюю и верхнюю биогермные серии.

Верхняя серия представлена раннепермскими рифами, которые сформировались над ранее существовавшей каменноугольной карбонатной платформой.

Основная разрабатываемая нефтегазоконденсатная залежь связана с карбонатными верхнедевонскими (фаменскими), каменноугольными и нижнепермскими (по артинский ярус, включительно) отложениями, лишенными терригенной примеси [165].

В составе карбонатного массива наибольшее распространение получили породы биогермного (43%) и биоморфно-детритового (38%) типов, присутствуют также органогенно-обломочные (3%) и биохеогенные разновидности известняков (2%).

Перекристаллизованные карбонатные породы составляют 14%. В центральной части массива преобладают известняки (70-80%), доломиты и доломитизированные породы (30-20%). На склонах массива резко уменьшается доля известняков (до 30%), доломитов (20%) и возрастает доля переходных разновидностей пород (50%).

В основании нижнепермских отложений и в низах визейского яруса прослеживаются невыдержанные по толщине и простирацию пласты глинистых известняков с прослоями аргиллитов.

В целом, присутствие в разрезе доверхнепермских отложений КНГКМ широкого набора горных пород: аргиллиты, органогенные известняки, алевролиты, доломиты, карбонатные породы, ангидриты, каменная соль, глины, песчаники, суглинки, пески и их разновидности (Рисунок 4.3) создали условия для формирования неравномерного напряженно-деформированного состояния геологической среды, что необходимо учитывать при оценках возможности возникновения различных сценариев геодинамических ситуаций (аномальных вертикальных подвижек по разломам, крупных просадок дневной поверхности, от десятков сантиметров до метров, горизонтальных подвижек в массивах горных пород, природных и техногенных землетрясений).

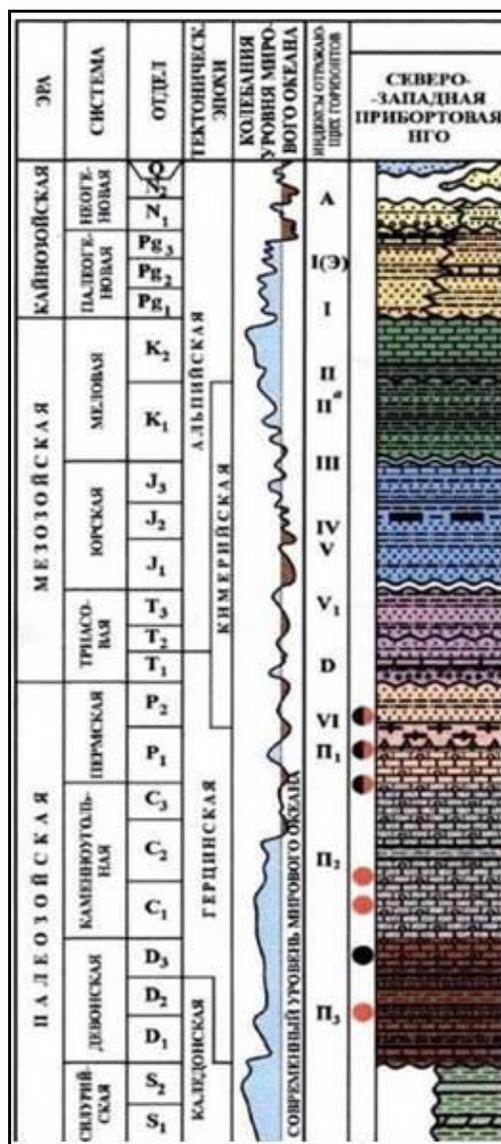


Рисунок 4.4 - Литолого-стратиграфический разрез КНГКМ

Нижнепермские терригенные отложения сформированы гипсами, ангидритами с тонкими субгоризонтальными прослоями мелкокристаллических доломитов; толщей каменной соли с прослоями доломитов, ангидритов и гипса. В верхней части залегают отложения, сложенные пачкой мергелистых и песчанистых глин (Рисунок 4.4).

В среднем структурно-литологическом этаже, сложенном пластичными кунгурскими солями, образовались резко дисгармоничные структуры по отношению как к подстилающему, так и к перекрывающему этажам.

Широко распространено суждение, согласно которому соляная тектоника в среднем структурно-литологическом этаже видоизменила структурный план надсолевых и подсолевых отложений [144].

Развитие соляно-купольных структур было во многом предопределено структурными особенностями элементов фундамента, поскольку соляные купола и валы большей частью повторяют ориентировку бортового подсолевого уступа [142].

В основании верхнего структурно-литологического этажа залегают красноцветные породы верхней перми. Литологический состав триасовых отложений представлен песками, полимиктовыми песчаниками, конгломератами и глинами (Рисунок 4.4).

Отложения юрской системы на КНГКМ сложены песчано-глинистыми породами. Преобладают пески светло-серые, серые, коричневато-серые, мелкозернистые, кварцевые, глинистые, содержащие рассеянную и в виде линз гальку кварца и кремня. Выше по разрезу пески сменяются песчано-глинистой толщей, характеризующейся переслаиванием серых и темно-серых песчаных глин с песком и алевритом [165 с. 247].

В меловой системе наблюдаются песчаные глины с неясной слоистостью, а также выделяются черные жирные глины, участками сажистые. Выше по разрезу выделены слабо песчаные, слюдяные, жирные глины с тонкими прослоями крепких песчаников зеленовато-серого цвета. Окраска глин серая, темно-серая с зеленоватым оттенком (Рисунок 4.4).

Неогеновые отложения с резким стратиграфическим несогласием залегают на различных горизонтах нижнего мела и триаса. Нижняя часть разреза представлена зеленовато-серыми, темно-серыми глинами с прослоями зеленовато-серых глауконитовых песков, песчаников с галькой и гравием меловых пород. В верхней части залегают коричневые и красновато-бурые глины, суглинки, желтовато-серые пески.

Отложения четвертичной системы образовались в континентальных условиях и сформированы желто-бурыми, коричнево-бурыми, реже мелоподобными грубыми неслоистыми суглинками с редкой плохо окатанной галькой меловых отложений и хорошо окатанной мелкой галькой.

Дневная поверхность на КНГКМ представлена делювиальным склоном и речными террасами. Суффозионные воронки расположены на границе третьей надпойменной террасы и делювиального склона [158].

## **4.2 Газонефтяное месторождение Бозашы Северный (ГНМБС)**

Геология района месторождения изучена бурением скважин на глубину более 5400 м, а непосредственно на самом месторождении - до глубины 3500 м.

В основание разбуренного разреза залегают отложения девонского возраста. Верхнепалеозойские отложения вскрыты единственной скважиной 7 и представлены неравномерно переслаивающимися аргиллитами и известняками.

Нижнетриасовые отложения, входящие в состав складчатого основания эпигерцинской платформы, сложены плотными аргиллитами, мелкозернистыми песчаниками с микропрослойками глинистого аргиллита.

Наибольшей дислоцированностью подвергся доюрский комплекс пород, выше по разрезу деформированность пород заметно сокращается.

Структура месторождения Бозашы Северный представляет собой асимметричную, нарушенную серией разломов брахиантиклинальную складку северо-восточного простирания, расположенную в присводовой части



нефтенасыщенности 64%. Начальные пластовые давления составили 4,2-4,4 МПа. Нефти тяжелые, с плотностью 937 кг/м<sup>3</sup>.

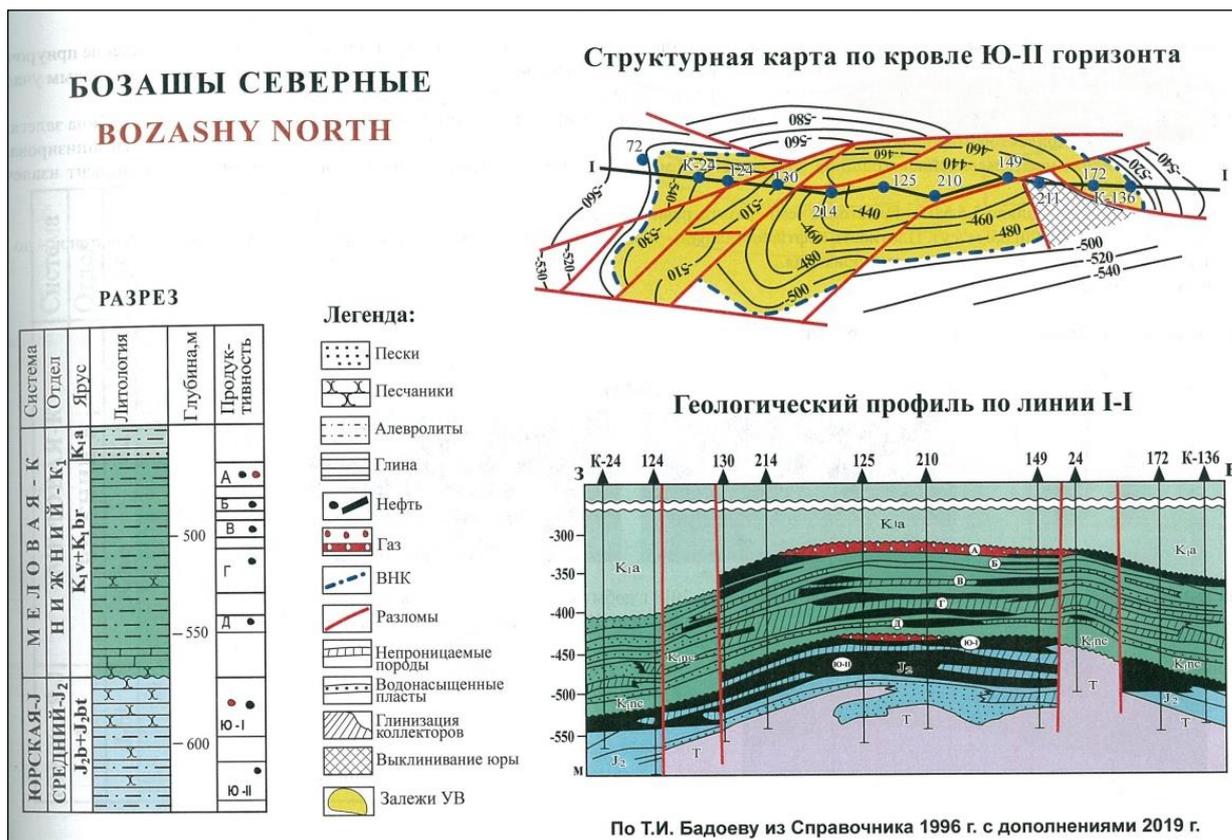


Рисунок 4.6 – Структурная карта по кровле Ю-II горизонта и геологический профиль с разрезом по линии I-I [165 с.85]

В отложениях нижнего мела разведаны 1 нефтегазовый и 4 чисто нефтяных горизонта. Как и в среднеюрском комплексе, меловые скопления газа занимают апикальную часть нижнемелового резервуара и сконцентрированы под региональной аптской глинистой покрывкой. Высота газовой части достигает 16,9 м. Залегающие ниже нефтяные горизонты имеют эффективные толщины 2,8-3,2 м. Характеристика мелового резервуара по физическим параметрам (коллекторам, пластовым давлениям) сходна с данными по юрскому комплексу.

Район расположения структуры месторождения Бозашы Северный характеризуется высокой тектонической активностью, способствовавшей образованию широкой сети тектонических нарушений, разбивших структуру на блоки, число которых достигает 14.

Субширотно ориентированный Северо-Бозашинский разлом обладает большой протяженностью и является основным структурообразующим тектоническим нарушением, по плоскостям которого северное крыло структуры опущено относительно южного крыла с амплитудой до 80-100 м. В западном направлении наблюдается уменьшение амплитуды этого разлома в

переходной зоне, где происходит его сочленение с основным взбросом Каражанбасской антиклинали.

Северо-Бозашинский разлом оперяется поперечными системами дизъюнктивов, которые в меловых отложениях ориентированы в северо-западно-юго-восточном направлении, а в отложениях юрского возраста - в юго-западно-северо-восточном направлении, тем самым указывая на изменения в режиме тектонических напряжений между этими двумя периодами геологического развития.

## 5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ И АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА

### 5.1. Виды, объемы и точность наблюдений базового комплекса методов геодинамического мониторинга

Широкий диапазон форм проявлений современной природно-техногенной геодинамики недр диктует необходимость применения тщательного подхода к выбору методов измерительных систем. В свою очередь в составе последней целесообразно выделять четыре информационно взаимосвязанных подсистемы: деформационной, геофизической, сейсмологической и флюидо-геохимической (Рисунок 5.1).

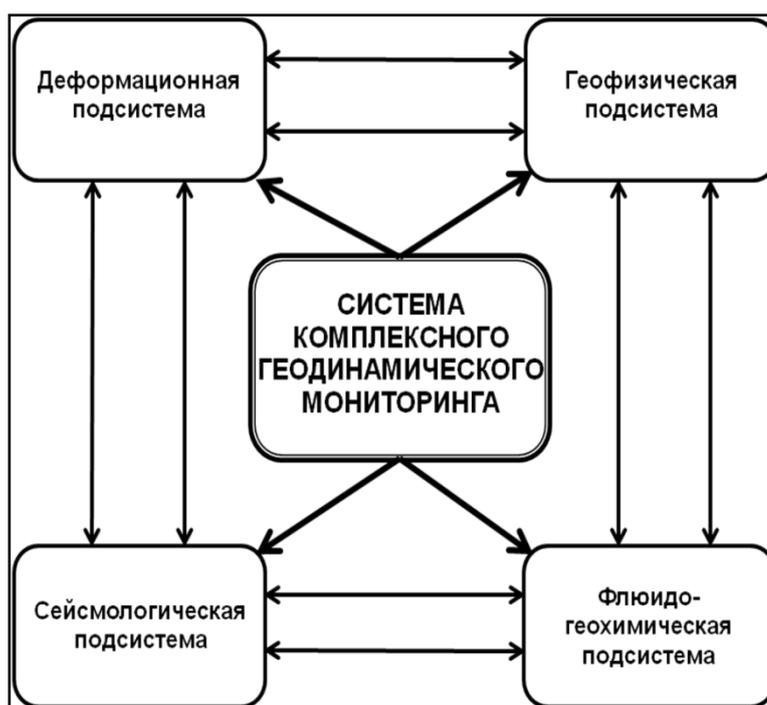


Рисунок 5.1 – Система комплексного геодинамического мониторинга

Деформационная подсистема включает в себя совокупность методов наблюдений, обеспечивающих получение всей необходимой информации о современном напряженно-деформированном состоянии геологической среды различного пространственного масштаба.

Геофизическая подсистема включает в себя совокупность методов, обеспечивающих получение необходимой информации о вариациях геофизических полей во времени, обусловленные природными и техногенными геодинамическими и флюидо-динамическими процессами.

Сейсмологическая подсистема включает выполнение сейсмологического мониторинга в непрерывном режиме на разрабатываемом месторождении УВ и смежных участков для площадной регистрации землетрясений (с  $M=1$  и более)

и определения сейсмического режима природного и техногенно-индуцированного генезиса.

Флюидо-геохимическая подсистема включает совокупность методов наблюдений, обеспечивающих получение информации о вариациях химического состава флюидов и динамическом состоянии флюидных систем природно-тектонического и техногенного генезиса. В совокупность этих методов входят углеводородная, гелиметрическая и эманационная съемки, а также контроль за уровнем и химическим составом приповерхностных и пластовых вод.

По месторождениям РК проводится большой комплекс исследований по анализу и интерпретации результатов геодинимического мониторинга в комплексе с имеющимися геолого-геофизическими и промыслово-геологическими данными.

Методы мониторинга с наибольшей распространенностью и эффективностью объединены *в базовый комплекс* методов, который включает повторные высокоточные гравиметрические измерения, повторное точное нивелирование и GPS-измерения. На некоторых месторождениях, главным образом крупных, использовался сейсмологический мониторинг.

Сведения по некоторым недропользователям и месторождениям УВ РК, в которых выполняется геодинимический мониторинг базовым комплексом методов, приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1- Виды и объемы работ геодинимического мониторинга на месторождениях углеводородов РК по состоянию на 2010 год

№ п п	Месторождения	Недропользователи	Количество нивелирных пунктов	Количество GPS-пунктов	Количество гравиметрических пунктов
1	2	3	4	5	6
1	Тенгиз и Королев	ТОО «Тенгизшевройл»	112	46	161
2	Узень Карамандыбас	ПФ «Озеньмунайгаз»	162	135	202
<b>3</b>	<b>Карачаганак</b>	<b>СП «Карачаганак Петролеум Оперэйтинг»</b>	<b>85</b>	<b>40</b>	<b>150</b>
4	Акшабулак	СП «Казгермунай»	51	23	87
5	Нуралы	СП «Казгермунай»	45	22	46
<b>6</b>	<b>Бозашы Северный</b>	<b>СП «Бузачи Оперэйтинг»</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>112</b>
7	Ц.В.Прорва	РД «Казмунайгаз»	19	5	27
8	Ботахан	РД «Казмунайгаз»	15	12	30
9	С.Балгимбаев	РД «Казмунайгаз»	31	9	30
10	Вост.Молдабек	РД «Казмунайгаз»	35	15	45
11	Матин	ТОО «Матин»	25	16	35
12	Кара-Арна	ТОО «Арнаойл»	17	10	22
13	Вост. Кок-Арна	ТОО «Арнаойл»	12	8	14
14	Каражанбас	АО «Каражанбасмунай»	104	13	45

1	2	3	4	5	6
15	Жетыбай	АО «Мангистаумунайгаз»	77	30	108
16	Каламкас	АО «Мангистаумунайгаз»	62/122	30	122
17	Жанажол	CNPC	60	22	104
18	Кенкияк	CNPC	67	29	124
19	Жана Макат	ТОО «Samek Inter.»	50	11	40
20	Контракт. Терр.	ТОО «АлгаКаспийГаз»	60	21	75
21	Сев.Каражанбас	Фирма «Физтех»	50	20	40
22	Каменистое	ТОО «Каменистое»	30	16	60
<b>ВСЕГО</b>			<b>1218</b>	<b>565</b>	<b>1534</b>
<b>в том числе:</b>					
<b>-заложенные</b>			<b>703</b>	<b>386</b>	<b>961</b>
<b>- проектные</b>			<b>515</b>	<b>179</b>	<b>573</b>

Виды мониторинга, статус измерений и используемые приборы, а также планируемая точность наблюдений базовых методов приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2- Техничко-метрологическое оснащение работ по проведению геодинамического мониторинга на территории разрабатываемых месторождений УВС

Виды мониторинга	Статус измерений	Используемые приборы	Планируемая точность измерений
Нивелирование II класса	Повышенная точность измерений	Цифровые нивелиры в комплекте с инварными рейками: Trimble DiNi 12T-32, Trimble DiNi 22-26, Sokkia SDL, LEICA DNA 03, LS 15 и т.п.	Среднеквадратическая случайная ошибка: $\pm 1,0-1,2$ мм/км
GPS-измерения	Высокоточные измерения	GPS приемники: Legacy-E GGD или Trimble 4700-5700 TS; GPS-антенны: Topcon-JAVAD Regant DDE или CR-Snow	Среднеквадратическая ошибка определения координат: в плане $\pm 2,0-2,5$ мм; по высоте $\pm 2,5-3,0$ мм
Гравиметрические измерения	Высокоточные измерения	Гравиметры CG-3M или CG-5 и CG-6 "Autograv" Фирмы Scintrex (Канада) или аналогичные гравиметры	Среднеквадратическая погрешность $\pm 5-7$ микрогалл
Сейсмологические наблюдения	Высокоточные измерения	DAS-602 (США), GSR-18 (Швейцария), СИГМА-2 (Россия)	

В таблицах 5.1 и 5.2 также дифференцированно по методам приведены объемы выполненных работ по геодинамическому мониторингу. Дана характеристика точности выполненных работ.

## **5.2. Методика проведения комплексного геодинамического мониторинга на примере месторождений УВС**

В контексте диссертационных исследований методика проведения базового комплекса геодинамического мониторинга рассмотрена на примере на Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения (КНГКМ) и газонефтяного месторождении Бозашы Северный (ГНМБС) за известные интервалы времени, на которых были выполнены:

- гравиметрические измерения;
- нивелирование II класса повышенной точности;
- GPS наблюдения.

Помимо вышеперечисленных базовых методов, по этим месторождениям УВ были использованы частично сведения по сейсмологическим наблюдениям, [163], (по Подольному О.В. и др.), радарной интерферометрии [166, 155] и специфическим электроразведочным методам [190].

### **5.2.1. Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение (КНГКМ)**

На КНГКМ мониторинг геодинамических процессов начался в 2002 году с инициирования локальной программы сейсмологического мониторинга, которая продолжалась до конца 2007 года [163].

В 2008 г. была разработана программа комплексного геодинамического мониторинга, предусматривающая применение нивелирования II-класса повышенной точности, гравиметрической и GPS-съемок, сейсмологического мониторинга, направленных на получение информации о развитии на территории КНГКМ событий природно-техногенного генезиса, определение их уровня, масштаба площадного распространения и скорости развития.

В соответствии с разработанной программой работ на 2009-2012 гг. на КНГКМ выполнен комплекс предварительных работ, включивший полевую рекогносцировку местоположения запроектированных пунктов геодинамического мониторинга, изготовление и закладку этих пунктов на территории месторождения и проведение одного цикла мониторинга [163].

Базовый комплекс методов геодинамического мониторинга составили:

- повторное точное нивелирование;
- повторные высокоточные спутниковые GPS-измерения;
- повторные высокоточные гравиметрические измерения;
- сейсмологический мониторинг.

Первые работы по заложению пунктов геодинамического мониторинга для изучения деформационных процессов на месторождении были проведены компанией «Геомар» в 2008 г [163].

В 2009 г. первый цикл нивелирования II класса повышенной точности на КНГКМ был выполнен вдоль четырех профилей, одном продольным и на трех поперечных, которые образуют свободную (незамкнутую) систему линий.

Исследования проводились с целью определения:

- современной активности разломов, которые активизировались или могут активизироваться под влиянием процессов разработки КНГКМ;
- амплитуды современных вертикальных движений дневной поверхности, в том числе просадки последней, связанных с извлечением углеводородного сырья, падением пластового давления, неравномерным площадным распределением физических свойств пород-коллекторов и др.;
- горизонтальных подвижек массивов горных пород, как следствие интенсивных просадок дневной поверхности, которые могут усиливаться за счет влияния локальных неоднородностей в пластических породах (соленосные отложения), играющих роль «смазки» при горизонтальных смещениях;
- локальных деформационных процессов в продуктивных интервалах разреза (уплотнение пород-коллекторов), усиливающих проседание поверхности;
- развития местной техногенной и индуцированной сейсмичности.

Комплексный мониторинг проводился два раза в год (количество циклов зависит от интенсивности и изменения параметров деформаций во времени). Всего, с 2009 по 2012 г. на полигоне КНГКМ было выполнено 7 циклов мониторинга.

### **5.2.2 Газонефтяное месторождение Бозашы Северный (ГНМБС)**

В 2007 году на территории газонефтяного месторождения Бозашы Северный был создан комплексный геодинамический полигон для проведения мониторинга за возникновением и развитием природно-техногенных деформационных процессов и исследованию их связей с процессами разработки этого месторождения.

Базовый комплекс методов геодинамического мониторинга составили:

- повторное точное нивелирование II класса повышенной точности;
- повторные высокоточные спутниковые GPS-измерения;
- повторные высокоточные гравиметрические измерения;
- радарная интерферометрическая съемка.

Комплексный геодинамический мониторинг проводился два раза в год (количество циклов зависит от интенсивности и изменения параметров деформаций во времени). Всего, с 2007 по 2014 г. на полигоне ГНМБС было выполнено 13 циклов мониторинга.

Исследования проводились с целью определения:

- современной активности разломов, которые могут существенно активизироваться под влиянием процессов разработки ГНМБС;
- амплитуд современных вертикальных и горизонтальных подвижек массивов горных пород, как следствие интенсивных просадок дневной поверхности, связанных с извлечением углеводородов, падением пластового давления, неравномерным площадным распределением физических свойств пород-коллекторов и др. [163].

### 5.2.3. Нивелирование II класса повышенной точности

Как отмечалось выше, для изучения параметров современных вертикальных движений дневной поверхности на КНГКМ и ГНМБС была использована методика нивелирования II класса повышенной точности, которая предусматривает сочетание относительно быстрого производства наблюдений с достижением достаточно высокого уровня измерений.

Применение такой методики позволило надежно выявить значимые локальные аномалии современных вертикальных движений дневной поверхности с амплитудами от 3-5 мм и выше (за различные периоды времени, на КНГКМ за трехлетний интервал времени на ГНМБС за 7-летний).

Полученные данные обладают достаточно высокой точностью-средние квадратические случайные ошибки нивелирования составляют порядка  $\pm 1,0-1,2$  мм/км.

Нивелирование по каждому профилю проводилось от одного и того же начального нивелирного пункта в каждом цикле измерений, что обеспечило корректное сравнение результатов нивелирования каждого цикла по каждому пункту профиля.

В процессе переобработки результатов измерений были учтены следующие данные:

- расстояния между смежными пунктами нивелирования, длина профиля в текущем цикле измерений;
- превышения между смежными пунктами нивелирования на прямом и обратном ходах по каждому профилю нивелирования в виде ведомостей;
- допустимые и фактические невязки по каждому профилю нивелирования в текущем цикле с оценкой точности и качества работ по каждому профилю;
- рабочая схема размещения профилей повторного нивелирования и пунктов вдоль них.

Выполнена переобработка цифровых материалов с получением на выходе основных результатов нивелирования:

1. Оценка точности и расчет средней квадратической случайной ошибки нивелирования;
2. Расчет количественных параметров современных вертикальных движений дневной поверхности на базе накопления разностей превышений вдоль профилей нивелирования за разные промежутки времени. Информация о накопленных превышениях по каждому пункту нивелирования используется при расчете поправки, вводимой в результаты гравиметрических измерений (поправка за изменение высоты пункта).
3. Построение графиков вертикальных движений дневной поверхности вдоль профилей нивелирования за различные промежутки времени.

#### **5.2.4. Высокоточные спутниковые GPS измерения**

На КНГКМ и ГНМБС результаты высокоточных спутниковых GPS измерений были использованы для решения задач по оценке современного деформационного состояния недр этих месторождений УВС.

Для оптимизации комплекса геофизических и геодезических исследований и повышения достоверности получаемых данных и в целях контроля результатов измерений вертикальной компоненты смещений были совмещены пункты GPS, повторного высокоточного нивелирования и гравиметрических исследований.

Для исключения аппаратной ошибки применялись не только однотипные антенны, но и вообще сохранялась схема расстановки оборудования (т.е. на одном и том же пункте использовались одни и те же антенны в каждом цикле наблюдений).

Точность измерений смещения точек друг относительно друга составила в пределах 2-3 мм. Требуемую точность определения координат обеспечила технология дифференциальной GPS, когда одновременно работали 2 или более двухчастотных приемников, установленных на разных пунктах. В этом случае, один приемник считается базовым (неподвижным), а остальные – определяемыми (движущимися).

Наблюдения выполнены в режиме статики с продолжительностью сеанса не менее 20 часов с интервалом записи 30 секунд, маска превышений 15°.

Качество измерений оценено по разбросу координат на базовых векторах в разных сеансах; расхождениям на точках перекрытия сессий. Среднеквадратические ошибки не превышали в плане  $\pm 3$  мм (определение координат), по высоте  $\pm 5$  мм (определение абсолютных высот).

По завершению натурных GPS-наблюдений в камеральный период выполнена переобработка данных, введены поправки за состояние ионосферы, проведена фильтрация шумов. В результате на выходе получены координаты и высоты пунктов текущего цикла наблюдений с исключением влияний факторов-помех.

#### **5.2.5. Гравиметрические измерения**

Вариации силы тяжести отражают деформационные процессы, которые происходили и происходят в промышленных горизонтах – это возможное сжатие (уплотнение) пород-коллекторов за счет отбора углеводородов, изменения во времени пластового давления и баланса отбор-закачка жидкости.

Как отмечалось выше на КНГКМ и ГНМБС высокоточные гравиметрические измерения выполнялись в целях долговременного контроля за пространственно-временными изменениями напряженно-деформированного состояния и флюидодинамики геологической среды на месторождениях УВС, а также исследования связей аномальных вариаций силы тяжести с процессами разработки месторождения во времени.

Неравномерное пространственно-временное изменение плотностных

характеристик пород-коллекторов в процессе разработки КНГКМ и ГНМСБ приводят к перераспределению локальных напряжений в продуктивных интервалах геологического разреза и возможности возникновения аномальных деформационных процессов.

Вариации силы тяжести на КНГКМ и ГНМСБ отражают также флюидодинамические процессы в продуктивных интервалах геологического разреза, связанные с добычей углеводородного сырья и вторичными воздействиями на продуктивные пласты, а также отражают пространственно-временные изменения водо- и газонефтяного контакта.

Поэтому, существование связей между деформационными процессами и вариациями силы тяжести позволило использовать пространственно-временные параметры вариаций в качестве прогностических признаков возникновения аномальных геодинамических процессов, а повторные гравиметрические измерения - наметить активные звенья разломов, что открыло возможность оценки степени проницаемости геологического разреза, которая может возрасти за счет активных параметрических деформаций в разломных зонах в период разработки месторождения.

В итоге, параметры пространственно-временного изменения вариаций силы тяжести использованы в качестве важных дополнительных критериев для выделения участков с аномальными деформационными и флюидодинамическими процессами природно-техногенного генезиса на территории месторождений УВС.

Задачи, решаемые при проведении гравиметрического мониторинга, свелись к:

1) Обследованию пунктов наблюдений с целью оценки их физического состояния.

2) Измерению приращения силы тяжести на наблюдательных пунктах. Гравиметрические измерения выполнены одновременно с проведением повторного нивелирования вдоль исследуемых профилей.

Для максимального снижения влияния систематических ошибок при производстве гравиметрических измерений соблюдены следующие методические требования:

- измерения проводились на долговременных пунктах, совмещенных с нивелирными пунктами;

- наблюдения проводились одними и теми же типами гравиметров (прецизионные автоматизированные гравиметры CG-5 и CG-6 «AUTOGRAV» фирмы SCINTREX) в течение длительного времени для исключения влияния индивидуальных особенностей гравиметров (погрешностей масштабных коэффициентов, температурных поправок и др.);

- наблюдения в каждом цикле проводились по одной и той же схеме построения рейсов - по методике «центрального опорного пункта» (измерения в начале и завершении рейса в течение дня проводились на одном и том же специально выбранном пункте – ОГП);

- влияние случайных погрешностей исключены за счет проведения многократных измерений (не менее трех) и статистической обработки результатов наблюдений;

- циклы (эпохи) наблюдений были привязаны к одному и тому же сезонному периоду (весна и/или осень) для минимизации влияния сезонных вариаций (изменения уровня грунтовых вод, уровня воды в водоемах, температуры, атмосферного давления и др.).

В каждом цикле гравиметрических наблюдений значения гравитационного поля на каждом пункте получены с ошибкой  $\pm 5-7$  мкГал, что позволило надежно выявить локальные вариации силы тяжести с минимальной амплитудой порядка 10-15 мкГал.

Перед началом работ гравиметры прошли тестирование на Государственном гравиметрическом полигоне Капчагай-Алматы. Проверка работоспособности гравиметров на полигоне выполнялась после установки параметров, настройки смещения и чувствительности датчиков наклона. Нелинейность суточных дрейфов гравиметров не превышало 0.025 мГал.

Была выполнена переобработка результатов гравиметрических измерений «во вторые руки».

В первую очередь проведена обработка сырых данных и анализ вариаций силы тяжести за различные периоды времени. Чтобы исследовать природу выявленных вариаций (изменений) силы тяжести, исследованы и исключены соответствующим образом влияние различных факторов.

Два основных фактора приводят к изменению силы тяжести при разработке месторождения углеводородов – это перемещение масс в продуктивных пластах, изменение высоты дневной поверхности (проседание или подъем) и ритмичные изменения геологической среды, вызванные климатическими обстоятельствами.

К перемещениям масс в продуктивных пластах следует относить добычу углеводородного сырья, закачку флюида в продуктивные пласты для поддержания пластового давления, уплотнение пород коллекторов в процессе разработки месторождения углеводородов.

Задачей гравиметрического мониторинга является установление вариаций силы тяжести, вызванных именно этими факторами. В свою очередь это достигается с наибольшей достоверностью при исключении влияния факторов-помех.

Учет факторов-помех достигнуты путем ввода корректирующих поправок в значения вариаций силы тяжести за различные промежутки времени.

*Вариации силы тяжести, связанные с изменением высот пунктов измерений.*

Процедура ввода поправок за изменение высот гравиметрических пунктов за исследуемые интервалы времени по всем профилям, является обязательной, именно с этой целью все гравиметрические пункты совмещены с нивелирными пунктами.

Результаты гравиметрических наблюдений представлены с учетом поправки за изменение высоты, произошедшее в этот же промежуток времени:

$$\Delta g^H = 0,3086 \cdot \Delta H \quad (1)$$

где  $\Delta g^H$  – вариации силы тяжести, вызванные изменением высоты пункта наблюдений при постоянной массе подстилающих пород, мкГал;

$\Delta H$  – изменение высоты пунктов, определенное по данным высокоточного нивелирования за соответствующие интервалы времени, мм.

Вариации силы тяжести с учетом вертикальных движений дневной поверхности составляют:

$$\Delta G^{\Delta H} = \Delta G + \Delta g^H \quad (2)$$

где  $\Delta G^{\Delta H}$  – вариации силы тяжести за определенный интервал времени с учетом изменения высоты пункта наблюдений, мкГал;

$\Delta G$  – измеренные значения вариаций силы тяжести на пункте наблюдений за различные интервалы времени, мкГал.

Поправки, связанные с изменением положения дневной поверхности за указанные интервалы времени, определены по результатам нивелирования II класса повышенной точности за один и тот же временной интервал.

В результате гравиметрического мониторинга получены изменения приращений силы тяжести как по измеренным значениям, так и по значениям, скорректированным путем ввода указанных выше поправок за влияние факторов, характеризующих, в первую очередь, природно-климатическую обстановку КНГКМ и ГНМСБ.

#### **5.2.6. Сейсмологический мониторинг на КНГКМ**

Для проведения сейсмологического мониторинга на КНГКМ создана сеть сейсмостанций, которая является оптимальной как по апертуре (геометрической форме), так и по отношению к системам обустройства нефтегазодобывающего комплекса и основным структурно-геологическим особенностям месторождения.

Количество и расположение станций в локальной сети наблюдений определялось, исходя из минимального энергетического класса ожидаемых землетрясений.

#### **5.2.7. Космический радарный мониторинг на ГНМСБ**

В 2014 году на ГНМСБ начат регулярный мониторинг на основе съемок со спутников COSMO-SkyMed (e-GEOS, Италия).

Интерферометрическая обработка радарных космофотоснимков с целью выявления смещений и деформаций дневной поверхности на месторождении Бозашы Северный выполнялась в программном комплексе SARscape (Exelis VIS, США) по методу интерферометрии серий малых базовых линий (Small Baselines Series Interferometry, SBaS).

## **5.2.8. Комплекс методов электроразведки, гравиметрии, спутниковой геодезии и лабораторных исследований грунтов для решения задач ГДМ на КНГКМ**

### ***Методика и аппаратура GPS съемки (1 этап исследований)***

Площадь развития суффозионно-просадочных процессов на дневной поверхности расположена в северо-восточной части КНГКМ. Эти явления в виде воронок, проявились в трех практически параллельных субширотных зонах.

В этой части КНГКМ выполнена GPS съемка (топографо-геодезическая съемка). Методика полевых работ, аппаратурное обеспечение и результаты интерпретации этой съемки достаточно подробно освещены в нашей опубликованной статье [146].

### ***Площадные микролокальная гравиметрическая съемка и электроразведка методом электромагнитного индукционного частотного зондирования, лабораторный анализ образцов керна (2 этап исследований)***

Геолого-геофизические исследования второго этапа проведены на площади 47 230 кв. м.

Высокоточная микролокальная гравиметрическая съемка выполнена в объеме 2197 физических точек автоматизированными гравиметрами AutoGrav CG-5.

Рядовая гравиметрическая съемка на участке работ проведена по сети 10 x 8 м, 5 x 4 м. Выявленные аномалии детализировались по сети 2,5 x 2 м и 2,5 x 4 м.

По методу электромагнитного индукционного частотного зондирования (ЧЗ) проведено 2868 измерений. Расстояние между соседними пунктами ЧЗ по профилям – от 1 до 10 м, межпрофильное расстояние изменялось от 4 до 8 м.

Электроразведочные измерения выполнялись электромагнитным сканером (ЭМС – 21) на высоте 23 см над поверхностью земли. Эффект зондирования достигнут за счет проведения измерений на различных частотах (в диапазоне от 2.5 до 250 кГц). Диапазон измерений удельного электрического сопротивления изменялся от 100 Ом\*м до 1 Ом\*м.

### ***Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электротомография (ЭТ), электромагнитное зондирование становлением поля (ЗС) (3 этап исследований)***

Привлечены для: а) исследования глубинной части разреза (метод ЗС), б) определения строения разреза до глубин в первые сотни метров на участках суффозионно-просадочных процессов (метод ВЭЗ), в) расчленения приповерхностной части разреза (метод ЭТ).

Полученные результаты обработаны и интерпретированы современными программно-алгоритмические средствами моделирования, инверсии, двух- и трехмерной визуализации [198].

Электромагнитные зондирования (ЗС) выполнены цифровой телеметрической аппаратурой серии «БАЙКАЛ МЭРС» по методике

пространственно-временной регистрации сигнала становления поля с индуктивной установкой «соосные петли» [195].

В качестве генератора (Q) использовались незаземленные петли квадратной формы со стороной равной 100 и 200 м. Измерения осуществлялись незаземленной квадратной петлей (q) со стороной 50 и 100 м. Глубинность исследования составила 450–500 м.

На индуктивную составляющую поля практически не влияют высокоомные экраны и приповерхностные неоднородности, имеется повышенная устойчивость к промышленным и магнитотеллурическим помехам [195].

*Измерения методом ВЭЗ* выполнены симметричной градиентной четырехэлектродной установкой Шлюмберже с максимальным разносом  $AB/2 - 480$  м, с использованием аппаратуры SGD «MEDUSA».

Измерения методами ЗС и ВЭЗ выполнены в 38 пунктах. Измерения проводились в одних и тех же пунктах в два этапа [190].

На первом этапе пройдены два ортогональных профиля длиной в 1200 м, пересекающие площадь исследования, а на втором этапе измерения выполнены по площади размером 360x460 м непосредственно в зоне обнаруженных воронок для выявления закономерностей развития суффозионно-просадочных процессов.

*Измерения методом электротомографии (ЭТ)* - многоэлектродные зондирования высокой плотности на постоянном токе проведены на площади проявления суффозионных воронок по широтным меридиональным профилям с использованием электроразведочной станции «Скала-48» с такой же плотностью съемки, как и у частотного зондирования [190].

Методом электротомографии получены данные по 48 меридиональным профилям длиной 355 м и по 11 профилям широтного простирания длиной 475 м.

Шаг между профилями составил 10 м. Для создания профиля необходимой длины применялась нагоняющая расстановка (roll along). 48 электродов объединены в косу общей длиной в 240 м, разделенную на два сегментами по 24 электрода с шагом 5 м между ними [190].

Предварительная переобработка данных ЭТ выполнена с помощью программного обеспечения SiBER Tools, предназначенного для создания и редактирования файлов с параметрами установок, а также первичной обработки данных, которая заключается в фильтрации, компоновке и экспорте данных в программы интерпретации.

### **5.3. Современное аппаратурно-методическое обеспечение при проведении геодинамического мониторинга**

В настоящее время для определения геодинамических параметров и в целях контроля за деформационными и сейсмическими процессами различного пространственно-временного масштаба в Казахстане применяется базовый комплекс аппаратурных средств, перечисленных в таблице 5.3.

Поскольку основным принципом создания системы ГДМ является унификация применяемой аппаратуры, методик измерений и обработки получаемой информации, очень важным моментом является соответствие применяемых аппаратных средств поставленным задачам.

В свою очередь выбор аппаратуры и оборудования для измерительной системы ГДМ определяется действующими геодинамическими факторами и заданными диагностическими показателями – контролируемыми параметрами. Получение достоверных данных о геодинамическом состоянии объектов мониторинга и обоснованное решение задач геодинамического мониторинга обеспечивается надежным, безотказным функционированием измерительной и информационно-коммуникационной систем мониторинга.

Качество измерительной и информационно-коммуникационной систем мониторинга обеспечивается использованием прошедших выходной (на предприятии-изготовителе) и входной (при установке и монтаже на измерительных пунктах) контроль измерительных приборов, регистрирующей аппаратуры, кабельных линий и иных устройств, обеспечивающих внутреннюю и внешнюю связь.

Конструкция измерительных датчиков и регистрирующей аппаратуры должна обеспечивать их безопасность (защищенность от внешних воздействий) и возможность контроля их работоспособности, ремонта и/или замены без нарушения принятого режима эксплуатации измерительной сети.

Измерительные датчики и регистрирующая аппаратура должны обеспечивать требуемую точность измерений, сохранять постоянство характеристик в течение срока эксплуатации, работоспособность при различных режимах функционирования систем мониторинга, устойчивость к атмосферным воздействиям.

Поэтому, при проведении ГДМ использовались средства измерений, прошедшие метрологическую Государственную поверку и калибровку, организованную метрологической службой, входящей в состав исполнителей измерений, что гарантирует получение надежной и метрологически обеспеченной информации.

Согласно опыту проведения геодинамических исследований и разработанных методических руководств по отдельным методам мониторинга, измерения в рамках отдельных его методов должны выполняться с использованием наиболее эффективных методик и с применением современных аппаратных средств, обеспечивающих получение следующих величин точности измерений:

- средняя квадратическая случайная ошибка нивелирования ( $\eta$ ) – не более  $\pm 1,0-1,2$  мм/км;

- средняя квадратическая систематическая ошибка нивелирования ( $\sigma$ ) – не более  $\pm 0,1$  мм/км (вычисляется только для протяженных линий – 15-20 км и более);

- допустимые невязки по линиям нивелирования ( $f$ ) -  $\pm 3$  мм  $\sqrt{L}$ , где  $L$  длина линии в км;

- среднеквадратическая погрешность значений приращения силы тяжести на пункте относительно опорного гравиметрического пункта – не более 7 мкГал;

- среднеквадратическая ошибка единичного определения координат – в плане и по высоте - не более  $\pm 3$  мм;

- точность определения координат эпицентров местных землетрясений – не больше 0,5 км;

- минимальный регистрируемый уровень магнитуды местных землетрясений – менее  $M=0,4-0,5$ .

Типовой перечень аппаратуры и проектные значения точности измерений по повторному нивелированию, GPS и гравиметрическим измерениям приведены в таблице 5.3.

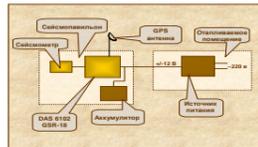
Таблица 5.3 - Комплекс аппаратурных средств, применяемых для контроля за деформационными и сейсмическими процессами  
Перечень основного технологического оборудования

Методы исследований	Тип используемого оборудования	Месторождения	Решаемая задача	Технические характеристики	Внешний вид пункта	Обрабатывающий комплекс	Информационный поток
1	2	3	4	5	6	7	8
Повторное нивелирование повышенной точности	<p><b>Цифровые нивелиры:</b> <b>Leica LS-15</b></p>  <p><b>Leica DNA-03</b></p>  <p><b>Trimble DINI-12</b></p> 	Тенгиз; Королевское; Карачаганак; Дунга; Центрально-Восточная Прорва; Молдабек Восточный (Кенбай); Узень-Карамандыбас; С. Балгимбаев (Мартыши); Ботакан; Бозашы Северный	Долговременный контроль за возникновением и развитием современных деформационных процессов природного и техногенного генезиса на территории месторождения и смежных с ним участков в форме вертикальной компоненты движений и деформаций дневной поверхности.	<p><b>Измерение высоты:</b> Стандартное отклонение на км двойного хода (ISO 17123-2): электронные измерения с использованием -инварной рейки <math>\pm 0.3\text{мм}</math> - стандартной рейкой <math>\pm 1\text{мм}</math> - оптические измерения: <math>\pm 2\text{мм}</math>.</p> <p><b>Измерение расстояния:</b> Стандартное отклонение - <math>5\text{мм}/10\text{м}</math></p> <p><b>Компенсатор:</b> Магнитное отклонение сглаживает компенсатор с электронной проверкой</p> <p><b>Угол наклона <math>\pm 10''</math></b></p> <p><b>Коррекция оси визирования</b> автоматически</p> <p><b>Рабочая температура:</b> от <math>-20^\circ</math> до <math>+50^\circ</math></p>	  	Leica Geo Office; Leica LisCad; Trimble Business Center или аналогичное	Ведомость превышений между пунктами нивелирования
Повторные высокоточные гравиметрические измерения	<p><b>Гравиметры AutoGrav фирмы Scintrex CG-3, 3M</b></p>  <p><b>CG-5</b></p> 	Тенгиз; Королевское; Карачаганак; Дунга; Центрально-Восточная Прорва; Молдабек Восточный (Кенбай); Узень-Карамандыбас; С. Балгимбаев (Мартыши); Ботакан; Бозашы Северный	Долговременный контроль за напряженно-деформированным состоянием и флюидодинамикой геологической среды месторождения и исследования связей аномальных вариаций силы тяжести во времени с процессами разработки месторождений	<p><b>Дискретность измерения:</b> CG-3 5мкГал CG-3M 1мкГал CG-5 1мкГал CG-6 1мкГал</p> <p><b>Стандартное отклонение:</b> CG-3 <math>&lt;10\text{мкГал}</math> CG-3M <math>&lt;5\text{мкГал}</math> CG-5 <math>&lt;5\text{мкГал}</math> CG-6 <math>&lt;5\text{мкГал}</math></p> <p><b>Рабочий диапазон:</b> 8000 мГал, без перенастройки</p> <p><b>Остаточный линейный дрейф (статический):</b> менее 0.02 мГал в день</p> <p><b>Диапазон автоматической компенсации наклона:</b> <math>\pm 200</math> угловых секунд</p> <p><b>Автоматическая коррекция:</b> лунно-солнечные приливы, наклон прибора, температура, микросейсмы (выборочный фильтр)</p>		Scintrex Utilities Program или аналогичное	Каталоги координат гравиметрических пунктов и относительных значений силы тяжести

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8
	<p><b>CG-6</b></p> 			<p>шумов, фильтр сейсмических шумов)  <b>Рабочая температура:</b>                      CG-3, 3M, 5: от -40° до +45°,                      CG-6: от -40° до +45° и высокотемпературная версия до +55°                      Сертификация – CG-3,CG-3M,CG-5, CG-6 Autograv соответствует Европейским требованиям по электромагнитной совместимости 89/336/Еприлив, наклон прибора, температура, микросейсмы</p>			
<p><b>Повторные высокоточные GPS измерения</b></p>	<p><b>Двухчастотные GPS приемники Trimble серии 4700, 5700 TS;</b></p>  <p><b>Trimble серии R5</b></p>  <p><b>Trimble серии R7</b></p> 	<p>Тенгиз;                      Королевское;                      Карачаганак;                      Дунга;                      Центрально-Восточная                      Прорва;                      Молдабек                      Восточный (Кенбай);                      Узень-Карамандыбас;                      С. Балгимбаев (Мартыши);                      Ботакан;                      Бозашы                      Северный</p>	<p>Оценка текущего геодинамического состояния объекта исследований</p>	<p><b>Приемник Trimble 5700</b>  <b>Общие:</b>                      Современная технология GPS электроники Maxwell 4;                      24 канала L1 C/A код и фаза несущей L1/L2;                      WAAS/EGNOS;                      Высокоточный коррелятор L1 и L2 измерений псевдодальностей;                      Фазовые измерения на частотах L1 и L2 с очень низким уровнем помех, с точностью &lt; 1 мм в полосе 1 Гц;                      Регистрация значений сигнал-шум на частотах L1 и L2 (dB-Hz);                      Проверенная на практике технология Trimble уменьшения влияния эффекта многолучёвости и слежения за спутниками с маленькими значениями высот над горизонтом.  <b>Режим измерений:</b>                      Статика                      -Точность                      в плане: ±5 мм + 0.5 мм/км                      по высоте: ±5 мм + 1.0 мм/км                      Регистрация сырых L1/L2 GPS данных (в режиме “Статика”) приблизительно в течении 2500 часов с интервалом записи через 15 секунд от 6 спутников (96 Мб)  <b>Рабочая температура:</b>                      -40°С - +65°С  <b>Влажность:</b>                      Полностью водонепроницаем, прошёл сертификацию на стандарты MIL-STD-810F, FIG. 514.5C-17  <b>Приемник Legacy-E GGD (L1/L2)</b>  <b>Каналы обработки:</b>                      20 L1 +L2 каналов GPS или (опционально) ГЛОНАСС</p>	<p>Поверхность тумбы со штырем для накручивания антенны</p>  <p>Тумба с установленной антенной</p>  <p>GPS-наблюдения</p> 	<p>Trimble Geomatic Office,                      Trimble Business Center;                      TopConTools;                      Bernesse или аналогичное</p>	<p>Каталог координат и высот GPS пунктов</p>

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8
	<p><b>Trimble GNSS Choke Ring</b></p>  <p><b>Trimble GNSS-Ti Choke Ring</b></p> 			<p><b>Обрабатываемые сигналы:</b> L1 /L2 C/A и P код и фаза <b>Дифференциальная точность:</b> 3 мм+1 мм/км для L1+L2 <b>Рабочая температура:</b>  -40°C - +55°C</p>			
<p><b>Сейсмологические исследования</b></p>	<p><b>Сейсмологические станции:</b> <b>DAS-6102</b></p>  <p><b>GSR-18</b></p> 	<p>Тенгиз, Узень, Карачаганак, Кенкияк, Жанажол, Кумкольская группа месторождений</p>	<p>Непрерывное слежение в пространстве и времени за геодинамическими процессами и явлениями, в первую очередь, за развитием деформационных и сейсмических процессов</p>	<p><b>DAS-6102</b></p> <p>Количество каналов – 3 Разрядность АЦП - 18 Емкость флэш-памяти – 64 Мб Напряжение питания - 11.0-14.5 в Потребляемая мощность – 3 Вт Возможность работы в режиме телеметрии и ждущем режиме Наличие GPS приемника</p> <p><b>GSR-18</b></p> <p>Количество каналов – 3 Разрядность АЦП - 18 Емкость флэш-памяти – 64 Мб Напряжение питания - 11.0-14.5 в Потребляемая мощность – 3 Вт Возможность работы в режиме телеметрии и ждущем режиме Наличие GPS приемника</p>	  	<p>Специализированное программное обеспечение</p>	<p>Каталоги и карты эпицентров землетрясений</p>

### ***Примечание к таблице 5.3***

Аппаратурное обеспечение GPS-наблюдений представлено в таблице 5.3.

Указанное оборудование на сегодняшний день является передовым в своем классе. При этом особое внимание уделяется GNSS-антеннам. Для выполнения высокоточных спутниковых наблюдений использовались антенны особого типа (Choke-Ring) с элементами Дорна-Марголина, что соответствует требованиям международной службы IGS.

Они отличаются высокой стабильностью фазового центра, снижением многолучевости до незначительного уровня, и позволяют гарантировать возможное наивысшее качество получаемых данных.



Рисунок 5.2 – Схема влияния эффекта многопутности на антенны типа Choke Ring (слева) и Zephyr Geodetic (справа).

На рисунке 5.2 показана схема влияния эффекта многопутности (многолучевости) на антенны типа Choke Ring (слева) и Zephyr Geodetic (справа).

## 6. СЕЙСМОДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ, ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

### 6.1. Тектогенные (природные) и техногенные факторы геодинамического риска на разрабатываемых месторождениях углеводородов

Обобщение мирового опыта, а также анализ результатов геодинамического мониторинга на месторождениях углеводородов Республики Казахстан показали, что геодинамические события разного уровня инициируют комбинации нескольких факторов, которые «стимулируют» условия для возникновения и проявления природно-техногенных событий [85].

Необходимость оценки потенциальных факторов геодинамического и связанных с ним экономического и экологического рисков определяют выбор объектов и методов геодинамического мониторинга, создание геодинамических полигонов.

Как правило, различают две группы факторов геодинамического риска при разработке месторождений углеводородов - это **тектогенные (природные) и техногенные, связанные с разработкой месторождений**. Широкое развитие получил комбинированный класс факторов – природно-техногенных, когда техногенные процессы возбуждают (инициируют) природные процессы, которые не произошли бы без техногенного воздействия.

Проявление сильных современных **природных и техногенных геодинамических событий** (землетрясения, обвалы, обрушения, просадки и др.) в районах с развитой инфраструктурой месторождений выступают как источник опасных геологических и геодинамических процессов.

К факторам **геодинамических рисков** для систем и объектов нефтегазодобывающих комплексов можно также отнести последовательное подтопление территорий нефтегазопромыслов с изменением ландшафтных условий за счет интенсивных проседаний дневной поверхности.

Возможное загрязнение водных ресурсов и геологической среды за счет аварийных ситуаций с эксплуатационными скважинами, вызванных опасными геологическими и геодинамическими процессами.

Концентрированная форма геодинамического и связанных с ним **природно-техногенных**, экономических и экологических рисков приведена на Рисунке 6.1.

В целом, совокупность природных и техногенных факторов геодинамического риска могут иметь место по отдельности и в различных комбинациях в районах интенсивной добычи УВ.

К наиболее распространенным природным факторам следует относить:

- **природную современную аномальную активность** разломов различного типа и порядка, контролирующих структурно-геологические



Рисунок 6.1 – Основные факторы геодинамического риска

особенности района месторождений УВ и характеризующие блоковое строение собственно месторождений углеводородов;

- *природную сейсмическую активность региона и района месторождений УВ;*

- *аномальное напряжено-деформированное состояние геологической среды, сформированное в течении истории геологического развития того или иного региона;*

Наличие этих факторов, уровень и масштаб их пространственно-временного проявления могут коррелироваться с процессами разработки месторождений углеводородов и усиливать проявление природно-техногенных сейсмодеструктивных событий с соответствующими негативными последствиями.

Реальные масштабы влияния природных и техногенных факторов на возникновение и проявление геодинамических событий можно оценить только по результатам геодинамического комплексного мониторинга, так как реализация различных факторов осуществляется в разных формах проявления геодинамических событий.

В действительности происходит, как отмечалось выше, совместное влияние ряда факторов на возникновение сильных (опасных) геодинамических событий при разработке месторождений УВ.

## 6.2. Показатели и параметры современной природно-техногенной геодинамики недр на разрабатываемых месторождениях УВ

Месторождения УВ Республики Казахстан существенно различаются между собой структурно-геологическими особенностями, пространственным расположением и размерами, масштабностью проявлений дизъюнктивной тектоники, историко-геологическими, литолого-стратиграфическими, гидрогеологическими факторами, интенсивностью освоения природных ресурсов и технологиями ведения разработки.

В целом, именно эти различия определяют сочетание в широком диапазоне факторов геодинамического риска, формы и особенности проявления наиболее часто встречающихся событий природно-техногенного генезиса, которые могут возникать в определенных комбинациях на месторождениях углеводородов.

Присутствие различных форм проявления таких геодинамических событий создают в отдельных регионах различные ситуации, определяющие специфику и сложность освоения конкретного месторождения.

Для оценки этих событий применяются **основные показатели и параметры**, характеризующие современное геодинамическое состояние недр на территориях месторождений УВ.

### 1. Перед проведением геодинамического мониторинга.

По имеющимся априорному комплексу геолого-геофизических, инженерно-геологических, гидрогеологических, геохимических и других данных для конкретного объекта оценивается система факторов потенциального геодинамического риска по следующим основным показателям:

- наличие разломов и степень их новейшей и современной активности;
- параметры современных движений дневной коры (если имеются данные);
- уровень и распределение аномалий природного поля напряжений;
- наличие опасных геологических процессов и явлений;
- гидрогеологические и инженерно-геологические условия на месторождениях УВ, усиливающие эффекты возникновения и развития сильных геодинамических событий.

### 2. На этапе проведения комплексного геодинамического мониторинга.

Получают информацию о пространственно-временном проявлении следующих событий:

#### *Сейсмические события:*

- местные природные землетрясения природного генезиса;
- ощутимые сотрясения от природных катастрофических землетрясений, происшедших в других регионах (“транзитные” землетрясения);
- местные техногенно-индуцированные землетрясения, связанные с разработкой месторождений, их частота и интенсивность;
- сейсмические события от местных динамических проявлений горного давления и сдвига горных пород с очагами разрушения в пределах месторождения;

- частота и интенсивность горных ударов, обрушений и выбросов горных пород;

- сейсмичность, индуцированная горными работами и возникающая как при развитии деформационных процессов в налегающей толще, так и при дилатансии выработанного пространства.

Контролируемые параметры:

- время возникновения землетрясения; координаты эпицентра;
- глубина очага; магнитуда с уровнем представительности  $M=1.0-2.0, 3.0-3.5$  соответственно для сейсмических сетей локального, регионального уровней, интенсивность сотрясения (баллы) по шкале MSK-64;

- пространственно-временное распределение слабых землетрясений (уровень сейсмического фона) и микросейсм.

*Деформационные события:*

- современная природная активность разломов;

- современная индуцированная активизация разломов за счет процессов разработки месторождений углеводородов;

- интенсивное проседание толщи пород над резервуаром за счет отбора сырья, снижения пластового давления и неравномерное площадное распределение физических свойств пород-коллекторов;

- горизонтальные сдвиги массивов горных пород, как следствие сильных просадок или сдвижение горных пород и налегающей толщи;

- поверхностное разломообразование по периферии области проседания или мульды сдвижения;

- деформации пород-коллекторов за счет отбора углеводородного сырья и изменения пластового давления.

*Сопутствующие опасные геологические процессы:*

- природные оползни, развитие карста;

- активизация оползней за счет землетрясений и аномальных проседаний дневной поверхности;

- флюидодинамические явления, представленные миграцией флюидов по субвертикальным ослабленным и проницаемым разломам (разуплотненным зонам осадочного чехла).

*Геофизические и флюидодинамические процессы* проявляются в виде вариаций во времени гравитационного, геомагнитного полей, минерального и газового составов подземных вод и их физических свойств. Эти данные используются для оценки активности тектонических разломов.

Контролируются морфоструктурным, сейсмоакустическим; электромагнитным, геоэлектрическим, гидродинамическим, гидрохимическим, тектонофизическим, геотермическим, геомагнитным, гравиметрическим, аэрокосмическим, ионосферным методами.

Основными наблюдаемыми и контролируемыми параметрами этих методов являются энергетические показатели упругого волнового поля, Дж/м<sup>3</sup>; компоненты геофизических полей; физические свойства пород; компоненты полей напряжений и деформаций, в единицах смещения, скорости, ускорения, напряженности поля, град; уровень подземных вод, мм; температура под-

земных вод, °С; содержание, концентрация микро- и макрокомпонент газифлюидного поля; значение  $t^{\circ}\text{C}$ , и градиент геотермического поля,  $\text{mBt/m}^2$ .

### 3. На этапе анализа, интерпретации и обобщения.

Оценивается риск возникновения опасных геодинамических процессов и последствия разработки месторождений УВ по следующим показателям:

- уровни геодинамического риска;
- степень (зональность) площадной дифференциации районов интенсивной добычи углеводородов;
- уровень (степень) подверженности опасному воздействию сильных геодинамических событий различных типов систем и объектов обустройства месторождений УВ.

Исходя из анализа и обобщения фактических данных о деформациях (просадках и горизонтальных смещениях) геосреды, а также из фактов установленных повреждений и разрушений систем и объектов нефтегазопромислов можно наметить некоторую предварительную дифференциацию уровней этих деформаций по степени их опасности.

Последствия от деформационных процессов, например, от просадок со скоростями оседания до 5 см/год и накопленными смещениями до 1-2 метров, состоят, главным образом, в смятиях обсадных колонн, в частичном подтоплении территорий месторождений, расположенных в равнинных территориях с густой речной сетью, в проявлении локальных оползневых процессов.

Экологические последствия могут быть прямыми (загрязнение геологического разреза и подземных водных ресурсов углеводородными составляющими и продуктами бурения), косвенными (развитие локальных оползневых процессов, меняющих ландшафт и флюидный режим приповерхностных отложений) и отдаленными (заболачивание территорий с необратимыми изменениями экосистем, перенос углеводородных компонентов по региональным водоносным горизонтам на большие расстояния).

Последствия от более интенсивных просадок (5-10 см/год и более, накопленные смещения – более 1-2 метров) – это сильные деформации наземных сооружений, разрыв коммуникаций, слом обсадных колонн эксплуатационных скважин, заболачивание и затопление опускающихся участков дневной поверхности, региональное проявление оползневых процессов.

Возможные экологические последствия - прямые, косвенные и отдаленные могут быть необратимыми. Возможны загрязнения геологической среды и водных ресурсов за счет аварий скважин. На поверхности вероятны изменения ландшафта за счет интенсивных опусканий и обводнения приповерхностных отложений.

В случае аварий на трубопроводных системах возможен разлив углеводородов. Нарушенные наземные сооружения также могут явиться источников негативного влияния на окружающую среду.

Землетрясения с магнитудой  $M=1,0-1,5$  не ощущаемы и могут происходить в больших количествах без серьезных последствий.

Землетрясения с магнитудой  $M=3,0-4,0$  могут быть ощущаемы и приводят к повреждению поверхностных сооружений. Длительное проявление таких землетрясений в интервале залегания покрьшки над залежью УВ может привести, например, к ее разгерметизации и увеличить проницаемость надрезервуарной части геологического разреза с последующим усилением миграционных процессов и выходом газовой составляющей в атмосферу.

Землетрясения с магнитудой  $M=5$  и более могут приводить к серьезным повреждениям наземного и подземного оборудования – к смятию и срезанию колонн скважин, разрушению поверхностных сооружений.

Уже имеющаяся информации по месторождениям УВ позволяет составить обобщенную совокупность прямых и косвенных показателей и параметров геодинамического состояния недр.

В каждом отдельном случае в подготовке и реализации событий участвует разная комбинация основных факторов, что делает проблему прогнозирования достаточно сложной. При этом имеет место, как правило, комбинированное проявление событий.

В целом, можно говорить о корреляции проявлений современных деформационных процессов и размещением зон активных разломов. Этот фактор необходимо учитывать при эксплуатации месторождений УВ, при создании и функционировании систем и объектов нефтегазопромыслов, а также магистральных нефтегазопроводов.

При этом, геодинамические события через повреждения систем и объектов инфраструктуры, могут приводить к изменениям свойств окружающей среды (недра, водные ресурсы, ландшафт, воздух). В конечном счете эти последствия могут оказывать влияние на условия жизнедеятельности человека.

Все вышеизложенные геодинамические и экологические риски рассматриваются через призму Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения (КНГКМ) и газонефтяного месторождения Бозашы Северный.

### **6.3. Геодинамические и экологические риски при изучении и картировании быстроменяющихся природно-техногенных процессов на месторождениях углеводородов**

#### **6.3.1. Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение (КНГКМ)**

##### **6.3.1.1. Вертикальные движения дневной поверхности по данным повторного высокоточного нивелирования**

Первые циклы повторного точного нивелирования позволили выявить совокупность локальных интенсивных аномалий современных вертикальных движений дневной поверхности вдоль практически всех линий повторного нивелирования. Существование таких локальных аномальных участков подтверждено также результатами повторных высокоточных GPS-измерений.

Ширина выявленных аномалий составила около 1-2 км по результатам повторного нивелирования. Амплитуда вертикальных смещений пунктов достигала 6-7 см за полугодовые интервалы времени, что является достаточно большими величинами (Рисунок 6.2).

Максимальное для КНГКМ проседание дневной поверхности (до -80 мм за трехлетний период) по данным повторного точного нивелирования имеет место в районе GPS-пунктов 26 и 27.

Максимальные амплитуды вертикальных движений дневной поверхности наблюдается в полосе контакта соляных куполов с «бессоляными окнами».

По-видимому, выявленные локальные высокоинтенсивные аномалии могут быть связаны с различными факторами, включая остаточные поверхностные деформации (проседания пунктов после их закладки в грунт) и проявлялись при сравнении последующих циклов нивелирования с первым циклом нивелирования.

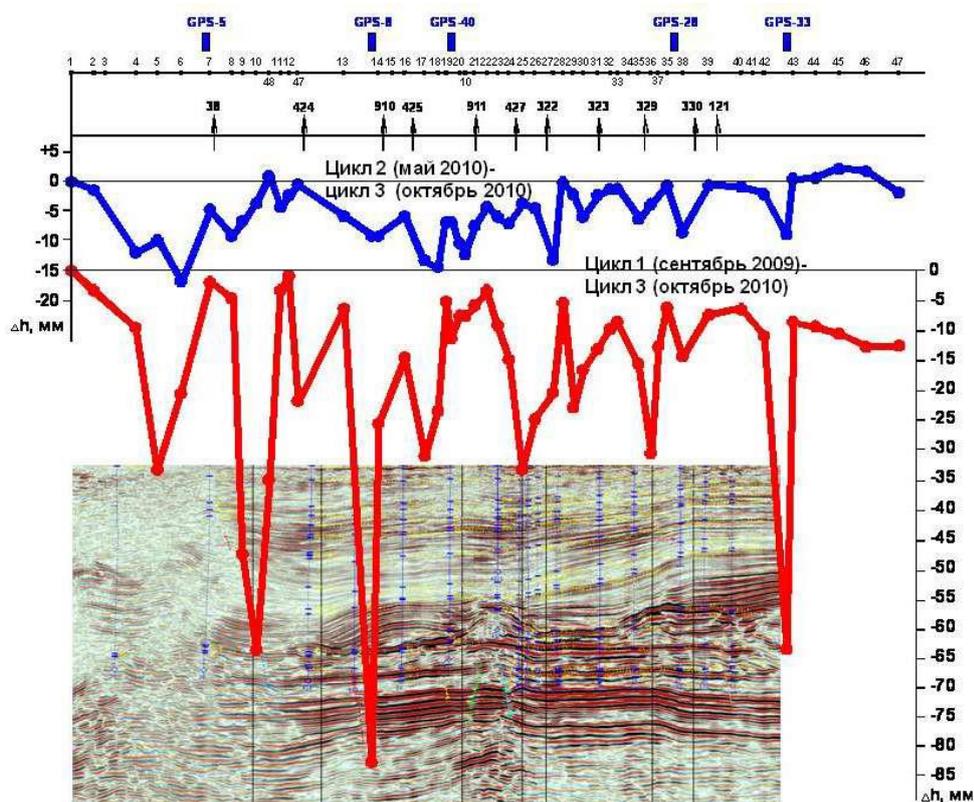


Рисунок 6.2. Современные вертикальные движения дневной поверхности вдоль профиля 1-1 за различные интервалы времени в сопоставлении с глубинным разрезом

По результатам комплексного ГДМ, проведенного в 2012г., отмечено, что активный подъем дневной поверхности происходил преимущественно до 2011 г., что привело к перестройке структурного плана этой поверхности и наглядно проявляется по профилю 1-1, построенному по результатам нивелирования (Рисунок 6.2).

Последующие нивелировки выявили смену знака направленности движений дневной поверхности, поднятия сменились опусканиями по всем профилям нивелирования. При этом, максимальные амплитуды современных вертикальных движений дневной поверхности установлены в своде КНГКМ (Рисунки 6.2 и 6.5).

### 6.3.1.2 Площадное распределение векторов горизонтальных движений GPS-пунктов по данным высокоточных спутниковых измерений

Контуры зоны современного подъема дневной поверхности имеют субширотное простирание, что, в целом, соответствует простиранию карбонатного массива на КНГКМ.

Анализ схем площадного распределения векторов горизонтальных движений GPS-пунктов за трехлетний период времени, позволил выявить несколько основных особенностей:

1. В своде КНГКМ (GPS-пункты №№ 12, 13, 17, 40, 41) зафиксированы небольшие значения разноориентированных горизонтальных движений (от 1,5 мм до 12,0 мм). По периферии свода GPS-пункты показывают увеличение значений горизонтальных подвижек до 21-31 мм и более (Рисунок 6.3);

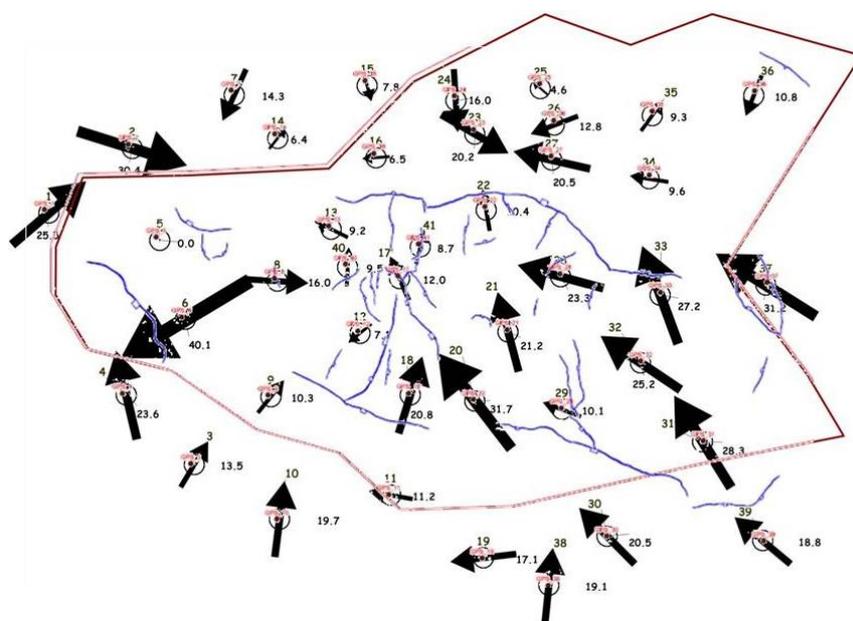


Рисунок 6.3. Схема сопоставления площадного распределения горизонтальной компоненты движений дневной поверхности КНГКМ по данным повторных высокоточных GPS измерений за трехлетний интервал времени

1. Для южной периферии КНГКМ характерно преимущественно северо-западное направление векторов горизонтальных движений GPS-пунктов с амплитудами горизонтальных подвижек в широком диапазоне изменений от 11,2 мм (GPS-11) до 40,1 мм (GPS-6);

2. Для северной периферии КНГКМ свойственны меньшие величины векторов и преимущественно южное направление движений с амплитудами горизонтальных подвижек, изменяющихся от 6,4 мм (GPS-14) до 30,4 (GPS-2, Рисунок 6.3);

3. Смена резкого изменения векторов горизонтальных подвижек приходится на разлом, разграничивающий северную часть КНГКМ от его свода.

На основании анализа результатов изучения горизонтальной компоненты движения GPS-пунктов за период 2009-2012 гг. сделано два вывода:

1. Установлены заметные деформационные процессы с амплитудами горизонтальных подвижек до +20-35 мм, характеризующие современное геодинамическое состояние недр КНГКМ;

2. Ориентация векторов горизонтальных движений и их амплитуды дают основание полагать, о развитии неравномерного сжатия в своде разрабатываемого КНГКМ, тогда как на его периферии происходят деформационные процессы растяжения (Рисунок 6.4).

Сделанные выводы наглядно демонстрирует Рисунок 6.4, на котором изображены зоны сжатия и растяжения.

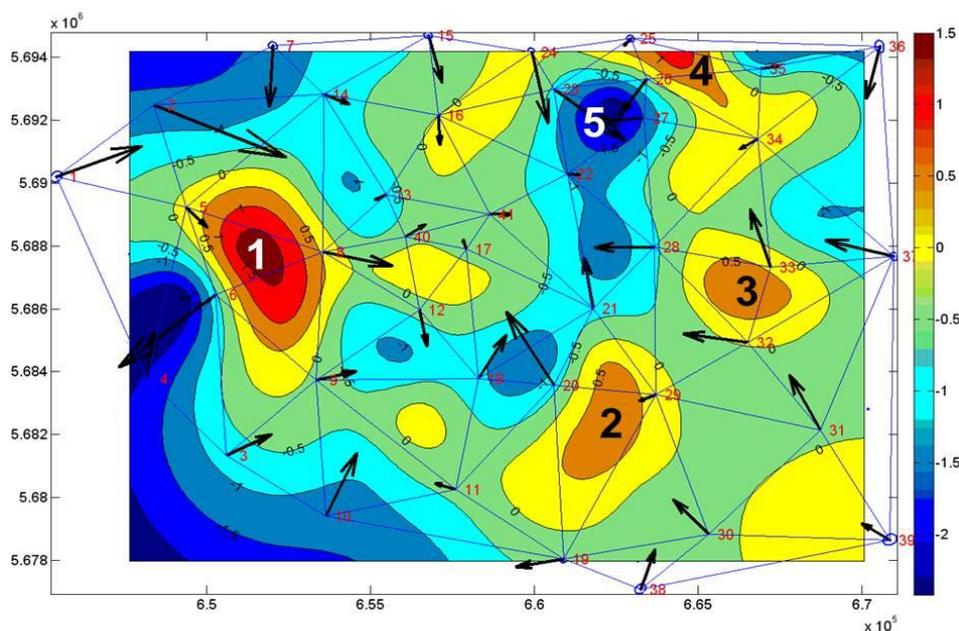


Рисунок 6.4. Схема изменения площади территории КНГКМ в сопоставлении с векторами плановых смещений GPS-пунктов

Разноориентированные локальные аномалии №№1-4, характеризующие зоны растяжения, образуют практически замкнутое кольцо по периферии проекции свода верхнепалеозойского карбонатного массива КНГКМ на дневной поверхности (Рисунок 6.4). Размеры этих локальных аномалий (аномалия 1 - GPS-пункты 5-8-9, аномалия 2 - GPS-пункты 19-20-29, аномалия 3 - GPS-пункты 28-32-33, аномалия 4 - GPS-пункты 25-26-35) составляют 4 x 7-8 км. Величина положительной дилатации, т.е. площадного растяжения, изменяется в диапазоне 0,5- 1,5 x 10<sup>-5</sup>.

В своде проекции верхнепалеозойского карбонатного массива на дневной поверхности выявлена крупная аномалия сжатия дугообразной формы (№5), обращенной выпуклой частью в юго-западном направлении (Рисунок 6.4).

В этой локальной зоне сжатия горизонтальные вектора движения GPS-пунктов №№ 23, 24, 25, 26 и 27 закономерно направлены навстречу друг другу (Рисунок 6.4 и 6.5).

Значительная величина площади сжатия в аномалии №5 (Рисунок 6.4) и на других участках в своде проекции свода верхнепалеозойского карбонатного массива в обрамлении площадей растяжения может указывать на существование активных разрывных нарушений по периферии этого свода на КНГКМ.

Несомненный интерес представляет район GPS-пунктов 26 и 27 для которого характерны развитие максимальных напряжений сжатия. Этот район характеризуется максимальным для КНГКМ проседанием дневной поверхности (до -80 мм за трехлетний период) по данным повторного точного нивелирования, ограниченное зонами высоких градиентов вертикальных движений (Рисунок 6.5).

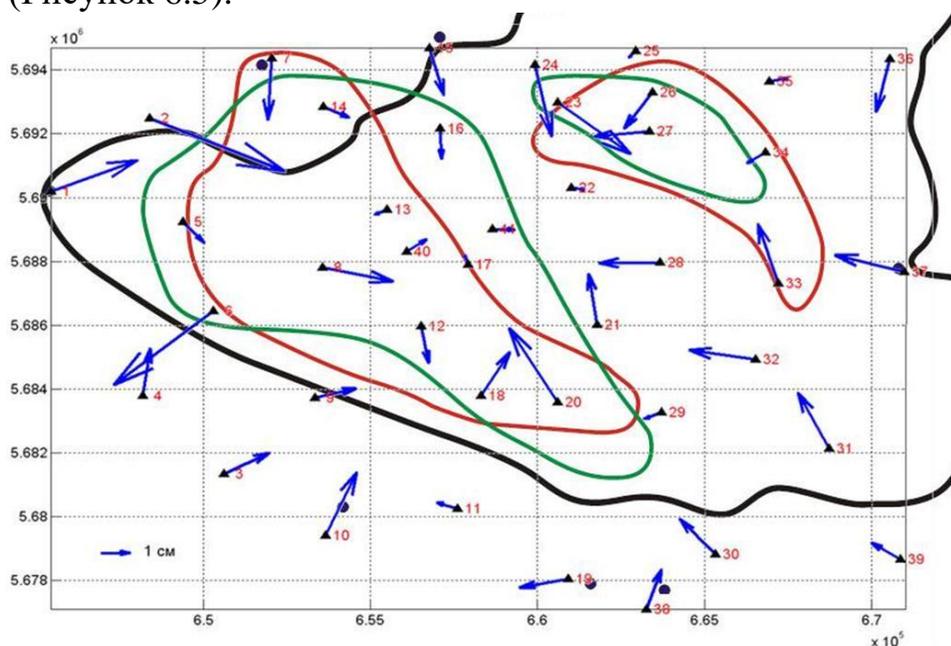


Рисунок 6.5. Схема площадного распределения векторов горизонтальных движений GPS-пунктов в сопоставлении с зонами проседания дневной поверхности по данным повторного точного нивелирования и увеличения силы тяжести на территории КНГКМ за трехлетний интервал времени:

Условные обозначения:

— 1 — 2

1-контур зоны относительного увеличения силы тяжести; 2 – контур зоны максимального проседания дневной поверхности

Такая геодинамическая ситуация не могла не спровоцировать возникновение очагов землетрясений (см. далее). И, действительно,

наблюдается корреляция между эпицентрами землетрясений и контурами локальной аномалией сжатия №5.

### 6.3.1.3. Вариации силы тяжести по данным повторных высокоточных гравиметрических измерений

Основными факторами, подлежащими оценке при исследовании вариаций силы тяжести в период 2009-2012 гг. на КНГКМ стали:

- вертикальные перемещения гравиметрических пунктов во времени;
- добыча углеводородного сырья;
- деформационные процессы (уплотнение пород-коллекторов).

Варьирующая во времени добыча УВ и существенная изменчивость по латерали свойств пород-коллекторов вследствие развития процессов их уплотнения привели к сложному процессу пространственно-временного изменения силы тяжести.

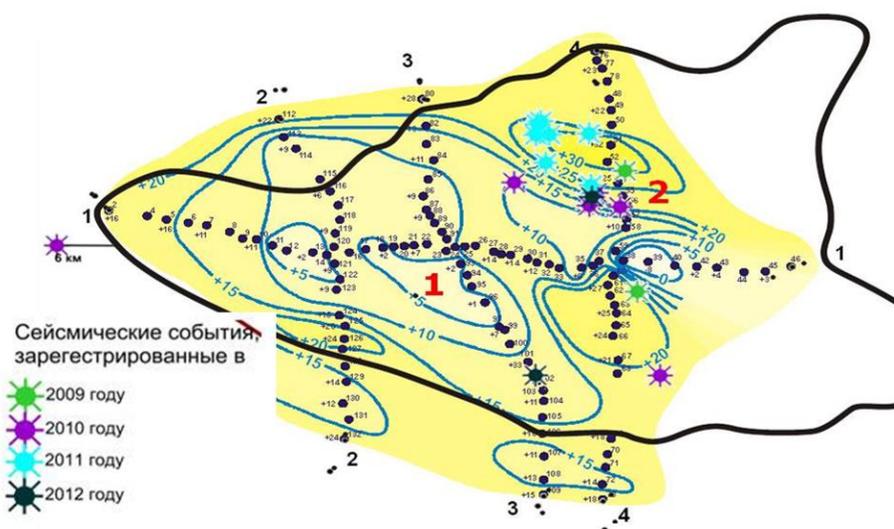


Рисунок 6.6. Схема вариаций силы тяжести по данным повторных высокоточных гравиметрических измерений за трехлетний интервал времени на территории КНГКМ

Многофакторная природа вариаций силы тяжести подтверждается графиками соотношений значений вариаций силы тяжести и относительных высот гравиметрических пунктов.

Результаты анализа повторных высокоточных гравиметрических измерений (Рисунок 6.6) позволяют сделать следующие выводы по КНГКМ:

1. Выявлены значительные изменения вариаций силы тяжести во времени, достигающие 20-30 мкГал в год;
2. Зафиксировано относительное увеличение общего фона силы тяжести;
3. В своде карбонатного массива, то есть, внутри контура КНГКМ, происходит относительное уменьшение вариаций силы тяжести по отношению к склонам этого массива (Рисунок 6.6).

Зона относительного уменьшения вариаций силы тяжести обладает северо-запад – юго-восточным простиранием с характерным уменьшением вариаций силы тяжести по отношению к участку 1 (Рисунок.6.6).

В пределах этой зоны, значения силы тяжести составляют менее 5 мкГал, тогда как на смежных участках эти значения увеличены до +28+30 мкГал на севере, +16 мкГал на западе, +15+24 мкГал на юге и +25+30 мкГал на востоке КНГКМ.

Переход от пониженных к повышенным значениям вариаций силы тяжести происходит посредством протяженных зон высокоградиентных ступеней, пространственно совпадающих с положением зон разломов (Рисунок 6.3).

Кроме того, установлена приуроченность зоны пониженных значений аномалий силы тяжести к площадям с активной добычей углеводородов, где за период 2009-2012 гг. было извлечено 4865,3 тыс. тонн.

4. Вариации силы тяжести вдоль профилей имеет блоковый характер, что, вероятно, определяется их многофакторной природой – деформационными процессами в продуктивных отложениях, влиянием добычи углеводородного сырья и закачки жидкости в продуктивные пласты для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи пластов.

Таким образом, вариации значений силы тяжести и относительных высот гравиметрических пунктов свидетельствует об уменьшении силы тяжести во времени непосредственно над разрабатываемой частью месторождения и связано с одной стороны с массообменными процессами (темпы отбора несвободного конденсата и нефти, а также газа, обратная закачка газа в продуктивные пласты для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи пластов, продвижение ВНК), т.е. с операциями по добыче углеводородного сырья, а с другой – с изменчивостью коллекторских свойств пород по территории КНГКМ. В сумме эти факторы приводят к деформационным процессам в продуктивных отложениях.

#### **6.3.1.4 Сейсмичность по данным сейсмологического мониторинга**

В результате сейсмологических исследований установлено, что: а) территория КНГКМ в настоящее время характеризуется слабым уровнем сейсмичности; б) практически все эпицентры землетрясений группируются по периферии карбонатного массива и в северо-восточной части последнего (Рисунок 6.7).

За период сейсмологических наблюдений 2009-2012 гг. здесь было зарегистрировано 16 местных сейсмических событий с магнитудой до 2, и 1 событие, находящееся за пределами месторождения. Глубина очагов землетрясений составляет от 5 км до 6,5 км, т.е. в интервале продуктивных отложений.

Очевидно, что существует пространственная связь между концентрацией сейсмических событий на северо-востоке КНГКМ и аномальной деформационной активностью этой части месторождения. Носителем этой активности служат разломы, выявленные на поверхности горизонта С9.

Выявлена существенная площадная неравномерность в положении эпицентров сейсмических событий. Из общего количества событий около 80% событий сконцентрировано в пределах локальной аномалии сжатия №5 (Рисунок 6.7) в север-восточной части карбонатного массива.

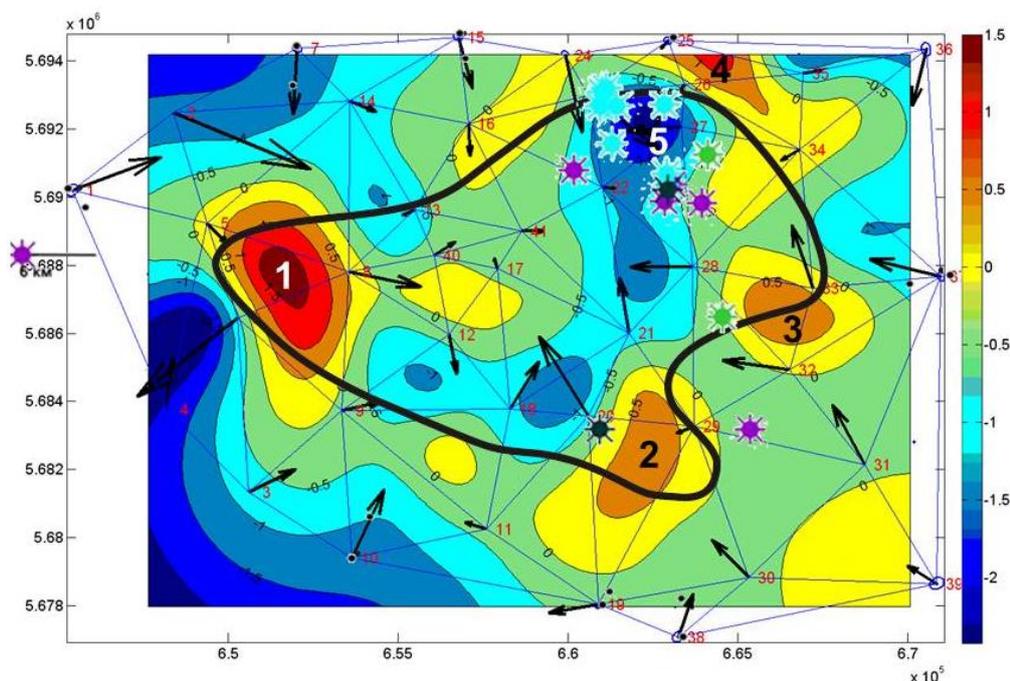


Рисунок 6.7 - Схема дилатации (изменения площади) территории КНГКМ в сопоставлении с векторами плановых смещений GPS-пунктов в сопоставлении с контуром кластеров добывающих скважин из всех объектов разработки за интервал времени между циклом 1 и циклом 7, а также с эпицентрами землетрясений за период 2009-2012 гг.

Несомненный интерес представляет тот факт, что выявленные сейсмические и деформационные аномалии расположены на территории разрабатываемого КНГКМ в контуре скважин, добывавших углеводородное сырье из всех объектов разработки за период 2009-2012 гг.

В связи с этим можно полагать, что в формировании локальной аномальной зоны сжатия № 5 и возникновении землетрясений определенная роль может принадлежать техногенному фактору, т.е. процессу разработки месторождения.

Можно предположить, что в районе аномалии № 5 существовала природная аномальная напряженность в недрах. Однако выявленные деформационные и сейсмические аномалии не могли бы произойти, если бы не было разработки месторождения, которая спровоцировала возникновение как интенсивных деформаций, так и слабую локальную сейсмичность.

*Полученные результаты по сейсмологическому мониторингу позволяют сделать выводы:*

1. Выявлена пространственная приуроченность зоны концентрации эпицентров землетрясений к зоне с максимальными значениями

отрицательной дилатации, т.е. аномального сжатия, характеризующейся относительным подъемом дневной поверхности.

2. Периферийные части КНГКМ выделяются относительным опусканием дневной поверхности. Сейсмические очаги здесь исключение, нежели правило.

3. Сейсмические события расположены в зоне аномальных деформационных процессов и высокоградиентного изменения текущего пластового давления по различным объектам разработки;

4. Причины движений дневной поверхности на месторождении обусловлены природно-техногенными факторами. Можно предположить, что для КНГКМ развитие активных разломов выявленного уровня и слабая сейсмичность могут быть благоприятным обстоятельством и фактором, снимающим накапливаемые напряжения из-за разработки месторождения.

### **6.3.1.5 Суффозионно-карстовые процессы по данным комплексных геолого-геофизических и геодезических измерений**

Геолого-геофизические принципы интерпретации гравитационного и электрического полей вытекают из имеющихся представлений об инженерно-геологическом и гидрогеологическом строении части КНГКМ, подверженной суффозии [174, 175], которая проявляется в присутствии сложнопостроенных градиентных геолого-геофизических сред с наличием наклонных границ, слабоконтрастных аномалий. Все эти факторы предопределили подход к интерпретации материалов, основанный на регрессионном и спектрально-корреляционном анализе.

Процессы суффозии приводит к разрыхлению пород, формированию ослабленных и разуплотненных зон, а, следовательно, уменьшению массы в единице объема за счет разрушения и выноса частиц. Следовательно, суффозионные воронки проявляются локальным уменьшением силы тяжести.

Плотностные характеристики этих воронок изучены по данным лабораторных измерений образцов грунта, отобранных вблизи существующих суффозионно-карстовых воронок в интервале глубин 0-15 м (Таблица 6.1).

По выявленным критериям дополнительно выделены 5 аномальных участков, где процесс суффозии находится на начальной стадии. Они отмечаются пониженными значениями параметров, как в гравитационном поле, так и в рельефе дневной поверхности (Таблица 6.1).

Полученные результаты анализов показывают, что для большинства выделенных суффозионных воронок характерно уменьшение плотностных характеристик с глубиной. На глубине 10 м отмечены минимальные значения плотности пород (Таблица 6.1).

Глубже, значение плотностей опять увеличивается. Исключением являются аномальный участок суффозионных воронок 1 и 2, плотностные характеристики практически не изменяются с глубиной, что свидетельствует о «зрелости» этих воронок.

Таблица 6.1 - Количественные параметры выделенных аномальных областей, полученные по результатам анализа геофизических полей и рельефа

Воронка	Максимальное значение интенсивности аномалии				Распределение плотностных параметров по глубине, г/см <sup>3</sup>					Размеры, м <sup>2</sup>
	Силы тяжести, мГал	высота, м	удельного сопротивления, Ом*м		2.5	4.5	7	10	15	
			на глубине 2.5 м	на глубине 7.0 м						
1	-0.03	0.25	10	8	1.98	1.97	1.96	1.93	1.93	30x15
2	-0.04	0.35	10	8	1.98	1.96	1.95	1.94	1.93	20x18
3	-0.03	0.3	8	6	1.99	1.98	1.98	1.97	1.99	15x12
4	-0.02	0.2	8	8	1.99	1.98	1.97	1.97	1.98	15x10
5	-0.02	0.15	16	12	1.99	1.98	1.97	1.97	1.97	18x15
6	-0.05	0.10	10	8	1.97	1.95	1.94	1.94	1.96	17x18
7	-0.05	0.15	8	6	1.97	1.95	1.95	1.91	1.96	22x14
8	-0.03	0.2	8	6	1.98	1.98	1.97	1.96	1.98	22x10
9	-0.04	0.15	11.5	11.5	1.98	1.97	1.97	1.95	1.98	15x10
<b>10</b>	<b>-0.02</b>	<b>0.1</b>	<b>7</b>	<b>6.5</b>	<b>1.99</b>	<b>1.98</b>	<b>1.97</b>	<b>1.96</b>	<b>1.97</b>	<b>13x10</b>
<b>11</b>	<b>-0.02</b>	<b>0.15</b>	<b>8</b>	<b>7.5</b>	<b>1.98</b>	<b>1.97</b>	<b>1.97</b>	<b>1.96</b>	<b>1.96</b>	<b>14x10</b>
<b>12</b>	<b>-0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>8</b>	<b>7.5</b>	<b>1.99</b>	<b>1.98</b>	<b>1.97</b>	<b>1.96</b>	<b>1.96</b>	<b>11x11</b>
<b>13</b>	<b>-0.01</b>	<b>0.15</b>	<b>8</b>	<b>7.5</b>	<b>1.99</b>	<b>1.98</b>	<b>1.98</b>	<b>1.97</b>	<b>1.98</b>	<b>13x10</b>
<b>14</b>	<b>-0.01</b>	<b>0.2</b>	<b>7</b>	<b>6.5</b>	<b>1.99</b>	<b>1.99</b>	<b>1.98</b>	<b>1.98</b>	<b>1.99</b>	<b>7x10</b>

### ***Трансформации дневной поверхности по данным GPS съемки***

По результатам высокоточной GPS съемки составлена карта рельефа района исследований (Рисунок 6.8), которая наглядным образом подтверждает проявление процессов карста, суффозии, просадок и набухания грунтов в форме положительных (бугров) и отрицательных (суффозионных блюдеч, карстово-суффозионных воронок) форм рельефа.

В северо-восточной части района исследований обособляется дугообразная структура пониженных значений рельефа дневной поверхности, ориентированная с юго-востока на северо-запад. По-видимому, это перекрытый отложениями старый водоток, образованный поверхностными водами.

Участки относительно повышенных значений отметок (до 76.5 м), сложные и неправильные в плане, находятся в центре и на юге площади исследований, где они образуют полосы широтного простираения.

Формирование локальных аномальных участков здесь связано с поднятиями дневной поверхности. Их форма-субизометричная с изрезанными фестончатыми краями; амплитуда меняется от 0,1 м до 0,45 м (Рисунок 6.8, Таблица 6.1). Поднятия осложнены воронкообразными прогибами, которые интерпретируются как суффозионные воронки.

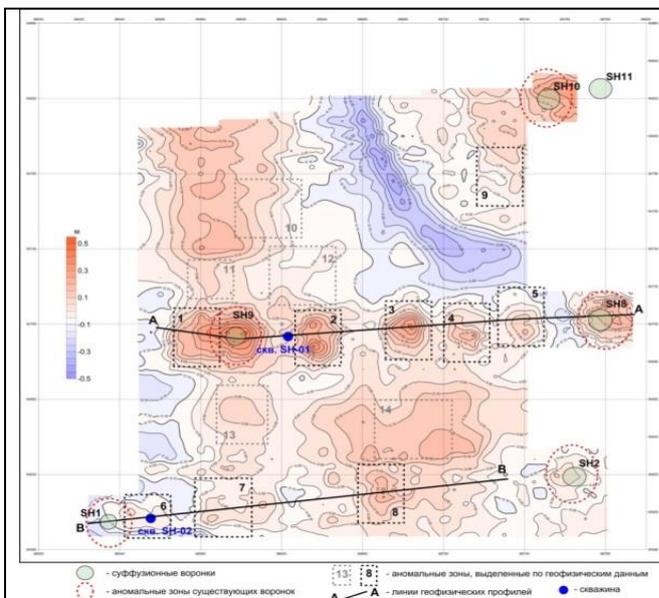


Рисунок 6.8 – Схема локальных аномалий рельефа участка работ по результатам высокоточной GPS съемки (по Коврижных П.Н, 2011)

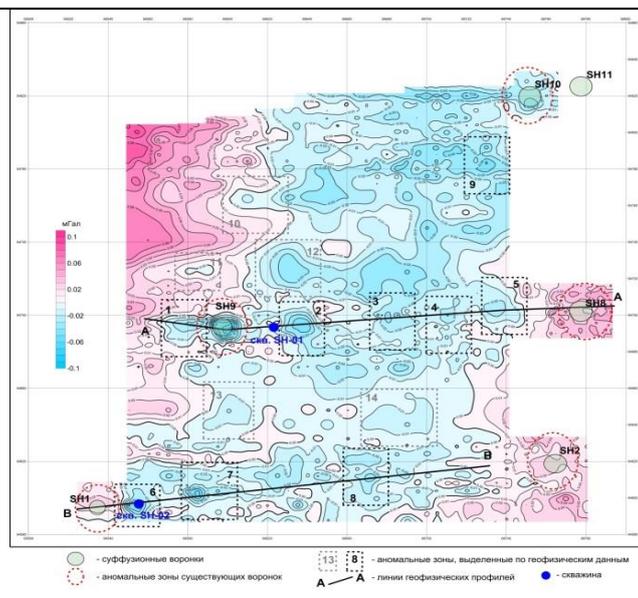


Рисунок 6.9 – Схема локальных аномалий силы тяжести (по Коврижных П.Н, 2011)

**Отражение суффозионно-карстовых воронок по данным микролокальной гравиметрической съемки**

Для геологической интерпретации использовалась карта локальных гравитационных аномалий, которая была получена вычитанием из исходного поля его региональной составляющей, выделенной методом регрессии полиномом 1-ой степени (Рисунок 6.9).

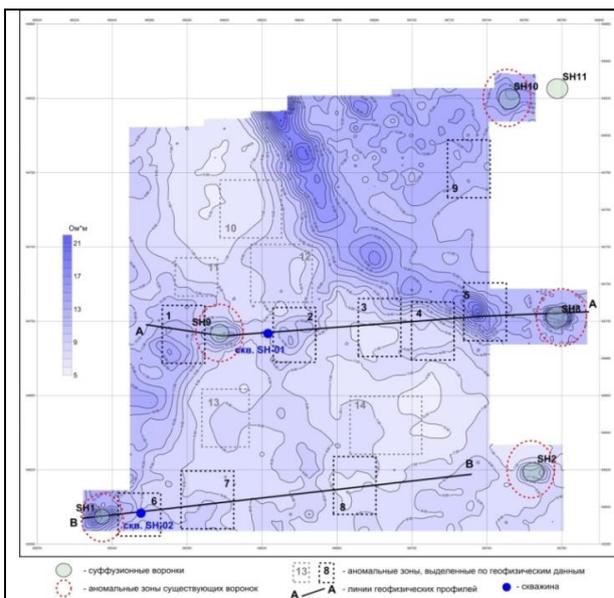


Рисунок 6.10 – Распределения кажущегося удельного сопротивления на глубине 2.5 м. (по Коврижных П.Н, 2011)

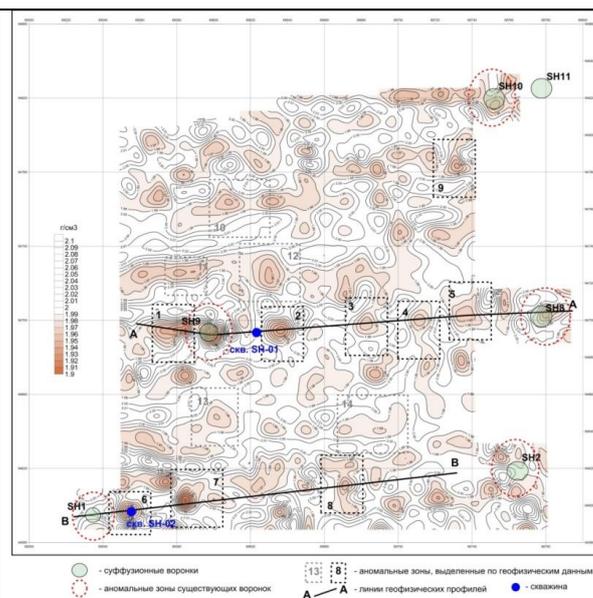


Рисунок 6.11 – Схема распределения плотностных параметров на глубине 10 м. (по Коврижных П.Н, 2011)

Для определения пространственного распределения участков разуплотнения пород в программном комплексе КОСКАД - 3Д была рассчитана объемная модель распределения плотностных параметров среды по методу Андреева Б.А., базирующемуся на интегрированном использовании статистических спектрально-корреляционных методов и алгоритма адаптивной фильтрации.

В результате расчётов получен куб плотности, который использовался для определения областей разуплотнения в плане и на глубину. На рисунках 6.10-6.11 представлены распределения кажущегося удельного сопротивления на глубине 2.5 м. и горизонтальные срезы плотностных параметров среды на глубине 10 м. В таблице 6.1 представлены ряды распределения плотностных параметров с глубиной для существующих воронок и выделенных аномальных участков.

Локальное гравитационное поле исследуемой площади ровное, с хорошо выраженным трендом увеличения значений [(+0.4)-( +0.5) мГал] в юго-западной части района исследований, тогда как в его северо-восточной части зафиксированы отрицательные значения [(-0.5)-(-0.6) мГал].

Поле осложнено отдельными локальными изометричными, кольцевыми и полигональными минимумами, которые увязываются с развитием суффозионных воронок. В первом приближении локальные аномалии гравитационного поля хорошо коррелируются с вариациями рельефа дневной поверхности.

### ***Распределение удельного электрического сопротивления по данным электромагнитной съемки – ЧЗ в районе развития суффозионно-карстовых процессов***

Суффозионные воронки хорошо проявляются в поле удельного электрического сопротивления, значения которого характеризуют литологический состав осадков, пористость, влажность, водонасыщение, а также составляющую их ионнопроводящую среду [173, 183, 185].

Площадь участка по характеру распределения удельного сопротивления на глубине 2,5 м (Рисунок 6.10) можно подразделить на две зоны: зону низких сопротивлений от 5 до 10 Ом\*м и зону умеренно высоких от 12 до 21 Ом\*м.

Зона умеренно высоких значений сопротивлений находится в северо-восточной части участка исследований и состоит из двух участков локальных аномалий. Первый - образован изометричными и неправильной формы аномалиями интенсивностью до 14-15 Ом\*м.

Второй – сформирован системой аномалий изогнутой и линейно-изометричной формы с увеличенными значениями сопротивлений до 21 Ом\*м, определяющая границу между разными по своим физико-химическим свойствам породами.

Зона низкой проводимости занимает почти весь участок и характеризуется наличием нескольких изометричных аномалий, разделенных дугообразными линейно-вытянутыми зонами умеренных значений сопротивлений. Анализ

распределения кажущегося удельного сопротивления на глубине 2,5 м показал, что воронки с водой имеют на глубине 2,5 м удельное сопротивление от 16 Ом\*м (SH1) до 18 Ом\*м (SH8) (Таблица 6.1).

К примеру, на участке суффозионной воронки SH9 удельное сопротивление составляет 12 Ом\*м, а на участке SH10 – 15 Ом\*м при значениях коэффициента водонасыщения 0,413 д.е. и 0,570 д.е. соответственно.

Минимальные значения кажущегося удельного сопротивления для всей площади развития суффозионных воронок выявлены на глубине 7 м и которые изменяются от 9,5 Ом\*м (SH9, SH2) до 14-15 Ом\*м (SH8, SH1, SH10).

Таким образом, исходя из распределения кажущегося удельного сопротивления на площади исследований установлен признак выделения суффозионных воронок, характеризующиеся умеренно высокими значениями удельного сопротивления на глубинах до 2,5 м и минимальными значениями на глубинах 7 м.

### *Глубинное строение района суффозионно-карстовых воронок по данным электроразведки ЗС*

Количественная интерпретация данных электроразведки ЗС проведена с использованием следующих интерактивных программных комплексов моделирования и инверсии: Эра, EMS, разработанных в ИНГГ СО РАН [199] и ZondTEM1D на основе горизонтально - слоистой модели [195].

Базой для количественной интерпретации стали очищенные от помех измеренные сигналы (ЭДС), а также их трансформанты – кривые кажущегося удельного электрического сопротивления, электропроводности.

Для полученных геоэлектрических параметров были вычислены погрешности их определения и степень влияния на электромагнитное поле, области локальной эквивалентности. Кроме того, дана оценка глубинности зондирования.

Вначале была выполнена интерпретация полевых данных, полученных при измерениях по ортогональным профилям с большими размерами генераторно-приемной установки (ГП размером 200x200 м, ИП – 100x100 м).

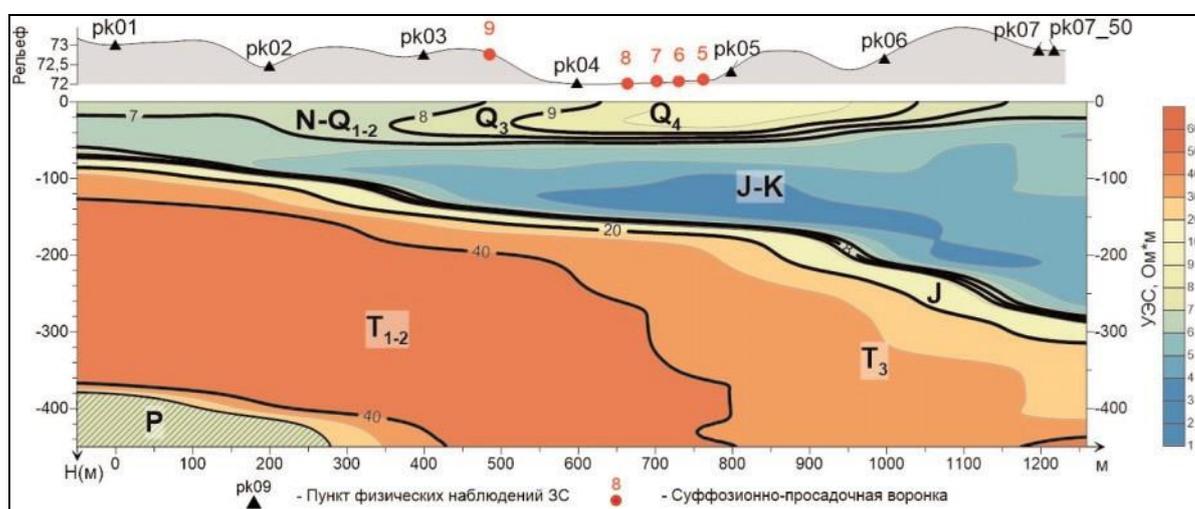


Рисунок 6.12 - Геоэлектрический разрез по профилю ПР 1 по данным зондирования становлением поля (ЗС) [190 с.32]

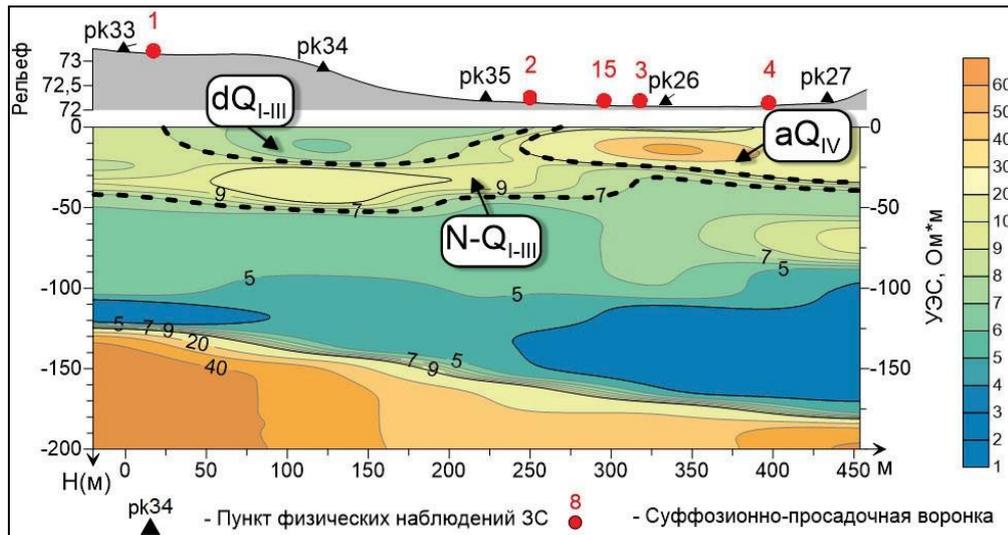


Рисунок 6.13 - Геоэлектрический разрез по профилю ПР 4 по данным зондирования становлением поля (ЗС) [190 с.32]

Глубинные геоэлектрические разрезы по широтным профилям ПР 1 и ПР 4 построены на основе интерпретации данных ЗС, в ходе которой реализован подход, учитывающий данные в соседних точках зондирования. На геоэлектрических разрезах также показано размещение суффозионных воронок (Рисунок 6.12, 6.13).

В ходе интерпретации данных ЗС по профилю 1 обоснована шестислойная модель среды с усложнением её до семислойной в пикетах (ПК 1 и ПК 2 на профиле ПР1). Появление низкоомного интервала в начале профиля 4 на глубинах 400–500 м обусловлено наличием проводящего горизонта в кровле соляного купола (Рисунок 6.13).

Результаты интерпретации данных ЗС позволили выявить аномальные зоны на глубине, связанные с процессами образования суффозионных явлений.

На геоэлектрических разрезах по профилям 1 и 4 четко выражена тенденция резкого флуксуобразного погружения поверхностей разновозрастных триасовых горизонтов, с повышенным значением УЭС до 20–50 Ом·м представленных по геологическим данным уплотненными красно-коричневыми глинистыми породами в интервале глубин их кровли от 80-120 м в западной части профилей до 400 м и более в их восточной части (Рисунок 6.12 и 6.13).

На обоих геоэлектрических разрезах участки развития суффозионных воронок совпадают с зоной резкого перегиба поверхностей опорных геоэлектрических горизонтов триаса.

Также с запада на восток отмечается возрастание мощности и глубины погружения низкоомных горизонтов юрской и меловой систем. Согласно залегающие на отложениях триаса более низкоомные юрские и меловые геоэлектрические горизонты (с УЭС в 3,2–6,0 Ом·м) сложены породами глинистых и известняковых фракций с высоким уровнем минерализации, их мощность возрастает с первых метров в районе пикета ПК 2 до 250 м и более по профилю 1 в ПК 7 (Рисунок 6.12).

Приповерхностные неоген-четвертичные отложения залегают с заметным несогласием на подстилающих горизонтах.

Мощность этих отложений сокращается в восточном направлении и изменяется от ~40 м до 20–25 м. По линии ПР1 на участке суффозионных воронок 5–8 значения УЭС неоген-четвертичных отложений составляет 6,1-12 Ом·м. По профилю 4 зафиксированы участки с повышением УЭС от 7–9 до 14–30 Ом·м.

Кроме того, по результатам интерпретации данных ЗС изучено геоэлектрическое строение до глубин в 500 м, выявлено положение кровли и значения УЭС соленосного купола, определена мощность триасовых водоупорных глин (~300 м) и их погружение на восток. По более детальным измерениям охарактеризованы подповерхностные отложения в зоне воронок.

На основании вышеизложенного, можно прийти к заключению, что суффозионные воронки формируются в зонах повышенной напряженности в местах резкого перегиба (флексуры) по глубоко залегающим горизонтам триаса и подстилающих его отложений.

### ***Проявления суффозионных процессов по данным электроразведки ВЭЗ***

На участке с суффозионными проявлениями выполнена серия измерений ВЭЗ по профилям, совмещенным с измерениями ЗС.

На первом этапе по данным ВЭЗ по значениям тока в источнике, разности потенциалов между приёмными электродами MN, размерам использованной установки вычислялось кажущееся удельное электрическое сопротивление (УЭС) для оценки качества переобработанных данных.

На втором этапе (количественная интерпретация) выполнялась одномерная и двумерная инверсия, а также визуализация результатов с помощью программного комплекса «Zond» [195].

По линии профиля ПР1 глубина до кровли опорного высокоомного горизонта (стратифицированного кровлей триасовых отложений) определена только в пункте 1 и составляет 75 м. Значения УЭС этого опорного горизонта достигают ~50 Ом·м (Рисунок 6.14).

В последующих пунктах кровлю горизонта проследить по данным ВЭЗ не удалось, поэтому на разрезе она показана условно по данным интерпретации ЗС.

Несколько глубже кровля триасового высокоомного горизонта зафиксирована по линии профиля ПР4 (на глубинах 125-130 м).

Залегающие выше юрские и меловые низкоомные отложения по линии профилей ПР1 и ПР4, характеризуются значениями удельного электрического сопротивления 3–7 Ом·м, что согласуются с данными ЗС. В восточном направлении по линии данных профилей толщина юрских и меловых отложений нарастает (Рисунок 6.14 и 6.15).

По профилю 4 пунктирными стрелками показана траектория движения инфильтрационных вод.

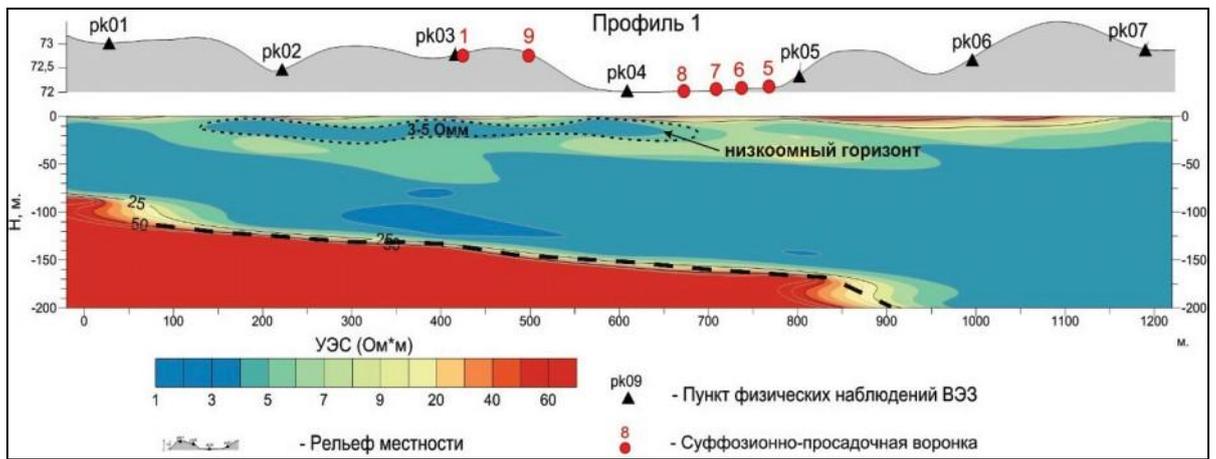


Рисунок 6. 14 - Геоэлектрический разрез по профилю ПР1 по данным вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) [190 с.33]

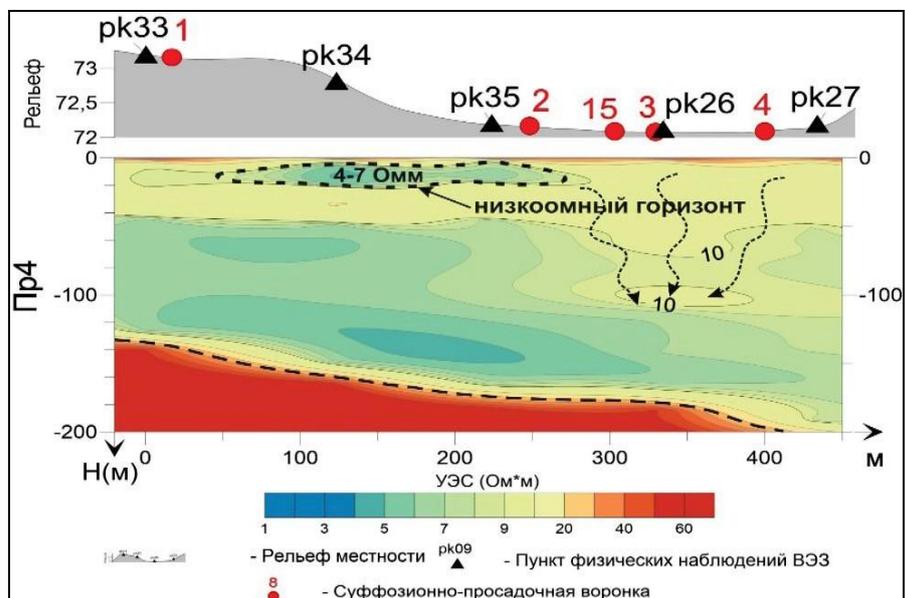


Рисунок 6.15 - Геоэлектрический разрез по профилю ПР 4 по данным вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) [190 с.34]

Приповерхностные горизонты неоген-четвертичных отложений неоднородны по значению удельного электрического сопротивления, которое изменяется от 5–8 до 15–20 Ом•м.

По линии профиля ПР1 толщина этих отложений изменяется от минимальных значений на ПК 1 (4 м) до 40 м на ПК 2, 3, 4 и 5. На участках ПК 2–4 (суффозионно-просадочные воронки 1 и 9) до глубин примерно в 20 м в этих отложениях выделяется протяженная линза низкоомных пород со значениями УЭС 3–5 Ом•м (Рисунок 6.14).

По линии профиля 4 (на участке ПК 33–35, суффозионно-просадочной воронки 2) линза низкоомных пород в неоген-четвертичных отложениях выделяется до глубин 20 м со значениями УЭС 4–10 Ом•м (Рисунок 6.15).

За пределами линзы низкоомных пород (по-видимому, обводненной) на обоих профилях в неоген-четвертичных отложениях появляются породы с

умеренно высоким УЭС со значениями 15-20 Ом•м и с увеличенной толщиной (до 50-60 м).

По линии ПР1 эти значения наблюдаются на участках развития суффозионно-просадочных воронок 1, 5-6-7-8. По линии ПР4 – на участках суффозионно-просадочных воронок 1, 15-3-4.

Тонкий верхний почвенный горизонт небольшой мощности (от 0,5 до 1 м) характеризуется высокими значениями УЭС (45–150 Ом•м). Его геоэлектрические характеристики сильно изменяются по профилю без какой-либо общей тенденции, по-видимому, они определяются локальными геоморфологическими особенностями.

Таким образом, по данным ВЭЗ уточнено строение приповерхностных неоген-четвертичных отложений, в составе которых выделены зоны минимальных УЭС, вероятнее всего, обводненные.

В юрских и меловых отложениях (толщиной от 40-30 м до 150 м и более) значения УЭС составляют 3 - 6 Ом•м. Геоэлектрические параметры триасовых и соляно-купольных отложений, особенности их залегания определены по данным метода ЗС.

Вместе с тем, представляется возможным выделить еще одну характерную особенность развития суффозионных воронок – большая их часть выделяется в полосе прогиба в рельефе дневной поверхности, который в свою очередь пространственно коррелируется с флексуорообразным перегибом по поверхности высокоомного триасового горизонта.

Таким образом, результаты интерпретации данных ВЭЗ с учетом имеющихся геологических данных позволили определить азимут падения слоев и направление движения грунтовых вод, а также зоны повышенного обводнения в геологическом массиве, выявить особенности распределения подземных водоносных горизонтов, области возможного выноса разрушенных (размытых) горных пород.

### ***Строение и условия формирования суффозионно-карстовых воронок по данным электротомографии***

Обоснованием применения метода ЭТ является его высокая эффективность при работах с целью определения геоэлектрических параметров деструктивных проявлений, таких как разломные нарушения, карстовые образования и т.п. [196, 197].

Для интерпретации данных электротомографии и визуализации результатов использован программный пакеты RES2D (компания Geotomo Softwear, Малайзия) и ERTlab [190].

По результатам интерпретации определено детальное геоэлектрическое строение приповерхностных неоген-четвертичных отложений до глубины 40 м. Полученный интервал изменений значений УЭС (от 1 до 30 Ом•м) для этих отложений согласуется с данными ВЭЗ, а построенные разрезы наглядно отражают геоэлектрическое строение в зонах расположения суффозионных воронок.

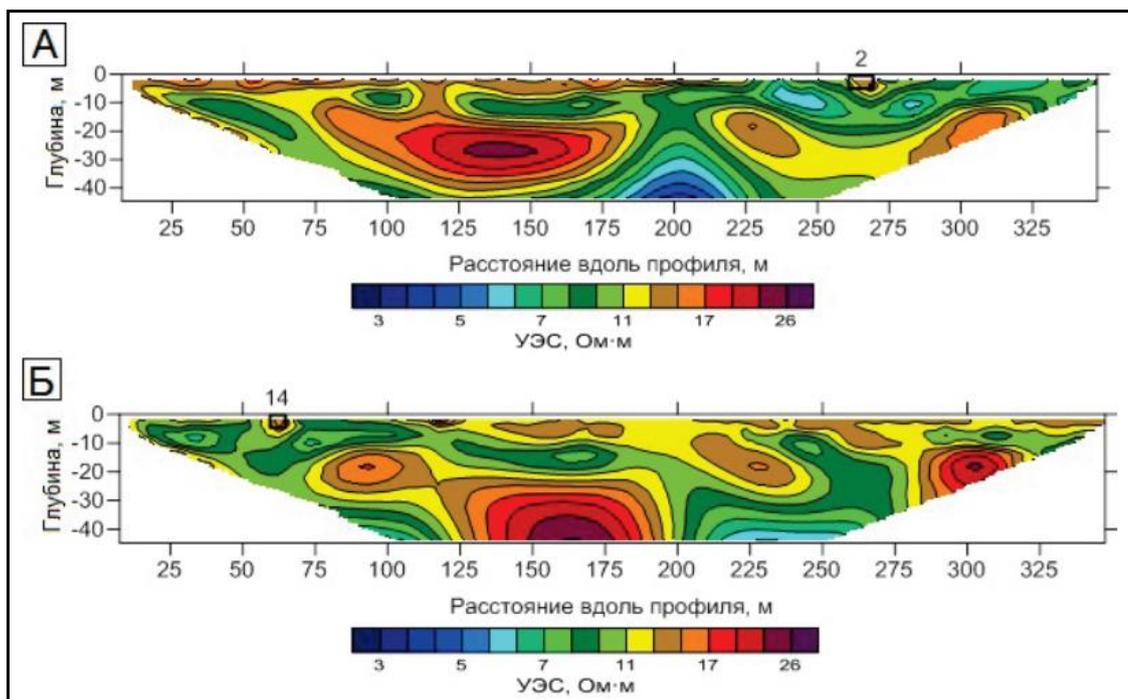


Рисунок 6.16 - Геоэлектрические разрезы по данным электротомографии по профилю: А) 30; Б) 43 [190 с.35]

Профиль 30 ЭТ проходит через суффозионную воронку 2, а профиль 43 через суффозионную воронку 14. На геоэлектрических разрезах по обоим профилям на глубине в 5–6 м непосредственно под воронкой выделяются отложения с повышенным значением УЭС относительно вмещающих пород (Рисунок 6.16, А, Б), что можно объяснить разуплотнением грунта.

Кроме того, одной из особенностей распределения воронок по площади является приуроченность их части к контакту протяженных высокоомных зон с более проводящими зонами, общим простираением с запада на восток. Эти зоны выделены на глубинах, начиная от 15–20 м.

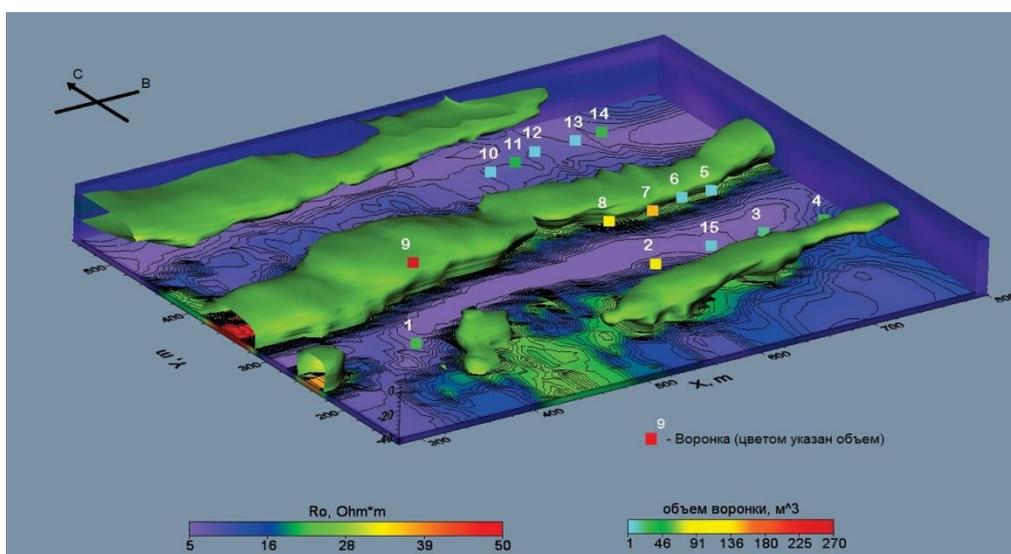


Рисунок 6.17 - Изоповерхность удельного электрического сопротивления на уровне 25 Ом·м по данным электротомографии [190 с.35]

На основе результатов интерпретации площадных данных ЭТ построена трехмерная модель геоэлектрической среды до глубины 40 м (Рисунок 6.18). Изоповерхность на уровне 25 Ом\*м оконтуривает выделенные высокоомные зоны. Показано также размещение суффозионных воронок (цветовая гамма отражает их объем).

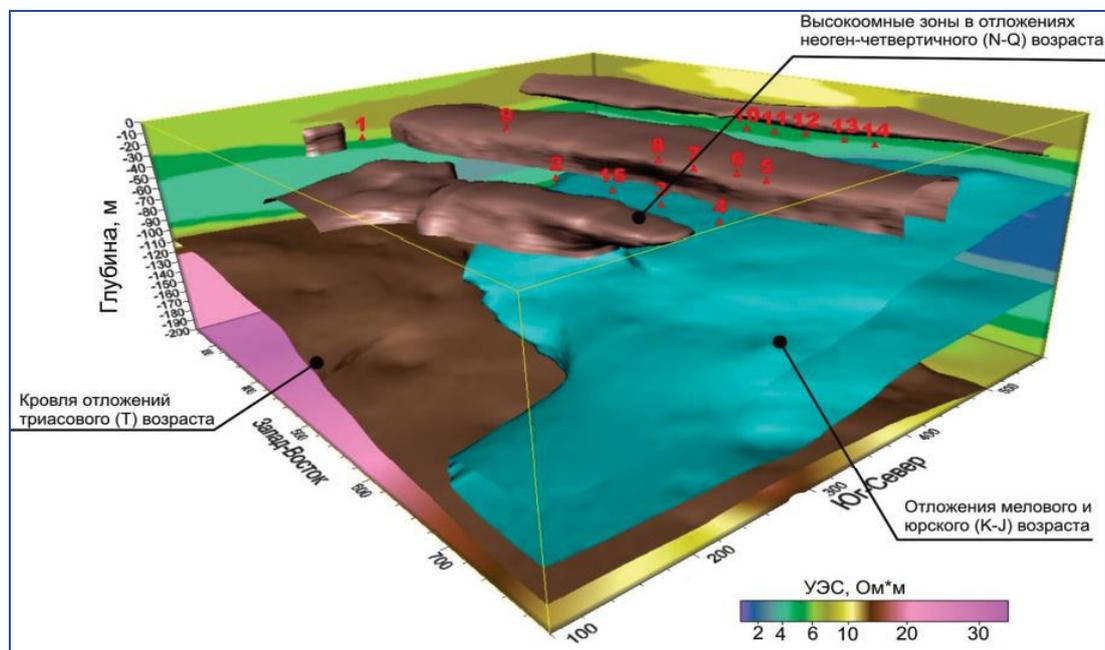


Рисунок 6.18 - Трехмерная визуализация геоэлектрического строения участка [190 с.36]

### 6.3.2. Газонефтяное месторождение Бозашы Северный

Применение комплекса геодинамических методов рассмотрены по профилю I-I [166], пересекающим месторождение УВ Бозашы Северный с запада на восток. В створе профиля, в своде одноименной локальной структуры, к которой приурочено данное месторождение, пробурены скважины, в которых ведется интенсивный отбор углеводородов. На западном и восточном флангах месторождения УВ Бозашы Северный обособляются системы диагональных и субмеридиональных разрывных нарушений.

В целом, все GPS пункты, расположенные по профилю I-I, подтверждают результаты нивелирования (с разницей в несколько мм), что объясняется, во-первых, заявленной точностью методов, во-вторых, разным местоположением опорных базовых (при GPS-наблюдениях) и начальных (при нивелировании) пунктов.

В целом, сравнение результатов GPS-измерений с данными повторного нивелирования по профилю I-I выявляет наличие общего тренд проседаний дневной поверхности, с небольшими поднятиями на отдельных пунктах наблюдений (Рисунок 6.19).

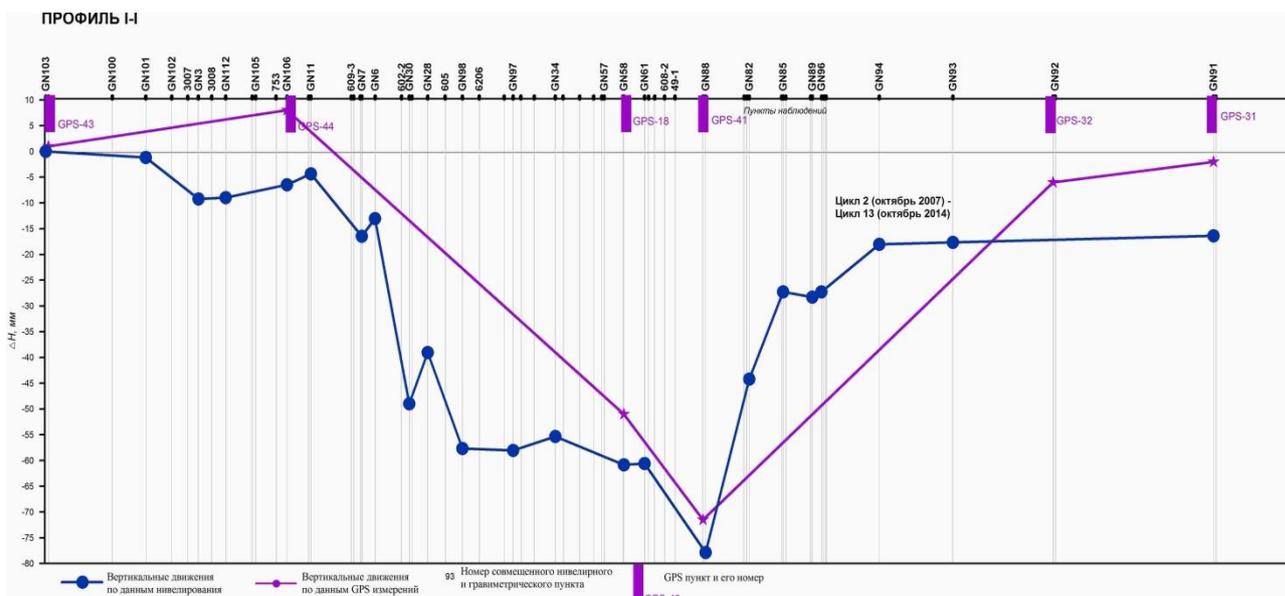


Рисунок 6.19 - Графики современных вертикальных движений дневной поверхности вдоль профиля I-I за интервалы времени между циклами 2 и 13

На этом профиле по данным повторного нивелирования и GPS-измерений максимальные значения просадок дневной поверхности за 7 – летний период наблюдений установлено в свде локальной структуры Бозашы Северный, в расположенных рядом с друг другом пунктах GN88 (с амплитудой 78 мм) и GPS-41 (с амплитудой 72 мм), GN58 (-60 мм) и GPS18 (-51 мм) (Рисунок 6.19).

Кроме того, осуществлено сопоставление графиков современных вертикальных движений дневной поверхности, вариаций силы тяжести, объемов добычи нефти и жидкости, закачки жидкости и текущих пластовых давлений вдоль профиля I-I (Рисунок 6.20) за интервал времени между циклом 2 (ноябрь 2007 г.) и циклом 13 (сентябрь 2014 г.).

Результаты сопоставления свидетельствуют, что пластовые давления в среднеюрских резервуарах изменяется с большей амплитудой, чем в меловых (Рисунок 6.20). Причем, предельные величины падения пластового давления зафиксированы в свде структуры Бозашы Северный, где происходит увеличенный отбор нефти (в скважинах NB44, NB1058-1Н, NB1047 и т.п.).

Именно здесь отмечают максимальные просадки дневной поверхности по данным нивелирования и GPS наблюдений за период времени 7 лет (пункты GN30, GN28, GN57, GN85 и др.). Максимальные просадки дневной поверхности (до 78 мм) выявлены в районе скважины NB1022.

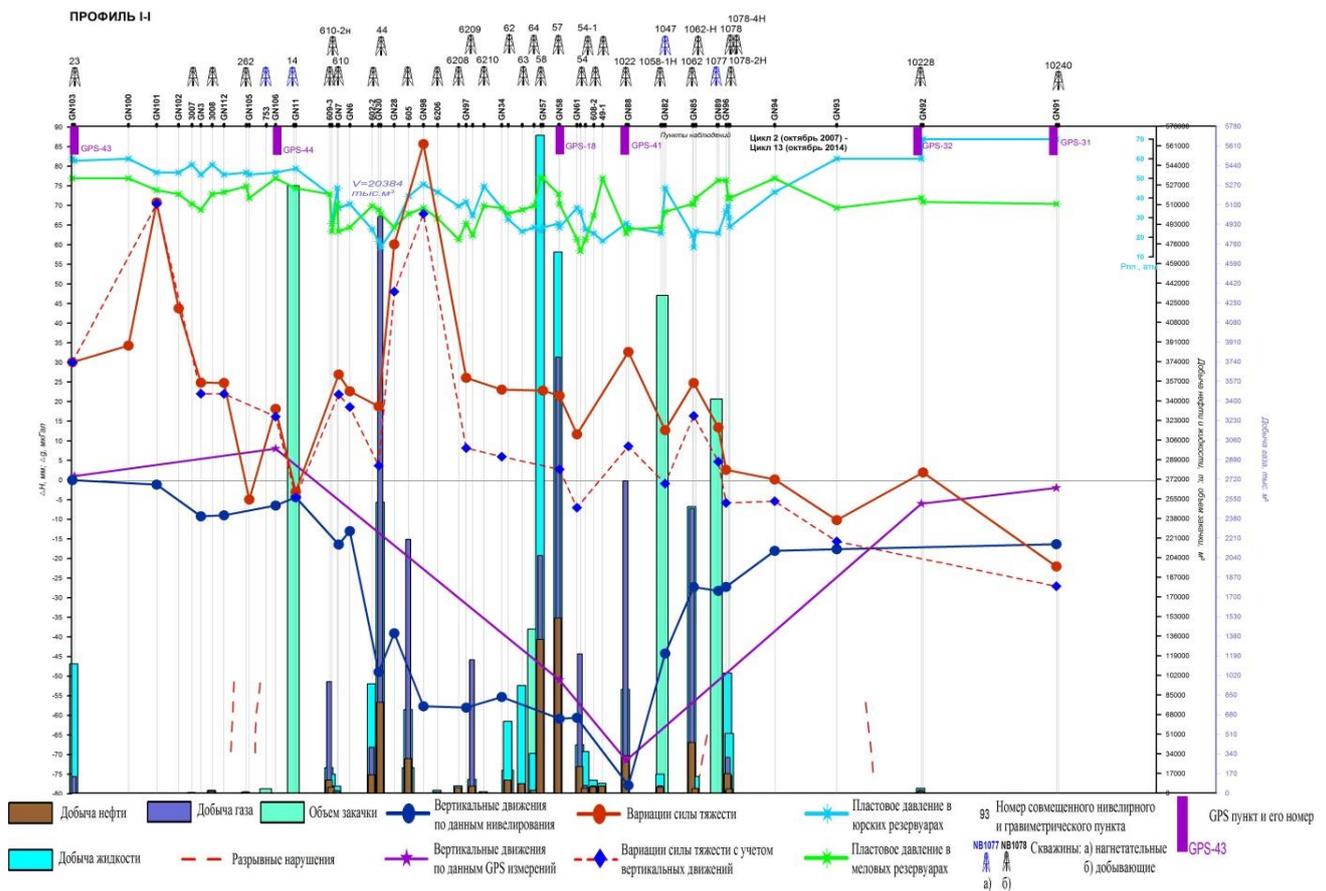


Рисунок 6.20 - Графики современных вертикальных движений дневной поверхности, вариаций силы тяжести, объемов добычи нефти, газа и жидкости, закачки жидкости и текущих пластовых давлений вдоль профиля I-I за интервал времени между циклом 2 (октябрь 2007 г.) и циклом 13 (октябрь 2014 г.) [166 с.122]

На восточной периферии локальной структуры Бозашы Северный (на отрезке между нагнетательными скважинами NB1047 и NB1077 и после пункта GN96, вплоть до конца профиля) зафиксировано последовательное уменьшение величины просадок, без скачкообразных изменений положения дневной поверхности (Рисунок 6.20). При этом зафиксирован рост значений пластовых давлений по объектам эксплуатации.

На графике вариаций силы тяжести зависимость значений  $\Delta g_a$  от темпов добычи углеводородов и объемов закачки воды также проявляется достаточно однозначно.

В западной части профиля I-I, вплоть до пункта GN-98, наблюдается тренд увеличения значений локальной составляющей силы тяжести до +67 мкГал и более, что соответствует участкам расположения скважин, в которые производилась закачка воды для поддержания пластового давления и скважин с сокращенным объемом отбора нефти и газа в эксплуатационных интервалах в юрских и меловых отложениях за максимальный интервал времени – 7 лет (между циклами 2 и 13).

К востоку от пункта GN-98 по профилю I-I наблюдается резкое падение значений  $\Delta g_a$  (до -7,0 мкГал) на пункте GN-61 и далее дальнейшее волнообразное снижение этих значений (до -27,1 мкГал) на пункте GN-91. Подобное резкое изменения характера поведения локальных гравитационных аномалий связывается с увеличением объема отбора нефти и газа и с существенным уменьшением объемов закачиваемой воды, что приводит к некоторому дефициту плотности.

Следовательно, можно говорить, что вариации локального поля силы тяжести напрямую коррелируются с объемами отобранных углеводородов и закаченной в эксплуатируемые интервалы воды для поддержания пластового давления.

Таким образом, выявленная зона просадок по профилю I-I по данным повторного высокоточного нивелирования между пунктами GN101 и GN94 подтверждается результатами повторного нивелирования, GPS- и гравиметрических измерений и согласуется с промысловыми данными – на этом участке проходит интенсивная добыча углеводородов, зафиксировано падение пластовых давлений по разрабатываемым объектам в юрских и меловых отложениях.

В свою очередь, выявленный феномен является одним из доказательств техногенной природы просадок дневной поверхности, связанных с процессами разработки ГНМБС.

Принято считать, что на разрабатываемых месторождениях УВ уменьшение давления в системе «УВ – пластовые воды» нарушает сложившееся природное геодинамическое равновесие в содержащих их геологических структурах, которое становится причиной их подвижек и сейсмических событий [153].

Кроме того, в результате эксплуатации месторождений УВ, в связи с уменьшением пластового давления в продуктивных коллекторах, значительно изменяется пластовое давление в водонасыщенных коллекторах, направления и скорости движения пластовых вод, а также фильтрационно-емкостные и другие свойства окружающей их геологической среды.

В свою очередь, уменьшение пластового давления в эксплуатируемых интервалах при добыче УВ и его увеличение при закачке воды нарушают природное геодинамическое состояние вмещающей геологической среды, дестабилизируют динамическое равновесие между пластовыми флюидами и вмещающими породами-коллекторами.

При превышении возникших некомпенсированных напряжений прочности пород - коллекторов происходит их разгрузка и смещения массивов горных пород относительно друг друга, что может сопровождаться опасными геодинамическими проявлениями и сейсмическими событиями [154].

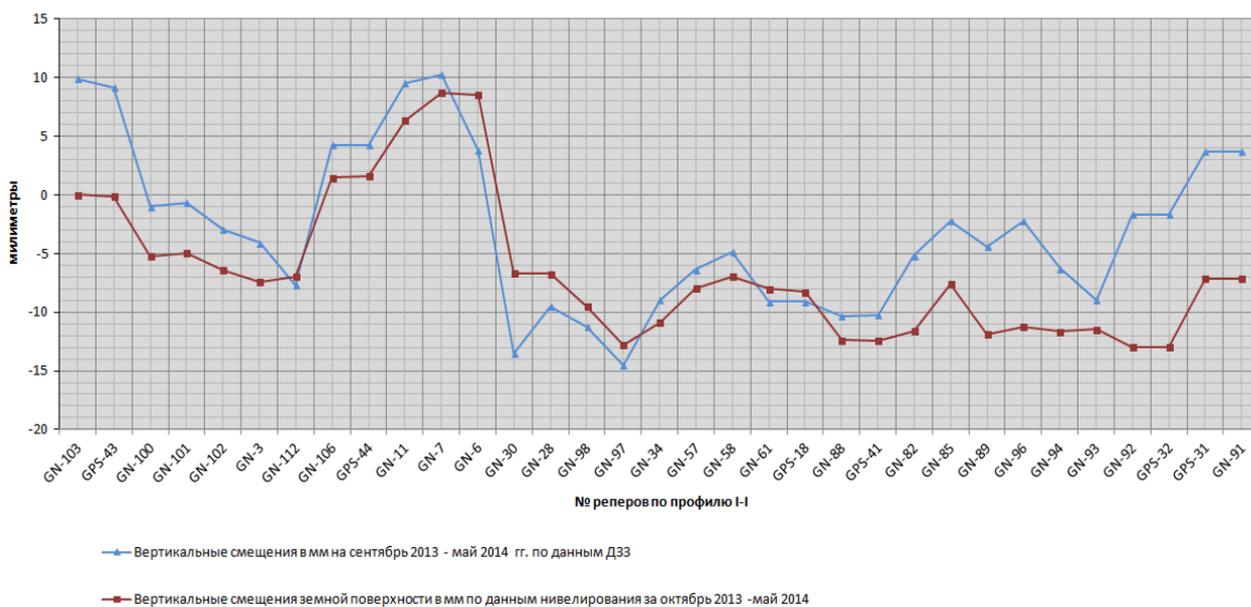


Рисунок 6.21 - Графики вертикальных смещений вдоль профиля I-I на территории месторождения Бозашы Северный по данным радарных съемок и высокоточного нивелирования [166 с.123]

Геодинамические исследования на ГНМБС проводились также дистанционными методами параллельно с наземными инструментальными методами. Были отсняты 23 космических снимка со спутника COSMO-SkyMed в период 17.09.2013 г. - 10.11.2014 г. по данному месторождению и прилегающим территориям. В последующем эти космические радарные снимки подверглись интерферометрической обработке.

По профилю I-I были построены два графика вертикальных смещений:

1) по данным нивелирования (профиль I-I) за временной интервал 17.09.2013 г. - 30.05.2014 г.

2) по данным радарных съемок Cosmo SkyMed за период октябрь 2013 г. - май 2014 г [155].

Сопоставление результатов наблюдений наземных инструментальных и дистанционных методов выявило высокую их сходимость (Рисунок 6.21).

Максимальное расхождение в амплитудах вертикальных движений за период наблюдения (9 месяцев) зафиксировано на концах профиля в пунктах GN103 (9,9 мм) и GN91 (3,7 мм). Таким образом, по результатам InSAR выявлена нестабильность начального пункта нивелирования по профилю I-I, что говорит о необходимости дальнейшего контроля данного пункта.

Резюмируя вышеизложенное, можно говорить, что результаты обработки 30-проходной радарной съемки, выполненной по ГНМБС в период 17.09.2013 г.- 30.05.2014 г. достаточно надежно согласуются с результатами повторных спутниковых наблюдений, выполненных в 11 (октябрь 2013 г.) и 12 (май 2014 г.) циклах геодинамического мониторинга.

Следовательно, выявлена сходимость результатов смещений дневной поверхности за один и тот же период, полученных двумя независимыми

методами. По этой причине можно утверждать, что радарные съемки постепенно могут стать ключевым источником получения кондиционной информации о вертикальных смещениях дневной поверхности и если не полностью заменить нивелирование, то могут сократить объемы трудоемкого метода.

В перспективе, учитывая значительную площадь ГНМБС применение геодезических наблюдений по профилю I-I для контроля негативных проявлений на дневной поверхности геодинамических процессов не всегда целесообразно ввиду их высокой стоимости, значительной продолжительности во времени и т.п.

В этом случае логически оправданным представляется контроль динамики смещения дневной поверхности по спутниковым наблюдениям – определение положения пунктов глобальной навигационной спутниковой сети, технология дифференциальной интерферометрии и др. [155].

Таким образом, выявленные области подъема и области проседания дневной поверхности на ГНМБС пространственно совпадают по данным разных методов исследований. Разница в значениях находится в пределах допустимых ошибок измерений и наблюдений, и может быть объяснена разными датами получения информации в той или иной точке.

#### **6.4. Факторы потенциального геодинамического риска на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении и газонефтяном месторождении Бозашы Северный**

##### **6.4.1. Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение**

Факторы потенциального геодинамического риска на КНГКМ распределяются следующим образом:

- Преимущественное распространение нижнепермско-верхнедевонских карбонатных отложений толщиной более 1600 м создают уникальную возможность для генерации деформационных процессов, поскольку данный тип пород обладает жесткой внутренней структурой, увеличенной твердостью, и, соответственно, хрупкостью и способностью к разрушению под комбинированным влиянием внешних тангенциальных геодинамических нагрузок и отбора углеводородного сырья.

- Возможность генерации деформационных процессов усиливается крупными размерами карбонатного массива (28 x 17 км) и большой площадью активного техногенного воздействия (около 280 км<sup>2</sup>), площадной неравномерностью распределения добывающих скважин с высоким дебитом и латеральным пространственно-временным изменением пластового давления.

- Увеличенная плотность тектонических нарушений и развитие блоковости в подсолевом структурном этаже, особенно в карбонатной толще пород, включая продуктивные интервалы разреза.

- Распространение во всех продуктивных горизонтах площадной неоднородности пород-коллекторов, их повышенные фильтрационно-

емкостные свойства способствует их неравномерной площадной сжимаемости и соответственно к неравномерному проседанию дневной поверхности и, как следствие, горизонтальных сдвижений массивов горных пород на КНГКМ.

- Палеотектонические процессы, оказавшие влияние на формирование в геологическом разрезе аномалий напряженного состояния пород, развитие деформационных процессов в результате разработки месторождения могли привести к активизации сейсмичности вдоль разломов.

#### **6.4.2. Газонефтяное месторождение Бозашы Северный**

##### Природные факторы геодинамического риска:

- *относительно большие размеры месторождения (20х6 км);*
- *блоковое строение со значительным изменением морфологии осадочных отложений (структурного плана по поверхностям разрабатываемых объектов) способствует развитию локальных аномалий квазистационарного поля напряжений;*

- *увеличенная плотность тектонических нарушений в осадочной толще, включая продуктивные интервалы разреза, обеспечивает сегментацию месторождения на 14 тектонических блоков с разным углеводородным потенциалом;*

- *неглубокое залегание продуктивных пластов – средняя глубина залегания кровли отложений юрского комплекса порядка 470 метров, мелового – 340 метров. Данный фактор отражается на скорости проявления на поверхности геодинамических событий – чем ближе к дневной поверхности происходит процесс, тем скорее проявляются на поверхности последствия этого влияния;*

- *относительно высокая суммарная мощность продуктивных горизонтов (более 100 метров), состоящих из меловых продуктивных пластов А, А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, Б, В, Г, Д и юрских - Ю-I и Ю-II;*

- *природная сейсмическая активность в районе месторождения, достигающая 5 баллов согласно картам сейсмического районирования и 5,6 баллов – в смежных регионах;*

- *особенности литологического строения – распространение в продуктивных горизонтах слабоконсолидированных песчаников, песков и алевролитов, обладающих способностью к значительному сжатию (уплотнению) в результате отбора углеводородного сырья и проседанию под действием горного давления. В связи с этим представляется логически обоснованной ссылка, в соответствие с которой при разработке месторождений УВ, представленных терригенными коллекторами риск аномальных проседаний значительно выше, чем на месторождениях с карбонатным типом разрезов;*

- *повышенные фильтрационно-емкостные свойства коллекторов продуктивных горизонтов, могут способствовать возникновению просадочных явлений и, как следствие, разно-ориентированных движений массивов горных пород;*

- *развитие во всех продуктивных горизонтах площадной неоднородности пород-коллекторов по физико-литологическим и механическим свойствам, что*

может привести к их неравномерной площадной сжимаемости (уплотнению) и соответственно к неравномерному проседанию дневной поверхности по площади месторождения УВ;

Выводы по природным факторам:

1. Тектонические блоки, образованные разрывными нарушениями, как правило, обладают разными петрофизическими характеристиками горных пород, и, как следствие, на контактах этих блоков фиксируется повышенное напряженное состояние.

2. Накопленные за современный этап развития локальные поля напряжений могут реализоваться в форме современных сейсмодетонационных процессов по плоскостям активных разломов за счет влияния процессов разработки ГНМБС;

3. Максимальные просадки, разноориентированные движения дневной поверхности прогнозируются в пограничных зонах тектонических блоков. Именно в этих приразломных зонах с наибольшей активностью протекают процессы, вызванные разработкой месторождения.

Техногенные факторы геодинамического риска:

- *длительный и интенсивный отбор углеводородов (накопленная добыча нефти к июню 2014 г. достигла практически 70 млн. тонн)*, приводящий к изменению локальных полей напряжений в резервуаре и вмещающей среде, что инициирует возникновение деформаций (просадок) дневной поверхности с сопутствующими явлениями и сейсмическими событиями.

- *неравномерная площадная добыча углеводородного сырья*. Может привести к нарушению квазистационарного баланса полей напряжений в геологической среде.

- *давление нагнетания флюида* в скважинах для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи пластов и его воздействие на напряженно деформированное состояние геологической среды. В недра месторождения закачено более 52 млн. куб. м воды.

В процессе закачки, проникновение флюида в разломные или трещинно-поровые зоны может привести либо к уменьшению коэффициента трения в разломной зоне, либо к увеличению порового давления.

В первом случае, при определенном уровне уменьшения сил сцепления в зоне разлома могут резко увеличиться сколовые деформации с последующей активизацией разломов и систем трещиноватости, возрасти вероятность проявления сейсмичности. Во втором случае увеличение порового давления флюида может повысить уровень нормального (литостатического) напряжения в среде с реализацией его через возникновение сейсмических событий.

- *Прогнозируемая активизация разломов*, спровоцированная техногенным воздействием (интенсивным отбором нефти), может привести к возникновению техногенно-индуцированной сейсмичности.

Природная сейсмическая активность в районе месторождения Бозашы Северный, согласно картам сейсмического районирования, составляет 5 баллов. Принимая во внимание данное обстоятельство, разработка данного месторождения, равно как и соседних месторождений (Каражанбас, Каламкас,

Жалгизтобе и др.) при активизации подвижек по разломам может привести к возникновению техногенно-индуцированной сейсмичности. В регионе уже были зарегистрированы сейсмические события с магнитудой более 5,6 баллов.

Таким образом, неоднородность геологического строения объектов эксплуатации (относительно большие размеры и блоковое строение, увеличенная плотность разломов и природная сейсмическая активность, неглубокое залегание и увеличенная суммарная мощность продуктивных горизонтов, площадная неоднородность пород-коллекторов, их улучшенные фильтрационно-емкостные свойства и т.п.) вкуче с техногенными факторами геодинамического риска (длительный и интенсивный отбор углеводородов, неравномерная площадная добыча углеводородного сырья давление нагнетания флюида и т.п.) привели к концентрации и неоднородному распределению полей напряжений, к последующим деформации земной коры местах контактов блоков.

В результате происходит сброс напряжений, проявившийся по профилю I-I в виде поднятий и прогибов дневной поверхности.

#### **6.4.3. Выводы по факторам потенциального геодинамического риска на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении и газонефтяном месторождении Бозашы Северный**

Интеграция результатов исследований по КНГКМ и ГНМБС позволяет сформулировать две ветви геодинамических рисков на месторождениях с разными типами геологических разрезов (Рисунок 6.22).

Первая ветвь этих рисков носит условное название природных и состоит из следующих факторов:

- Сложное (блоковое) тектоническое строение;
- Современная аномальная активность разломов;
- Аномальное деформационно-напряженное состояние геологической среды, связанное с историей развития осадочного бассейна;
- Сейсмическая активность разломов;
- Особенности литологии коллекторов и наличие их площадной неоднородности;
- Наличие экзогенных геологических процессов.

Вторую ветвь геодинамических рисков формируют следующие техногенные факторы:

- Размеры месторождения
- Неглубокое залегание продуктивных горизонтов
- Улучшенные фильтрационно-емкостные свойства коллекторов (высокая пористость и проницаемость), изменчивость этих свойств по латерали и вертикальном разрезе
- Нагнетание жидкости в продуктивные пласты для поддержания пластового давления
- Продолжительность и интенсивность разработки месторождения

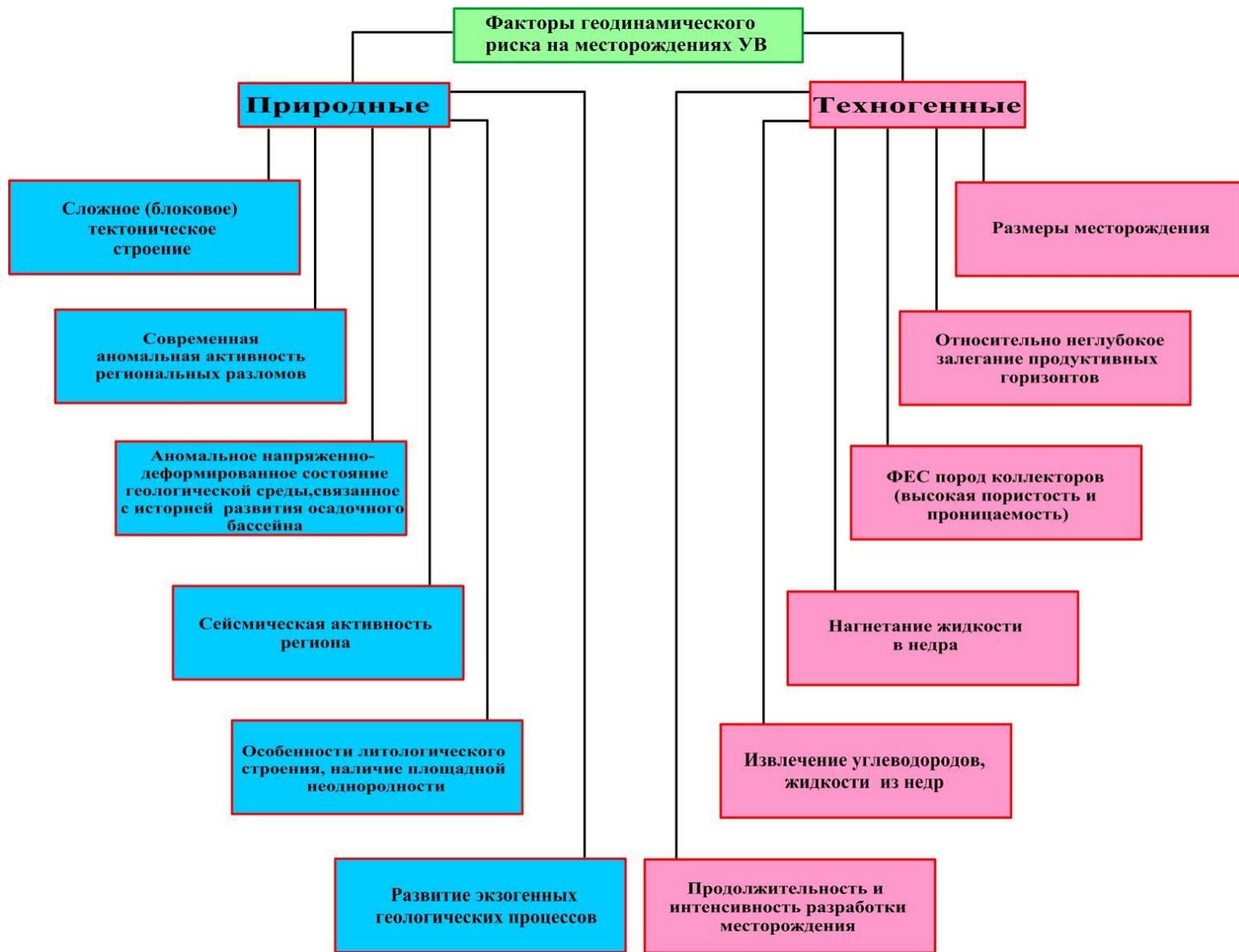


Рисунок 6.22 – Факторы геодинамического риска на территории месторождений углеводородов

Следует сразу оговорить, что первые три фактора носят смешанный природно-техногенный характер.

## **6.5. Обсуждение результатов исследований по геодинамическим рискам на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении и газонефтяном месторождении Бозашы Северный**

### **6.5.1. Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение (КНГКМ)**

В данном разделе диссертации проанализированы результаты исследований с задачей поиска некоторых общих особенностей проявления геодинамических параметров между методами. В результате были выбраны наиболее оптимальные интервалы между циклами измерений, которые отражают, с определенной долей вероятности, некоторые относительно устойчивые особенности проявления геодинамических параметров за период 2009-2012 гг.

Всего выявлены четыре основные формы проявления геодинамических событий на КНГКМ.

#### ***Первая форма. Вертикальные движения дневной поверхности.***

По результатам повторного точного нивелирования было установлено, что контуры зоны вертикальных движений дневной поверхности имеют субширотное простирание, что в целом соответствует простиранию проекции карбонатного массива на дневную поверхность КНГКМ.

При этом максимальные величины современного подъема земной поверхности выявлены над сводом КНГКМ (до +111 мм), где до 2011 г. происходил преимущественно активный подъем этой поверхности что привело к перестройке её структурного плана.

Последующие нивелировки показали смену знака направленности движений дневной поверхности, поднятия сменились опусканиями этой поверхности по всем профилям нивелирования.

По данным повторного нивелирования пиковые значениями просадок дневной поверхности достигают величины: -65 мм (GPS-33), -80 мм (GPS-8), -60 мм (GPS-5) локализуются в зонах раломов в своде проекции карбонатного массива на дневной поверхности.

#### ***Вторая форма. Горизонтальные подвижки дневной поверхности***

По данным повторных высокоточных спутниковых (GPS) измерений площадное распределение векторов горизонтальных движений позволило выявить следующие особенности:

а) в своде КНГКМ зафиксированы небольшие значения разноориентированных горизонтальных движений (с амплитудой от 1,5 мм до 12,0 мм). По периферии свода наблюдается увеличение значений горизонтальных подвижек до 21-31 мм и более. В северо - восточной части свода проекции верхнепалеозойского карбонатного массива на дневной

поверхности выявлена крупная аномалия сжатия дугообразной формы (№5), в которой горизонтальные вектора движения направлены навстречу друг другу.

в) для южной и северной периферии КНГКМ характерны амплитуды горизонтальных подвижек в широком диапазоне изменений; с большими вариациями для южной (от 11,2 мм до 40,1 мм) и меньшими вариациями для северной (от 6,4 мм до 30,4 мм);

с) предполагается существование активных разрывных нарушений по периферии свода верхнепалеозойского карбонатного массива на КНГКМ.

Ориентация векторов горизонтальных движений и их амплитуды дают основание полагать, о развитии неравномерного сжатия в своде разрабатываемого КНГКМ, тогда как на его периферии происходят деформационные процессы растяжения.

### ***Третья форма. Уменьшение значений силы тяжести в зоне с активной добычей углеводородов***

По данным повторных высокоточных микрогравиметрических измерений в своде карбонатного массива, то есть, внутри контура месторождения, обособляется зона, где происходит относительное уменьшение вариаций силы тяжести по отношению к склонам этого массива. Пространственно эта зона совпадает с площадями с активной добычей углеводородов.

Непосредственное влияние на формирование зоны оказали массообменные процессы (темпы отбора несвободного конденсата и нефти, а также газа, обратная закачка газа в продуктивные пласты для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи пластов, продвижение ВНК), т.е. операции по добыче углеводородного сырья.

### ***Четвертая форма. Проявления сейсмических событий.***

По результатам сейсмологического мониторинга выявлена пространственная приуроченность зоны концентрации эпицентров землетрясений к зоне аномального сжатия, характеризующейся относительным подъемом дневной поверхности.

Как уже отмечалось выше, из общего количества сейсмических событий около 80% этих событий сконцентрировано в пределах локальной аномалии сжатия №5, выявленной в северо-восточной части карбонатного массива и приурочены к скважинам, активно добывавших углеводородное сырье из всех объектов разработки, где проявляются в зоне аномальные деформационных процессов и высокоградиентного изменения текущего пластового давления.

Следовательно, разработка месторождения спровоцировала возникновение как интенсивных деформаций, так и слабую локальную сейсмичность. Таким образом, можно говорить о природно-техногенном генезисе сейсмичности в своде карбонатного массива на КНГКМ.

Периферийные части КНГКМ выделяются практически асейсмичным режимом.

В сумме, все четыре вышеизложенные геодинамические факторы привели к деформационным процессам в продуктивных отложениях.

Таким образом, результаты геодинамического мониторинга на КНГКМ впервые для Прикаспийской впадины позволили получить убедительные

данные о заметных сейсмодеформационных процессах в недрах, связанных с добычей углеводородов.

### **Выводы**

Использование геофизических и геодезических методов в комплексе дало возможность зафиксировать природно-техногенные события в форме землетрясений, активизацию разломов, деформации земной поверхности под влиянием вертикальных и горизонтальных движений массивов горных пород.

С некоторыми допущениями, можно полагать что осуществление долгосрочного мониторинга и комплексной интерпретации результатов позволяет выполнить:

1. Геодинамическое районирование территории КНГКМ с учетом имеющихся геолого-геофизических и промыслово-геологических данных с выделением потенциальных участков высокого геодинамического риска, в том числе:

- области аномальных деформаций геологической среды в зонах разломов;
- участки аномального проседания земной поверхности в зонах высокой добычи углеводородов;
- участки аномальных горизонтальных смещений горных массивов;
- расчет и последующий анализ составляющих аномалий стационарного поля напряжений - потенциальных зон возникновения индуцированных землетрясений, зонирование территории КНГКМ на этой основе;
- детальное сейсмическое районирование территории месторождения.

2. Анализ возможных механизмов взаимосвязи деформационных, сейсмических и геодинамических процессов естественного и антропогенного происхождения в условиях длительной эксплуатации месторождения с объяснением пространственных и временных изменений данных мониторинга.

3. Моделирование комплексного проявления эффектов от объема добычи углеводородного сырья и деформации (уплотнения) пород-коллекторов с использованием данных о вариациях силы тяжести, оседания поверхности.

Комбинация рассмотренных выше методов, примененная ко всем имеющимся данным, может предоставить достаточную информацию для изучения свойств и причин сейсмических деформационных процессов на месторождении. Это не только позволит оценить сейсмический деформационный статус разрабатываемой залежи, но и даст основу для прогнозирования последствий долгосрочной эксплуатации месторождения.

В свою очередь, полученные выводы подтверждают необходимость и обязательность проведения геодинамического мониторинга в целях изучения и оценки возможностей возникновения различных сценариев геодинамических ситуаций, связанных с разработкой месторождений углеводородов.

### **6.5.2. Газонефтяное месторождение Бозашы Северный**

В реальных условиях необходимость получения количественной информации о пространственно-временном изменении параметров современной природно-техногенной геодинамики недр обосновало проведение

геодинамического мониторинга на месторождениях углеводородов в целом, а учет природных и техногенных факторов риска, характеризующих месторождение Бозашы Северный, вызвало необходимость комплексного подхода к организации геодинамического мониторинга на этом месторождении [166].

По результатам геодинамического мониторинга на ГНМБС в соответствии с выбранной методикой его организации за 7 летний период наблюдений определена динамика смещений дневной поверхности, что позволило сделать выводы о геодинамических событиях, протекающих на протяжении всех периодов наблюдений, а не от цикла к циклу (когда проводятся инструментальные наблюдения).

Эти результаты были сопоставлены с результатами непрерывных GPS-наблюдений, которые фиксируют положение станций (координаты и абсолютную высоту) на территории месторождения в непрерывном режиме.

Было установлено:

– Наличие общего тренда просадок дневной поверхности, с небольшими поднятиями на отдельных пунктах наблюдений по данным GPS-измерений и повторного нивелирования. При этом, максимальные значения проседания земной поверхности наблюдений установлены в свде локальной структуры Бозашы Северный.

– В пробуренных здесь скважинах производится увеличенный отбор нефти, зафиксированы максимальные величины падения пластового давления в нефте-и газонасыщенных коллекторах.

– На флангах локальной структуры Бозашы Северный выявлено последовательное уменьшение величины просадок, без скачкообразных изменений положения дневной поверхности, а также зафиксирован рост значений пластовых давлений по объектам эксплуатации в скважинах, пробуренных с относительно разреженной сетью и невысокой плотностью.

– Вариации локального поля силы тяжести напрямую коррелируются с объемами отобранных углеводородов и закаченной в эксплуатируемые интервалы воды для поддержания пластового давления.

– Установлена высокая сходимость результатов наблюдений наземных инструментальных и дистанционных методов (в интерферометрической обработке) в циклах геодинамического мониторинга.

Таким образом, выявленная зона просадок по профилю I-I по данным повторного высокоточного нивелирования подтверждается результатами GPS и гравиметрических измерений, повторных спутниковых наблюдений и согласуется с промысловыми данными. Разница в значениях находится в пределах допустимых ошибок измерений и наблюдений, и может быть объяснена разными датами получения информации в той или иной точке.

В целом, вся полученная информация указывает на существование реальной совокупности природно-техногенных факторов потенциального геодинамического риска на ГНМБС, проявившему себя в форме концентрации и неоднородного распределения полей напряжений с последующей

деформацией геологической среды в местах контактов блоков в виде поднятий и прогибов дневной поверхности.

Следовательно, сочетание техногенных факторов с природными геодинамическими процессами повышает риски возникновения аномальных и, соответственно, опасных природно-техногенных геодинамических событий, таких как землетрясения, активизация разломов, интенсивные просадки дневной поверхности, горизонтальные смещения массивов горных пород, поверхностное разломообразование и др.

Итак, независимо от масштабов влияния отдельных факторов, первичной причиной проседания дневной поверхности на газонефтяном месторождении Бозашы Северный является отбор углеводородного сырья и закачка воды для поддержания пластового давления.

При этом структурно-геологический (тектогенный) фактор также вносит свой вклад в форме блокового площадного распределения современных вертикальных движений земной поверхности.

К примеру, обилие разрывных нарушений и раздробленность на блоки ГНМБС обусловило увеличение риска проявления тектонических деформаций природного генезиса.

На основании вышеизложенного и с некоторыми допущениями можно полагать, что осуществление долгосрочного мониторинга и комплексной интерпретации полученных результатов позволяет выполнить:

1. Геодинамическое районирование территории месторождения Бозашы Северный с учетом имеющихся геолого-геофизических и промысловых данных с выделением потенциальных участков высокого геодинамического риска;

2. Исследования по геомеханике, геофизике и гидрогазодинамике нефтегазонасыщенных коллекторов в юрских и меловых продуктивных отложениях для получения дополнительных сведений по причинам и механизмам природно-техногенной геодинамики и динамики в системе разрабатываемого ГНМБС.

3. Анализ возможных механизмов взаимосвязи деформационных геодинамических процессов естественного и антропогенного происхождения в условиях длительной эксплуатации месторождения с объяснением пространственных и временных изменений данных мониторинга.

4. Моделирование комплексного проявления эффектов от объема добычи углеводородного сырья и деформации (уплотнения) пород-коллекторов с использованием данных о вариациях силы тяжести.

5. Оценить глубины геодинамических процессов в породном массиве, уточнить геологическое строение, в частности положение разломных структур и узлов напряженно-деформированного состояния геологической среды, а также выявлять участки с нарушенными гидродинамическими процессами.

## **6.6. Развитие экзогенных процессов геологических процессов на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении**

При изучении суффозионных явлений геофизическими методами в диссертации были решены две задачи. В рамках первой – выявлены причины образования суффозионных воронок, для чего исследованы геолого-гидрологические условия (глубина залегания горизонта подземных вод и глубина водоупора).

Вторая задача была связана с наблюдениями непосредственно в зоне суффозионных процессов с целью прогнозирования их развития.

Основой для геологической интерпретации стали: а) цифровые модели аномалий гравитационного поля в редукции Буге, приведенные к условному уровню ( $\bar{b}=2,0 \text{ г/см}^3$ ) (Каскад, Surfer); б) формы рельефа дневной поверхности участка по результатам GPS съемок; в) распределение кажущегося удельного сопротивления на различных глубинах, полученных комплексом электромагнитных методов с контролируемыми источниками, включая электротомографию, вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электромагнитное зондирование становлением поля (ЗС), частотное зондирование (ЧЗ).

В целом, на КНГКМ уже сформировавшиеся суффозионно-карстовые воронки обладают линейным характером размещения вдоль зон повышенной трещиноватости в компетентных породах, по которым происходят флюидодинамические (миграционные) процессы. Такие зоны нарушения сплошности горных пород со временем приобретают черты разломов и могут характеризоваться различными формами деформаций дневной поверхности [174, 175].

Поэтому, логичным представляется выявление и трассирование таких активизированных зон также и методом повторного точного нивелирования [83].

В силу вышеперечисленных мотивов фокус внимания в наших исследованиях был поставлен на: а) исследования возможности картирования линейных ослабленных зон, вдоль которых развиваются карстово-суффозионные процессы, б) на площадное картирование собственно карстово-суффозионных воронок и исследование суффозионных процессов на различных стадиях их развития.

Совместный анализ геолого-геофизических и геодезических данных позволил выделить критерии обнаружения аномальных зон с развитым процессом разуплотнения осадочных пород, связанным с формированием суффозионных воронок.

По результатам GPS съемки установлено, что участки проявления карстово-суффозионных воронок (неправильной либо полигональной формы) приурочены к локальным районам поднятия дневной поверхности амплитудой от 0,1 м до 0,5 м, исходя из чего, первым признаком для качественного выделения изучаемых объектов являются положительные формы рельефа дневной поверхности, в купольной части осложненные воронкообразными прогибами.

В локальном гравитационном поле суффозионно-карстовые воронки в плане обособляются отдельными локальными изометричными аномалиями

овальной, кольцевой и полигональной формами, которые характеризуются относительными минимумами аномалий силы тяжести [до (-0.5)-(-0.6) мГал], что вызвано процессами разуплотнения горных пород.

В первом приближении локальные аномалии гравитационного поля хорошо коррелируются с вариациями рельефа дневной поверхности.

Электроразведка на площади исследований выполнена разноглубинными методами - электротомография, вертикальное электрическое зондирование, частотное зондирование и зондирование становлением поля.

Суффозионные воронки хорошо проявляются в поле удельного электрического сопротивления, значения которого характеризуют литологический состав осадков, пористость, влажность, водонасыщение, а также составляющую их ионнопроводящую среду.

По результатам выполненных работ построены разрезы и карты распределения удельного электрического сопротивления на разных глубинах (вплоть до глубин 400-500 м), трехмерные геоэлектрические модели. Выделены зоны (по параметру УЭС), к которым приурочены выявленные воронки, определено направление выноса разрушенных (размытых) горных пород. Выявлены структуры, связанные с зонами развития суффозионно-просадочных процессов, и сформулированы возможные причины их формирования.

По данным электромагнитного частотного зондирования (ЧЗ) анализ распределения кажущегося удельного сопротивления на глубине 2,5 м показал, что на участках суффозионных воронок удельное сопротивление составляет 12-15 Ом\*м, при значениях коэффициента водонасыщения 0,413 - 0,570 д.е. Воронки, заполненные водой, на той же глубине, характеризуются удельным сопротивлением 16 -18 Ом\*м (SH8).

На глубине 7 м значения удельного сопротивления изменяются от 9,5 Ом\*м до 14-15 Ом\*м.

Таким образом, исходя из распределения данного параметра, площадь развития суффозионных воронок обособляется умеренными значениями УЭС.

Согласно интерпретации данных электроразведки зондированием становления поля (ЗС) на геоэлектрическом разрезе четко выражена тенденция резкого флекусорообразного погружения кровли опорного геоэлектрического горизонта (соотнесенного с глинами триаса) с повышенным значением УЭС до 20–50 Ом·м, представленного по геологическим данным в интервале глубин кровли от 80 м до 300 м, с нарастанием глубин в восточном направлении.

Согласно залегающие выше более низкоомные горизонты с уровнем УЭС в 3,2–6,0 Ом·м интерпретируются как образования меловой и юрской систем, которые сложены породами глинистых и известняковых фракций с высоким уровнем минерализации, их мощность возрастает с первых метров до 250 м и более.

Неоген-четвертичные отложения представлены отложениями мощностью от 20–25 м до 80 м. Развитые в них суффозионные воронки обособляются значениями УЭС в интервалах 6,1–12,0 Ом·м.

Установлен факт, в соответствие с которым эти образования формируются в зонах повышенной напряженности в местах резкого перегиба (флексуры) по глубоко залегающим высокоомным горизонтам триаса и перми.

*По данным интерпретация ВЭЗ* глубина до кровли опорного высокоомного горизонта составляет 75 м (одна из границ пермо-триаса), значения УЭС этого горизонта достигают ~50 Ом·м.

Залегающие выше низкоомные отложения меловой и юрской систем характеризуются значениями удельного электрического сопротивления 4–7 Ом·м и согласуются с данными ЗС. По комплексу данных ВЭЗ и ЗС мощность отложений меловой и юрской систем изменяется от 40 м в западной части площади исследований до 250–300 м в её восточной части.

Приповерхностные горизонты неоген-четвертичных отложений неоднородны по значению удельного электрического сопротивления, которое изменяется от 5–8 до 15–20 Ом·м. Их мощность изменяется от 4 м до 40 м.

На участках развития суффозионно-просадочных воронок (имеющих линзообразное строение) до глубин примерно в 20 м зарегистрированы породы со значениями УЭС 3–5 Ом·м, реже до 10–15 Ом·м. Интерпретируются как зоны в различной степени обводненные.

За пределами этих участков в составе неоген-четвертичных пород распространены более высокоомные отложения с УЭС в 18–20 Ом·м, развитым до глубин в 50–60 м.

Тонкий верхний почвенный горизонт небольшой мощности (от 0,5 до 1 м) характеризуется высокими значениями УЭС (45–150 Ом·м). Его геоэлектрические характеристики сильно изменяются по профилю без какой-либо общей тенденции, по-видимому, они определяются локальными геоморфологическими особенностями.

Таким образом, представляется возможным выделить следующую характерную особенность - большая часть суффозионных воронок по данным ВЭЗ выделяется в полосе прогиба в рельефе дневной поверхности, который в свою очередь пространственно коррелируется с флексуриобразным перегибом по поверхности высокоомного горизонта в отложениях пермо-триаса.

*Результаты интерпретация данных электротомографии* позволили установить детальное геоэлектрическое строение приповерхностных неоген-четвертичных отложений до глубины 40 м. Полученный интервал изменений значений УЭС (от 1 до 30 Ом·м) для этих отложений согласуется с данными ВЭЗ и ЗС, а построенные разрезы наглядно отражают геоэлектрическое строение в зонах расположения суффозионных воронок.

На геоэлектрических разрезах на глубине в 5–6 м непосредственно под воронкой выделяются отложения с повышенным значением УЭС относительно вмещающих пород, что можно объяснить разуплотнением грунта. Кроме того, одной из особенностей распределения воронок по площади является приуроченность их большинства к контакту протяженных высокоомных зон с более проводящими зонами, общим простиранием с запада на восток. Эти зоны выделены на глубинах, начиная от 15–20 м.

Полученный результат позволяет сделать предположение, что интервал 2-12 м от дневной поверхности является самым благоприятным для развития процесса суффозии. Это подтверждают и результаты испытания образцов из скважины SH-1, находящейся на одной линии с воронками SH9 и SH8 и выделенными аномальными участками 1-5 (Рисунок.6.23).

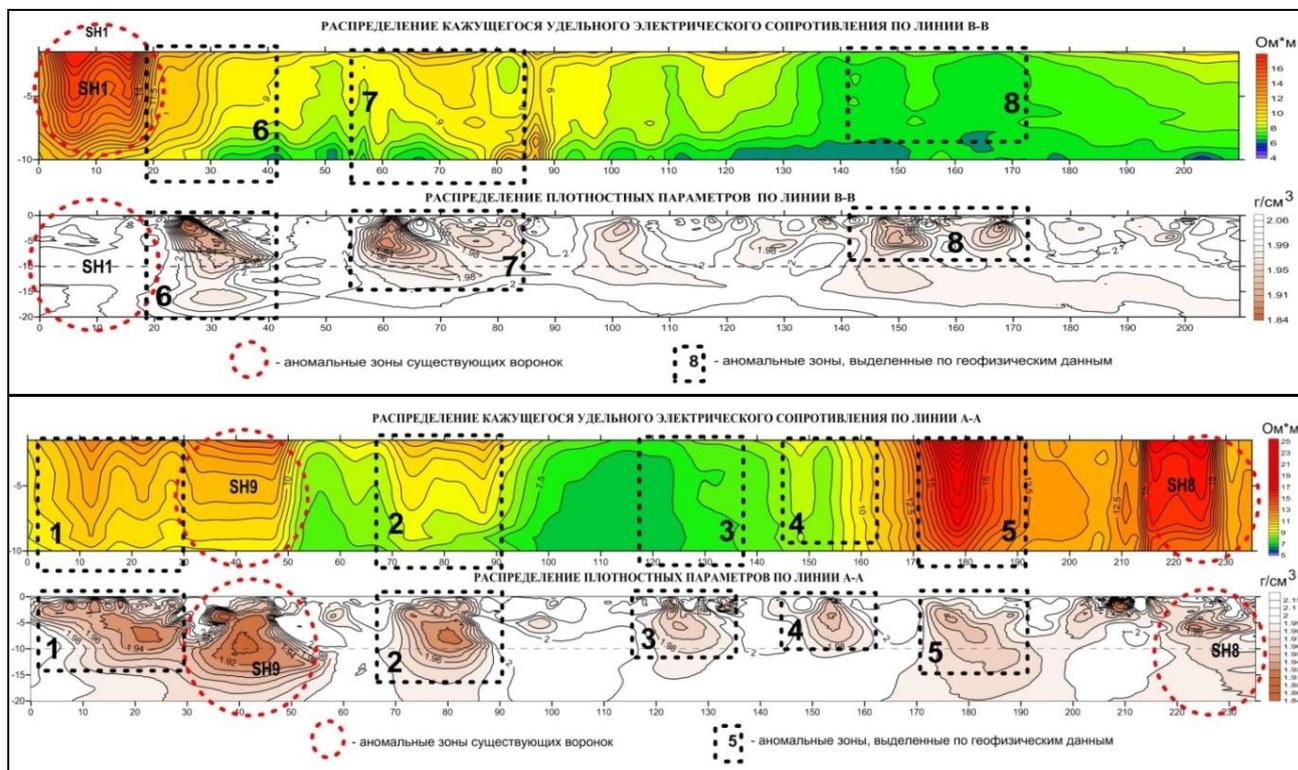


Рисунок 6.23 – Геофизические разрезы по линиям А-А и В-В

Судя по распределению плотностных параметров, самыми активные суффозионные процессы происходят на участке воронки SH9 и вновь обнаруженных аномальных участках 1, 2 и 6 (Рисунок 6.23). Определение глубины выделенных областей разуплотнения проводилось по построенным геофизическим разрезам

Анализ геофизических разрезов позволил определить размеры распространения новых участков разуплотнения и существующих воронок (с радиусом изменяющимся от 11 м до 30 м) и их глубину (от 7 м до 20 м) вдоль линий А-А и В-В. Размеры выделенных участков разуплотнения 9-14 определены по карте распределения плотностных параметров на глубине 10 м и изменяются от 7 до 14 м (Таблица 6.1).

Анализ изменений плотностных характеристик аномалий с глубиной показывает, что, начиная с глубины 15 м плотность пород увеличивается, из чего следует, что области разуплотнения формируются выше этого горизонта и составляют 10-11 м.

*Результаты геоэлектрического моделирования по комплексу методов.* По результатам анализа, обобщения и согласования геоэлектрических моделей,

полученных по данным каждого метода электроразведки, была построена модель, характеризующая строение площади исследования в целом.

От дневной поверхности до глубины 40 м модель создана по данным электротомографии, до глубины 120 м – по данным ВЭЗ, строение самых глубинных горизонтов до 500 м отражают данные ЗС.

В приповерхностной части геоэлектрической модели по данным ЭТ выделено чередование протяженных высокоомных и низкоомных зон, представленных отложениями неоген-четвертичного возраста и выделенных на глубинах от 15 до 40 м.

Высокоомные зоны с УЭС от 25 до 50 Ом•м могут быть соотнесены либо с более плотными малообводненными грунтами, либо с разуплотненными породами, из которых произошло вымывание глиняного и солевого «цемента».

Низкоомные зоны представлены более обводненными породами с УЭС ~5–10 Ом•м. В контуре этих зон либо на контакте высокоомных и низкоомных аномалий сформировались суффозионно-просадочные воронки.

По-видимому, на контакте высокоомных и низкоомных зон и в собственно низкоомных зонах происходила инфильтрация поверхностных вод с растворенными отложениями на глубину. Это могло привести к проседанию приповерхностных отложений до глубин порядка 15–30 м с последующей просадкой грунтов.

Поскольку по геологическим данным участок исследования расположен на границе надпойменной террасы и делювиального склона, чередование высокоомных и низкоомных зон, скорее всего, связано с особенностями формирования отложений на этой границе. Такая ситуация является проекцией флексуобразного перегиба триасовых и более древних отложений, равно как и погружение юрско-меловых комплексов пород.

Инфильтрация поверхностных вод происходила по обводненным горизонтам пород меловых и юрских отложений по системам разломов и макротрещиноватости, сложенных породами глинистых и известняковых фракций с высоким уровнем минерализации подземных вод и пониженными значениями УЭС 3 - 6 Ом•м. Толщина этих отложений варьирует от 40 до 200 м.

Ниже по разрезу четко прослеживается тенденция резкого флексуобразного погружения кровли высокоомного горизонта со значениями УЭС до 20–50 Ом•м, представленного уплотненными породами глинистой фракции триасового возраста в интервале глубин от 80 м в западной части участка до 300 м в его восточной части. Мощность горизонта по разрезу выдержана и составляет ~300 м. В процессе вымывания растворимых частиц в вышележащих слоях этот высокоомный горизонт являлся водоупорным.

Фактор флексуобразного перегиба погруженных горизонтов триасовых и перских отложений способствует формированию дополнительных зон/интервалов трещиноватости, по которым могла происходить инфильтрация поверхностных вод на глубину.

Под высокоомными отложениями триаса, отмечено появление низкоомного интервала (с УЭС ~6–7 Ом•м) на глубинах 400–500 м,

обусловленного присутствием проводящих горных пород в кровле соленосного купола. В западной части, где кровля купола расположена ближе всего к дневной поверхности, удалось определить его геоэлектрические параметры. Согласно геологическим данным, погружение кровли соляного купола происходит на восток, что полностью подтверждено результатами интерпретации данных метода ЗС.

Внедрение пластичных соленосных масс в вышележащие породы происходит по ослабленным зонам и вызывает образование новых трещин, даже частичное обводнение которых влияет на процессы суффозии. Исходя из этого можно считать, что суффозионные явления связаны с соляно-купольной тектоникой и подчеркивают активное влияние эндогенного фактора.

Вместе с тем, в формировании суффозионно-просадочных воронок не менее активное, а может быть более активное участие принимал экзогенный фактор.

К примеру, известно, что одной из причин возникновения суффозионных процессов является искусственное нарушение режима подземного потока. Например, открытый водоотлив из гидротехнических сооружений и природных водоемов часто вызывает увеличение скорости движения потока подземных вод, что приводит к выносу частиц из грунта [178].

На площади исследований нарушение гидрогеологического режима связано с постройкой гидротехнического сооружения.

В 1950–1960 гг. прошлого столетия в русле одной из балок было создано водохранилище, расположенное южнее участка проявления суффозионных явлений. В приплотинной зоне его левого борта выполнено водоотводное сооружение для сброса излишков воды из водохранилища по сухому логу в понижение, к которому и приурочено большинство суффозионных провалов.

Таким образом, возникший новый поверхностный водоток вместе с участками разливов сбросовых вод в его устье, вероятнее всего стал фактором интенсивного увлажнения суглинистых просадочных грунтов, а его продолжительное воздействие вызвало активизацию суффозионно-просадочного процесса.

При периодических сбросах из водохранилища вода вымывала из приповерхностных неоген-четвертичных отложений глиняный и солевой «цемент», а выявленные зоны высокоомных пород в этих отложения задавали направление вымывания. Затем воды фильтровались в подстилающие низкоомные горизонты меловой и юрской систем по системам разломов и макротрещин.

При этом засоленность грунтов и наличие в них монтмориллонита способствовали развитию процессов суффозии, набухания и просадок. Эти свойства обусловили формирование положительных (бугров) и отрицательных (суффозионных блюдец, суффозионных воронок) форм рельефа дневной поверхности.

Таким образом, можно говорить, что совместно с фактором формирования систем разломов и макротрещин под влиянием процессов галокинеза

экзогенный фактор воздействия поверхностных вод способствовал образованию суффозионных воронок.

Исходя из фактора геоэлектрического строения приповерхностных отложений, выделяются две группы воронок на площади исследований со своим механизмом образования.

По всей видимости, процесс формирования этих групп воронок еще не закончен и, скорее всего, он будет иметь продолжение. Визуальный осмотр воронок подтверждает этот вывод.

Первая группа, в которую входит большинство воронок с номерами 2–8, 10–15, расположена в зоне пониженных значений абсолютных высотных отметок, соответствующих руслу сброса вод из водохранилища. Основной механизм их образования связан с разгрузкой сбросовых вод в подстилающие низкоомные горизонты меловой и юрской систем.

Несколько другой механизм образования второй группы воронок – 1 и 9. Они находятся вне основного русла сброса вод, и основной вклад в вымывание цементирующих компонент грунтов верхней части разреза происходит именно за счет инфильтрации талых вод и атмосферных осадков в подстилающие низкоомные горизонты меловой и юрской систем.

К этому следует добавить, что результаты анализа материалов геодезических и гравиметрических съемок с 2009 по 2011 гг. на 17 пунктах опорного профиля, пересекающего площадь исследований в меридиональном направлении, установлена прямая зависимость количества осадков с деформациями дневной поверхности и вариациями аномалий силы тяжести.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что полученные результаты показали высокую эффективность применяемого комплекса методов электроразведки, гравиметрии, спутниковой геодезии и лабораторных исследований грунтов для решения задач гидродинамического мониторинга на КНГКМ с целью определения зон площадного и глубинного развития суффозионного процесса.

## 7. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В диссертации представлены исследования по системному анализу данных комплексного ГДМ, который учитывает возможность возникновения и развития современных сейсмодоформационных процессов природного и техногенного генезиса.

Исследовались следующие формы проявления этих процессов на месторождениях РК, РФ и зарубежных стран (Рисунок 7.1):



Рисунок 7.1 – Объекты и методы геодинамического мониторинга

- **современная активность разломов и разрывных нарушений**, которые могут активизироваться под влиянием процессов разработки месторождений УВ;
- **современные вертикальные движения земной поверхности**, в том числе просадки земной поверхности, связанные с извлечением углеводородного

сырья, падением пластового давления, неравномерным площадным и временным изменением физических свойств пород-коллекторов и др.;

- **горизонтальные сдвиги массивов горных пород**, как следствие интенсивных просадок земной поверхности, которые могут усиливаться за счет влияния локальных неоднородностей в пластических породах (соленосные отложения), играющих роль «смазки» при горизонтальных смещениях;

- **локальные деформационные процессы** в продуктивных интервалах разреза (известные процессы уплотнения терригенных пород-коллекторов), усиливающие проседание либо подъем дневной поверхности.

- **развитие местной техногенной и индуцированной сейсмичности.**

Вышеуказанные формы возникновения природных и техногенных событий определили выбор рационального базового комплекса видов и методов мониторинга этих процессов на КНГКМ и ГНМБС.

Результаты исследований показали, что только в случае длительных, регулярных и крупномасштабных работах по ГДМ природные и техногенные события могут быть замечены на ранних стадиях их проявления и иногда даже предсказаны. При кратковременных (эпизодических) наблюдениях оценка произошедших явлений, их анализ и тем более, прогноз чрезвычайно затруднены.

Надежность полученных результатов достигается за счет переобработки первичных данных о состоянии недр путем оценки точности регистрации изменений, вызванных эксплуатацией месторождений, анализом масштаба проведенных исследований, периодичности и продолжительности наблюдений.

Результаты диссертационных исследований позволяют сделать следующий общий вывод по проводимому в РК геодинамическому мониторингу на эксплуатируемых месторождениях УВ:

- Выполнен большой объем работ по проведению ГДМ в районах интенсивной разработки месторождений УВ. Республика Казахстан занимает передовые позиции по целенаправленному ведению этих работ. Комплекс исследований (в т.ч. базовый), который применяется на рассмотренных месторождениях, направлен на получение конкретной исходной информации для последующих расчётов и безопасного проведения основных работ согласно технологическим схемам разработки месторождений УВ.

- По созданной сети линий и пунктов измерения методами ГДМ выполняются один или два раза в год, в зависимости от уровня интенсивности геодинамических параметров.

- Весь полученный материал соответствующим образом обработан, оценено качество и точность выполненных работ.

В частности, диссертационные исследования по интенсивности изменения геодинамической обстановки на КНГКМ и ГНМБС позволили охарактеризовать динамику развития деформационных процессов, протекающих в их недрах и выделить факторы геодинамического риска, полученные в результате анализа априорной геолого-геофизической и промысловой информации.

За небольшим исключением оказалось, что выявленные величины геодинамических параметров имеют умеренный характер. Однако в некоторых случаях уровень современного геодинамического состояния недр достигает повышенных значений.

В итоге доказана эффективность современной системы контроля за непрерывно меняющейся геодинамической обстановкой в соответствии с непрерывно меняющейся промыслово-геологической ситуацией в процессе добычи углеводородного сырья.

Вместе с тем, один из важных элементов системного подхода связан с поэтапным развитием системы мониторинга, как в отношении объемов, так и методов мониторинга в зависимости от стадий исследований и получаемых результатов.

Принимая во внимание данное обстоятельство, с целью снижения факторов потенциального геодинамического риска возникает настоятельная необходимость в выполнении следующих видов работ.

### **7.1. Рекомендации по дальнейшему проведению геодинамического мониторинга на КНГКМ и ГНМБС**

Интенсивная разработка КНГКМ и ГНМБС неизбежно сопровождается достаточно ощутимым техногенным воздействием на геологическую среду. Неблагоприятное сочетание техногенных факторов с природными геодинамическими процессами может привести к возникновению аномальных и, соответственно, опасных природно-техногенных геодинамических событий, таких как землетрясения, активизация разломов, интенсивные просадки земной поверхности, горизонтальные смещения массивов горных пород, поверхностное разломообразование и др.

Мероприятия, направленные на усовершенствование комплекса геодинамических исследований с целью получения кондиционной информации, обоснованы, в первую очередь, результатами работ по геодинамическим наблюдениям, проведенных на КНГКМ и ГНМБС.

В свою очередь сложившаяся ситуация требует:

1. Сохранения применяемого базового комплекса полевого и дистанционного геодинамического мониторинга и применяемой методики измерений.

2. Выполнения геодинамического районирования территории месторождений с учетом имеющихся геолого-геофизических и промыслово-геологических данных с выделением потенциальных участков высокого геодинамического риска, в том числе:

- области аномальных деформаций геологической среды в зонах разломов;
- участков аномального проседания земной поверхности в зонах увеличенной добычи углеводородов;
- площадей аномальных горизонтальных смещений горных массивов;

- участков потенциальной возможности проявления сейсмических событий, особенно там, где происходит смена векторов горизонтальных подвижек, процессов дилатации на сжатие.

3. Расчет и последующий анализ составляющих аномалий стационарного поля напряжений - потенциальных зон возникновения индуцированных землетрясений, зонирование месторождений УВ на этой основе.

4. Изучение возможных механизмов взаимосвязи деформационных, сейсмических и геодинамических процессов естественного и антропогенного происхождения в условиях длительной эксплуатации месторождения с объяснением пространственных и временных изменений данных мониторинга.

5. Моделирование комплексного проявления эффектов от объема добычи углеводородного сырья и деформации пород-коллекторов с использованием данных о вариациях силы тяжести, оседания поверхности.

6. Проведение комплекса мероприятий, осуществляемых в рамках мониторинга, предусматривает непрерывные и/или регулярные геодезические, геофизические, дистанционные и поверхностные наблюдения. При этом определяется набор качественных и количественных показателей, наиболее полно характеризующих объекты мониторинга, их состояние и протекающие экзогенные и эндогенные природно-техногенные геологические процессы.

Для каждого месторождения устанавливается свой набор показателей наблюдений, который наилучшим образом отвечает задачам локального мониторинга с целью дальнейшего контроля, в частности промышленной безопасности нефтедобывающих комплексов. ***Разнообразие объектов, форм проявления геодинамических событий различного генезиса требует постоянного совершенствования в методике и аппаратном обеспечении, для получения сопоставимых результатов и унификации всех решений ГДМ необходимо современное техническое оснащение.***

7. Усиление научно-методического сопровождения полевого геодинамического мониторинга, главным образом, в части исследования связей между геодинамическими и промысловыми параметрами, опираясь на комплекс аналитических, модельных и экспертных оценок.

8. Организация информационного обеспечения ГДМ на локальных участках, учитывая быстрое накопление как мониторинговой информации, так и результатов анализа, интерпретации и обобщения результатов мониторинга.

Система информационного обеспечения ГДМ должна быть открытой для дальнейшего развития и совместимой с другими автоматизированными системами контроля и управления разработкой месторождения. Практическая реализация создания информационной системы геодинамического мониторинга даст возможность эффективно контролировать возможные геодинамические события и явления в процессе эксплуатации месторождения и, в конечном итоге, поможет обеспечить максимальную экономическую и экологическую безопасность при добыче углеводородного сырья.

В случае реализации рекомендуемых мер, результаты комплексного мониторинга деформационных процессов на месторождениях УВ могут стать действенным методом обеспечения геодинамической безопасности в общей

системе управления и контроля за разработкой этих месторождения, а также в системе охраны недр и окружающей среды.

## **7.2. Направления работ на КНГКМ**

Видятся по следующим направлениям:

1. Выделение потенциальных участков высокого геодинамического риска, в том числе области аномальных деформаций геологической среды в зонах разломов. Локализацию разломов следует производить по:

- данным повторного нивелирования по пиковым просадкам дневной поверхности;

- резкой смене векторов горизонтальных подвижек, при переходе от свода КНГКМ к его переклиналильным частям по данным повторных высокоточных спутниковых (GPS) измерений;

- линейным градиентным зонам перехода от пониженных к повышенным значениям вариаций силы тяжести;

- очагам землетрясений и высокоградиентным изменениям текущего пластового давления по различным объектам разработки;

- участкам аномального проседания земной поверхности в зонах высокой добычи углеводородов.

2. Оптимизация методов геодинамического мониторинга путем включения в комплекс полевых методов радарной интерферометрией.

### **7.2.1. Рекомендации по изучению экзогенного фактора на КНГКМ**

В диссертации помимо ГДМ были изучены проявления суффозионных процессов в северо-восточной части КНГКМ.

1. Выполнена геологическая интерпретация геодезических, гравиметрических и электрометрических данных, лабораторных исследований грунтов. В результате были выделены поисковые признаки проявления в потенциальных полях и рельефе существующих карстово-суффозионных воронок и в соответствии с ними выделены области развития потенциальных воронок.

По результатам выполненного комплекса работ сделаны следующие выводы:

Интервал 2-12 м от поверхности земли в настоящее время является самым благоприятным для развития суффозии.

2. Глинистые минералы имеют руководящее значение при определении физико-механических свойств грунтов участков, пораженных суффозией. Наличие в грунтах монтмориллонита и засоленность грунтов способствуют развитию процессов суффозии, набухания и просадочных свойств, что способствует развитию положительных (бугров) и отрицательных (суффозионных блюдеч, суффозионных воронок) форм рельефа.

3. По результатам анализа материалов геодинамического мониторинга, геодезическим и гравиметрическим методами с 2009 по 2011 гг. (5 циклов) на

17 пунктах опорного профиля, пересекающего исследуемый участок в меридиональном направлении, установлена прямая зависимость количества осадков в период проведения исследований с деформациями земной поверхности и вариациями аномалий силы тяжести.

4. Выполненные гравиметрические измерения на опытных участках в районах существующих воронок №№ 8 и 9 по сети 2,5 х 4 м и 2,5 х 2 м соответственно показали достаточность сети 5 х 4 м для выявления аномалий, связанных с зонами разуплотнения пород на участке работ и при дальнейшем изучении суффuzionных процессов на КНГКМ.

5. По результатам геологической интерпретации гравиметрических и электрометрических данных, рельефа в северо-восточной части КНГКМ выделено 9 аномальных участков с развитым процессом разуплотнения осадочных пород, отражающихся в локальном гравитационном поле аномалиями интенсивностью от -0,02 мГал до -0,05 мГал, в рельефе – положительными формами амплитудой от 0,1 м до 0,35 м, в распределении удельного сопротивления – умеренными значениями от 8 Ом\*м до 16 Ом\*м на глубине 2,5 м и от 6 Ом\*м до 12 Ом\*м на глубине 7 м.

Пять аномальных участков расположены в одном ряду с существующими воронками SH8 и SH9 во второй линейной зоне, три (6, 7, 8) – в первой линейной зоне расположения существующих карстовых воронок между воронками SH1 и SH2, одна (9) – вблизи существующей воронки SH10.

Дополнительно выделено 5 аномальных участков, где процесс суффозии находится в начальной стадии, так как они характеризуются пониженными значениями параметров, как в гравитационном поле, так и в рельефе. Находятся выделенные аномалии между линейными зонами расположения существующих карстовых воронок: 10, 11 и 12 между 2 и 3 линейными зонами, 13 и 14 между 1 и 2 линейными зонами.

6. По совокупности признаков самыми активными по состоянию на июнь 2011 г. являются воронка SH9 и выделенные аномальные области 1 и 2 в линейной зоне 2 и 6 в линейной зоне 1.

Полученные результаты высокоточной гравиметрической съемки и электрометрические работы, спутниковой геодезии и лабораторных исследований грунтов показали эффективность применяемого комплекса методов с целью определения областей площадного и глубинного развития суффuzionно-карстового процесса.

И, в соответствии со сформулированными выводами, рекомендуется:

1. Продолжить применение рассмотренного выше комплекса геодезических, геофизических и геологических методов с целью определения областей площадного и глубинного развития суффuzionного процесса для определения скорости развития суффозии на изучаемом полигоне.

2. Дополнить данный комплекс гидрогеологическими и гидрологическими наблюдениями за режимом подземных и поверхностных вод за изменениями параметров поверхностных проявлений суффозии.

Все эти методы должны быть обеспечены основными метеоданными: температура, количество осадков, влажность. Продолжительность

гидрологических наблюдений не менее года, по итогам которого (как и промежуточным данным) должно быть принято решение об их эффективности, продолжении, оптимизации и возможном расширении объектов изучения, включая техногенные составляющие формирования природно-техногенных условий развития суффозии и ее активизации.

### **7.3. Направления работ на ГНМБС**

К рекомендуемым методам на данном месторождении отнесены апробированные и хорошо зарекомендовавшие себя следующие их виды базового комплекса ГДМ:

- деформационный мониторинг (повторное точное нивелирование);
- GPS-мониторинг с использованием методов спутниковой геодезии;
- гравиметрический мониторинг с использованием повторных высокоточных гравиметрических измерений;
- сейсмологический мониторинг – регистрация местных, близких и удаленных сейсмических событий по генезису и местоположению природных, техногенных и индуцированных сейсмических событий;
- радарная интерферометрия – расширение масштабов площадного картирования пространственно-временных вертикальных движений земной поверхности посредством проведения обработки снимков радиолокационной съемки с синтезированной апертурой;

К перечисленным методам базового комплекса ГДМ рекомендуется изучить возможность сокращения объемов дорогостоящего и времязатратного повторного высокоточного нивелирования путем увеличения объемов радарной интерферометрии.

### **7.4. Ожидаемые результаты**

Рассмотренный в диссертации рекомендуемый комплекс исследований позволяет получить дополнительные данные о состоянии недр месторождений углеводородов.

Проведение комплексного мониторинга деформационных процессов на КНГКМ и ГНМСБ по рекомендациям дополнительных методов к базовому комплексу ГДМ станет действенным методом обеспечения геодинамической безопасности в общей системе управления и контроля за разработкой данных месторождений, а также в системе охраны недр и окружающей среды.

Комбинация рекомендуемых выше методов, примененная ко всем имеющимся данным, может предоставить достаточную информацию для изучения свойств и причин деформационных процессов на КНГКМ и ГНМСБ.

Это не только позволит установить интегральный показатель геодинамического риска и оценить деформационный статус разрабатываемой залежи, но и даст основу для прогнозирования последствий долгосрочной эксплуатации данного месторождения.

## **7.5. Рекомендации по расширению комплексного изучения природных и техногенных факторов на КНГКМ и ГНМБС**

В действительности, при разработке месторождений УВ происходит, как правило, совместное влияние ряда факторов на геологическую среду, что приводит к взаимосвязанному и последовательному возникновению и развитию различных форм геодинамических событий.

Реальные масштабы влияния природных и техногенных факторов на возникновение геодинамических событий можно оценить только по результатам комплексного мониторинга недр, так как реализация различных факторов осуществляется в различных формах проявления геодинамических событий.

Наличие и масштабы природно-техногенных процессов могут быть установлены только посредством осуществления комплексного мониторинга состояния недр.

***Поэтому, изучение геодинамического состояния недр должно перейти в категорию комплексных исследований высшего приоритета, хорошо обеспеченных в научном, техническом, организационном и финансовом отношении.***

Рассмотренные в диссертации факторы геодинамического риска, особенно динамика их изменений, наиболее достоверно учитываются данными экспериментальных методов мониторинга в натуральных условиях.

Для этого на месторождениях ведется непрерывное слежение за изменениями измеряемых (мониторинговых) показателей и параметров, методами геодинамического мониторинга (нивелирование, GPS-методы, гравиметрия, сейсмология), которые дают количественную оценку движениям земной поверхности, как вертикальным, так и горизонтальным; изменениям гравитационного поля, по сравнению с результатами предыдущих циклов наблюдений, дают информацию о напряженном состоянии массива геологической среды.

Вместе с тем, как отмечалось выше, получаемая информация оказывается недостаточной для расшифровки механизмов природного и техногенного факторов сейсмодеструктивных процессов. Поэтому, к рекомендуемым классическим методам геодинамического мониторинга оптимальным и рациональным решением видится выполнение следующих видов мониторинга.

***Методы гидродинамического мониторинга (КВД, МУО и др.).***

Позволяют получить значения пластовых и забойных давлений, коэффициентов пьезо- и гидропроводности и других показателей, характеризующих энергетическое состояние залежей, которые находятся в тесной взаимосвязи друг с другом, и изменение одного параметра неизбежно ведет к изменению другого, что в целом ведет к изменению геологической среды в целом. В качестве примера весьма наглядно эту связь можно проследить в системе наблюдений:

*Промыслово-геофизический мониторинг ↔ мониторинг подземных вод ↔ экологический мониторинг.*

Таким образом, по изменениям параметров, зафиксированных одним видом наблюдений, можно судить об изменениях других параметров, наблюдаемых другими видами мониторинга. В основе этого факта лежит принятие превентивных мер при разработке месторождений УВ.

К примеру, при определении методами ГИС нарушение герметичности колонны и утечки углеводородов из скважины, в первую очередь отреагирует на это химический состав и температура подземных (пластовых) вод, Этот же факт найдет свое отражение в концентрации загрязняющих веществ и нефтепродуктов почв, растительности и поверхностных водоисточников, над которыми проводят наблюдения экологи.

Исследование геодинамических процессов, происходящих на КНГКМ и ГНМБС, убедительным образом свидетельствует, что основная нагрузка на недра исходит из процессов, наблюдаемых и контролируемых геолого-промышленным мониторингом. От количества и частоты отборов углеводородов и объемов закачек зависит степень нарушения равновесия в природно-техногенной системе рассматриваемых месторождений.

При сравнении результатов геодинамических и гидродинамических наблюдений достаточно надежно выявлена ***прямая корреляция между параметрами проседания земной поверхности и изменением (уменьшением) пластового давления.***

В свою очередь, т.к. мониторинговые характеристики, определенные в результате гидродинамических исследований (пластовые, забойные давления, коэффициент продуктивности, СКИН-фактор и др.), являются производной параметров, контролируемых геолого-промышленным мониторингом, (объемы отбора углеводородов и закачки в недра) и параметров геодинамического мониторинга (проседание земной поверхности, изменение гравитационного поля), то зависимость этих двух процессов носит прямой характер.

Так же очевидна связь между показателем уровня залегания пластовых вод, углеводородных флюидов и объемам закачки воды в продуктивные горизонты и отбором углеводородов.

Многокомпонентность форм проявления современной природно-техногенной геодинамики недр диктует комплексный подход к организации и составу методов измерительных систем.

В этой связи в систему комплексного мониторинга недр целесообразно дополнительно ввести пять информационно взаимосвязанных видов подсистем – это промышленный и промыслово-геофизический мониторинги, экологический и геохимический мониторинги, мониторинг подземных вод (Рисунок 7.2.)

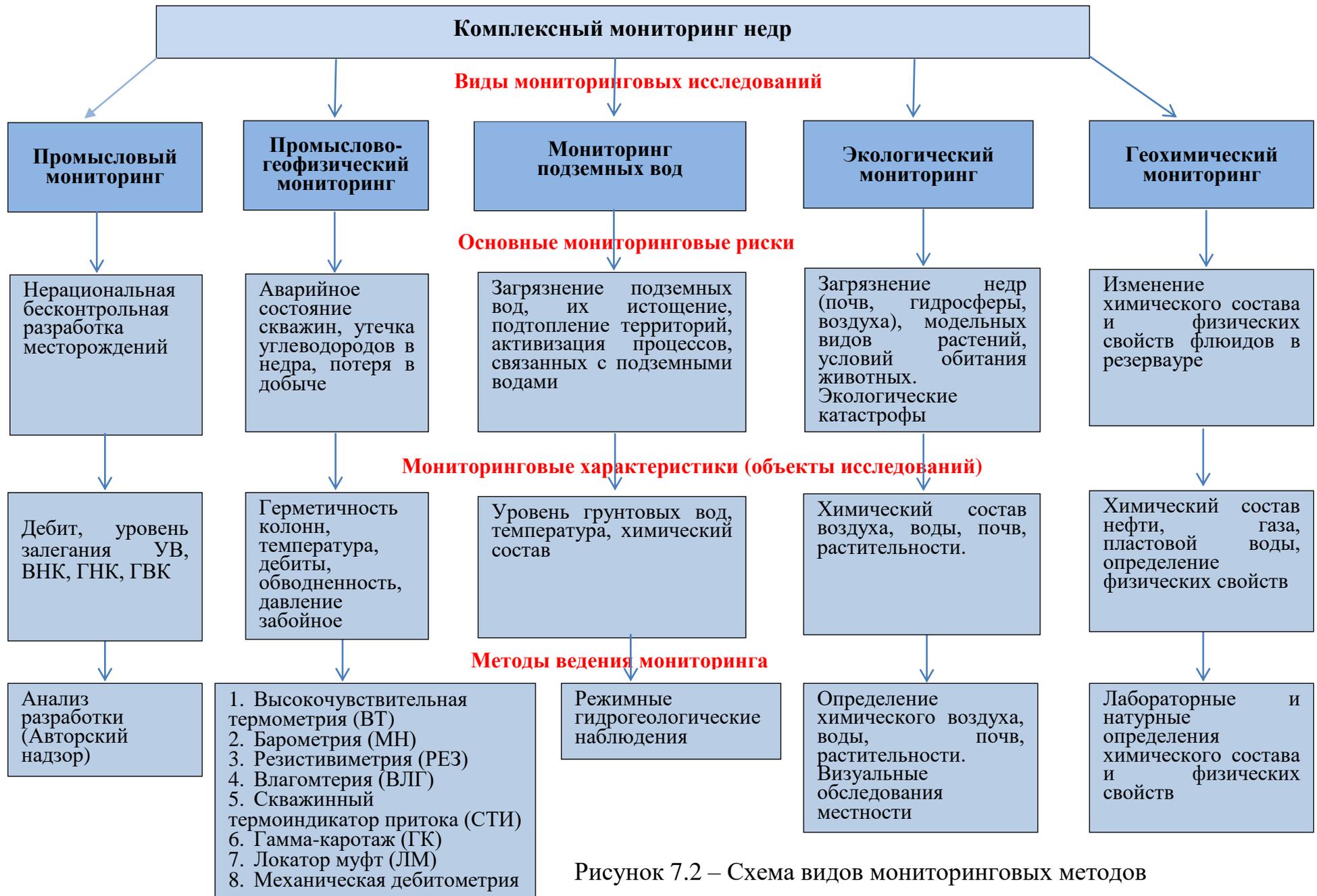


Рисунок 7.2 – Схема видов мониторинговых методов

В применяемом комплексе методов каждая подсистема наблюдений несет в себе индивидуальные цели и задачи наблюдений и контроля, решение которых позволит избежать негативных последствий при активном техногенном воздействии на геологическую среду (Рисунок 7.2). Каждая подсистема характеризуется совокупностью методов мониторинга.

### ***Геолого-промысловая подсистема.***

Обеспечивает комплекс мониторинга недр исходной информацией о масштабах воздействия на геологическую среду. Анализ данной информации необходим при разработке методов наблюдений других, работающих в комплексе, подсистем. Сведения о разбуренности месторождений, о количестве извлекаемого углеводородного сырья, о геологических особенностях площадей разработки позволяют распределить основные объемы других видов наблюдений, а также объяснить причину активизации или затухания выявленных процессов.

### ***Гидродинамическая подсистема.***

Включает совокупность методов, обеспечивающих получение информации об энергетическом состоянии залежи. Основной мониторинговой характеристикой при этом является пластовое давление, его динамика при отборе углеводородов, способность восстановления. Применяемые методы (такие как записи кривых восстановления и падения давления, снятие индикаторной кривой, установившихся отборов и др.) позволяют получить параметры пласта и сделать на этой основе выводы по оптимальному режиму работы скважин.

### ***Промыслово-геофизическая подсистема***

Включает совокупность методов наблюдений, обеспечивающих получение информации о техническом состоянии скважин. Комплекс геофизических исследований скважин методами высокочувствительной термометрии, барометрии, резистивиметрии, влагометрии, скважинного термоиндикатора притока, гамма-каротажа, локатор муфт, механической дебитометрии и др. в полной мере дает заключение о целостности эксплуатационной колонны, также определяет профили притока и дебиты скважин, вводимых в эксплуатацию.

### ***Гидрогеологическая подсистема***

Подразумевает мониторинг подземных вод и обеспечивает комплекс мониторинга недр информацией об изменениях глубины залегания уровней подземных вод, о вариациях химического состава и температурном режиме. Полученная информация является индикатором наблюдаемых параметров других подсистем мониторинга, в частности промыслово-геофизической и экологической. Периодичность измерений на месторождениях (ежедекадные замеры уровней подземных вод, ежемесячные замеры температуры и

ежеквартальные определения химического состава воды) в полной мере характеризует гидрогеологическую обстановку на месторождениях, изменение которой определяется, в первую очередь, изменениями глубины залегания уровней подземных вод.

### *Экологическая подсистема*

Включает в себя комплекс методов наблюдений, обеспечивающих информацию о состоянии компонентов окружающей среды. Данная информация включает оценку загрязнения атмосферного воздуха в результате выбросов, влияние разработки месторождений на подземные воды, характеристику воздействия на почвенный и растительный покровы и изменения свойств почв и растительных сообществ под воздействием выбросов и сбросов загрязняющих веществ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации рассмотрены цели и задачи, состояние, проблемы и методы геодинамического мониторинга по месторождениям Западного Казахстана, в т.ч. по Карачаганакскому нефтегазоконденсатному месторождению (КНГКМ) и газонефтяному месторождению Бозашы Северный.

Большое внимание уделено оценкам рисков возникновения деформационных процессов на дневной поверхности, современным технологиям геодинамического мониторинга на примерах разрабатываемых месторождений УВ.

В основу диссертации положены результаты авторского детального изучения фондовых материалов и опубликованной литературы, их синтеза и системного анализа.

Приведены общие сведения о геолого-тектоническом строении КНГКМ и месторождения Бозашы Северный, сформулированы факторы геодинамического риска и определены виды процессов природно-техногенного генезиса, которые возникли или могут возникнуть в связи с длительной разработкой этих месторождений.

Получены количественные характеристики по уровню и масштабам проявления деформаций дневной поверхности и вариаций геолого-геофизических параметров за определенный период времени. Дана оценка качества полученных параметров.

Выполнен комплексный анализ пространственно-временного распределения геодинамических параметров геологической среды в связи с имеющимися геолого-промысловыми материалами, с оценкой роли природного и техногенного факторов в распределении этих параметров.

Дана объективная характеристика современного геодинамического состояния геологической среды на примере двух месторождений УВ, которое определяют целесообразность дальнейшего проведения мониторинга за деформациями с целью получения необходимого и достаточного объема информации для последующих достоверных прогнозных оценок и принятия решений в случае увеличения риска возникновения интенсивных деформаций на дневной поверхности. Последние могут повлечь за собой нарушение технологического процесса добычи углеводородов и нанести ущерб инфраструктуре месторождения.

Методологическую основу диссертационных исследований составили:

- разработанные и апробированные принципы проведения **комплексного многофункционального мониторинга** природно-техногенных геодинамических процессов;
- **комплексный анализ и интерпретация** данных геодинамического мониторинга;
- **комплексные оценки** геодинамического риска для систем и объектов нефтегазовой отрасли;
- **комплексное** прогнозирование негативных последствий;

– **комплексные** меры по снижению или предотвращению ущерба для среды обитания человека.

#### ***Методы геолого-геофизического и геодезического мониторинга***

На КНГКМ геодинамический мониторинг представлен комплексом методов площадных измерений: повторного точного нивелирования, GPS-измерений, высокоточного гравиметрического и сейсмологического мониторингов за период 2009-2012 гг. На качественном и количественном уровне, проведен синтез и системный анализ результатов комплексного ГДМ.

На месторождении Бозашы Северный геодинамический мониторинг проведен комплексом методов повторного точного нивелирования, GPS-измерений, высокоточного гравиметрического и космического радарного интерферометрического мониторингов по выявлению величин смещений и деформаций дневной поверхности.

Фокус внимания был поставлен на поиск общих особенностей проявления геодинамических параметров между методами.

В результате были выбраны наиболее оптимальные интервалы между циклами измерений, которые отражают, с определенной долей вероятности, некоторые относительно устойчивые особенности проявления геодинамических параметров.

#### ***Повторное высокоточное нивелирование***

На КНГКМ по результатам комплексного геодинамического мониторинга установлено, что максимальные амплитуды современных вертикальных движений земной поверхности установлены в своде субширотно ориентированного карбонатного массива, что привело к перестройке структурного плана этой поверхности (до 2011г).

Последующие нивелировки показали смену знака направленности движений земной поверхности, поднятия сменились опусканиями этой поверхности по всем профилям нивелирования.

На газонефтяном месторождении Бозашы Северный (за 7 летний период наблюдений) было установлено наличие общего тренда просадок дневной поверхности, с небольшими поднятиями на отдельных пунктах наблюдений. При этом, максимальные значения проседания дневной поверхности установлены в своде одноименной локальной структуры.

На флангах КНГКМ и газонефтяного месторождения Бозашы Северный выявлено последовательное уменьшение величины вертикальных просадок, а также зафиксирован рост значений пластовых давлений по объектам эксплуатации в скважинах, пробуренных с относительно разреженной сетью и невысокой плотностью.

#### ***Повторные высокоточные спутниковые (GPS) измерения***

На КНГКМ площадное распределение векторов горизонтальных движений позволило выявить следующие особенности. В своде карбонатного массива на КНГКМ зафиксированы минимальные значения разноориентированных горизонтальных движений (с амплитудой от 1,5 мм до 12,0 мм). По периферии свода наблюдается увеличение значений горизонтальных подвижек до 21-31 мм и более, с большими вариациями на северной периферии и меньшие

вариациями - для южной, что увязывается с выявленными здесь активными разрывными нарушениями.

В северо - восточной части КНГКМ выявлена крупная аномалия сжатия дугообразной формы, в которой горизонтальные вектора движения направлены навстречу друг другу. Предполагается существование зоны сжатия с активными разрывными нарушениями по периферии свода верхнепалеозойского карбонатного массива на КНГКМ.

На остальных площадях в своде этого массива направлены в сторону периклиналей и фиксируют присутствие аномалий растяжения.

Таким образом, ориентация векторов горизонтальных движений и их амплитуды дают основание полагать, о развитии неравномерного сжатия/растяжения в своде разрабатываемого КНГКМ, тогда как на его периферии происходят деформационные процессы растяжения.

На газонефтяном месторождении Бозашы Северный (за 7 летний период наблюдений) было установлено наличие общего тренда просадок дневной поверхности, с небольшими поднятиями на отдельных пунктах наблюдений по данным GPS- измерений. При этом, максимальные значения проседания земной поверхности наблюдений установлены в своде локальной структуры Северный Бозашы.

Предполагается, что независимо от масштабов влияния отдельных факторов, первичной причиной проседания дневной поверхности на изучаемых месторождениях УВ является отбор углеводородного сырья и закачка воды для поддержания пластового давления. При этом структурно-геологический (тектогенный) фактор также вносит свой вклад в форме блокового площадного распределения современных вертикальных движений земной поверхности.

#### ***Повторные высокоточные гравиметрические измерения***

На КНГКМ результаты анализа повторных высокоточных гравиметрических измерений свидетельствуют, что в своде карбонатного массива обособляется зона, где происходит относительное уменьшение вариаций силы тяжести по отношению к склонам этого массива. Пространственно эта зона совпадает с площадями с активной добычей углеводородов,

Непосредственное влияние на формирование этой зоны оказали с одной стороны массообменные процессы (темпы отбора несвободного конденсата и нефти, а также газа, обратная закачка газа в продуктивные пласты для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи пластов, продвижение ВНК), т.е. операции по добыче углеводородного сырья, с другой – изменчивость коллекторских свойств пород на КНГКМ. В сумме эти факторы привели к деформационным процессам в продуктивных отложениях.

На газонефтяном месторождении Бозашы Северный (за 7 летний период наблюдений) в контуре разработки обособляется зона, где происходит относительное уменьшение вариаций силы тяжести по отношению к склонам этого массива, что напрямую коррелируются с объемами отобранных углеводородов и закаченной в эксплуатируемые интервалы воды для поддержания пластового давления.

Пространственно эта зона совпадает с площадями с активной добычей углеводородов. На её формирование оказали, с одной стороны массообменные процессы, возникающие при эксплуатации месторождения, с другой – изменчивость коллекторских свойств пород объектов эксплуатации.

По периферии контура эксплуатационных скважин закартирована протяженная зона высокоградиентных ступеней аномалий  $\Delta G_a$ , пространственно совпадающих с положением зон разломов.

#### ***Сейсмологический мониторинг***

На КНГКМ выявлена пространственная приуроченность зоны концентрации эпицентров землетрясений к зоне аномального сжатия, характеризующейся относительным подъемом дневной поверхности. Из общего количества событий около 80% сконцентрировано в пределах локальной аномалии сжатия, выявленной в северо-восточной части карбонатного массива и приурочено к скважинам, активно добывавших углеводородное сырье из всех объектов разработки,

Здесь установлены зоны аномальные деформационных процессов и высокоградиентного изменения текущего пластового давления.

Гипоцентры сейсмически событий зарегистрированы практически в интервалах залегания промысловых горизонтов, из которых ведется добыча углеводородов (УВ).

Следовательно, можно допустить, что разработка месторождения спровоцировала возникновение интенсивных деформаций и слабую локальную сейсмичность в асейсмичном регионе. Периферийные части КНГКМ выделяются практически асейсмичным режимом.

Таким образом, можно говорить о природно-техногенном генезисе сейсмичности в своде карбонатного массива на КНГКМ.

Следовательно, существует пространственная связь между концентрацией эпицентров землетрясений на северо-востоке КНГКМ и аномальной деформационной активностью в этой части месторождения.

#### ***Космический радарный мониторинг***

Интерферометрическая обработка 30-проходной радарной съемки, выполненной по месторождению Бозашы Северный в период 17.09.2013 г.-30.05.2014 г. достаточно надежно согласуются с результатами повторного высокоточного нивелирования, выполненного в 11 (октябрь 2013 г.) и 12 (май 2014 г.) циклах геодинимического мониторинга.

Выявлена сходимость результатов смещений дневной поверхности за один и тот же период, полученных двумя независимыми методами. По этой причине радарные съемки постепенно могут стать ключевым источником получения кондиционной информации о вертикальных смещениях земной поверхности и если не полностью заменить нивелирование, то сократить объемы трудоемкого метода.

### ***Общие выводы***

В диссертации намечены тренды и тенденции проявления непрерывно быстро меняющегося во времени геодинамического состояния недр в связи с операционными промыслово-геологическими процессами.

Все эти проявления так или иначе находят проявления в экологических рисках районов эксплуатируемых месторождений УВ.

Установлена высокая сходимость результатов наблюдений наземных инструментальных и дистанционных методов в циклах геодинамического мониторинга.

Полученная в ходе диссертационных исследования информация, указывает на существование реальной совокупности природно-техногенных факторов потенциального геодинамического риска,

На изучаемых месторождениях эти факторы проявили себя в форме концентрации и неоднородного распределения полей напряжений с последующей деформацией геологической среды в местах контактов блоков в виде поднятий и прогибов дневной поверхности.

В пробуренных здесь скважинах производится увеличенный отбор УВ, зафиксированы максимальные величины падения пластового давления в нефте- и газонасыщенных коллекторах.

На флангах эксплуатируемых месторождений УВ выявлено последовательное уменьшение величины просадок, без скачкообразных изменений положения дневной поверхности, а также зафиксирован рост значений пластовых давлений по объектам эксплуатации в скважинах, пробуренных с относительно разреженной сетью и невысокой плотностью.

На КНГКМ зафиксированы природно-техногенные события в форме землетрясений, активизации разломов, деформации земной поверхности под влиянием вертикальных и горизонтальных движений массивов горных пород, изменения в поле локальных гравитационных аномалий, участвовавшие землетрясения, гипоцентры которых находятся на глубинах, сопоставимых с интервалами разработки месторождений. Причем максимальная амплитуда этих событий зафиксирована в своде карбонатного массива, где ведется активная разработка месторождений.

Таким образом, комбинация методов изучения рассмотренных факторов потенциального геодинамического риска на месторождениях УВ без всякого сомнения позволили получить достаточную информацию для объяснения причин сейсмических деформационных процессов на этих месторождениях.

В свою очередь это дало возможность не только оценить сейсмический деформационный статус разрабатываемых залежи УВ, но и стало основой для прогнозирования последствий долгосрочной эксплуатации месторождения.

Данное обстоятельство подтверждают необходимость и обязательность проведения геодинамического мониторинга для изучения и оценки возможностей возникновения различных сценариев геодинамических ситуаций, связанных с разработкой месторождений углеводородов.

***С целью нивелирования факторов потенциального геодинамического риска на эксплуатируемых месторождениях УВ возникает настоятельная***

**необходимость** в осуществление долгосрочного мониторинга и комплексной интерпретации следующих полученных результатов:

1. Геодинамического районирования с учетом имеющихся геолого-геофизических и промыслово-геологических данных с выделением потенциальных участков высокого геодинамического риска, в том числе:

- области аномальных деформаций геологической среды в зонах разломов;
- участков аномального проседания земной поверхности в зонах высокой добычи углеводородов;
- площадей аномальных горизонтальных смещений горных массивов.
- участков потенциальной возможности проявления сейсмических событий, особенно там, где происходит смена векторов горизонтальных подвижек, процессов дилатации на сжатие.

2. Расчет и последующий анализ составляющих аномалий стационарного поля напряжений - потенциальных зон возникновения индуцированных землетрясений, зонирование территории КНГКМ на этой основе;

3. Исследования по геомеханике, геофизике и гидрогазодинамике нефтегазонасыщенных коллекторов для изучения природно-техногенной геодинамики и гидродинамики системы подземных вод, возможных механизмов взаимосвязи деформационных, сейсмических и геодинамических процессов естественного и антропогенного происхождения в условиях длительной эксплуатации месторождения.

4. Моделирование комплексного проявления эффектов от объема добычи углеводородного сырья и деформации пород-коллекторов с использованием данных о вариациях силы тяжести, оседания поверхности.

5. Сейсмологические наблюдения в зонах разломов, имеющих более высокую природную и техногенную сейсмическую активность, что позволят регистрировать геодинамические процессы, уточнить геологическое строение, в частности положение разломных структур и узлов напряженно-деформированного состояния геологической среды, а также выявлять участки с нарушенными гидродинамическими процессами.

Комбинация рекомендуемых выше методов геодинамического мониторинга предоставит достаточную информацию для изучения свойств и причин деформационных процессов на месторождениях УВ. Это не только позволит установить интегральный показатель геодинамического риска и оценить деформационный статус разрабатываемой залежи, но и даст основу для прогнозирования последствий долгосрочной эксплуатации данного месторождения и без сомнения приведет к снижению экологических рисков.

Большое внимание в диссертационных исследованиях отводится изучению суффозионно-карстовых процессов на северо-востоке КНГКМ комплексом методов электроразведки, гравиметрии, спутниковой геодезии и лабораторных исследований грунтов для решения задач гидродинамического мониторинга на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении.

По результатам диссертационных исследований определено приповерхностное и глубинное строение площади проявления суффозионно-просадочных процессов, выявлены закономерности расположения

суффозионных воронок относительно подстилающих отложений, и предложена модель процесса их формирования, выявлена размещения воронок, совпадающая с простираем выявленных чередующихся протяженных низкоомных и высокоомных зон подповерхностных отложений.

Построены разрезы и карты распределения удельного электрического сопротивления на разных глубинах (вплоть до глубин 400-500м), трехмерные геоэлектрические модели. Выделены зоны (по параметру УЭС), к которым приурочены существующие воронки, определено направление выноса разрушенных (размытых) горных пород. Выявлены структуры, связанные с зонами развития суффозионно-просадочных процессов и сформулированы возможные причины их формирования.

Сделан вывод, что основной механизм образования суффозионно-карстовых воронок связан с вымыванием известнякового и солевого «цемента» из неоген-четвертичных отложений с дальнейшей их инфильтрацией в более глубокие обводненные горизонты меловой и юрской систем.

Ведущей техногенной причиной формирования провалов являлось образованное в русле одной из балок водохранилище, создавшее новый поверхностный водоток, интенсивно увлажнявший суглинистые просадочные грунты естественного сложения, а его продолжительное воздействие привело к активизации суффозионно-просадочного процесса.

Кроме того, безусловно, свой вклад внесла глубинная тектоника и техногенный фактор по результатам эксплуатации месторождения.

Выявлены критерии проявления суффозионно-карстовых воронок в гравитационном и электрическом полях, в изменениях петрофизических свойствах горных пород, в особенностях и формах изменений рельефа дневной поверхности. Выделены участки начальной и интенсивной стадий развития деформаций приповерхностных слоев.

Установлено, что интервал глубин 2-12 м от дневной поверхности является самым благоприятным для развития суффозионно-карстовых воронок.

Выделены 9 аномальных участков с развитыми суффозионными и карстовыми процессами, хорошо проявляющие себя в локальном гравитационном поле, в распределении удельного сопротивления, петрофизических свойств, в формах рельефа дневной поверхности.

Обособлены 5 аномальных участков, где процесс суффозии находится в начальной стадии, характеризующиеся пониженными значениями параметров, как в гравитационном поле, так и в рельефе.

**Рекомендации.** Полученные результаты высокоточной гравиразведки и электроразведки, спутниковой геодезии и лабораторных исследований грунтов показали высокую эффективность применяемого комплекса методов с целью определения областей площадного и глубинного развития суффозионно-карстового процесса.

Комплекс может быть рекомендован для дальнейшего использования при решении задач геодинамического мониторинга на других месторождениях углеводородов.

Кроме того, рекомендуется примененный комплекс геолого-геофизических методов дополнить гидрогеологическими и гидрологическими наблюдениями за режимом подземных и поверхностных вод, геодезическим надзором за изменениями параметров поверхностных проявлений суффозии.

Таким образом, диссертационные исследования убедительно свидетельствуют, что предложенные результаты комплексного мониторинга деформационных процессов на месторождениях УВ могут стать действенным методом обеспечения геодинамической безопасности в общей системе управления и контроля за разработкой этих месторождения, а также в системе охраны недр и окружающей среды.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Опубликованные источники - 201

1. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). Монография. Москва, ИНЭК, 2005. с. 250.
2. Ананьин И.В. К вопросу о проявлении некоторых землетрясений в восточной части Восточно-Европейской платформы. Исследования по сейсмической опасности. Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 29, М., Наука, 1988. С. 119-124.
3. Артюшков Е.В. Геодинамика. 1979. М., Наука. 327 с.
4. Атрушкевич П.А., Остропико П.А. Геодинамические исследования на Алмаатинском полигоне. 1984, Москва, МГК АН СССР. 171 с.
5. Баранов Ю.Б., Кантемиров Ю.И., Киселевский Е.В., Болсуновский М.А. Мониторинг смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов с помощью комплекса космических и геодезических методов. – Геоматика. № 1, 2008. С. 51-55.
6. Баранов Ю.Б., Денисевич Е., Кантемиров Ю.И., Кулапов С. Космический мониторинг природных опасностей при освоении газовых месторождений Ямала. В мире науки. № 10, октябрь 2008 г.
7. Баранов Ю.Б., Кантемиров Ю.И. О состоянии и совершенствовании системы маркшейдерско-геодезического мониторинга территорий месторождений углеводородов для обеспечения промышленной безопасности их освоения и охраны недр. Материалы II Международной конференции "Космическая съемка - на пике высоких технологий", 16-18 апреля 2008 г.
8. Бачурин Е.Б. Анализ геологического строения Северо-Харампурского месторождения в связи с совершенствованием системы разработки. Материалы ежегодной научной сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2005 г., 6-13 апреля 2006 г.
9. Бедеров А.А., Кузьмин Ю.О. Современная аномальная геодинамика недр - новый фактор экологического и страхового риска Страховое дело. 1997, № 3. с. 28-33.
10. Бондур В.Г., Зверев А.Т., Кузнецова Л.В. Космический мониторинг геодинамических предвестников крупных землетрясений. Сборник тезисов конференции. Третья всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14-17 ноября 2005 г.
11. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии.- М.:Недра, 1981.-256 с.
12. Борисов Б.А., Рогожин Е.А. Кумдагское землетрясение 14 марта 1983 г.: материалы геологического изучения. //ДАН СССР, 1984, т.277, No 1, с.157-161.
13. Бочкарев В.П., Печеркин И.А., Неизвестнов Я.В. и др. Инженерная геология СССР. Урал, Таймыр и Казахская складчатая страна. – М.: Недра, 1990. – 408 с.: ил.

14. Бочкарев В.П., Подольный О.В. и др. Опасные геодинамические процессы на территории Казахстана: Пояснительная записка к комплексу карт Казахстана масштаба 1:2000000 – Кокшетау, 2004. – 182 с.
15. Буланже Ю.Д., Мещеряков Ю.А. Изучение современных движений земной коры. Геофизический бюллетень, 1962, № 12, Москва, Изд-во АН СССР, с. 3-6.
16. Буланже Ю.Д. К вопросу об исследовании современных движений земной коры. Морфоструктуры, разломы, сейсмичность. М.: Наука, 1987, с.6-9
17. Бутолин А.П. К методике геодинамического районирования толщ и блоков осадочных пород в связи с разработкой месторождений углеводородов юго-востока Восточно-Европейской платформы. Материалы ежегодной научной сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2005 г., 6-13 апреля 2006 г.
18. Гвишиани А.Д., Родкин М.В. Искусственный интеллект в геофизических исследованиях. Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза. 2003 – 2006 гг. С.119-123.
19. Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана. Пояснительная записка к «Геодинамическому атласу Казахстана». – Алматы-2007. – 410 с.
20. Геодинамические явления и безопасное недропользование. Наука в Сибири. № 45 (2431), ноябрь 2003 г.
21. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. 1975, М. Наука. 536 с.
22. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. В 3 томах. Том 1. Глубинное строение и геодинамика. Алматы, 2002. 224 с.
23. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. В 3 томах. Том 2. Металлогения. Алматы, 2002. 272 с.
24. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. В 3 томах. Том 3. Нефть и газ. Алматы, 2002. 248 с.
25. Государственный доклад о состоянии окружающей среды на территории Республики Коми, 2004 г.
26. Джонстон А., Кантер Л. Землетрясения в стабильной континентальной коре. В мире науки, 1990, № 4. С.68-76.
27. Донабедов А.Т., Сидоров В.А., Тимарев К.В., Торховская Л.Н. К вопросу о соотношениях между скоростями современных вертикальных движений земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами. ДАН СССР, 1960, т.132, №4 с. 810-813.
28. Донабедов А.Т., Сидоров В.А. О соотношениях между современными вертикальными движениями земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами на территории Европейской части СССР. 1963, М., Наука №1. с. 224-244.
29. Донабедов В.А., Сидоров В.А. Соотношение между современными вертикальными движениями земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами на юго-западе Русской платформы. Сб. Современные движения земной коры, №5, М., 1968, с. 63-85.

30.Донабедов А.Т., Сидоров В.А. Особенности соотношений между современными вертикальными движениями, геофизическими полями и глубинным строением земной коры. Сб. Строение и физика глубинных недр западного региона СССР. 1969, Минск, Наука и техника. с. 5-21.

31.Донабедов А.Т., Сидоров В.А. Современные вертикальные движения земной коры, их связь с геофизическими полями и распределением месторождений полезных ископаемых. Сб. Современные движения земной коры, №5, Тарту: 1973, с.617-622.

32.Единые правила охраны недр при разработке месторождений полезных ископаемых. 1994, Алматы.

33.Ержанов Ж.С., Гарагаш И.А., Камбаров Н.Ш. О характере перемещений земной поверхности в эпицентральной области землетрясений. Сб. Теоретические вопросы исследования современных движений земной коры. 1980, Москва, Советское радио. С. 22-29.

34.Жолтаев Г.Ж., Ахметжанов А.Ж., Абуев Р.Б., Ахметжанова Г.А., Ораз Б.Б. Терригенно-карбонатные коллекторы юго-востока Прикаспийской впадины. – Геология нефти и газа, 2019, № 4, с. 41–47. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-4-41-47

35.Жуков Б.Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий: Монография. – Новосибирск: СГГА, 2003. – 356 с.

36.Жуков Б.Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 376 с.

37.Зекцер И.С. Влияние интенсивной эксплуатации подземных вод на проседание земной поверхности. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2008, № 2, с. 152-157.

38.Иванова Ю.В. Исследование возможностей мониторинга сейсмических процессов, происходящих вблизи плотины Камской ГЭС //Третья Уральская молодежная школа по геофизике. Сборник докладов. - Екатеринбург: УрО РАН, 2002. -С.42-44.

39.Инженерная геология СССР, т. 6 Казахстан. Под редакцией В.И.Дмитровского. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1977. – 296 с.

40.Информационный бюллетень. 2003 г., 2005 г. Территориальный научно-производственный центр мониторинга геологической среды Республики Татарстан.

41.Кантемиров Ю.И., Баранов Ю.Б. Мониторинг природных и техногенных смещений земной поверхности на территориях нефтегазовых месторождений методом космической радиолокационной интерферометрии. Материалы II Международной конференции "Космическая съемка - на пике высоких технологий", 16-18 апреля 2008г.

42.Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. Монография. Недра, 2007. с. 466.

43.Комплексные геодинамические полигоны. 1984, Москва, Изд-во Наука. 142 с.

- 44.Королев В.А. Мониторинг геологической среды: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1995. -272 с.
- 45.Короновский Н.В. Напряженное состояние земной коры. Соросовский образовательный журнал №1, 1997
- 46.Костюк О.П., Руденская И.М. Долинские землетрясения в 1974 году. Сейсмол. бюлл. Зап. территориальной зоны единой системы сейсмол. наблюдений в СССР. Крым-Карпаты. 1970-1974 г.г. Киев 1980. с. 192.
- 47.Кузьмин Ю.О. Параметрические деформации земной коры. //В сб.: Тезисы 7-го Международного симпозиума по современным движениям земной коры. Таллинн, 1986, с.69.
- 48.Кузьмин Ю.О. Механизм формирования современной геодинамической активности разломных зон. Материалы Международного симпозиума по изучению СДЗК. 1988, Воронеж, АН СССР. с. 163-165.
- 49.Кузьмин Ю.О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов. Геологическое изучение и использование недр. 1996. Вып. 4 М. Геоинформмарк. с.43-53.
- 50.Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: АЭН, 1999, 220 с.
- 51.Кузьмин Ю.О. Эколого-геодинамический риск нефтегазовых объектов. Информационное обеспечение рационального природопользования. М. Единство, 2001. С. 152-163.
- 52.Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. Монография. Москва, Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. 258 с.
- 53.Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы-2004, 504 с.
- 54.Лилиенберг Д.А. Актуальные проблемы современной геодинамики рельефа. Сб. Современные движения земной коры. Морфоструктуры, разломы, сейсмичность, М.: Наука, 1987, с.23-33
- 55.Лобковский Л.И., Левченко Д.Г., Леонов А.В., Амбросимов А.К. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий / Отв. ред. С.С. Лаппо, Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова. – М.: Наука, 2005. – 326 с.
- 56.Ломтадзе В.Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов. – Л.: Недра, 1986. – 272 с.
- 57.Мещеряков Ю.А., Синягина М.И. Состояние знаний о современных движениях земной коры. Сб. Современные тектонические движения земной коры и методы их изучения. 1961, Москва, Изд-во АН СССР. с. 11-40.
- 58.Мещеряков Ю.А. Вековые движения земной коры. Некоторые итоги и задачи исследований. Сб.Современные движения земной коры. 1963, №1. Изд-во АН СССР, М. с. 7-24.
- 59.Мещеряков Ю.А. Структурная геоморфология равнинных стран. М.: Наука, 1965, 390с.
- 60.Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Центрального Казахстана. Вестник НЯЦ РК. Выпуск 2, март 2003.

61. Мирзоев К.М., Рахматуллин М.Х., Гатиятуллин Р.Н., Кашуркин П.И. Мониторинг геодинамических процессов земной коры Ромашкинского месторождения нефти. Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных районов. Материалы международной конференции. Воронеж. 2001 с. 129-131.

62. Мустафаев С.Т., Смоляр В.А., Буров Б.В. Опасные геологические процессы на территории Юго-Восточного Казахстана. Монография. Алматы: Гылым, 2008. – 264 с.

63. Николаев А.В., Сидоров В.А. Изучение современных движений земной коры методами геодезии и сейсмического просвечивания. Сейсмический мониторинг земной коры, ИФЗ АН СССР, 1986. с. 244-249.

64. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М., Недра, 1988, 490 с.

65. Николаев А.В. Проблемы наведенной сейсмичности. Наведенная сейсмичность. М., Наука, 1994. с. 5-14.

66. Никонов А.А. Разрушительные землетрясения 1208-1209 гг. на Туранской платформе (по письменному источнику). В сб.: Вопросы инженерной сейсмологии, вып.30, М.: Наука, 1989. -с.119-127.

67. Нусипов Е.Н., Сидоров В.А. и др. Концепция «Геодинамическая безопасность освоения углеводородного потенциала недр Республики Казахстан». Алматы, 2002.

68. Осипов В.И. Оценка и управление природными рисками (состояние проблемы). Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2007, №3, с. 201-211.

69. Панжин А. А. Методы мониторинга короткопериодных деформаций массива горных пород // Геомеханика в горном деле: Доклады международной конференции 19 – 21 ноября 2002 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. – С. 59 – 69.

70. Панжин А. А. Экспериментальные исследования динамики смещений в разломных зонах // Уральская молодежная научная школа по геофизике, 3-я: Сборник докладов / Ин-т геофизики УрО РАН, Горный институт УрО РАН, УГГГА и др. – Екатеринбург, 2002. – С. 75 – 78.

71. Панжин А. А. Мониторинг напряженно-деформированного состояния подрабатываемой территории // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 11-й научной конференции Института геологии Коми НЦ УрО РАН 3-4 дек. 2002 г. – Сыктывкар: Геопринт, 2002. – С. 137 – 139.

72. Панжин А. А. (Сашурин А. Д., Панжин А. А., Коновалова Ю. П.) Исследование геодинамических процессов с применением GPS-технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. - № 7. – С. 34 – 38.

73. Савиных В.П., Ямбаев Х.К., Карпушин Ю.Г., Лобазов В.Я., Генике А.А. Особенности создания геодинамической сети г.Москвы. Тезисы сообщения на Юбилейной конференции, посвященной 220-летию Московского государственного университета геодезии и картографии, май 1999 г.

74. Сашурин А. Д. Современная геодинамика и техногенные катастрофы // Геомеханика в горном деле: Доклады международной конференции 19 – 21 ноября 2002 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. – С. 180 – 191.
75. Семенюк С.Д., Семенюк Е.С., Деформационные воздействия земной поверхности на здания и сооружения. Бюлетень ВАК України, № 6, 1999 г.
76. Сигалов В.М. Анализ вертикальных движений земной коры на Алма-Атинском геодинамическом полигоне. Сб. Современные движения земной коры, 1973, № 5, Тарту. 685 с.
77. Сидоров В.А. и др. Современные движения земной коры и нефтегазоносность (на примере Терско-Каспийского передового прогиба). Монография. Москва, «Наука», 1987. 117 с.
78. Сидоров В.А. и др. Современная геодинамика и нефтегазоносность. Монография. Москва, «Наука», 1989. 200 с.
79. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов. Монография. Москва, МГК АН СССР, 1989. 200 с.
80. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Пространственно-временные характеристики современной динамики геофизической среды сейсмоактивных и асейсмичных областей. Статья в сборнике. Дискретные свойства геофизической среды. М., Наука. 1989. С.33-47.
81. Сидоров В.А., Лопатин В.Н. Эколого-геодинамические проблемы освоения месторождений нефти и газа Каспийского шельфа. Статья в Сборнике – Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду, №4 (14). Москва, 1998. С. 31-43.
82. Сидоров В.А. Рукотворные землетрясения. Потенциал, 1998, № 1. с. 80-84.
83. Сидоров В.А. Разработка месторождений углеводородов и природно-техногенные геодинамические события (в связи с освоением углеводородного потенциала недр Каспийского региона). Статья в Сборнике – Прогноз и контроль геодинамической и экологической обстановок в регионе Каспийского моря в связи с развитием нефтегазового комплекса. Москва, «Научный мир», 2000. с. 148-166.
84. Сидоров В.А., Ю.О.Кузьмин, А.М. Хитров. Концепция «Геодинамическая безопасность освоения углеводородного потенциала недр России». Москва, ИГиРГИ, 2000. 55 с.
85. Сидоров В.А. Природно-техногенные геодинамические явления, индуцированные разработкой месторождений нефти и газа. Сборник статей «Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности». Москва, «Наука», 2000. с. 344-350.
86. Смирнова М.Н. Возбужденные землетрясения в связи с разработкой нефтяных месторождений (на примере Старогрозненского землетрясения). Влияние инженерной деятельности на сейсмический режим, М., Наука, 1977. С. 128-141.
87. Смоляр В.А., Мустафаев С.Т. Гидрогеология бассейна озера Балхаш. – Алматы: Гылым, 2007. – 352 с. + 88 карт.

- 88.Современные движения земной коры на геодинамических полигонах. 1981, Москва, Радио и связь.142 с.
- 89.Современные движения земной коры. Геолого-геоморфологические исследования. 1982, Москва, Радио и связь. 115 с.
- 90.Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах. 1983, Москва, Изд-во Наука. 173 с.
- 91.Современные движения земной коры. Морфоструктуры, разломы, сейсмичность. 1987, Москва, Наука. 187 с.
- 92.Современные движения земной коры. Комплексные геодинамические полигоны. 1987, Москва. 87 с.
- 93.Соколов В.В., Имшенецкий С.П. Информационно-измерительная сеть мониторинга геодинамических явлений на нефтегазовых месторождениях. Нефть и Газ, 2004, январь.
- 94.Старовойт О.Е. Система информационного обеспечения о землетрясениях в России. Вестник ОГГГГ НР АН, №1(7) 1999.
- 95.Субботин И.Е., Кутовой В.А. Прогноз деформации земной поверхности от разработки газового месторождения. Инженерная геодезия, 1988, №31. с. 86-89.
- 96.Теоретические вопросы исследования современных движений земной коры. 1980, Москва, Советское радио. 123 с.
- 97.Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. 1985, М., Наука. 560 с.
- 98.Тертышников А.В., Платонов В.В. Перспективы мониторинга сейсмических условий из космоса. Электронный научный журнал «Исследовано в России».
- 99.Трифонов А.С., Тиркель М.Г., Туманов В.В., Юфа Я.М. Сейсмические проявления геодинамических процессов над очистной выработкой. Наукові праці УкрНДМІ НАН України, № 2, 2008
- 100.Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Сабянин Г.В. Систематизация экологических последствий техногенного изменения недр в процессе их освоения. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2008, №4, с. 291-300.
- 101.Уткин В.И. Газовое дыхание Земли. Соросовский Образовательный Журнал, №1, 1997, стр.57-64
- 102.Хайдаров М.С. Ильина В.В. Проблемы техногенной сейсмичности. Промышленность Казахстана, № 2, 2001.
- 103.Экологический мониторинг: методы, задачи и структура // Иметхенов А.Б. Экология, охрана природы и природопользование / А.Б. Иметхенов, А.И. Куликов, А.А. Атутов. – Улан-Удэ, 2001. – С.345-362.
- 104.Chan T.K., Lichterman J.d., Swan S.W., Yanev P.I. Effects of the earthquake on industrial facilities: a preliminary summary. US. Geol. Surv. Prof. Pap. 1990, # 1487. с/ 381-390.
- 105.Christensen S., Janbu N., Jones M. Subsidence due to oil-gas Production. Boss'88. Proc. Int. Conf. Behav. Offshore Struc., Trondheim, June 1988, v.1. Trondheim 1988. pp. 143-157.

106. Davis S.D., Pennington W.D. A barrier-asperity model for injection induced deformation in the Coddell oil field, Kent and Scurry Counties, Texas (abs.) *Earthquake Notes*, 1985, v. 55, p. 18.
107. Davis S.D., Pennington W.D. Induced seismic deformation in the Cogdell oil field of West Texas. *Bull. Of Seismol. Soc. Of America*. 1989, vol.79, @ 5. Pp. 1477-1494.
108. Davis S.D., Nyffenegger P.A., Frohlich C. The April 9, 1993 Earthquake in south-central Texas: was it induced by fluid withdrawal. *Bull. Of Seismol. Soc. Of America*. 1995, 85, pp/ 1888-1895.
109. Donabedov A.T., Sidorov V.A., Grigoriev A.S., Michailova A.V., Shachmuradova Z.E. Active faulting, recent deformation and displacement of Earth surface of large sedimentary basins of the Earth's crust. International symposium on recent crustal movements. Stanford University. Palo Alto, California, July 1977.
110. Dreves H., Henneberg H. Деформация геодезических сетей на месторождении нефти близ озера Маракайбо (Венесуэла). *Allgemeine Vermessungs Nachrichten*, 1980, v. 87, # 10. pp. 386-389.
111. Man-made earthquakes at Denver and Rangely, Colorado. *Earthquake Inform. Bull.* 1973, v. 5, # 4. P. 4-9.
112. Harding S.T., Carver D., Henrisey R.F. Dart R.L., Langer C.J. The scury county Texas, earthquake series of 1977-1978, induced seismicity (abstract). *Earthquake Notes* 1978, 49 (3). pp 1-15.
113. Вызванные землетрясения в Денвере и Рейнджли, Колорадо. *Earthquake Inform. Bull.*, 1973, т. 5, № 4. с. 4-9.
114. Healy J.H., Rubey W.W., Griggs D.T., Raleigh C.B. The Denver earthquakes: 1968 *Science*. v. 161, pp. 1301-1310.
115. Hughes J.P., Won W., Erickson R.C. Earthquake damage to the Coalinga oil fields. *US. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1990, # 1487. с. 399-408.
116. Kovach R. Source mechanisms for Willmington oil field, California, subsidence earthquakes. *Bull. of the Seismol Soc. of Amer.* 1974, v. 64, # 3. pp. 699-711.
117. Мак-Кейб Ч. Эксплуатация месторождения Экофиск в условиях проседания морского дна. *Нефть, газ и нефтехимия за рубежом*, 1986, №2, с. 40-46.
118. Mereu R.F., Brunet J., Morrissey K., Price B., Yapp A. A study of the microearthquakes of the Gobles oil field area of southwestern Ontario. *Bull. of the Seismol. Soc. of America*. 1986, v. 7, p. 1215-1223.
119. Milne W.G. The Snipe Lake, Alberta earthquake of March 6, 1970. *Canadian Journal of Earth Science*. 1970, v. 7. p. 1564-1567.
120. Мори В., Грассо Ж.Р., Витлиджер Ж. Газовое месторождение Лак (Франция): контроль за вызванным проседанием и влияние сейсмоактивности на газодобычу. *Society of Petroleum Engineers/ 1990*.
121. Nesson R., Cooper A., Tocher D. Slippage on the Buena Vista thrust fault, in geology and oil fields, west side southern San Joaquin Valley. 1968 *Guidebook. Am. Assoc. Petroleum Geologist – Soc. Explor. Geophysicists – Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Pasific Section*, p. 100-101.

122. Nicholson C., Wesson R. Earthquake hazard Associated with deep well injection – a report to the U.S. Environmental protection Agency. U.S. Geol. Surv. Bull. 1990, # 1951. 74 p.
123. Pakiser L., Eaton J., Healy J., Raleigh C. Earthquake prediction and control. Science 1969., v.166, p.1467-1474.
124. Pennington W.D., Davis S.D., Carlson S.M., DuPree S.M. The evolution of seismic barriers and asperities caused by the depressuring of fault planes in oil and gas fields of south Texas. Bul. of Seismol. Soc. of America. 1986, v. 76. pp 939-948.
125. Plouffe M., Cajka M.G., Wetmiller R.J. Andrew M.D. The Subdury local telemetered seismograph network. Rockbursts and seismicity in mines. Rotterdam. Brookfield, 1990, p. 221-226.
126. Plumb R.A. and Cox J.W. Stress directions in eastern North America determined to 4,5 km from borehole elongation measurements. Journal of Geophysical Research, 1987, vol.92, p.4805-4816
127. Raleigh C.B., Healy J.H., Bredehoeft J.D. An experiment in earthquake control at Rangely, Colorado. Science, vol. 191, 1976. pp. 1230-1237.
128. Raleigh C.B., Sieh K., Sykes L.R., Anderson D.L. Forecasting southern California earthquakes. Science 1982, v. 217. p.1097-1104.
129. Rothe G.H., Lui C.Y. Possibility of induced seismicity in the vicinity of the Sleepy Hollow oil field, southwestern Nebraska. Bull. Of the Seismol. Soc. of America. 1983, v. 73, p. 1357-1367.
130. Scoble M.J. Strategic and tactical measures to alleviate rockbursting in Canadian underground mining. Mining Dep. Mag. 1986, v. 38. P.47-53.
131. Segal P. Stress and subsidence resulting from subsurface fluid withdrawal in the epicentral region of the 1983 Coalinga earthquake. Journal of Geophys. Res. 1985, vol. 90, #8 pp. 6801-6816.
132. Segal P. Earthquakes triggered by fluid extraction. Geology 1989, v. 17. pp. 942-946.
133. Simpson D.W. and Leith W. The 1976 and 1984 Gazli, USSR earthquakes - Were they induced Bul. of the Seism. Soc. of America, 1985, v.75, p. 1465-1468.
134. Simpson D.W. Triggered Earthquake. //Annu. Rev. Earth. and Planet Sciences, Palo Alto, Calif. -1986- v.4. p.21-42.
135. Waldeck H.G. The monitoring of seismicity and measures implemented to alleviate rockburst damage at Kloof-A division of Kloof Gold Mining Co. Ltd. Rockburst and seismicity in mines. Rotterdam, Brookfield, 1990, p. 395-400.
136. Wetmiller R.J. Earthquakes near Rocky Mountain House, Alberta, and their Relationship to gas Production Facilities, 23 Can. 1986. J. Earth Sci. 172.
137. Wittlinger G. Изучение сейсмической активности месторождения Лак (Атлантические Пиренеи). //Universite L. Pasteur, Strasbourg. -1980- p.169-261.
138. Zobak M.L. and Zobak M.D. Tectonic stress field of the continental United States, in Pakiser L. and Mooney W, eds., Geophysical framework of the continental United States: Geological Society of America Memoir. 1989, 172, p. 523-539
139. Yerkes R., Castle R. Surface deformation associated with oil and gas field operations in the USA. In 1st Intern. land subsidence Symposium Proceeding, Tokyo, 1969. Intern. Assoc. of Hydrolog. Science Publ. 1970, 88, v. 1, pp. 55-66.

140. Бекжанов Г.Р., Любецкий В.Н., Полевая Л.Д. и др. Тектоническое строение Казахстана. - Алма-Ата, 1975. - 169 с.
141. Бекжанов Г.Р. Основные этапы изучения глубинного строения и металлогении Казахстана. Алматы, 1997, с. 8-19.
142. Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана. Под редакцией Нусипов Е., Шацкилов В. И., Узбеков Н.Б. - Алматы 2007, с.390.
143. Михайлова Н.Н. Сейсмичность и характер напряженно-деформированного состояния в слабосейсмичных районах Казахстана. /Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко. // Вестник НЯЦ РК. -2013. – Вып.2. С.140-154.
144. Ужкенов Б.С., Любецкий В.Н., Любецкая Л.Д. Новые представления о геодинамике развития Казахстана // Геодинамика и минерагения Казахстана. Алматы: РИО ВАК РК, 2000 г., ч. 1. С. 26–39.
145. Abetov A.E., Kudaibergenova S.S., 2021. Creation of geodynamic polygons and technologies of geodynamic monitoring in hydrocarbon fields, Vestnik KAZNRTU, 143 (2), 3-13. URL: <https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/article/view/60>.
146. Abetov A.E., Kudaibergenova S.S., 2021. Integrated research of suffosion and karst processes in the oil-gas-condensate field Karachaganak by geological and geophysical and geodesic methods. Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, 5 (449), 14-22. URL: <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.93>.
147. Abetov A.E., Kudaibergenova S.S., 2022. Environmental safety issues and challenges and geodynamic monitoring in the KOGCF. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (3) 118 - 124. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-3/118>.
148. Abetov A.E., Kudaibergenova S.S., 2022. Geodynamic hazards and risk assessment at the Karachaganak oil, gas, and condensate field. In press: Geodesy and Geodynamics.
149. Abetov A.E., Kudaibergenova S.S., Sidorov V.A., 2021. Conceptual approach to monitoring of land surface deformations in hydrocarbon fields. Proceedings of the 17th EAGE scientific and practical conference - Engineering and ore geophysics, 1-11. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202152160>.
150. Antipov M.P., Parasyna V.S., Bykadorov V.A. et al., 2019. Pre-Caspian Basin: Tectonic events and sedimentation at the Early-Middle Carboniferous boundary and formation of oil and gas reservoirs, Geotectonics.
151. Gadirov V.G., Eppelbaum L.V., 2012. Detailed gravity, magnetics successful in exploring Azerbaijan onshore areas. Oil and Gas Journal, (110) 11, 60-73.
152. Geogory F.U., 2001. Petroleum geology and resource of the North Caspian Basin, Kazakhstan and Russia, USGS Bull. 2201 B 29–40.
153. Hubbert M.K., Rubey W.W., 1959. Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting. Geological Society of America Bulletin, 70, 115-166.
154. Jin Zh., Wang J., Zhang Sh. et al., 2007. Main factors controlling hydrocarbon reservoir and exploration direction in the pre-salt sequence in Pre-Caspian Basin, Petrol. Geol. Experiment, 29 (2) 111–115.

155. Kantemirov Y.I., Kamza A.T., Bermukhanova A.M. et al., 2014. Space radar monitoring of earth surface displacements in a case study of an oil field in Mangistau region of the Republic of Kazakhstan. *Geomatics Journal* 4 (25).
156. Kuandykov B.M., Volozh Y.A., Antipov M.P. et al., 2014. Caspian region: the problem of hydrocarbon prospecting at great depths, possible ways of its solution, Almaty: ONGC 4 20-33.
157. Liu L., Guo Y., Zhu Y., 2000. Reservoir characteristics and oil-bearing characters of the Carbonate reservoirs in the pre-salt sediments of the Pre-Caspian Basin, *J. Xi'an Shiyu Univ. Natur. Sci. Edition*, 22 (1) 53–58.
158. Lee L.V., Sidorov V.A., Kudaibergenova S.S., 2019. Aspects of geodynamic safety in the development of oil and gas fields. Exploration of shallow oil and gas strata in Kazakhstan Proceedings of KSPG based on the reports of the V-International Geological Conference "AtyrauGeo-2019". (ISBN 978-601-7837-07-5), (7) 185-202, 86.
159. Nemtsov L.D., 1967. High-accuracy gravity prospecting. Nedra, Moscow (in Russian).
160. Nesterenko M.Y., Tsvyak A.V., 2017. Technogenic geodynamic processes at hydrocarbon fields under development. *Bulletin of the Orenburg Scientific Centre of the Ural RAS Department*, 4-8.
161. Nusipov E.N., Rakhymbayev M.M., Satov M.J., 2007. Geodynamic processes in the territory of mineral deposits / in the monograph "Geodynamics and seismicity of lithosphere of Kazakhstan", Almaty, 411.
162. Nusipov E.N., Shcherba Y.G., Rakhymbaev M.M. et al., 2004. Methodological guide for monitoring of modern movements by high-precision satellite GPS observations to predict the geodynamic state of territories and oil and gas field, 133.
163. Shevelyova A., 2010. Integrated geodynamic monitoring and risk assessment of occurrence of seismic deformation processes related to development of raw hydrocarbon deposits, SPE Caspian carbonates technology conference, 1-8. URL: <https://doi.org/10.2118/139949-MS>.
164. Sonich V.P., Cheremisin N.A., Baturin Y.E., 1997. Influence of reservoir pressure reduction on reservoir properties of rocks, (9) 52-57.
165. Turkov O.S. et al., Atlas of Oil and Gas Fields of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Social Organization Kazakhstan Society of Uphole Oilman and Geologists, 2 (2020) 84-85.
166. Umirova G.K., Saparbekova M.A., Akhmetov E.M., 2015. Geodynamic monitoring of the subsoil at the North Buzachi field. Proceedings of the International Satpayev readings the role and place of young scientists in the implementation of the new economic policy of Kazakhstan, KazNTU, 4-6.
167. Volozh Y.A., Antipov M.P., Bykadorov V.A. et al., 2013. Orenburg tectonic junction: geological structure and oil-and-gas bearing capacity, *Moscow Scientific World*, 264.
168. Zakirov S.N., 1998. Development of gas, gas condensate and oil and gas condensate fields. - Moscow: Struna, 628.

169. Zemtsova A. V., Zhantasova S., 2012. Monitoring using GPS at the geodynamic site of an oil and gas field. Int. conf. Innovative technologies of geospatial data collection and processing for natural resources management, 112-118.
170. Zemtsova A.V., Baygurin Z.D., 2012. On development of geodetic works on geodynamic forecasting polygons in the Republic of Kazakhstan. Proceedings. Plenary meeting. Interexpo GEO-Siberia. 243.
171. Машкова Е.А., Муратов А.Т. (2021) Геологическое строение и условия формирования нефтеносного подсолевого комплекса месторождения Карачаганак// Булатовские чтения. ISSN: 2587-8913. P.64-66. URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45942674>.
172. Lee L.V., Kudaibergenova S.S. (2018) Study of Suffosion and Karst phenomena by complex geophysical methods. Proceedings of the 14th EAGE scientific and practical conference. Vol. 2018. P. 1-11. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201800565>.
173. Abetov A.E., Kudaibergenova S.S. (2019) Factors of geodynamic risk by the example of the Buzachinskiy fold hydrocarbon field. Proceedings of the II International scientific conference: New directions of oil and gas geology and geochemistry, Development of geological prospecting. ISBN: 978-5-7944-3373-9. P. 8-17. URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41536217>.
174. Koshim A.G., Akhmedenov K.M. (2015) Technogenic relief formation in the area of Karachaganak field. Oil and Gas. Vol. 1 (85). P.79-86.
175. Akhmedenov K.M., Iskaliev D.Zh., Petrishev V.P. (2014). Karst and Pseudokarst of the West Kazakhstan (Republic of Kazakhstan). International Journal of Geosciences. № 5. P. 131–136.
176. Elliot S., Hsu H.H., O'Hearn T., Silvester I.F., Vercesi R., Karachaganak one of the world's largest gas condensate reservoirs, requires an innovate team approach to maximaze field potential, Oil Field Rev. (1998) 16–25.
177. Nazirova, A.B. (2018) Metody ocenki gravitacionnyh anomalij na neftegazovyh mestorozhdeniyah s primeneniem informacionnyh tekhnologij [Methods for assessing gravity anomalies in oil and gas fields using information technologies]. Vestnik KBTU, Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskie nauki [Bulletin of KBTU, Physics, mathematics and technical sciences]. Vol. 3. P.118-128. URL:<https://kbtu.edu.kz/images/vetnikn-2018-3>.
178. Khomenko, V.P. (2015) Karstovoe provaloobrazovanie: mekhanizm i ocenka opasnosti [Karst failure: mechanism and hazard assessment]. Ekologicheskaya bezopasnost' stroitel'stva v karstovyh rajonah: materialy Mezhdunarodnogo Simpoziuma [Environmental safety of construction in karst areas: proceedings of the International Symposium]. P. 50-60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26077055&pf=1>.
179. Umirova, G.K., Kudaibergenova, S.S. (2014) Munaj men gaz kenoryndaryn izdeu maksatymen gravimetriyalyk derekter interpretaciyasynyn bugingi kunge saj tekhnologiyalary [Modern technologies of interpretation of gravimetric data for the search for oil and gas fields]. Sbornik tezisov SEG "V-Gorodskaya studencheskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya", sekciya: "Geologiya, Geofizika" [Collection

of abstracts «SEG V-City student scientific and practical conference», section: «Geology, Geophysics». P. 20-24.

180. Nazirova, A.B., Abdoldina, F.N., Dubovenko, Yu.I. (2019) Development of GIS subsystems for gravity monitoring data analysis of the subsoil conditions for oil and gas fields. 18th International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects». Vol. 2019. P.1-5. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201902099>.

181. Nazirova, A.B., Abdoldina, F.N. (2020) On the solution of the gravity direct problem for a prism with a simulated annealing approach. Proceedings of Conference «Geomodel 2020». Vol. 2020. P.1-5. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202050014>.

182. Кенесбаева А., Земцова А.В. О геодинамическом мониторинге по данным ДЗЗ. Сборник докладов на международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения». Алматы, КазНИТУ. -2018.- С.929-932..

183. Крашенинников В.С. О формировании ослабленных зон в грунтах покрывающей толщи в районах развития карста // Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты). Выпуск 15. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21-22 марта 2013 г.). М.: РУДН, 2013. С. 152-156.

184. Хоменко В.П. Карстовое провалообразование: механизм и оценка опасности // Экологическая безопасность строительства в карстовых районах: материалы международного симпозиума / Под ред. В.Н. Катаева, Д.Р. Золотарева, С.В. Щербакова, А.В. Шиловой; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. С. 50-60.

185. Червинская О.П., Авезова К.Р., Хоменко В.П. Карстологическая интерпретация результатов электроразведки на площадке проектируемого промышленного предприятия // Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 11. С. 16-17.

186. Tuckwell G., Grossey T., Owen S. & Stearns P. The use of microgravity to detect small distributed voids and low-density ground // Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. Vol. 41. Part. 3. August 2008. P. 261-278.

187. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н.; МЧС России. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике. –М.: Деловой экспресс.- 2004. – 352 с.

188. Кенесбаева А., Нурпеисова М.Б., Левин Е. GPS мониторинг деформационных процессов при добыче углеводородов. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». 28 октября – 01 ноября 2019 г. М: ИПКОН РАН, 2019. С.138-141..

189. Бобачев, А. А., Горбунов, А. А., Модин, И. Н., Шевнин, В. А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации // Приборы и системы разведочной геофизики, 2006, N02, с. 14-17.

190. Shalaginov A.E. et al. / Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2019. V. 330. 4. 26–40

191. Паршаков Е.И. Исследования закарстованности участка методов ВЭЗ // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. труд. Вып. № 14. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2016. – С. 234–235.
192. Кенесбаева А., Нурпеисова М.Б., Левин Е. Моделирование сдвижений земной поверхности на месторождении углеводородов. Труды международного форума маркшейдеров «Цифровые технологии в геодезии, маркшейдерии и геомеханике». Г. Караганда: КарГТУ, 2019г. С. 156-160.
193. Кенесбаева А., Нурпеисова М.Б., Орынбасарова Э.О. Комплексный мониторинг на нефтегазовых месторождениях Казахстана. Монография. LAP Lambert Academic publishing, Germany, 2020..
194. Чубаров М.В., Власов А.А., Шалагинов А.Е. Построение трехмерных геоэлектрических моделей для метода зондирования становлением поля в ближней зоне на основе результатов одномерной инверсии // Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология: ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2017. XIII междунар. науч. конгр. – Новосибирск, 17–21 апреля 2017. – Т. 4. – С. 129–134.
195. Каминский А.Е. Программа ZondTEM1D. URL: <http://zondgeo.ru>.
196. Шапаренко И.О., Неведрова Н.Н. Мониторинг разломных зон методом электротомографии (на примере Горного Алтая) // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: Тезисы докладов VII Международного симпозиума. – Бишкек, 19–24 июня 2017. – С. 433–437.
197. Loke M.H. Resistivity and IP imaging // Geotomo Software Pty Ltd. – 2015. URL: <http://www.geotomosoft.com>.
198. Новый подход к малоглубинным электромагнитным зондированиям / Е.В. Баков, Д.И. Фадеев, Ю.Г. Карин, А.К. Манштейн, Ю.А. Манштейн, Г.Л. Панин // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 5. – С. 783–791.
199. Система интерпретации данных зондирований методом переходных процессов EMS / О.Г. Хабинов, И.А. Чалов, А.А. Власов, Е.Ю. Антонов // ГЕОСибирь 2009: Сборник материалов V Международного научного конгресса. – Новосибирск, 2009. – С.108–113.
200. О комплексировании методов ВЭЗ и ЗС в ближней зоне / П.В. Иванов, Д.А. Алексеев, А.П. Бобачев, П.Ю. Пушкарев, А.Г. Яковлев // Инженерные изыскания. – 2011. – № 11. – С. 42–51.
201. A. Kenesbayeva, M. Nurpeisova, Zh. Bekbassarov, K. Kartbayeva, U. Gabitova. Complex evaluation of geodynamic safety in the development of hydrocarbon reserves deposits. News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278. Volume 1, Number 439 (2020), p.90 – 98.