

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

Мисюркеева Наталья Викторовна

**СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВОЕ СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА
ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОГО КРАТОНА
(КОВЫКТИНСКО-ХАНДИНСКАЯ ЗОНА)**

Специальность 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика

диссертация на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук
Вахромеев Андрей Гелиевич

Иркутск – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление	2
Введение	4
1. Геологическая изученность объекта исследования	11
1.1. Стратиграфия	11
1.2. Тектоническое строение	16
1.2.1. Фундамент.....	16
1.2.2. Осадочный чехол	21
1.2.3. Неотектоника.....	23
1.3. Магматизм	27
1.4. Нефтегазоносность.....	29
1.5. Обоснование актуальности выбранного направления исследований.....	31
2. Обзор исследований формирования складчатости в осадочном чехле юга Сибирской платформы	32
3. Методы исследований	49
3.1. Фактический материал.....	49
3.2. Авторская интерпретация геолого-геофизических данных.....	50
3.2.1. Выделение тектонических нарушений и трассирование отражающих горизонтов по данным сейсморазведки.....	50
3.2.2. Расшифровка складчато-надвиговой структуры	53
3.2.3. Интерпретация структурных карт	57
3.2.4. Интерпретация данных электроразведки.....	59
3.2.5. Интерпретация данных глубокого бурения.....	60
4. Двухъярусное строение осадочного чехла в пределах Ковыктинско-Хандинской зоны	62
4.1. Нижний ярус (автохтон).....	64
4.1.1. Фундамент.....	64
4.1.2. Рифей, венд	67
4.2. Верхний ярус (аллохтон).....	69
4.2.1. Литвинцевская свита	70
4.2.2. Ангарская свита.....	72
4.2.1. Булайская свита.....	75
4.2.2. Бельская свита	76
4.2.3. Усольская свита.....	77
5. Внутреннее строение складчато-надвиговых структур верхнего яруса (аллохтона)	83
5.1. Южно-Усть-Кутская зона веерных структур (Акиткано-Непский сектор)	83
5.2. Хандинская зона (Акиткано-Непский сектор).....	85

5.3. Жигаловская зона (Предбайкальский сектор)	87
5.4. Орлингская аллохтонная пластина со сложным чешуйчатым строением (Акиткано-Непский сектор)	91
5.4.1. Внутреннее строение Орлингской аллохтонной пластины по данным комплексной интерпретации геофизических данных и глубокого бурения	92
5.4.2. Морфология складчатости в свитах нижнекембрийской толщи	93
6. Геоло-геофизическая модель складчато-надвигового строения осадочного чехла как основа проектирования ГРП.....	105
6.1. Прогноз условий бурения глубоких скважин на основе новой модели.	107
6.2. Возможность оценки степени флюидопроницаемости разломных зон комплексом глубинных геофизических методов.....	119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	123
Список литературы.....	125

ВВЕДЕНИЕ

Изучение геологического строения Иркутского амфитеатра началось в 40-е годы XX века в связи с поисками нефти и газа, калийных солей, фосфоритов. Первые притоки нефти и газа получены именно здесь, в пределах Ангаро-Ленской ступени.

Целевым объектом геологоразведочных работ (ГРР) является парфеновский газопродуктивный горизонт песчаников чорской свиты венда. Месторождение открыто в 1979 году скважиной 1-Грузновской. Масштаб этого уникального по запасам месторождения-гиганта стал ясен гораздо позже, через 30 лет геологоразведочных работ, площадь продуктивного поля увеличилась до 7000 км².

На первом этапе бурение вели в относительно простых горно-геологических условиях нормально-осадочного разреза платформенного чехла. Однако геологоразведочные работы показали весьма сложное геологическое строение осадочного чехла.

Сегодня разведку восточной части месторождения ведут в контурах краевого Предбайкало-Предпатомского регионального прогиба, в области влияния Байкало-Патомского надвигового пояса [Шемин, 1988; Мигурский, Старосельцев, 1989, 1997; Сметанин, 2000; Кулагин, 2011; Модели..., 2017], структурами которого геологическое строение разреза в восточной и юго-восточной частях месторождения существенно осложнено [Замараев, 1967; Семинский, Санков и др., 2018, Саньков и др., 2017.].

Актуальность исследования. Проблема изучения складчато-надвигового строения осадочного чехла юга Сибирской платформы, обозначенная Тетяевым [1928], остается актуальной до настоящего времени. Складчато-надвиговые структуры складчатого обрамления юга Сибирской платформы изучались многими исследователями [Александров, 1989; Карасев, 1969; Кононов, 1960; Мигурский, Старосельцев, 1989, др]. Исследованиями последних лет [Сметанин, 2000, Сизых, 2001, Мазукабзов, 2003] установлено, что складчато-надвиговые структуры юга Сибирской платформы формировались под динамическим влиянием Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса.

Объект исследования, Ковыктинско-Хандинская зона, включающая гигантское Ковыктинское газоконденсатное месторождение (КГКМ) с сателлитами относится к зоне сочленения типично платформенного чехла Сибирской платформы и области ее восточного краевого прогиба. Геологоразведочные работы на территории КГКМ показали весьма сложное геологическое строение осадочного чехла, существенно осложняющее процесс бурения. Зоны рапопроявлений, газопроявлений, поглощений при бурении глубоких разведочных скважин приурочены к верхним соленосным свитам нижнего кембрия, которые, в свою очередь, осложнены наличием линейных антиклинальных валов, многочисленными дизъюнктивно-пликативными деформациями более мелкого ранга.

В работах ведущих геологов нефтяников (Тыщенко Л.Ф., Старосельцев В.С., Самсонов В.В и мн. др.) тектоническое картирование выполнялось преимущественно по вендским отложениям, так как они считаются определяющими для нефтегеологического районирования. Практика целевого изучения толщи венда как главного этажа нефтегазоносности сохраняется и поныне. Тогда как верхняя часть разреза (галогебно-карбонатная) изучена лишь фрагментарно, и не является целевым объектом интерпретации. Тем не менее, отдельные скважины/площади признаны продуктивными на этом этаже.

Модель складчато-надвигового строения осадочного чехла в пределах уникального по своим масштабам месторождения осталась практически не изученной. Вопросы исследования внутреннего строения отдельных складчато-надвиговых зон, возможность детализации морфологии локальных складчатых и надвиговых форм многие десятилетия сдерживались по причине отсутствия высокоэффективных технологий дистанционного изучения осадочных толщ. Представления о надвиговой модели (структуре аллохтона) были основаны лишь на немногочисленных данных неглубокого и колонкового бурения на территории юго-восточного обрамления Сибирской платформы. Соляная складчатость в интервале галогебно-карбонатной части разреза нижнего кембрия была закартирована условно, по результатам отдельных редких профилей МОВ ОГТ.

В 2021 году начато промышленное освоение газоконденсатных залежей парфеновского продуктивного горизонта Ковыктинского месторождения, этап кустового бурения эксплуатационных скважин. Также объявлено о решении проектирования глубокого разведочного бурения на углеводородные и гидроминеральные залежи в природном мегарезервуаре нижнего кембрия. В этой связи актуальным представляется важность учета внутреннего строения надвиговых структур верхнего яруса (аллохтона), характерных для месторождения и прилегающих участков, для обоснования детальной модели геологического строения осадочного чехла. Детализация важна не только для более корректного проектирования ГРП для прогноза и поисков залежей УВ и литиен-осных рассолов в межсолевых карбонатных резервуарах нижнего кембрия (аллохтон), но и для безаварийного бурения глубоких скважин на целевые газопродуктивные объекты в природных резервуарах нефти и газа терригенного венда (автохтон).

Привлечение новых геофизических данных (3D МОГТ, 3D ЗСБ) позволит уточнить структурно-тектоническое строение осадочного чехла КГКМ, получить новые представления о модели складчато-надвигового строения месторождения, которая является весьма сложной, и формирует существенные проблемы в проектировании и реализации работ.

Целью исследования являлось научное обоснование модельных представлений о складчато-надвиговом геологическом строении осадочного чехла на основании комплексного геолого-геофизического подхода в интервале галогебно-карбонатной части разреза в области

сочленения типичного платформенного разреза и краевого прогиба на примере гигантского Ковыктинского ГКМ и сопредельной территории.

Целью исследования являлось научное обоснование модельных представлений о складчато-надвиговом геологическом строении осадочного чехла на основании комплексного геолого-геофизического подхода в интервале галогенно-карбонатной части разреза в области сочленения типичного платформенного разреза и краевого прогиба на примере гигантского Ковыктинского ГКМ и сопредельной территории.

Основные задачи исследования:

1. Исследовать структурно-тектонические особенности галогенно-карбонатной части разреза (складчато-надвиговой структуры), с детализацией по отложениям свит нижнего кембрия по геофизическим данным 3D МОГТ и глубокого бурения. Обосновать двухъярусное строение осадочного чехла, проверить гипотезу надвигового строения осадочного чехла в восточной части области исследования.
2. Охарактеризовать, и провести детализацию внутреннего строения складчато-надвиговых структур аллохтона Байкало-Патомской надвиговой системы.
3. Обосновать связь газо- и рапопроявляющих скважин со структурно-геологическими условиями природного резервуара, его отражения в геофизических полях (сейсмических и геоэлектрических свойствах разреза).

Объектом исследования являлся осадочный чехол гигантского Ковыктинского ГКМ с сателлитами, осложненный складчато-надвиговыми структурами в поле влияния Байкало-Патомского надвигового пояса. **Предметом исследования** являлись пликративно-дизъюнктивные деформации галогенно-карбонатной кембрийской части разреза осадочного чехла.

Методологическая основа и методы. Применяемые в работе методы исследования состояли из приемов геологической интерпретации материалов сейсмологических работ 3D МОГТ, электроразведочных ЗСБ, а также материалов бурения глубоких скважин на территории исследования.

Выделение и трассирование тектонических нарушений автором выполнялось при совместном анализе: глубинного сейсмического куба, карт когерентности. Также анализировались горизонтальные срезы. Структурные особенности (морфология) тектонических нарушений выделялись на основе анализа волновой картины и характера поведения отражающих горизонтов на глубинных разрезах.

При расшифровке складчато-надвигового строения объекта исследования за основу принят метод изучения складчато-надвиговых поясов по В.В.Гайдуку, А.В.Прокопьеву [1999], McClay [1992].

При интерпретации данных бурения использована информация о типах проявлений, аварийных ситуациях, смятии колонн, притоков в интервале галогенно-карбонатной части

разреза. Данная информация сопоставлялась с результатами геофизических работ. Производилась привязка проявлений к сейсмическому разрезу, структурным картам и картам УЭС по данным электроразведки, что позволило увязать осложнения в скважинах с геолого-геофизическими параметрами и выявить приуроченность их к определенному типу структуры и аномалиям УЭС.

Фактический материал. В основу диссертационной работы положены материалы сейсморазведочных работ 2D МОГТ прошлых лет и современных работ 3D МОГТ (13.5 тыс. км²), частично данные электроразведочных исследований ЗСБ, а также материалы бурения более 80 глубоких скважин в пределах исследуемой площади и прилегающих участков. Материалы литературных источников и официальных баз данных (находящихся в свободном доступе).

Защищаемые положения

1. Осадочный чехол Ковыктинского ГКМ вследствие дислоцированности во фронтальной зоне Байкало-Патомского надвигового пояса имеет двухъярусное строение: нижний ярус – автохтон, верхний – аллохтон. Кембрийские породы аллохтона, в отличие от слабо нарушенного автохтона, характеризуются наличием линейной складчатости в парагенезисе с взбросо-надвигами, взбросо- и сбросо-сдвигами, которые подобны пликативно-дизъюнктивным формам тыловой части надвигового пояса.

2. Складчатые и разрывные структуры, выявленные в пределах изученной части Ковыктинского ГКМ на основе комплексного анализа данных геофизической разведки и глубокого бурения, относятся к двум секторам Байкало-Патомского надвигового пояса. Зона Жигаловского вала с сопутствующими дислокациями северо-восточного простирания принадлежит к Прибайкальскому сектору. Южно-Устькутская зона чешуйчатых веерообразных структур, Орлингская аллохтонная пластина и Хандинская складчато-надвиговая зона образовались при интенсивном сжатии пород в Аkitкано-Непском секторе, что привело к наибольшей нарушенности галогенно-карбонатной толщи в пределах восточной части изученной площади.

3. Трехмерная модель изученной части Ковыктинского ГКМ, разработанная на базе сейсмического куба с отображением осадочно породных комплексов и системы складчато-надвиговых структур, является геологической основой более корректного проектирования ГРП. Возможно ее использование с целью поисков залежей УВ и литиеносных рассолов в межсолевых карбонатных резервуарах аллохтона (нижний кембрий), а также для снижения аварийности бурения глубоких скважин на целевые объекты в природных резервуарах терригенного автохтона (венд), вмещающих газоконденсатные залежи.

Научная новизна

На основе комплексного анализа практическими результатами ГРП уникального Ковыктинского ГКМ и сопредельных площадей доказана складчато-надвиговая делимость осадочного чехла на аллохтон и автохтон.

Установлено, что осадочный чехол на территории центрального блока Ковыктинского месторождения вовлечен в деформации полей напряжений двух секторов Байкало-Патомского надвигового пояса – Актикано-Непского и Прибайкальского. Этим обусловлено более сложное складчато-надвиговое строение осадочного чехла центрального блока. В его контурах, на основе детализации геолого-геофизических данных, автором впервые выделена в качестве самостоятельной структуры надвигового типа Орлингская надвиговая пластина со сложным чешуйчатым строением, ограниченная коробчатой складкой в ее фронтальной части – форланде.

Результаты комплексной интерпретации данных сейсмо- и электроразведочных работ, а также данных бурения позволили научно обосновать иерархию локальных элементов складчато-надвиговых систем, в итоге значимо повысить точность модели структурно-тектонического строения Ковыктинско-Хандинской зоны; на новом качественном уровне проследить пликвативно-дизъюнктивные формы, наблюдаемые на уровне не только свит, продуктивных горизонтов и отдельных пластов солевой части разреза нижнего кембрия, но и регионально распространенных карбонатных горизонтов-коллекторов, выделяемых в их составе.

Выявлено сложное сочетание горно-геологических факторов, влияющих на формирование сложных трещинных резервуаров, которое может предопределять как пространственное расположение возможных скоплений, залежей УВ, так и локализацию гидродинамических барьеров, ограничивающих проницаемые объемы резервуаров. В их числе: распределение сложных типов пустотного пространства коллекторов, наличие складок деформации галогенно-карбонатной толщи, гидродинамические особенности залежей – аномальных давлений флюидов и интенсивности газо- и рапопроявлений.

Практическая и теоретическая значимость

Внедрение новой концептуальной геологической модели осадочного чехла, в которой детализировано складчато-надвиговое строение верхнего структурно-тектонического этажа - аллохтона, а пространственное соотношение локальных надвиговых структур может быть геологической основой для более корректного проектирования ГРП, в том числе бурения глубоких скважин.

Определение геологических предпосылок приуроченности газо- и рапопроявлений к определенным структурным условиям разреза, дислокациям карбонатного кембрия, зонам развития сложных вторичных трещинных коллекторов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности 25.00.03.

Диссертационная работа представляется по научной специальности 25.00.03 – «Геотектоника и геодинамика». Согласно паспорту научной специальности 25.00.03 работа соответствует пунктам № 1, 3, 5, и 9.

Пункт № 1. «Структурный анализ (включая микроструктурный и петроструктурный) – изучение форм залегания горных пород, обусловленных их пластичными или разрывными деформациями», так как производится непосредственный структурный анализ осадочного чехла (аллохтона), подверженного деформациям (тангенциальное сжатие), с образованием разрывных и пластических деформаций в интервале галогенно-карбонатного комплекса.

Пункт № 3 «Изучение вертикальных и горизонтальных тектонических движений: как современных (инструментальными методами), так и древних (геологическими и палеомагнитными методами)», так как изучены механизмы тектонических движений (преимущественно горизонтальных), а также современных – неотектонических.

Пункт № 5 «Неотектоника, изучающая тектонические явления новейшего этапа развития литосферы и использующая для этого свои специфические методы исследования», так как выполнен анализ неотектонического этапа территории исследования, выявлена крупная унаследованная с фундамента неотектоническая структура, рассмотрен фактор влияния неотектонических подвижек на структуру осадочного чехла.

Пункт № 9 «Региональная геотектоника, основанная на выделении и изучении тектонических объектов того или иного региона, страны, континента, океанического или морского бассейна», так как изучено строение регионального Байкало-Патомского надвигового пояса, его составляющих – Предбайкальского и Актиткано-Непского надвиговых секторов, перекрывающих юго-восточную часть Ангаро-Ленской ступени, а также локальных структур, осложняющих их.

Личный вклад. На основании анализа комплексной геолого-геофизической информации, данных промысловых исследований скважин, автором произведена геологическая интерпретация сейсмических и электроразведочных данных, геологическая расшифровка складчато-надвигового строения территории исследования.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается результатами бурения разведочных скважин в пределах Ковыктинского – Хандинской зоны в период с 2015-2020 гг., по которым автор готовила прогноз геологического строения чехла, а также кустового этапа бурения в 2020-2021 гг. Так, детальный прогноз граничных условий субгоризонтального расслонасыщенного трещинного коллектора христофоровско-балыхтинского резервуара скважин №№ 52, 3, 18, 53 Ковыктинских подтвержден бурением скважины № 75, где получен фонтанный приток рапы из этого интервала разреза осадочного чехла

Представленные в диссертации научные и практические результаты апробировались на семинарах, конференциях и выставках различного уровня: конференции Европейской ассоциация геологов и инженеров (EAGE): Геобайкал 2016, 2018, 2020; Геомодель 2013, 2017, 2019, 2020 ; Санкт-Петербург, 2018. «Росгеология. В поисках новых открытий» памяти В.В. Воропанова, 2017. XXII Всероссийское совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока, г. Новосибирск, 2018; XII Российско-Монгольская международная конференция «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона», г. Иркутск, 2018 г.; Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Геонауки-2014, Международная научно-практическая конференция «Игошинские чтения – 2018»; Всероссийская молодежная конференция Строение литосферы и геодинамика 2019, 2021, Иркутск. .Новые идеи в геологии нефти и газа, г. Москва, 2021.

Публикации

Результаты научных исследований по защищаемой теме опубликованы автором лично или в соавторстве в 53 работах: из них 10 – в журналах, входящих в перечень ВАК, 1–патент на изобретение Российской Федерации, а также в коллективной монографии.

Структура диссертации и объем. Работа состоит из введения, шести глав и заключения, содержит 140 страниц текста, 67 рисунков и список литературы из 161 наименования.

Благодарности

Автор выражает особую благодарность научному руководителю д.г.-м.н., доценту А.Г. Вахромееву за наставление в научной деятельности на всех этапах подготовки диссертации.

Автор выражает благодарность директору ООО «СИГМА-ГЕО» к.т.н Ю.А. Агафонову, главному геофизику ООО «СИГМА-ГЕО» к.г.-м.н. И.В. Буддо, начальнику центра по работе в Восточно-Сибирском регионе, ООО «ГАЗПРОМ ВНИИГАЗ», к.г.-м.н., А.С. Смирнову, начальнику центра разработки проектов геологоразведочных работ в Восточно-Сибирском и Дальневосточном регионах И.В. Горлову (ООО «ГАЗПРОМ ВНИИГАЗ») за оказание всесторонней поддержки, ценных наставлений, участие в обосновании методологии комплексирования данных геофизических методов, за конструктивную дискуссию по вариантам геологическую интерпретацию картины физических полей и аномалий массива информации по галогенной толще кембрия, что в итоге позволило сделать определенные наброски и подготовить данную рукопись диссертации.

1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Стратиграфия

Район исследования – Ковыктинско-Хандинская зона, расположен на юго-восточной окраине Сибирского кратона, в зоне сочленения платформы со складчатой областью.

В геологическом строении района исследования принимают участие породы архей-протерозоя, палеозоя и кайнозоя (Рис. 1.1).

За основу литолого-стратиграфического деления докембрийских и кембрийских отложений принята схема «Четвертого Межведомственного регионального стратиграфического совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы» [Схема..., 1989] и уточненная «Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления» [Мельников и др., 2005].

Породы осадочного комплекса со структурным несогласием перекрывают породы кристаллического фундамента и представлены отложениями рифейского, вендского, кембрийского и ордовикского возрастов, перекрытых четвертичными отложениями. Суммарная толщина осадочного чехла составляет от 3200 до 3550 м.

Архей-протерозой (AR-PR)

Протерозойские образования представлены метаморфическими и изверженными породами архейско-протерозойского возраста и слагают фундамент платформы. По поверхности предвендского пенеплена по породам фундамента повсеместно развита кора выветривания, толщина которой в пределах изучаемой территории изменяется в пределах от 2.5–13.6 м. В пределах изучаемой территории породы кристаллического фундамента вскрыты 11 скважинами на, одной на севере и одной на востоке. Согласно описаниям керна породы представлены темно-серыми, зеленовато-серыми гранодиоритами. Верхняя часть (около 10 м) – кора выветривания.

Рифейская система – R

Рифей (R₃)

Тыптинская свита. Отложения тыптинской свиты в пределах района работ представлены, преимущественно, аргиллитовыми разностями с прослоями песчаников, алевролитов и аргиллитов. Толщина тыптинской свиты изменяется от 89 до 126.9 м.

Венд (V)

Отложения венда в пределах района исследования слагают четыре свиты: чорская, катангская, собинская и тэтэрская.

Чорская свита. Свита несогласно залегает на рифейской толще и делится на две подсвиты: нижнечорскую и верхнечорскую.

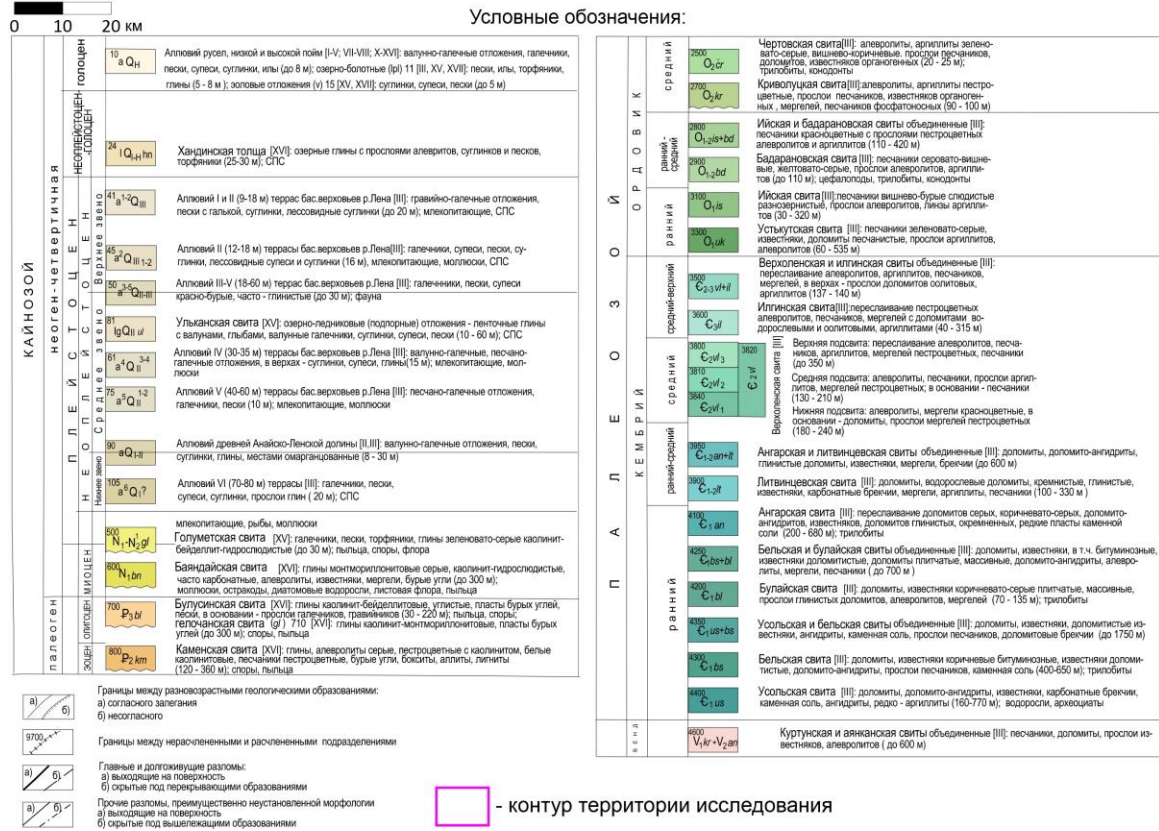
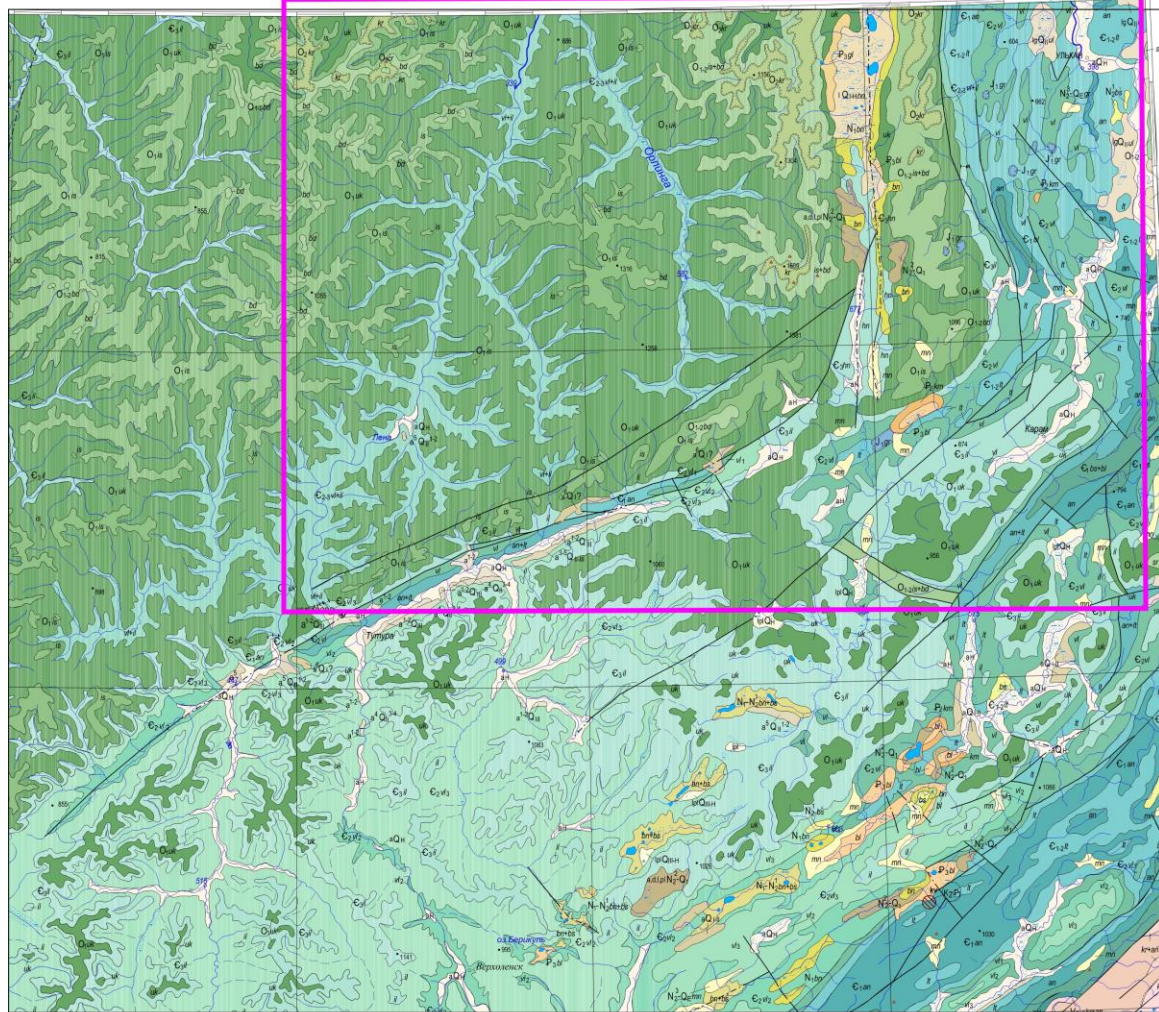


Рис. 1.1 Позиция объекта исследования на фрагменте геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 (лист N-48) [Государственная..., 2006].

Отложения нижнечорской подсвиты (непский горизонт) представлены неравномерным переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов. В подошвенной части нижнечорской подсвиты выделяется *боханский горизонт*, представленный прослоями песчаников, преимущественно, кварцевых, мелкозернистых, алевролитистых, темно-серых, плотных.

В основании верхнечорской подсвиты (тирский горизонт) выделяется пачка песчаников (*парфеновский горизонт*). Парфеновский горизонт представлен песчаниками серыми и темно-серыми с подчиненными прослоями алевролитов и аргиллитов.

В отложениях парфеновского горизонта залегают продуктивные газонасыщенные пласты Ковыктинского месторождения – П₁ и П₂. Толщина парфеновского горизонта по данным бурения – от 22 м до 78 м.

Катангская свита. Несогласно залегает на породах чорской свиты. Отложения свиты представлены переслаиванием серых до темно-серых доломитов, доломитов-ангидритов, реже ангидритов. Толщина свиты – от 81.9–117.0 м. В подошвенной части выделяется преображенский горизонт, представленный доломитами, в различной степени обогащенными глинистым материалом, с подчиненными тонкими прослоями алевролитов. Толщина горизонта по данным глубокого бурения изменяется от 10 до 27 м.

Собинская свита. Свита согласно залегает на нижележащих породах катангской свиты и представлена ритмичным переслаиванием доломитов, глинистых доломитов, доломит-ангидритов, реже ангидритов. Породы серые, темно- и коричневато-серые. Средняя толщина свиты в пределах территории исследования составляет около 70 м.

Тэтэрская свита. Стратиграфическая граница венда и кембрия имеет неопределенный характер и располагается внутри тэтэрской свиты.

Тэтэрская свита согласно залегает на породах собинской свиты. представлена доломитами, доломитами известковистыми, доломито-ангидритами серыми, коричневыми, прослоями ангидритов, мергелей. Толщина отложений свиты достигает порядка 70–100 м. В объеме свиты выделяется усть-кутский горизонт, представленный двумя пластами органогенных доломитов серых, коричневато- и темно-серых, участками окремненных с подчиненными прослоями ангидритов, ангидрито-доломитов и глинистых доломитов.

Отложения катангской, собинской и тэтэрской свит накапливались в даниловское время, когда шло общее прогибание Сибирской платформы. Осадконакопление происходило в условиях шельфа. На юго-востоке фиксируется увеличение мощности вендской толщи [Мельников, 2018].

Палеозой (Pz)

Кембрийская система

Кембрийская система подразделяется на нижний, средний и верхний отделы. К нижнему кембрию (Є_1) относятся отложения усольской, бельской, булайской и ангарской свит [Самсонов, 1975; Геология, 1981, Мельников, 2018].

Нижний отдел (Є_1)

Усольская свита ($\text{Є}_1 \text{us}$). Представлена переслаиванием каменных солей, доломитов, известняков, глинистых доломитов, доломито-ангидритов серого, тёмно-серого цвета. В низах свиты выделяется осинский пласт доломитов, известняков и доломитизированных известняков толщиной 45–56 м.

В кровельной части разреза свиты выделяется балыхтинский горизонт, сложенный трещиноватыми доломитами, тёмно-коричневато-серыми, участками окремнёнными, с прослоями глинистых доломито-ангидритов. Толщина горизонта 17–20 м. Толщина усольской свиты в районе работ изменяется от 446 до 623 м за счёт пластичных деформаций солей.

Бельская свита ($\text{Є}_1 \text{bs}$). Отложения бельской свиты залегают согласно на породах усольской. По литологическим признакам свита подразделяется на три подсвиты: нижнюю, среднюю и верхнюю. Ввиду однотонности состава нижняя и средняя подсвиты объединены.

Нижне-среднебельская подсвита ($\text{Є}_1 \text{bs}_{1+2}$). Представлена известняками, доломитизированными известняками, доломитами серыми, массивными, местами кавернозными с включениями гипса и ангидрита. В нижней части встречаются тонкие прослои каменной соли. В кровле выделяется атовский горизонт, состоящий из трещиноватых и кавернозных доломитов и известняков, мелкозернистых, толщиной 58–65 м. К подошве подсвиты приурочен христофоровский горизонт доломитов с прослоями известняков, доломито-ангидритов и глинистых доломитов. Толщина горизонта 57–64 м. Толщина нижне-среднебельской подсвиты 274–302 м.

Верхнебельская подсвита ($\text{Є}_1 \text{bs}_3$). Представлена переслаиванием каменных солей, грязно-серых, прозрачных, светло-розовых с доломитами, известняками мелкозернистыми, реже глинистыми доломитами. Толщина подсвиты 135–163 м.

Булайская свита ($\text{Є}_1 \text{bl}$). Сложена доломитами светло- и тёмно-серыми, мелкокристаллическими, массивными, плотными. В нижней части отмечаются прослои доломито-ангидритов, глинистых доломитов, песчаников. В средней части свиты выделяется биркинский горизонт. Толщина булайской свиты 128–136 м.

Ангарская свита ($\text{Є}_1 \text{an}$)

Нижнеангарская подсвита ($\text{Є}_1 \text{an}_1$). Представлена доломитами, доломито-ангидритами, глинистыми доломитами, доломитизированными мергелями с прослоями каменных солей грязно-серых, с включениями ангидритов. В верхней половине подсвиты выделяется бильчирский горизонт, состоящий из четырёх пластов массивных доломитов серых, коричневатых-серых, известковистых, редко известняков, ангидрито-доломитов,

разделенных прослоями каменных солей. Общая толщина горизонта 138–157 м. Толщина нижнеангарской подсвиты 269–307 м.

Верхнеангарская подсвита (Є_{1an2}). Сложена переслаиванием каменных солей грязно-серых, прозрачных, доломитов, известняков серых, тёмно-серых, глинистых доломитов и доломито-ангидритов. Толщина 145–518 м. Общая толщина ангарской свиты 418–492 м.

Нижний-средний отделы (Є₁₋₂)

Литвинцевская свита (Є₁₋₂ lt). В нижней части свиты преобладают доломиты серые, светло-коричневато-серые, иногда кавернозные, массивные с подчиненными прослоями каменных солей, глинистых доломитов, ангидритов, ангидрито-доломитов. Здесь выделяется келорский горизонт толщиной около 50 м. Верхняя часть свиты представляет собой толщу каменных солей, доломитов с подчинёнными прослоями известняков, глинистых доломитов и кварцевых карбонатных песчаников. Толщина литвинцевской свиты 138–336 м.

Средний-верхний отделы (Є₂₋₃)

Верхоленская свита (Є₂₋₃ vl). Представлена красноцветной толщей чередующихся между собой пластов песчаников, мергелей, алевролитов, аргиллитов, реже известняков и доломитов с редкими прослойками и включениями гипса. Толщина свиты 560–640 м.

Верхний отдел (Є₃)

Илгинская свита (Є₃ il). Сложена пёстроокрашенными песчаниками, алевролитами и известняками с маломощными прослоями аргиллитов. Характерно наличие медистого оруденения, широко известного в бассейне верхнего течения р. Лены. Толщина свиты 60–200 м.

Ордовикская система (O)

Нижний отдел (O₁)

Усть-Кутская свита (O_{1uk}). Отложения свиты согласно залегают на красноцветных породах илгинской свиты. Представлены в нижней части известковистыми и полевошпат-кварцевыми песчаниками, песчанистыми доломитами, доломитами и известняками оолитовыми, водорослевыми, преимущественно серой окраски. В составе верхней части большую роль играют аргиллиты и алевролиты, из карбонатных пород преобладают доломитистые известняки. Цвет пород в основном зеленовато-серый, серый. Характерны значительная фациальная изменчивость по простиранию и колебание толщины. Общая толщина свиты 0–320 м.

Ийская свита (O_{1is}). Отложения свиты слагают самые верхние части склонов долин и водораздельные пространства. Залегают согласно с постепенным переходом на отложениях усть-кутской свиты. Сложена песчаниками красно-бурными, вишнёво-бурными, мелкозернистыми, тонкоплитчатыми, параллельно- и косослоистыми. Толщина свиты 30–220 м.

Бадарановская свита (O₁bd). Свита залегает на породах ийской свиты с параллельным несогласием. Её отложения слагают водораздельные пространства. В целом свита сложена пестроцветными разномерными и грубозернистыми параллельно- и косослоистыми песчаниками с редкими прослоями красно-бурых алевролитов и комковатых аргиллитов. Толщина свиты 75 м.

Средний отдел (O₂)

Криволицкая свита (O₂kr). Залегает несогласно на подстилающих отложениях нижнеордовикского возраста. В нижней части сложена песчаниками и алевролитами грязно-зелёными, жёлто-серыми, серыми с прослоями и линзами аргиллитов. Верхняя часть свиты представляет собой однородную песчаную толщу желтовато-серого, светло-серого и серого цвета. Толщина криволицкой свиты 0–60 м.

Кайнозой

Четвертичная система (Q)

Среднечетвертичные отложения (Q_{II}). К ним отнесён аллювий надпойменной террасы высотой 25–38 м, наблюдающийся по берегам р. Лены. Аллювий представлен галечниками, буровато-серыми супесями и бурыми суглинками. Толщина отложений 3–3.5 м.

Верхнечетвертичные отложения (Q_{III}). Представлены аллювиальными отложениями террас высотой от 8 до 22 м, широко развитых по р. Лене и в меньшей мере по р. Чичапте. Аллювий сложен гравийно-галечным материалом, мелкими валунами, бурыми грубозернистыми песками, суглинками и супесями. Толщина отложений 3–13 в составе м.

Современные отложения (Q_{IV}). Представлены аллювием пойм и пойменных террас, почти повсеместно прослеживающихся вдоль наиболее крупных рек района. Поймы и террасы сложены илами, суглинками, песками, галечниками, толщиной 5–15 м.

1.2. Тектоническое строение

Историю тектонического развития территории можно разделить на несколько крупных этапов, характеризующихся спокойным развитием либо активизацией тектонических движений [Геология..., 1981].

В строении Сибирской платформы традиционно выделяется два структурных этажа: нижний структурный этаж – фундамент сложен раннедокембрийскими преимущественно кристаллическими породами, верхний (чехол) – неметаморфизованными относительно слабодислоцированными осадочными и вулканогенно-осадочными толщами с возрастом от рифея до кайнозоя.

1.2.1. Фундамент

Строение фундамента кратона отражено в большом количестве работ [Николаевский, 1968; Савинский, 1972; Гафаров и др., 1978; Кушев, 1985; Хильтова и др., 2003; и др.]. Все они

базируются главным образом на результатах интерпретации геофизических материалов и частично геологических данных, полученных по обнаженным краевым поднятиям, и результатам бурения в областях перекрытых осадочным чехлом.

На схеме О.М. Розена [Розен, 2003] район исследования проецируется на стык террейнов: Маганского и Тунгусского. Террейны саяны Саяно-Таймырской шовной (коллизонной) зоной (Рис. 1.2).

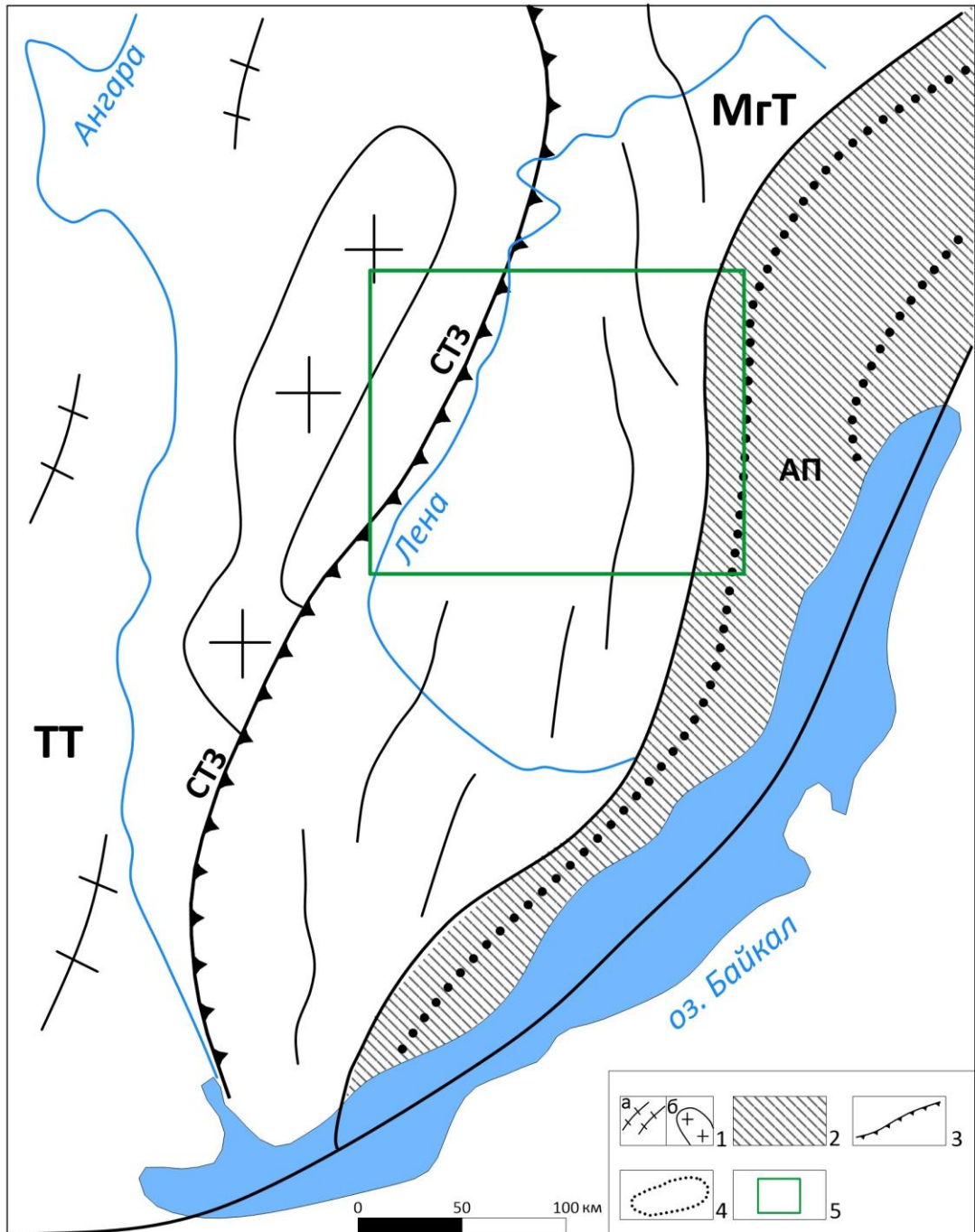


Рис. 1.2 Территория исследования на фрагменте схемы террейнов и коллизонных зон в фундаменте северо-востока Сибирского кратона [Розен, 2003].

Условные обозначения: 1 – гранит-зеленокаменные ареалы: а – зеленокаменные пояса и основные-ультраосновные интрузии, б – гранитные плутоны (по геофизическим данным); 2 - известково-щелочные вулканыты, углеродитско-кремнистые осадки и гранитоиды, зеленосланцевая до амфиболитовой фации (Акитканский складчатый пояс); 3 – главные разломы; 4 – границы обнаженного фундамента. Террейны: ТТ – Тунгусский; МгТ – Маганский. Шовные (коллизонные) зоны: СТЗ – Саяно-Таймырская. Складчатые пояса: АП – Акитканский.

Тунгусский террейн по набору пород соответствует гранит-зеленокаменному типу и был сформирован 3.25 млрд. лет назад и слабо метаморфизован 2.8-2.7 млрд. лет назад. Породы залегают среди гранулитов с возрастом метаморфизма 2.5-2.4 млрд. лет. Весь комплекс интродуцирован коллизионными гранитоидами 1.96-1.95 и 1.87-1.82 млрд лет. Маганский террейн сложен преимущественно плагиогнейсами и кристаллическими сланцами, гранулитовый метаморфизм которых характеризуется возрастом 2.42 млрд лет.

Акитканский складчатый пояс северо-восточного простирания под прямым углом срезает структуры Маганского террейна. По породной ассоциации он близок к островодужному типу и сопровождается гранитоидами с возрастом 1.91-2.18 млрд. лет. Позднее в пределах пояса проявился вулканоплутонический магматизм анорогенного типа с возрастом 1.87-1.82 млрд лет.

Выполненные за последние десятилетия изотопно-геохимические и геохронологические исследования кристаллических образований Сибирского кратона позволили в определенной мере решить вопросы возраста многих структурно-вещественных комплексов и наметить ряд террейнов, составляющих тектоническую основу кратона [Rosen et al., 1994; Смелов и др., 2003]. Вопросы же, касающиеся внутреннего устройства террейнов, до настоящего времени остаются остро дискуссионным и ввиду отсутствия достаточного количества геолого-геофизической информации по закрытым регионам.

В настоящее время большая часть исследователей полагает, что Сибирский кратон - это коллаж террейнов, различающихся не только по структурно-вещественным и геодинамическим признакам, но и по времени становления. Кратон как единая консолидированная структура окончательно был сформирован к концу раннего протерозоя. Большинство его южных границ образовалось в неопротерозое в связи с распадом суперконтинента Родиния [Мазукабзов и др, 2006]. В современной структуре юг кратона обрамлен разновозрастными складчато-надвиговыми поясами (Рис. 1.3).

Район исследования проецируется на стык террейнов: Верхоленский и Приленский, спаянные Байкало-Таймырским коллизионным швом (Рис. 1.3).

Широкое развитие в пределах Восточного Саяна, Байкало-Патомского нагорья нижне-среднепротерозойских метаморфических и интрузивных комплексов гранитоидного ряда (выступы древнего основания байкалид) свидетельствуют о грандиозных масштабах тектонических движений этого периода. Раннепротерозойский тектогенез вероятно оказал воздействие на эволюцию Ангаро-Тунгусской складчатой системы.

Период становления складчатой системы обрамления платформы совпадает с эпохой активизации блоковой тектоники фундамента. Наряду с формированием краевых швов, определивших в конечном итоге современные контуры платформы, эволюционирует и основной тектонический каркас фундамента.

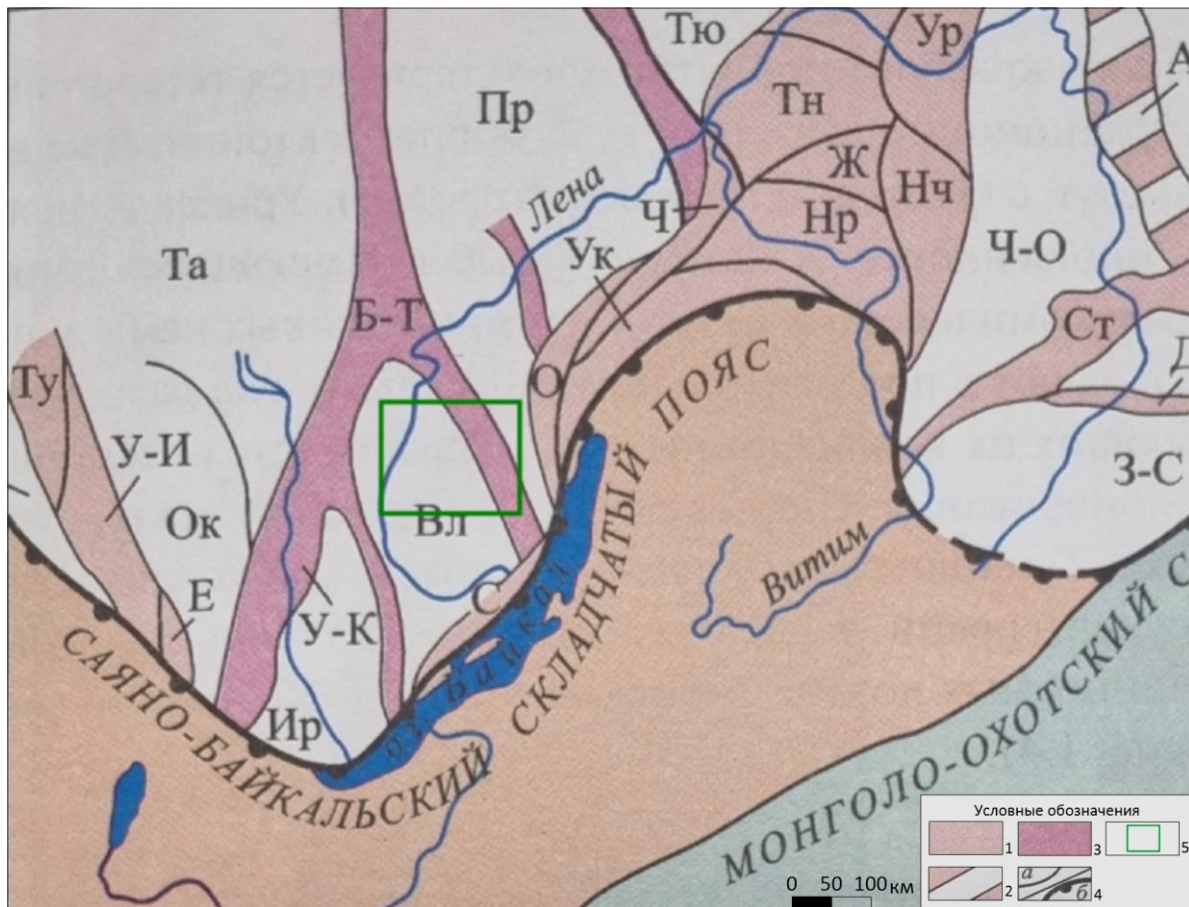


Рис. 1.3 Территория исследования на фрагменте схемы террейновой тектоники фундамента южной окраины Сибирского кратона [Мазукабзов и др, 2006].

Условные обозначения: 1-3 – Коллизионные пояса и зоны: 1 – раннепротерозойские; 2 – позднеархейские, переработанные в раннем протерозое; 3 – позднеархейские; 4 – предполагаемые границы террейнов (а) и кратона (б); 5 – контур участка исследования.

Террейны: Ок – Окинский; Та – Тасеевский; Ир – Иркутный; Вл – Верхнеленский; Пр – Приленский; Тю – Тунгдский; Ч-О – Чаро-Олекминский; 3-С – Западно-Становой.

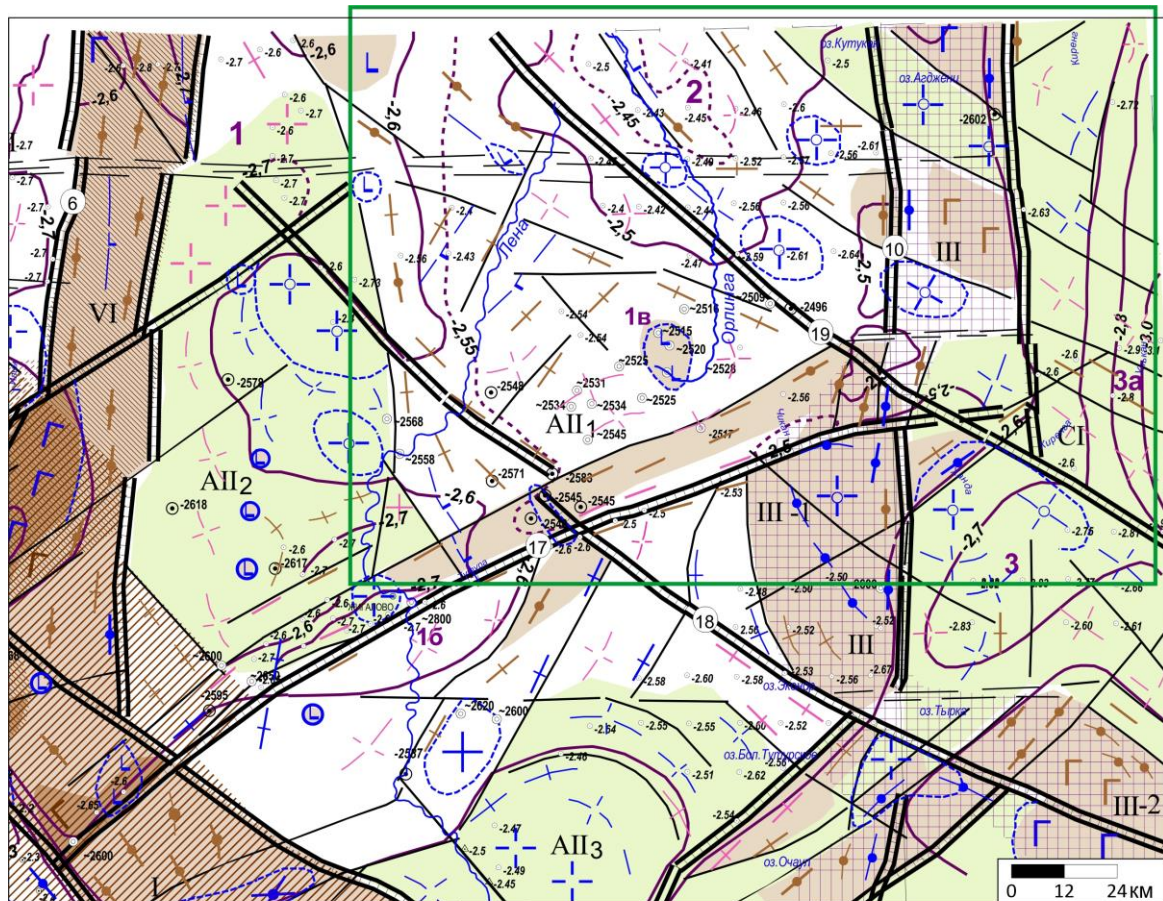
Террейны палеопротерозойского Ангарского коллизионного пояса: Ту – Туманшетский; У-И – Урикско-Ийский; Е – Ерминский.

Террейны палеопротерозойского Чуя-Вилойского коллизионного пояса: С – Сарминский; О – Окунайский; Ук – Укучиктинский; Ч – Чуйский; Нр – Нерпинский; Тн – Тонодский; Нч – Нечерский; Ур – Уринский; Ж – Жуинский.

Коллизионные зоны позднеархейские (зоны тектонического мегамеланжа): У-К – Урикско-Китойская; Б-Т – Байкало-Таймырская; Ам – Амгинская.

Значительной по интенсивности проявления разломов является триасовая эпоха, с которой связано широкое развитие траппового вулканизма. Эволюция разломов платформенного периода сопровождалась как вертикальными, так и горизонтальными перемещениями блоков [Мазукабзов и др., 2006; Мазукабзов, 2003].

Блоковая тектоника фундамента во всем ее многообразии предопределила основные черты строения и морфологии его поверхности. На карте глубинного строения дифференцированного гранитно-метаморфического слоя (по поверхности кристаллического фундамента) территория исследования расположена на границе Жигаловского гранито-серогнейсового блока и Лено-Тунгусской (Байкало-Таймырской) шовной зоны (Рис. 1.4).



Основные мегаблоки в строении кристаллического фундамента и блоки II-го и более высокого порядков в составе мегаблоков и блоков:

- AI - Илимский блок
 AI1 - Верхненский;
 AI2 - Жигаловский гранитно-серогнейсовый
 AI2- Верхнекочеленский, преимущественно гранитный
 AI3 - Лено-Тутурский (Верхленский), предположительно, гнейсово-гранитный
 AI4 - Предбайкальский

Основные структурные элементы поверхности кристаллического фундамента

- 1 - Ангаро-Ленская ступень (моноклиза);
 16 - Жигаловский прогиб
 1в - Ковыктинская структурная терраса
 2 - Непско-Ботуобинская антеклиза, Усть-Кутский свод (южные фланги)
 3 - Прибайкальский прогиб;
 3а - Ульканская впадина

Основные разломы, в т.ч. структурные швы:

- 6 - Илимский
 10 - Хандинский
 11 - Приморский
 17 - Жигаловский
 18 - Верхненско-Кочеленский
 19 - Орлинский (Илимо-Киренский, Басово-Шестаковский)

Линейные элементы в строении кристаллического фундамента

- I - Байкало-Катская шовная полиформационная зона (AR₁. Разделяет провинции и блоки с разным типом коры)
 III - Лено-Тутурская (Байкало-Таймырская) шовная сложной морфологии полиформа шовная зона с широким развитием ретрометаморфизма (AR₁-PR₂(R₁)
 III-1 - Основная Хандинско-Сарминская ветвь
 III-2 - Верхненский выступ (ответвление)
 □ - контур территории исследования

Зоны развития плотных и значительно плотных образований кристаллического фундамента

Области значительного корового разуплотнения

- ⊙ - Локальные максимумы Δg и ΔT, расчетные глубины залегания аномалиеобразующих объектов которых меньше интервала глубин до кристаллического фундамента. Предположительно, неки и штоки траппов
 ⊕ - Поверхностные силы траппов (долеритов ангаро-тасево-ского комплекса)
 ⊖ - 2101 - контуры локально-площадных намагниченных объектов

- а) б) - скважины глубокого бурения, в т.ч.:
 а) ⊙ - скважины, вскрывшие фундамента
 -2050 - абсолютные отметки кровли в метрах
 б) ⊙ - скважины, вскрывшие отложения ушаковской свиты, нижних горизонтов мотской серии
 -2050 - экстраполированные значения отметок кровли кристаллического фундамента
 -2.52 - отметки фундамента по результатам сейсмо-разведочных работ, в т.ч. по данным:
 - изогипсы кровли поверхности дорифейского кристаллического фундамента в км (по данным Т.Г.Смирновой, 1994; Л.К.Елисеевой, 1997; А.А.Анненкова, 2000; А.С.Калашниковой, 1971, 2000, 2002; Т.П.Бадеевой, 2000, 2004) а) основные, б) дополнительные

Внутрикратонные вулканогенные пояса и трог:

- VI - Ангаро-Катанский (AR₂-PR₁)

- а) б) Тектонические нарушения: а) основные; б) второстепенные 1300;
 в) зоны трещиноватости субширотного плана 1400

Предполагаемые петрофизические типы пород фундамента и складчатых зон

- (Г - магнитные, Г- немагнитные для плотных пород;
 ⊕ - магнитные, ⊕- немагнитные для гранитоидов):
 Г - габброиды, метаультрабазиты, ортоамфиболиты
 Г- амфиболитизированные габбро, параамфиболиты, эглогиты
 ⊕ - амфиболовые, биотит-амфиболовые гнейсы, роговообманковые сланцы, амфиболиты, метавулканыты (магнитные и немагнитные)
 ⊕ - биотитовые, биотит-амфиболовые гнейсы, биотит-роговообманковые сланцы, эпидот-хлоритовые сланцы, хлорит-карбонатные породы, чаще немагнитные
 ⊕ - лейкократовые, микроклиновые граниты, плагиограниты
 ⊕ - лейкократовые, микроклиновые граниты, чаще умеренно щелочные, гранит-порфиры
 ⊕ - умеренно щелочные граниты, граносиениты
 ⊕ - щелочные граниты, сиениты
 ⊕ - биотит-амфиболовые граниты, гранодиориты
 ⊕ - мигматит-граниты, гранито-гнейсы, кварцито-гнейсы; основные предполагаемые образования в областях разуплотнения и деструкции коры
 ⊕ - биотитовые гнейсы, кварц-полевошпатовые породы, бластоката-клизиты; предполагаемые образования приразломных зон
 ⊕ - зоны скупивания плотных карбонатных пород рифея-нижнего кембрия; подкливание рифейских пород вдоль зон разломов
 ⊕ - зоны разуплотнения осадочного чехла (максимальных мощностей солей, рыхлых отложений кайнозойских впадин)

Рис. 1.4 Территория исследования на фрагменте карты глубинного строения дифференцированного гранитно-метаморфического слоя (по поверхности кристаллического фундамента) масштаба 1: 1 000 000. N-48 (Иркутск) [Карта..., 2010].

1.2.2. Осадочный чехол

В региональном плане, согласно «Тектонической схеме Сибирской платформы», участок исследования располагается в северо-восточной части моноклинального склона Ангаро-Ленской ступени, в зоне сочленения с Непско-Ботуобинской антеклизой на севере и Предпатомского (Предбайкальского или Предбайкало-Патомского) регионального прогиба на востоке (Рис. 1.5) [Нефтегазоносные..., 1995; Сметанин, 2000].

По данным предшествующих исследований, по кровле терригенной толщи венда Ангаро-Ленская ступень представляет собой моноклираль со слабым погружением в северо-западном направлении с градиентом до 10 м/км [Тектоническая, 2018; Геология, 1981]. Осадочный чехол сложен в основном терригенными рифейско-вендскими и терригенно-карбонатными соленосными кембрийскими породами, а также породами силура, ордовика и юры. Предпатомский региональный прогиб выполнен в основном карбонатно-терригенными рифейскими и соленосно- и терригенно-карбонатными кембрийскими породами (мощностью от 2.5 до 6 км), которые в наиболее прогнутых зонах перекрыты ордовикскими, реже силурийскими и девонскими отложениями небольшой мощности [Модели..., 2017; Шемин и др., 2018].

На территории Ангаро-Ленской ступени выделены две структуры I порядка – Братский и Ковыктинский выступы, расположенные в северо-западной и средней ее частях, и две структуры II порядка – Верхнеангарский структурный мыс и Божеханский вал.

По данным предшественников [Дробот и др., 2004; Смирнов и др, 2016], Ковыктинское ГКМ находится в пределах северо-восточной части Ковыктинского выступа. Ковыктинский выступ осложняет юго-восточную часть Ангаро-Ленской ступени и представляет собой крупную (более 5000 км²) незамкнутую структуру II порядка, ориентированную по удлинению в субмеридиональном направлении. В центральной части Ковыктинский выступ осложнен двумя положительными структурами III порядка, ориентированными согласно с субширотным разломом.

Уже в работах А. Э. Конторовича и др. [Нефтегазоносные..., 1995], Г. Я. Шутова [Шутов, 1987] геологическая позиция Ковыктинского ГКМ рассматривалась на склоне Ангаро-Ботуобинской антеклизы в зоне сочленения Байкало-Вилуйского (Предбайкало-Патомского регионального) краевого прогиба с Ангаро-Ленской ступенью (АЛС). Согласно уточненной схеме тектонического районирования Сибирской платформы восточная граница Хандинской части КГКМ и Нарьягинского ГКМ картируются уже в контурах Предбайкало-Предпатомского регионального прогиба.

Современное строение Ковыктинского месторождения и сопредельных участков, месторождений и залежей УВ рассматривается в двух структурно-тектонических ярусах. Нижний представлен толщей верхнего рифея, несогласно перекрытого отложениями венда

(автохтон), и «припаян» к поверхности фундамена. Ортоплатформенные отложения венда, кембрия, ордовика несогласно перекрывают рифейские авлакогеновые толщи, и Ковыктинское ГКМ расположено именно над западной границей рифейского палеопргиба-авлакогена, над границей выклинивания толщ верхнего протерозоя – нижнего венда [Вахромеев и др, 2019; Смирнов и др., 2019].

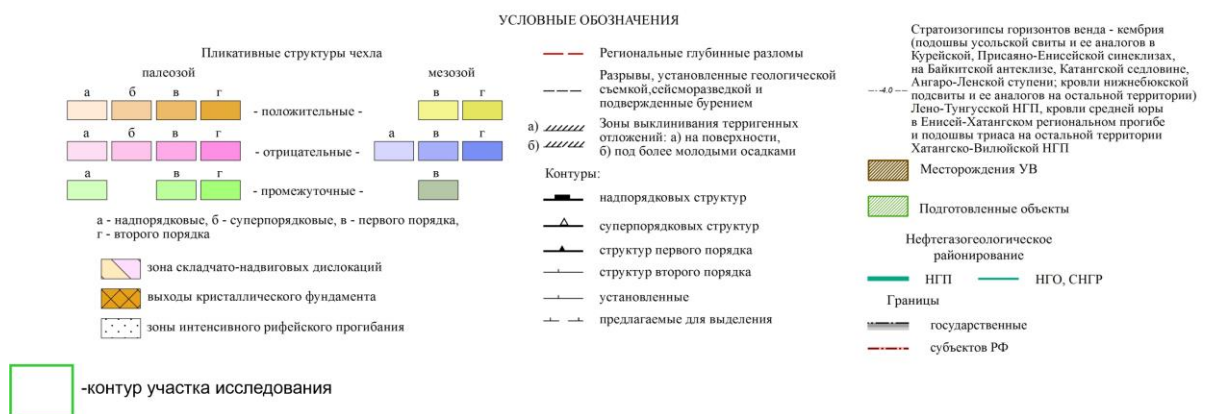
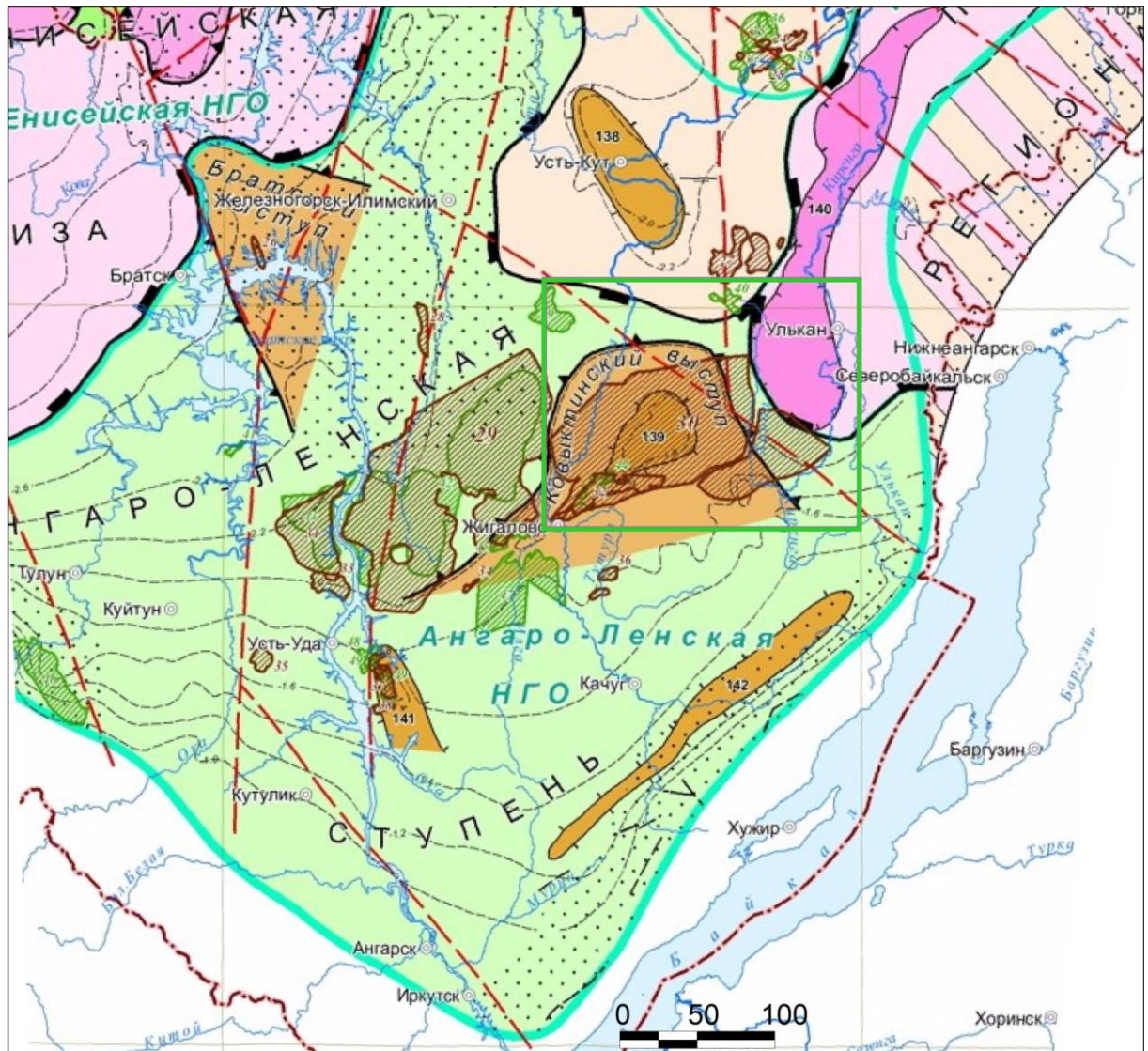


Рис. 1.5 Позиция объекта исследований на фрагменте тектонической карты нефтегазоносных провинций Сибирской платформы [Тектоническая..., 2018].

На уровне региональной модели в осадочном чехле выделено 2 структурных яруса, верхний из которых интенсивно дислоцирован (Рис. 1.4) в области сочленения платформенных структур и краевых прогибов платформы.

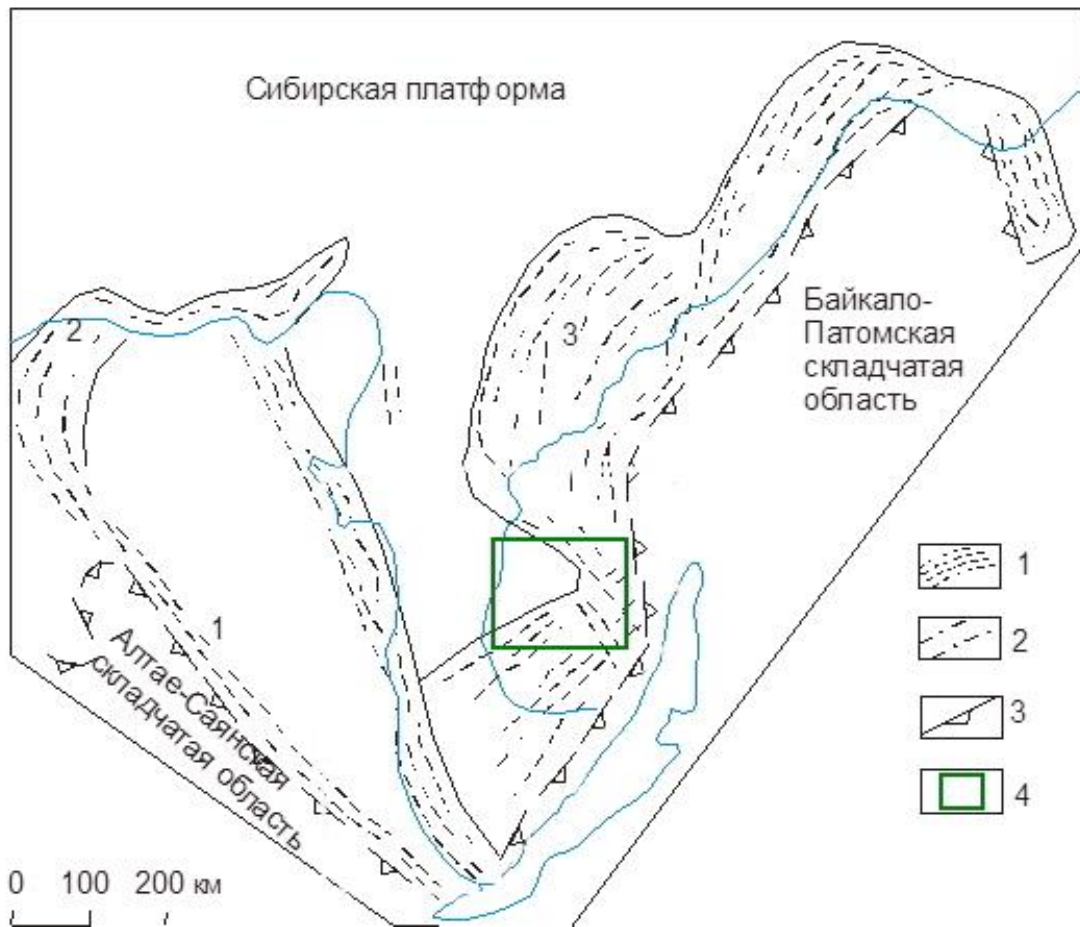


Рис. 1.6 Позиция объекта исследований на схеме зон деструкции осадочного чехла юга Сибирской платформы [Сметанин, 2000]

Условные обозначения: 1 – надвиговые пояса: 1 – Присаянский, 2 – Нижнеангарский, 3 – Предбайкало-Патомский; 2 – Ангарская зона сдвигов; 3 – граница палеозойского чехла; 4 – граница территории исследований.

1.2.3. Неотектоника

Неотектонический этап – конечный в тектоническом развитии на момент рассмотрения, при этом геодинамические процессы и тектонические движения (новейшие) продолжают. Это можно наблюдать по сейсмической активности Байкальской рифтовой зоны, по данным инструментальных измерений, мониторинга.

Новейший тектонический этап охватывает послезоценовое время [Золотарев, 1974; Леви, Кульчицкий, 1981]. На фрагменте карты новейшей тектоники (Рис. 1.7) отображены сууммарные амплитуды неотектонических движений, а также линейные тектонические нарушения. Методика определения амплитуд тектонических движений базировалась в основном на анализе деформаций поверхностей денудационного выравнивания, сформированных до начала неотектонического этапа, с учетом их гипсометрического положения перед самым началом этого этапа. Также широко использовались материалы

структурно-геоморфологического анализа, геолого-геоморфологического профилирования, комплекса морфометрических построений, дешифрирования аэрофото- и космических снимков.

Установлено, что все главнейшие древние разломы, приуроченные к пограничным зонам платформы, обладают наиболее высокой степенью активизации. По данным предшественников, территория исследования располагается в пределах Ангаро-Ленского крупного валообразного поднятия и является отчетливо выраженной положительной структурой. Оно значительно приподнято над примыкающими к нему с северо-запада и северо-востока системами относительных впадин. Суммарные амплитуды неотектонических движений колеблются здесь в основном от 350 до 450 м, в сводовой части достигая 500 – 550 м (по Золотареву до 1200 м) [Золотарев, 1974]. Выделяется ряд неотектонических элементов I порядка.

Соотнося крупные неотектонические элементы с основными поверхностями раздела земной коры и структурами платформенного чехла, представляется, что блоковая тектоника предопределила весьма сложную современную морфологию рельефа эрозионно-тектонической поверхности кристаллического фундамента. Рельеф подошвы и кровли консолидированного комплекса находят определенное отражение в новейшем тектоническом плане. Структурные формы по поверхности фундамента имеют не отчетливую связь с неотектоническим планом. Однако, наиболее крупные поднятия и впадины фундамента достаточно четко соотносятся с надпорядковыми неотектоническими элементами.

Выявление соотношения новейших тектонических элементов со структурой вулканогенно-осадочного чехла в методическом плане является слабо разработанной, что связывается как со слабой изученностью новейшей тектоники, так и структурных элементов чехла, в том числе крупных.

Современные итоги геолого-разведочных работ на Ковыктинском ГКМ, детальная проработка известных представлений разных лет о геологической позиции месторождения, с учетом значительного по объему массива накопленных данных глубокого бурения и полевой геофизики позволили получить новые данные о строении осадочного чехла и поверхности кристаллического фундамента южной и юго-восточной частей кратона.

Сделан вывод, что наиболее корректно результаты более чем 70-летних работ на нефть и газ укладываются в геологическую модель крупного Верхнеленского неотектонического сводового поднятия, предложенную в 1980-е гг. геологами ВостСибНИИГГиМС. Унаследованное поднятие с нижнего палеозоя и до современного времени сформировано «перекосом» ложа осадочного чехла платформенной части амфитеатра и неравномерными вертикальными движениями Ангаро-Ленского и Ангаро-Саянского краевых прогибов в

результате тектонических движений разной амплитуды [Жарков, Замараев, 1964; Вахромеев и др., 2019].

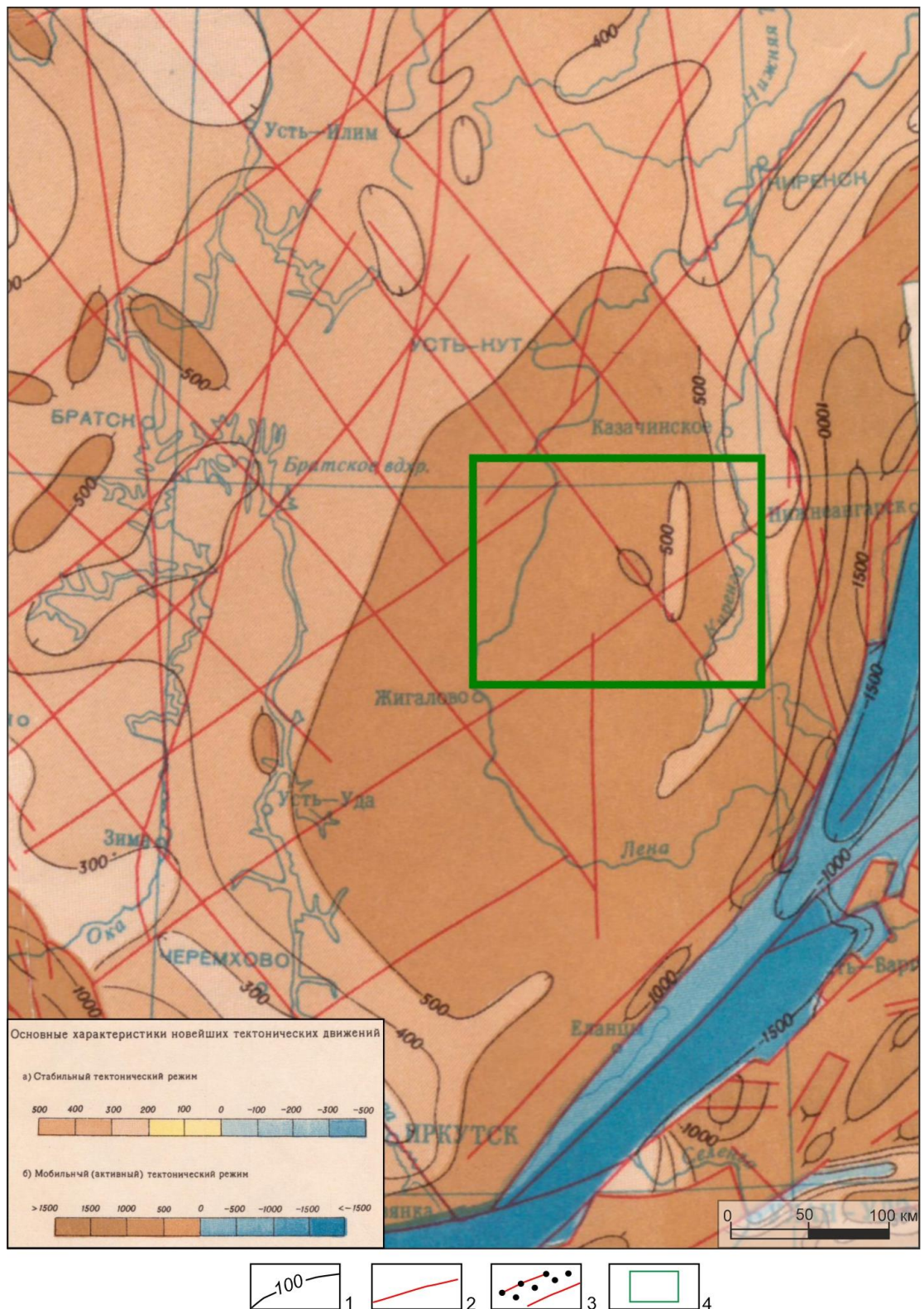


Рис. 1.7 Позиция объекта исследования на карте новейшей тектоники Сибирской платформы по Варламову и др., 1979 г. [Геология, 1981].

Верхнеленское сводовое поднятие, в северо-восточной части Иркутского амфитеатра описано в работах [Карта новейшей..., 1981; Флоренсов, 1962]. Первоначально поднятие было отражено на неотектонических картах и сопоставлено с крупной глыбой архейского возраста в

фундаменте [Геология, 1981; Замараев, 1967; Карта..., 1978; Карта..., 1981; Новейшая..., 1993; Флоренсов, 1962].

Разломы в фундаменте, ограничивающие это поднятие, выделены в работах К. А. Савинского [1972], уточнены на картах Г. Л. Митрофанова, А. П. Таскина [1994], А. С. Барышева и др. [1977] и обобщены в публикации ВНИГРИ. По режиму проявления тектонических движений в новейший этап оно отнесено к областям горообразования. Суммарные амплитуды неотектонических поднятий здесь 500–1000 м, максимальные до 1500 м. Верхнеленское сводовое поднятие – это наиболее крупный структурно-тектонический элемент в пределах АЛС и сопредельных структур с унаследованным развитием с мезозоя (ордовик), т. е. докайнозойским положительным трендом блоковых движений фундамента и осадочного чехла [Шутов, 1987; Карта новейшей..., 1981; Вахромеев, 2017, 2018, 2021; Смирнов и др., 2019].

Границы поднятия являются тектонически обусловленными и геодинамически унаследованными и контролируются магистральными разломами в фундаменте юга кратона, положительной асимметричной мегаструктурой в чехле и контурами обрамляющих его прогибов (Предбайкальско-Предпатомского, Илимского и Предсаянского). Поднятие характеризуется наиболее приподнятой частью в области седловины (в районе пос. Карам), которая по границе с вендскими образованиями разделяет Предпатомскую и Предбайкальскую ветви краевого прогиба. Осевая линия с изгибом трассируется вдоль области сочленения платформенной моноклинали с каждым из этих прогибов.

Г. Я. Шутов [1987] полагал, что крупное (а по новым данным ГРР – уникальное) Верхнеленское поднятие на юге и юго-западе ограничено Куленгской седловиной и Божеханским валом на востоке и юго-востоке – Прибайкальским и Предпатомским ветвями регионального прогиба. Северо-западное и северное погружения формируют современный структурный план моноклинали склона Ангаро-Ленской ступени.

Установлено, что Прибайкальский (Ангаро-Ленский) палеопрогиб, а позже Предбайкальский новейший прогиб развивались унаследованно в течение длительного геологического времени [Замараев, 1967]. Он имеет четкие геологические границы с Верхнеленским сводовым поднятием, определенные как по кровле кристаллического фундамента, так и по структурным планам рифея – терригенного венда (Божеханский вал в отложениях венда, выявленный по результатам бурения Божеханской скв. 1 и галогенно-карбонатного кембрия (Ахинский вал) [Вахромеев и др., 2021]. Еще резче выражены его границы с Байкальской группой рифтовых структур, где они совпадают с интенсивно активизированными разломами, амплитуды смещений по которым в новейшее время достигли 700 – 1000 м. Здесь пробурена параметрическая Прибайкальская скв. 1, вскрывшая качергатскую свиту трехчленного байкальского комплекса.

Предполагается, что в Иркутском нефтегазоносном бассейне (НГБ) была многоэтапная (с нижнего кембрия) тектоническая перестройка. Ангаро-Присаянский раннепалеозойский краевой прогиб опускался интенсивнее, чем Ангаро-Ленский [Жарков, Замаараев, 1964]. Последующее воздымание Иркутского амфитеатра в конце юры также проходило с перекосом – более амплитудным поднятием восточной части амфитеатра относительно погружения его южной и юго-западной в юрское время и отставанием западной области поднятия по амплитуде в последующие эпохи. Кайнозойский этап воздымания усилил тектонический перекоп, что доказано анализом деформации донеогеновой поверхности выравнивания [Карта новейшей, 1981]. Сформировалась моноклиналь с подъемом в сторону Предбайкальского (Прибайкальского) палеопрогиба [Замаараев, 1967].

Таким образом, Верхнеленское сводовое поднятие есть наиболее крупный структурно-тектонический элемент в пределах АЛС и сопредельных структур с унаследованным с мезозоя (ордовик) докайнозойским положительным трендом блоковых движений фундамента и осадочного чехла. При этом тектонически обусловленными и геодинамически унаследованными являются границы поднятия, которые контролируются магистральными разломами в фундаменте юга кратона Верхнеленского свода и обрамляющих его прогибов (Предбайкальско-Предпатомского, Илимского и Предсаянского).

Накопленные с 1980-х гг. результаты ГРП, а также новые сейсморазведочные материалы 2D и 3D и данные глубокого бурения за последних 50 лет на АЛС и уникальном Ковыктинском месторождении – все это корректно укладывается в приведенную геолого-структурную модель [Вахромеев и др., 2019; Смирнов и др., 2019].

1.3. Магматизм

На Сибирской платформе весьма широко был распространен траптовый магматизм (Рис. 1.8). На территории Ангаро-Ленской ступени наибольшее развитие получила интрузивная гипабиссальная фация, представленная долеритами. В пределах изучаемой площади преобладают долериты среднего состава. Основными формами залегания интрузивов являются силлы. Стратиграфический диапазон распространения силлов в осадочном чехле снизу ограничен вендом, сверху вулканогенно-кластическими породами нижнего триаса. Морфология секущих интрузивных образований в пределах Ангаро-Ленской ступени изучена недостаточно [Геология, 1981; Мигурский и др., 2010].

По данным сейсмических исследований установлены два уровня приуроченности траппа в разрезе: надосинской части и подосинской части усольской свиты. Переток магмы из подосинской в надосинскую часть разреза происходил по ослабленным субвертикальным зонам деструкции (трещиноватые зоны, разрывные нарушения). Мощный сплошной доломитовый пласт (осинский горизонт) являлся для высокотемпературной магмы трудно

преодолимым препятствием. Там, где осинский горизонт оказался ослабленным за счет разрывных нарушений, магма перетекла по ослабленной зоне в надосинскую часть разреза.

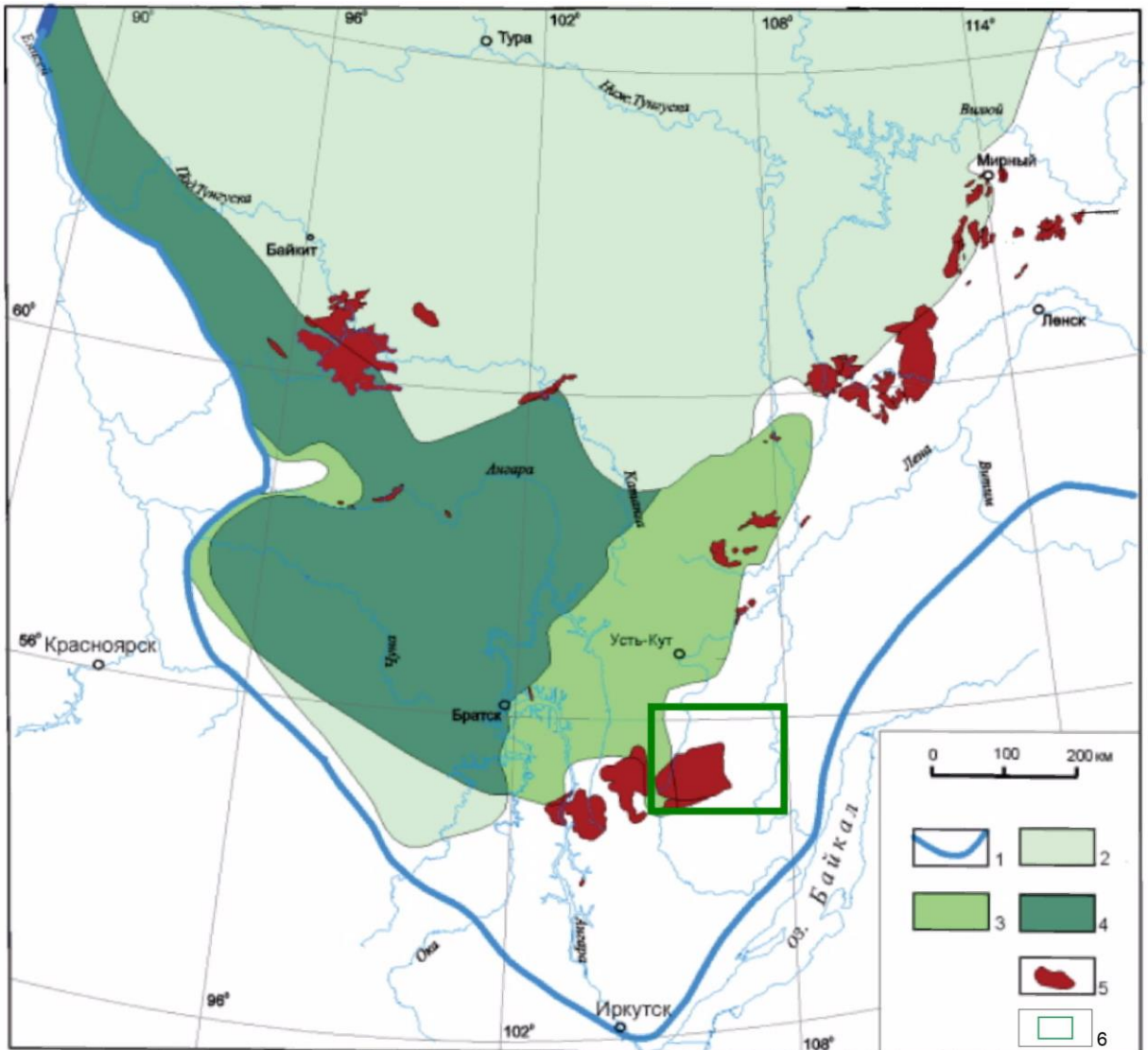


Рис. 1.8 Позиция объекта исследования на карте основных полей траптовых силлов и скопления УВ на юге Сибирской платформы [Мигурский, 2010].

Условные обозначения: 1 – граница Лено-Тунгусской НПП; поля траппов: 2 – территория развития пластовых интрузий в верхней половине осадочного чехла, 3 – Усольский силл, 4 – наложение на Усольский силл более верхних интрузий; 5 – месторождения нефти и газа; 6 – конур участка исследования.

По данным бурения поисковой скв. 7 – П на Левобережном лицензионном участке было установлено наличие в разрезе траппового силла, залегающего над осинским горизонтом и имеющего толщину 38 м. В скв. 161 Подволочной, расположенной в 22 км северо-восточнее скв. 7-П, траппы отсутствуют. В скв. 1 – П и 2 – П на Правобережном участке траппы в разрезе также отсутствуют. Трапповые тела вскрыты в скважинах на Чорской, Грузновской, западной части Ковыктинской площади. На Чорской площади в скв. 1 траппы залегают под осинским горизонтом, а в скв. 2 и 115 – над осинским горизонтом. На Грузновской и Жарковской площадях толщина траппового силла варьируется от 101 до 120 м (скв. Жар – 133 - 120 м, скв. Грз – 1 – 112 м, скв. Грз – 134 – 101 м).

Глубоким бурением в западной части Ковыктинского ЛУ вскрыта пластовая интрузия траппов в подосинской части усольской свиты. По вещественному составу интрузивное тело представлено, преимущественно, долеритами, реже габбро-долеритами. В пределах Чиканского ЛУ траппы были вскрыты под осинским горизонтом. В восточном направлении толщина их сокращается: 42 м - в скв. ЮК – 1, 21 м - в скв. ЮК – 2, 15 м - в скв. Чик – 22. В скважинах Чик – 174, Чик – 1, Чик – 2, ЮК – 4, ЮК – 5 и ЮК – 6 трапповый силл отсутствует. В пределах Хандинского ЛУ траппы в разрезах скважин не встречены.

1.4. Нефтегазоносность

В нефтегазоносном отношении площадь исследования располагается в Ангаро-Ленской нефтегазоносной области Лено-Тунгусской провинции (Рис. 1.9) [Геология, 1981].

В разрезе осадочного чехла выделяются три нефтегазоносных комплекса: вендский терригенный, верхневендский – нижнекембрийский терригенно-карбонатный, кембрийский галогенно-карбонатный.

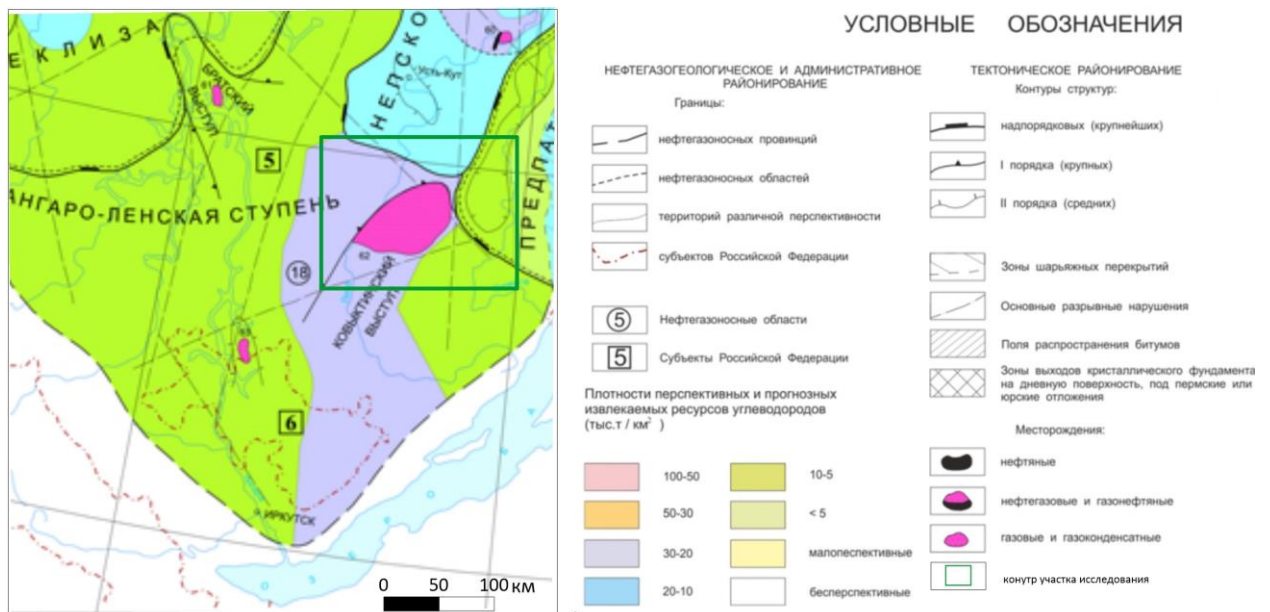


Рис. 1.9 Геологическая позиция объекта исследований на выкопировке из карты перспектив нефтеносности Сибирской платформы [Карта..., 2002].

К основным перспективным нефтегазоносным объектам терригенного венда в районе относятся песчаные горизонты подсолевого терригенного комплекса: безымянный, боханский и парфёновский [Поспеев и др., 2020; Мисюркеева и др., 2016]. Из них промышленно продуктивными являются песчаники парфеновского горизонта [Дробот и др., 2004, Ахияров и др., 2007, Смирнов и др., 2016, 2019].

На территории исследования располагается Ковыктинское газоконденсатное месторождение. Промышленная продуктивность месторождения связана с парфеновским песчаным горизонтом, выделяемым в верхней части верхнечорской свиты.

Выявленная в парфеновском горизонте газоконденсатная залежь находится в пределах пластовой очень крупной, более 7000 км² [Кокарев и др., 2018; Смирнов и др., 2016] литологически экранированной ловушки, расположенной на моноклиналином склоне Ангаро-Ленской ступени с одной стороны и на склоне Предбайкало-Предпатомского прогиба с другой. На данной стадии изученности границы залежи изучены слабо и в основном имеют прогнозный характер.

Интерес в газоносном отношении представляет бильчирский горизонт-коллектор нижнеангарской подсвиты [Горлов и др., 2016, 2018; Gorlov et al., 2018, 2020]. Бильчирский горизонт выделяется в верхней и средней частях нижнеангарской подсвиты. Горизонт представлен четырьмя пластами карбонатов, разделенных прослоями каменных солей. Пласты бильчирского горизонта по простиранию разобщены на отдельные блоки с различными пластовыми давлениями. В результате, одни скважины из этого горизонта дают самоизливы пластовой воды или притоки углеводородов, другие проявляют себя поглощением промывочной жидкости.

Коллектор бильчирского горизонта сложный: трещинно-поровый, трещинно-порово-кавернозный, трещинный, но его изученность по керну очень низкая. Открытая пористость пород горизонта, по данным ГИС, составляет 1–10 %. Толщина горизонта 138–157 м. Суммарная толщина карбонатных пластов Б1–Б4 (без солей) 82–93 м. Газопроявления в бильчирском горизонте были отмечены в 6 скважинах Ковыктинского ГКМ в виде выбросов газа и газа с водой. Газ углеводородного состава с запахом сероводорода

Также на территории Ковыктинского ГКМ отмечались газопроявления в биркинском горизонте, залегающем в булайской свите. Так, в скважине № 18 – КОВ получен приток газа до 20–25 тыс. м³/сут, а в скважине № 61 – КОВ приток газа с рапой составил более 100 тыс. м³/сут.

Геологический разрез КГКМ характеризуется сложными горно-геологическими условиями бурения. В составе всех стратиграфических уровней разреза осадочного чехла находятся горизонты-коллекторы, проявляющиеся осложнениями в процессе бурения. Максимально большое количество поглощений регистрируется в отложениях надсолевого комплекса – усть-кутская, ийская, верхоленская свиты, отложениях соленосной толщи – литвинцевская и ангарская свиты. Газопроявления чаще всего приурочены к отложениям ангарской свиты соленосной толщи нижнего кембрия, а также к христофоровскому, преображенскому и усть-кутскому горизонтам. Рапопроявления связаны с интервалами бельской и усольской свит соленосной толщи нижнего кембрия [Вахромеев, 2015; Смирнов, 2018].

Уникальное Ковыктинское газоконденсатное месторождение в силу сложности геологического строения до сих пор является недоразведанным. Основная залежь

парфёновского горизонта оконтурена, контуры Ангаро-Ковыктинской зоны нефтегазонакопления дискуссионны. Что касается других пластов-коллекторов карбонатно-галогенного и подсолевого комплексов, то их промышленная продуктивность практически не изучена. Проводимые в течение ряда лет электромагнитные исследования позволили определить основные черты геоэлектрического строения Ковыктинского месторождения и прилегающих к нему перспективных участков [Поспеев и др., 2020; Мисюркеева и др. 2016].

1.5. Обоснование актуальности выбранного направления исследований

Изучение территории Жигаловского вала ведут с 50-х годов XX века, Ковыктинской площади сейморазведкой 2D – с 70-х, бурением – с 70-х, электроразведкой с 1964г.

Сегодня на гигантском Ковыктинском ГКМ выполнен самый большой по площади сейсмический куб данных 3D МОГТ, пробурено около 80 скважин с отбором керна, ГИС. Но существующая геологическая модель месторождения прошлых лет – платформенный чехол и плащеобразное его строение в пределах АЛС [Дробот и др., 2004; Скузоватов, 2017].

Геологическое строение региона разведанного месторождения в его современных контурах не детализировано, его геологическая позиция по-прежнему основывается лишь на данных прошлых лет.

Между тем, уже первые данные сейморазведочных работ 2D, результаты бурения в восточной части Ковыктинского ГКМ, на Хандинской и Южно-Усть-Кутской площадях свидетельствуют об усложнении картины волнового поля в осадочном чехле, об увеличении амплитуды линейной складчатости, появлении нескольких этажей складчатости, которая ранее была закартирована по результатам геологосъемочных работ и не глубокого колонкового бурения.

Детализация субгоризонтальных и наклонных тектонических сместителей в поле тангенциальных напряжений сформировала наложенные системы тектонических нарушений – зон разуплотнения и дробления реологически жестких пород (доломиты, известняки), которые залечены пластичными пластами солей, формируя замкнутые флюидонасыщенные объекты природных резервуаров трещинного типа.

Представляется, что сопоставление ранее выявленных и закартированных объектов Баайкало-Патомского надвигового пояса на территории объекта исследований – Южно-Усть-Кутской, Хандинской, Ковыктинской и Чиканской площадях позволит уточнить строение осадочного чехла, в т.ч. с детализацией нижнекембрийской толщи на основе интерпретации новых данных современной объемной сейморазведки 3D МОГТ и глубокого бурения. Это позволит на новом, современном уровне использовать геолого-геофизические технологии и инструменты геологической разведки для формационного анализа, обоснования более детального геологического строения осадочного чехла объекта исследований.

2. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СКЛАДЧАТОСТИ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Складчатые структуры осадочного чехла юга Сибирской платформы в зоне сочленения с краевыми прогибами изучалось многими исследователями. Однако наиболее полный, всесторонний анализ тектонических условий их формирования был проведен С.М. Замараевым [Замараев, 1962; 1965; 1967]. Основываясь на факте, что все складки осадочного чехла южной части Сибирской платформы по генетическим признакам делятся на первичным и вторичным тектогенезом (Замараев, 1967). К первичным структурам он относил все надглыбовые складки краевых прогибов, а также структуры рифейских отложений Прибайкальской и Присяжно-Енисейской миогеосинклиналей. К вторичным структурам он относил складки общего смятия, возникшие в результате гравитационного тектогенеза, и соляные структуры. К ним, по данным С.М. Замараева, относятся линейные складки в послерифейских отложениях восточной части внутреннего поля Иркутского амфитеатра, складки Качугской и Марковско-Ичерской зон, пологие структуры Присянья, Тасеевская и Ангарская зоны складок.

К складкам без корней в фундаменте платформы причислены дислокации Непской зоны, широко известный Жигалавский антиклинал, а также крупные складки, расположенные в бассейнах Илама и верхнего течения Катанги [Замараев, 1967].

Складчатость послерифейских отложений, выполняющих нижнепалеозойскую краевую систему и наложенные на нее прогибы, является голоморфной (полной), промежуточной и прерывистой, которые распадаются на несколько порядков. Эти морфологические типы складок закономерно сменяют один другой в направлении от прискладчатых бортов краевых прогибов к внутренним.

Полной складчатостью охвачены краевые части осадочного чехла Ангаро-Ленского палеопргиба, где они образуют узкую (15–30 км) зону протяженностью в несколько сотен километров. Это валы и прогибы, которые осложняют синклинальные и антиклинальные складки второго порядка, прослеживающиеся на десятки километров. Ширина их измеряется первыми километрами и амплитуды сотнями метров. Помимо локальных надвигов, в этой зоне складок фиксируются продольные разломы, соизмеримые по протяженности с валами и прогибами [Замараев, 1967].

Более обширные площади южной части Сибирской платформы охваченные складчатостью промежуточного типа (Рис. 2.1), отнесены к складкам продольного смятия, сформированных в результате вторичного тектогенеза. Это протяженные складки в послерифейских отложениях восточной части внутреннего поля Иркутского амфитеатра, группирующиеся в отдельные зоны, протягивающиеся на сотни километров при ширине до 100 км. К ним относятся линейные складки Прибайкальской и Приленской зон, коробчатые

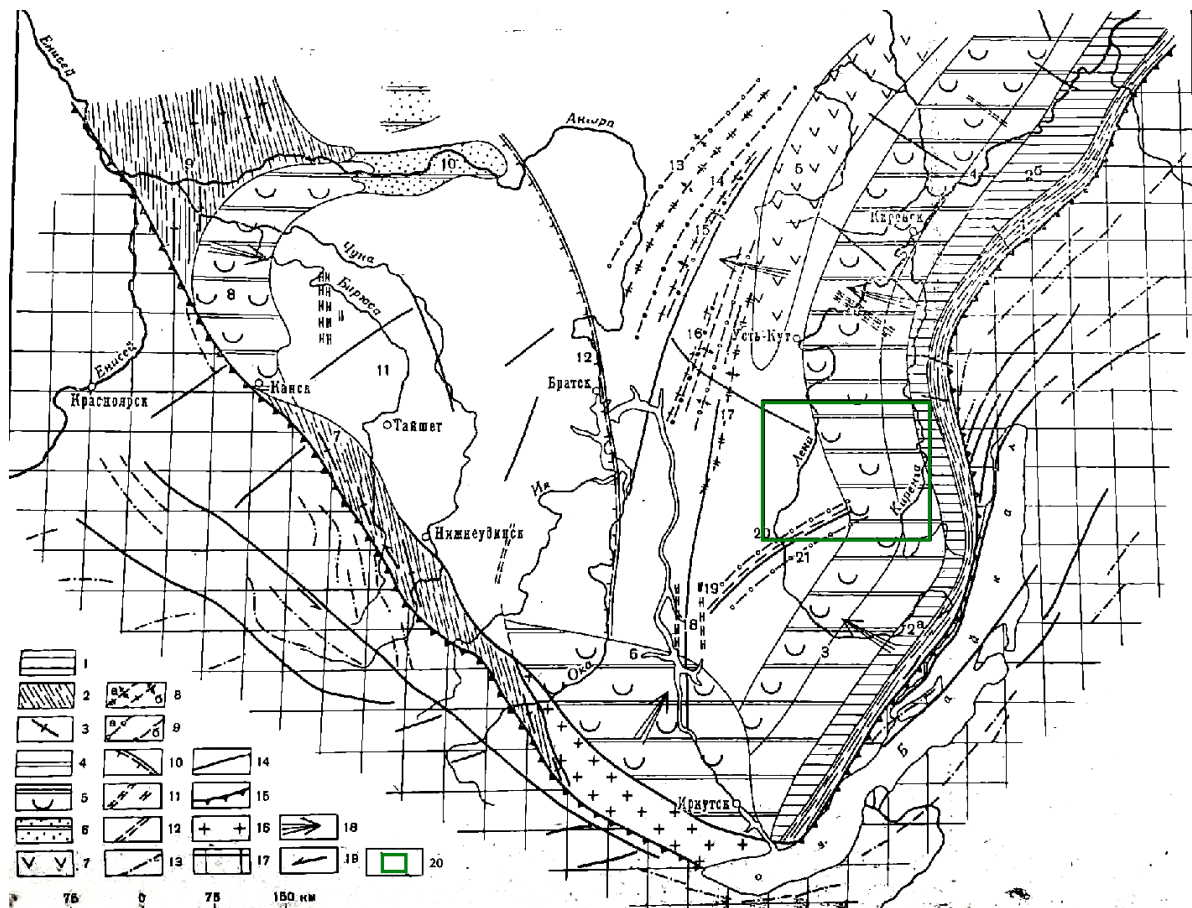


Рис. 2.1 Расположение объекта исследований на схеме складчатых структур и разломов южной части Сибирской платформы [Замараев, 1967].

Складчатость общего смятия: 1 – полная складчатость преимущественно гравитационного происхождения; 2 – полная складчатость с широким развитием приразломных и межразломных складок; 3 – господствующие простирания линейных складок в рифейских отложениях; 4 – складчатость промежуточного типа – гребневидные и коробчатые складки, преимущественно гравитационные; 5 – складки промежуточного типа, осложненные соляными ядрами нагнетания; 6 – складки промежуточного типа с неизвестным глубинным строением; 7 – складки промежуточного типа, сопряженные с разломами, осложненные соляными ядрами.

Складчатость нагнетания: 8 – оси отдельных валов (а) и антиклиналей (б) с соляными ядрами; 9 – оси отдельных прогибов (а) и синклиналей (б), сопряженных с соляными валами и антиклиналями.

Надглыбовая складчатость: 10 – флексуры; 11 – надглыбовые поднятия; 12 – вероятные господствующие простирания надглыбовых складок; 13 – простирание складчатых структур и синскладчатых интрузий в Саяно-Байкальской системе; 14 – главные разломы платформы и складчатой; 15 – внешний контур краевого шва; 16 – обнаженный фундамент платформы; 17 – Саяно-Байкальская складчатая система; 18 – основные направления гравитационного соскальзывания осадочного чехла платформы; 19 – вероятное направление сдвиговых смещений по краевому шву в докембрии; 20 – контур территории исследования.

Цифры на схеме: 1 – линейные складки рифейских отложений Прибайкалья и западного склона Северо-Байкальского нагорья; 2 – линейные складки послерифейских, преимущественно нижнепалеозойских отложений; 2а – Прибайкальская, 2б – Приленская зоны; 3 – Качугская зона складок; 4 – Марковско-Ичерская зона складок; 5 – Непская зона дислокаций; 6 – зона пологих структур Присаянья; 7 – Присаянская зона линейных складок рифейских отложений; 8 – Тасеевская зона складок; 9 – складки рифейских отложений Енисейского кряжа; 10 – Ангарская зона складок; 11 – Пушкинское поднятие; 12 – Окино-Вихоревская флексура; 13 – Чулаканский прогиб; 14 – Поливинский прогиб; 15 – Тубинская антиклиналь; 16 – Литвинцевская антиклиналь; 17 – Верхне-Илимский вал; 18 – Верхнеангарская зона дислокаций; 19 – Жигаловский вал; 20 – Бурунгинский прогиб; 21 – Пономаревский прогиб.

складки Качугской и Марковско-Ичерской зон, складки Тасеевской группы, зона Ангарских складок, зона пологих структур Присаянья, Непская зона без корневых дислокаций, Жигаловский вал и складки северной части Ангаро-Ленского прогиба.

Жигаловский вал, расположенный в контуре КГКМ, С.М. Замараев представля надглыбовой складкой, но в отличие от других, включающей соляное ядро. С ним сопряжены Бурунгинский и более широкий Пономаревский прогибы. Вал осложнен складками второго порядка, тяготеющими к его крыльям, а также продольными и поперечными разломами, пересекающими лишь надсолевые отложения и возникшими благодаря росту соляных ядер. Амплитуды продольных разломов достигают сотни метров. Местами на оси вала находятся узкие грабены, возникшие в результате растрескивания надсолевой покрывки.

По мнению С.М. Замараева [1967] складки общего смятия образуются вследствие продольного сжатия пластов в результате несколько источников напряжений. Это – сжатие осадочного чехла под тангенциальным давлением, развивавшемся в краевом шве. Вторым источником является гравитационный тектогенез. Определенное значение имели также сокращения поверхностей слоев при прохождении их через хорды прогибов и местные продольные напряжения, возникавшие при инверсии структур первого порядка.

Широко проявился на юге Сибирской платформы гравитационный тектогенез, которому на тот момент присваивалась значительная роль в образовании складчатости. Представлялось, что осадочный чехол южной части Сибирской платформы при определенных благоприятных условиях имел возможность к значительным перемещениям. Здесь имеется несколько стратиграфических уровней, на которых могло происходить скольжение вышележащих пород. Основными из них являются соленосные отложения нижней части усольской свиты. Мощность отложений, участвующих в скольжении, в этих случаях превышала обычно 2000 м, а в ряде районов и 3000 – 4000 м. Вторым горизонтом, по которому происходили региональные гравитационные соскальзывания, является верхняя часть сланцев рифея. По ним смещался в благоприятных условиях весь палеозойский чехол. Мощность осадков, подверженных деформациям, в таких условиях достигала 4000 м. Более локальные перемещения происходили по горизонтам соли ленского яруса (*литвинцевская, ангарская, булайская свиты*). Мощность перемещавшихся отложений превышала в этом случае 2000 м, а в других районах была близкой к 1000 м. «Рассматривая механизм образования складчатых структур, С.М. Замараев обращает внимание на прямую зависимость между интенсивностью складчатости осадочного чехла платформы и крутизной залегания подошвы пластических пород. В направлении от краев в центральные районы внутреннего поля Иркутского амфитеатра интенсивность складчатости, вызванная продольным сжатием, убывает, одновременно с этим уменьшается и крутизна наклона подсолевого ложа.

По заключению С.М. Замараева [1967], вторичный тектогенез осадочного чехла юга Сибирской платформы осуществлялся под воздействием сползания его по пластическим горизонтам вниз по региональным уклонам под влиянием собственного веса (Рис. 2.2) и в силу продольного сжатия, возникшего при послесилурийских деформациях краевых прогибов. Оба

эти механизма действовали одновременно, и различить их, по мнению С.М. Замараева, весьма трудно.

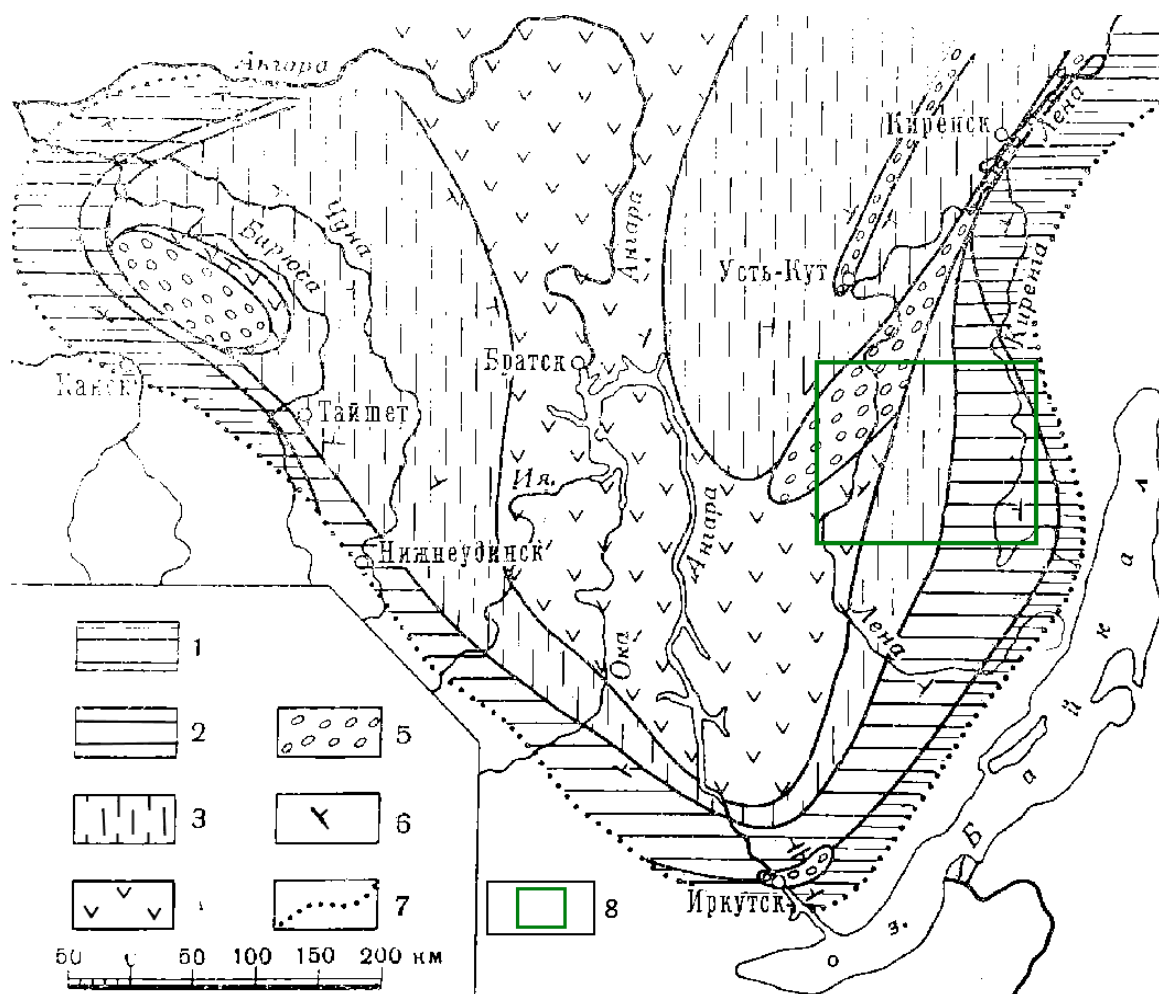


Рис. 2.2 Геологическая позиция объекта исследований на схематической карте региональных углов наклонов поверхности подсолевого ложа и кровли мотской свиты (за пределами галогенной формации) внутреннего поля Иркутского амфитеатра [Замараев, 1967].

Условные обозначения: Углы наклонов: 1 – от 2 до 4° и более; 2 – от 1 до 2°; 3 – от 20' до 60'; 4 – от 5' до 20'; 5 – участки горизонтального залегания подсолевого ложа; 6 – направления наклонов; 7 – современный контур кембрийского осадочного чехла; 8 – контур территории исследования.

Позже, М.А Дубровиным [Дубровин, 1979] на основе комплексного анализа большого объема геолого-геофизических материалов описаны пространственные изменения состава, мощностей и структуры подсолевых, соленосных и надсолевых отложений Верхнеленской палеовпадины, выделенной Н.С. Зайцевым [Зайцев, 1954] в составе Ангаро-Ленского палеогиба. Показаны морфологические особенности разнопорядковых структурных элементов и раскрыты основные черты соляной тектоники Верхне-Ленской палеовпадины.

Проведенные автором исследования и геологическая интерпретация геофизических данных подтверждают представления М.А. Дубровина о делении осадочного чехла Верхнеленской впадины на три структурных подэтажа, в которой средний (соленосный)

комплекс пород по физико-механическим свойствам резко отличается от верхнего (карбонатно-терригенного) и нижнего (терригенно-карбонатного) комплексов.

Нижний (подсолевой) структурный подэтаж

Включает терригенно-карбонатные породы позднего докембрия и нижне-среднемотской подсветы раннего кембрия, мощность которых (за исключением территории Прибайкалья) преимущественно равна 400 – 500 м.

Нижний структурный подэтаж обладает своеобразным набором деформаций, которые закономерно расположены и находятся в определенных взаимосвязи [Дубровин, 1979]. В нижнем подэтаже М.А. Дубровиным выделяются Прибайкальский прогиб, расположенный вблизи Байкало-Патомского нагорья, и развитое западнее его Приленское валообразное поднятие, которые прослеживаются на расстояние более 1000 км. Для них характерна асимметрия, выраженная в значительном различии амплитуды, ширины и градиента падения крыльев. Осевые зоны прогиба и поднятия в плане изогнуты сигмоидально, подобно Байкало-Патомскому поднятию (Рис. 2.3).

По М.А. Дубровину, территория Ковыктинского ГКМ расположена в пределах обширной поперечной палеодепрессии, сформированной в соответствии с глубоким региональным погружением шарнира Приленского поднятия (до 1000 м) между двумя поднятиями, относящимися к структурам второго порядка: Непским на севере и Покровским на юге. В пределах депрессии выделяются структуры третьего порядка: Усть-Кутское поднятие и ограничивающие его с севера и юга Тирский и Орленгский поперечные прогибы.

На западном крыле Приленского поднятия, представляющего собой обширную и пологую моноклираль, развита серия структурных ступеней (Ахинская, Жигаловская, Верхнеилимская, Литвинцевская и Тубинская), объединенных М.А. Дубровиным в Илимско-Илгинскую группу. Это узкие (шириной до 30 км) и весьма протяженные (до 150 – 200 км), нередко валообразные ступени, в расположении которых наблюдается определенная закономерность – они ориентированы диагонально по отношению к осевой зоне поднятия.

Особое место среди элементов нижнего структурного подэтажа занимают складки надглыбового типа, обнаруженные в районе развития Ангарских и Верхне-Ангарских дислокаций. Надглыбовые складки как и структурные ступени Илимско-Илгинской группы, расположены зонально и включены в единую Ангарскую группу [Дубровин, 1979].

М.А. Дубровиным в 1974 г. было выдвинуто предположение о присутствии в Приангарье региональной зоны сдвиговых движений земной коры. Зона правостороннего сдвига, названного Приангарским, трассируется вдоль биссектрисы угла, образованного Саяно-Байкальским дугообразным орогенным поднятием, на расстояние более 600 км при ширине 25 – 50 км.

Блоки фундамента и надглыбовые складки, сформированные в данной зоне, имеют относительно небольшие горизонтальные размеры (первые десятки километров), с малой амплитудой вертикальных движений (не более 100 м). Структурные формы фундамента и слоистой среды разнообразны, но в основном коробчатые.

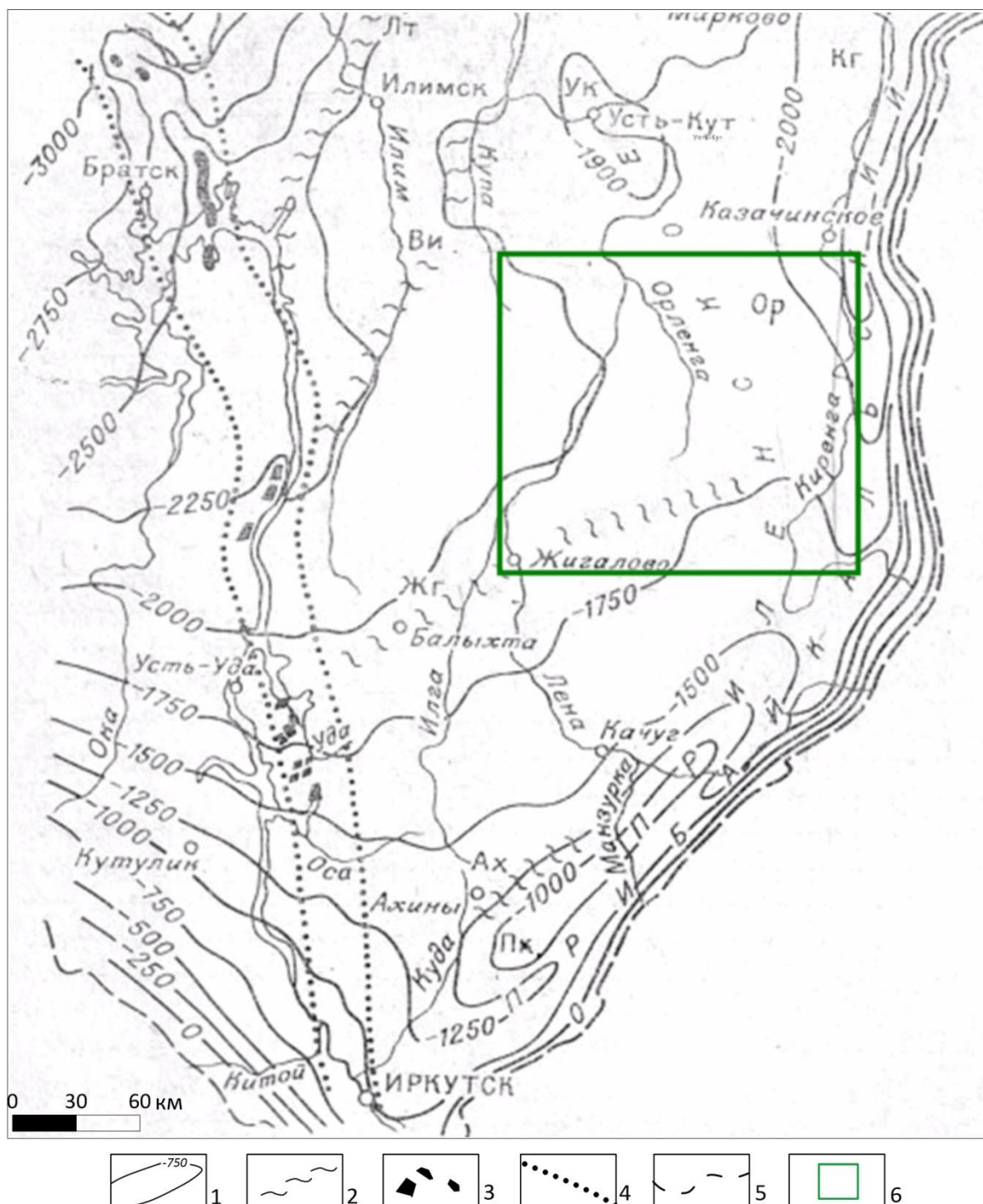


Рис. 2.3 Участок исследования на фрагменте схемы основных структурных элементов подсолевого ложа [Дубровин, 1979].

Условные обозначения: 1 – изогипсы поверхности подсолевого ложа; 2 – структурные ступени Илимско-Илигинской группы; 3 – надглыбовые складки Ангарской группы; 4 – зона Приангарского сдвига; 5 – юго-восточная граница распространения мотской свиты.

Структурные элементы II порядка: Непское (Нп) и Покровское (Пк) поднятия; Киренгский (Кг) прогиб; III порядка: Усть-Кутское (Ук) поднятие, Тирский (Тр) и Орленгский (Ор) прогибы; Ахинская (Ах), Жигаловская (Жг), Верхнеилимская (Ви), литвинцевская (Лт) и Тубинская (Тб) структурные ступени.

М.А. Дубровиным подчеркивается, что результаты геолого-геофизических исследований, главным образом сейсморазведки и глубокого бурения, свидетельствуют о том, что во внутренних районах впадины глыбовые движения фундамента не получили заметного развития, и нет оснований придавать им ведущее складкообразующее влияние на осадочный чехол. Не отрицается при этом общее разрывообразование в процессе деформации фундамента и подсолевых слоев, развитое по данным керна, практически повсеместно. Однако признаков существенных субвертикальных или субгоризонтальных перемещений ни в мелких разрывах, ни в более крупных не установлено.

В нижнем структурном подэтаже широко распространены межпластовые сколы, поверхности которых часто маркируются телами траппов на западном крыле Приленского поднятия. Отмечаются локальные деформации, выраженные в виде слабого коробления подсолевых слоев, брекчиевидности ангидритоносных пород «мелких» зеркал скольжения, приуроченных к прослойкам аргиллитов и ангидритов.

Верхний (надсолевой) структурный подэтаж включает карбонатно-терригенные породы красноцветной формации (от подошвы верхоленской свиты до кровли ярской), мощность которых к началу общей складчатости достигала на севере впадины 1000, а на юге – 1900 м.

На структурной схеме надсолевой толщи, составленной М.А. Дубровиным (Рис. 2.4) условными стратоизогипсами показаны контуры известных антиклиналей и полуантиклиналей (структурных носов), а также участки моноклиального залегания нижнепалеозойских надсолевых слоев и самых верхних слоев соленосных горизонтов разреза. На схеме также показаны границы региональных областей линейной и брахиформной складчатостей, частных зон складок и распространения антиклиналей с различными галитовыми и гипсо-ангидритовыми ядрами. По тем или иным признакам на территории Верхне-Ленской палеовпадины выделены Ангарская, Илимско-Катангская, Илимско-Орленгская, Качугская, Непская, Марковско-Ичерская, Киренгская и Манзурская зоны складок.

Породы надсолевого комплекса Ковыктинского-Хандинской зоны по морфологическим признакам относятся к Илимско-Орлингской зоне и на севере, в пределах границы Ковыктинского и Южно-Усть-Кутского ЛУ к Непской и Марковско-Ичерской зонам.

Считалось, что *Илимско-Орлингская зона* отличается от всех остальных зон Ангаро-Ленской ступени (Непская, Марковско-Ичерская и др.) простейшим строением/ Здесь отмечается преимущественно моноклиальное залегание надсолевых пород. В виде редкой сети локальных осложнений картируются брахиантиклинали, структурные носы и террасы. Сегодня, по данным ГРП строение зоны существенно усложнилось.

Непская зона образована сложным сочетанием надвигов, взбросов и изгибов слоев. В ней выделяются симметричные и ассиметричные антиклинали, складки-надвиги и складко-

взбросы. Симметричные антиклинали имеют расплывчатые очертания в плане, протягиваются до 70 км при ширине 3–12 км, амплитудой 20–250 м. Асимметричные антиклинали, линейные, прослеживаются на несколько десятков километров при ширине 3–10 км и амплитуде до 400 м.

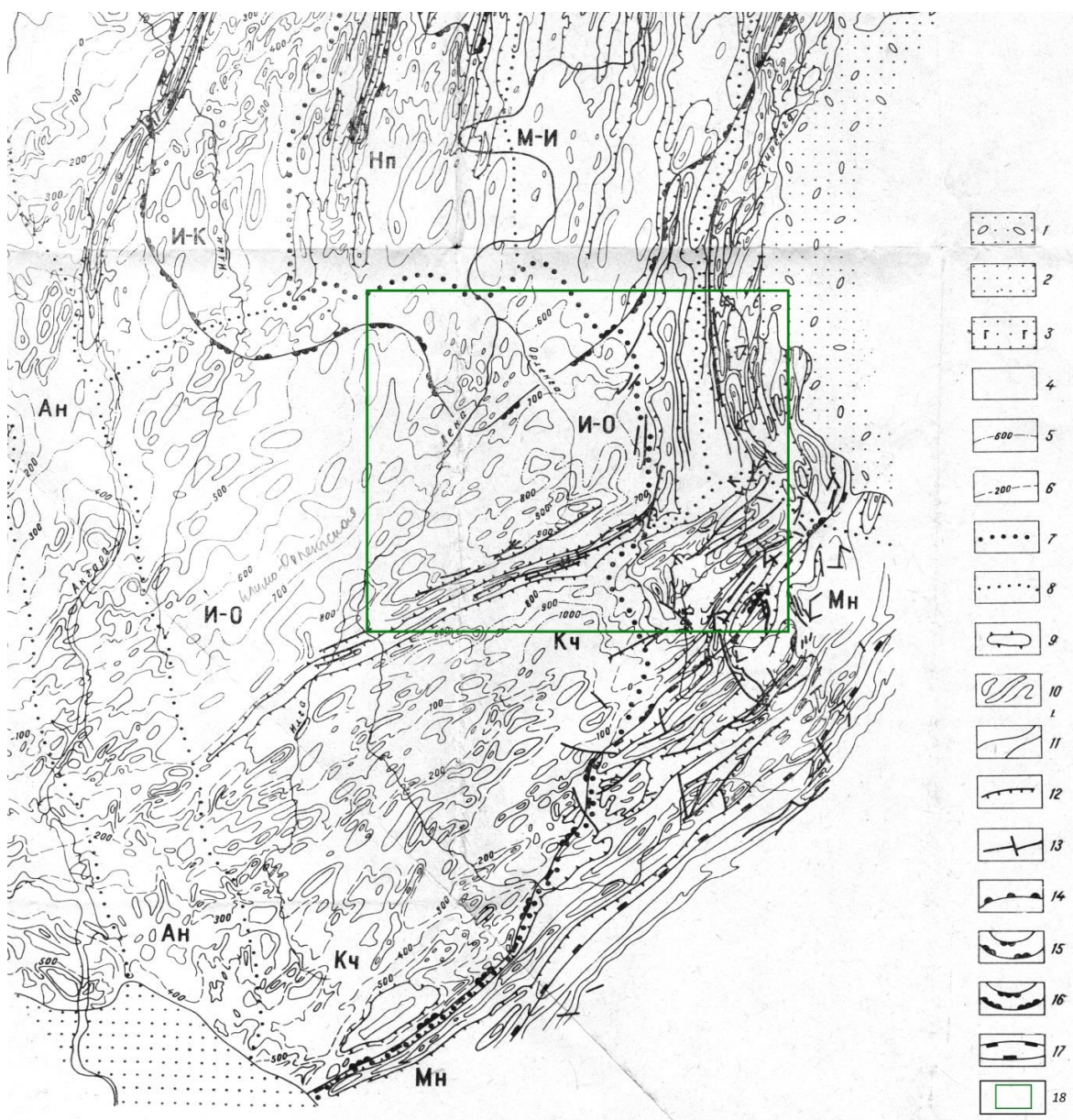


Рис. 2.4 Позиция объекта исследований на фрагменте структурной схемы надсолевой толщи Верхне-Ленской палеовпадины [Дубровин, 1979]

Условные обозначения: 1–4 – структурные этажи: 1 – кайнозойский, 2 – среднемезозойский, 3 – верхнепалеозойско-нижнемезозойский, 4 – нижнепалеозойский; 5–6 – стратоизогипсы: 5 – по кровле нижнеустькутской подствиты раннего ордовика, 6 – по подошве верхоленской свиты среднего – позднего кембрия; 7–8 – границы: 7 – областей линейной и брахиформной складчатости, 8 – зон складок (Ан – Ангарская, И-К – Илим-Катангская, И-О – Илим-Орленгская, Кч – Качугская, Кг – Киренгская, Мн – Манзурская, М-И – Марковско-Ичерская, Нп – Непская, Ок – Окинская); 9–11 – контуры: 9 – аниклинальных складок, амплитуда которых превышает 100 м, 10 – пологих брахиантиклиналей и полуантиклиналей (структурных носов), 11 – моноклиналей; 12,13 – разрывные нарушения: 12 – преимущественно взбросо-надвигового типа (бергштрихами показано направление падений плоскостей сместителей), 13 – с неустановленным падением поверхностей; 14–16 – районы распространения структур с галитовыми ядрами: 14 – преимущественно ангарскими, 15 – ангарско-усольскими, 16 – усольскими; 17 – район распространения структур с предполагаемыми гипсоангидритовыми ядрами, 18 – контур территории исследования.

Северо-западные крылья часто круче восточных. Складки-надвиги простираются на расстояние до 100 – 150 км при ширине до 4 км, осложнены продольными разрывами и пластовыми чешуйчатыми надвигами. Складки взбросы характеризуются большой кругизной сместителей и дислоцированностью.

Важнейшей чертой *Марковско-Ичерской зоны* является волнообразная дислоцированность надсолевой толщи пород, отмечающаяся закономерным чередованием субпараллельных валов и прогибов, антиклиналей и синклиналей. Южная граница Марковско-Ичерской зоны, по опубликованным данным [Сизых, 2001; Сизых, Лобанов и др., 2005] картируется на Ковыктинской площади и требует уточнения.

Средний (соленосный) структурный подэтаж

Включает галогенные и сульфатно-карбонатные отложения соленосной формации (от подошвы усольской свиты до кровли литвинцевской) мощностью 1600 – 2000 м. Соленосная формация отличается наиболее сложным внутренним строением. М.А. Дубровиным (1979) выделены следующие типы соляных структур Верхнеленской палеовпадины:

- Структуры с преобладающей дислоцированностью верхних (ангарских) солей, в которые включена зона Непских складок
- Структуры с преобладающей дислоцированностью нижних и верхних (усольских и ангарских) солей – это складки Илимско-Катангской зоны (литвинцевский тип – литвинцевский вал), Марковско-Ичерской зоны (марковский тип)
- Структуры с преобладающей дислоцированностью нижних (усольских) солей – киренгский тип (киренгская зона), жигаловский тип, а также ахинский, биркинский и братский типы структур.

Характерной чертой складчатой структуры соленосной формации Верхне-Ленской палеовпадины является ее дисгармоничность. Механизм складкообразования является результатом реакции соленосной толщи на тектонические напряжения (преимущественно тангенциальные). Он характеризуется перетоками соляных масс, явлениями будинажа в межсолевых слоях и формированием значительных по объему соляных ядер.

Работы С.М. Замараева, М.А. Дубровина способствовали формированию современных взглядов на общую структуру надсолевых и соленосных отложений и развитую в них складчатость, а также на морфологическую зональность частных складок и механизма их образования.

На фоне этих разработок появилась оригинальная модель, объясняющая формирование Непской зоны складок в чехле [Рязанов, 1973] под влиянием тангенциального сжатия, вызванного горизонтальными перемещениями в фундаменте по системе правосторонних сдвигов северо-восточного простираения.

Другой аналитической работой, построенной на обширном геолого-геофизическом материале, является монография *А.С. Сметанина [1999]*, увязавшего соляную тектонику с процессом надвигообразования. Краткая характеристика Предбайкало-Патомского платформенного надвигового пояса следующая: протяженность около 1200 км при ширине от 5 до 260 км, имеет сложную конфигурацию по фронту и достаточно легкую продольную и поперечную делимость (Рис. 2.5, Рис. 2.6). Здесь выделяются три сектора – Предбайкальский, Ажиткано-Непский и Патомский, различающиеся размерами, зональностью, степенью горизонтального укорочения.

Предбайкальский сектор имеет ширину около 300 км, а осадочный чехол деформирован на удалении 150–220 км от горного фронта. Здесь, как и в Ажиткано-Непском секторе, видна трехчленная зональность. Прифронтальная Божеханская зона включает в себя такие известные структуры, как Мельзанский, Божеханский (Каменский) и Качугский валы, а также разделяющие их прогибы. Божеханская зона имеет ширину около 80 км, для нее характерны надвиги, складко-взбросы и левосторонние сдвиги по разломам северо-западного простирания.

Промежуточная Верхоленская зона характеризуется слабой деформированностью осадочных пород. Здесь, по мнению Сметанина, преобладают субгоризонтальные срывы. По простиранию ширина этой зоны изменяется от 70 до 30 км. Передовая Жигаловская зона включает в себя одноименный вал и ряд более мелких структур общей шириной 10–50 км. Для этой зоны характерны складко-взбросы, осложненные правосторонними и левосторонними сдвигами северо-западного направления.

По мнению А.С. Сметанина главная особенность Предбайкальского сектора в том, что подошвенный надвиг не выходит здесь на земную поверхность в виде чешуйчатых вееров. Его абсолютные отметки в районе Каменных скважин у северо-западной границы Божеханской зоны составляют около -1.8 км и он проходит по тирским солям, а в пределах Жигаловской зоны базовый подошвенный надвиг имеет отметки около -1.6 км и расположен в низах усольской свиты. Большая глубина залегания границы аллохтона и автохтона, малые градиенты ее воздымания в северо-западном направлении в совокупности с напряженной складчатостью Жигаловской зоны, интенсивными неотектоническими движениями в этом районе позволяют говорить о том, что происходит активизация процесс надвигания.

В этой модели, Жигаловский вал является фронтальной структурной складчато-надвиговой формой.

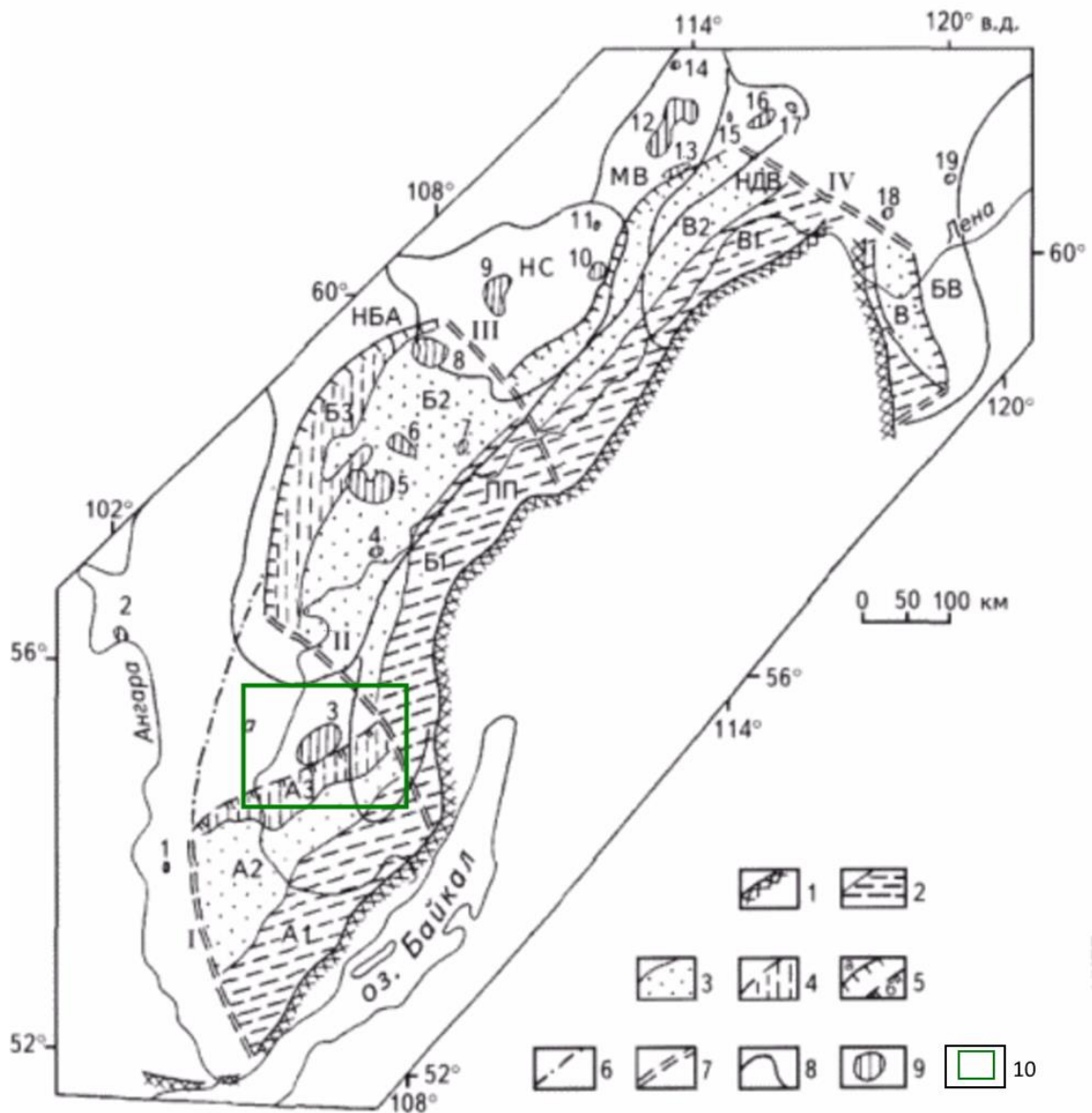


Рис. 2.5 Геологическая позиция объекта исследований в структуре Предбайкало-Патомского надвигового пояса [Сметанин, 1999].

1 – горный фронт; 2 – прифронтальная зона; 3 – промежуточная зона; 4 – передовая зона надвигового сектора; 5 – фронтальные ограничения платформенных надвиговых секторов с завершённым (а) и с незавершённым (б) циклом развития; 6 – прогнозируемая возможная граница надвигового пояса; 7 – боковые ограничения надвиговых секторов; 8 – контуры структур фундамента Сибирской платформы; 9 – месторождения нефти и газа: 1 – Атовское, 2 – Братское, 3 – Ковыктинское, 4 – Марковское, 5 – Ярактинское, 6 – Дулиминское, 7 – Пиллодинское, 8 – Даниловское, 9 – Верхнечонское, 10 – Нижнехамакинское, 11 – Кюельское, 12 – Среднеботуобинское, 13 – Хогото-Мурбайское, 14 – Маччобинское, 15 – Иктехское, 16 – Верхневилочанское, 17 – Виллоиско-Джербинское, 18 – Березовское, 19 – Кэдэргинское. 10 – контур территории исследования; А1– А3 – зоны Предбайкальского надвигового сектора: А1 – Божеханская, А2 – Верхоленская, А3 – Жигаловская; Б1–Б3 – зоны Ажиткано-Непского надвигового сектора: Б1 – Киренгская, Б2 – Марковско-Ичерская, Б3 – Непская; В, В1, В2 – зоны Предпатомского надвигового сектора: S – Березовская, В1 – Приленская, В2 – Ботуобинская; I–IV – боковые ограничения: I – Приангарское, II – Байкало-Усть-Кутское, III – Ичиро-Чайское, IV – Уринское; а – Ковыктинская зона разрушения осадочного чехла; структуры фундамента: НБА – Непско-Ботуобинская антеклиз, НС – Непский свод, МВ – Мирнинский выступ, ПП – Предпатомский прогиб, НДВ – Нюйско-Джербинская впадина, БВ – Березовская впадина.

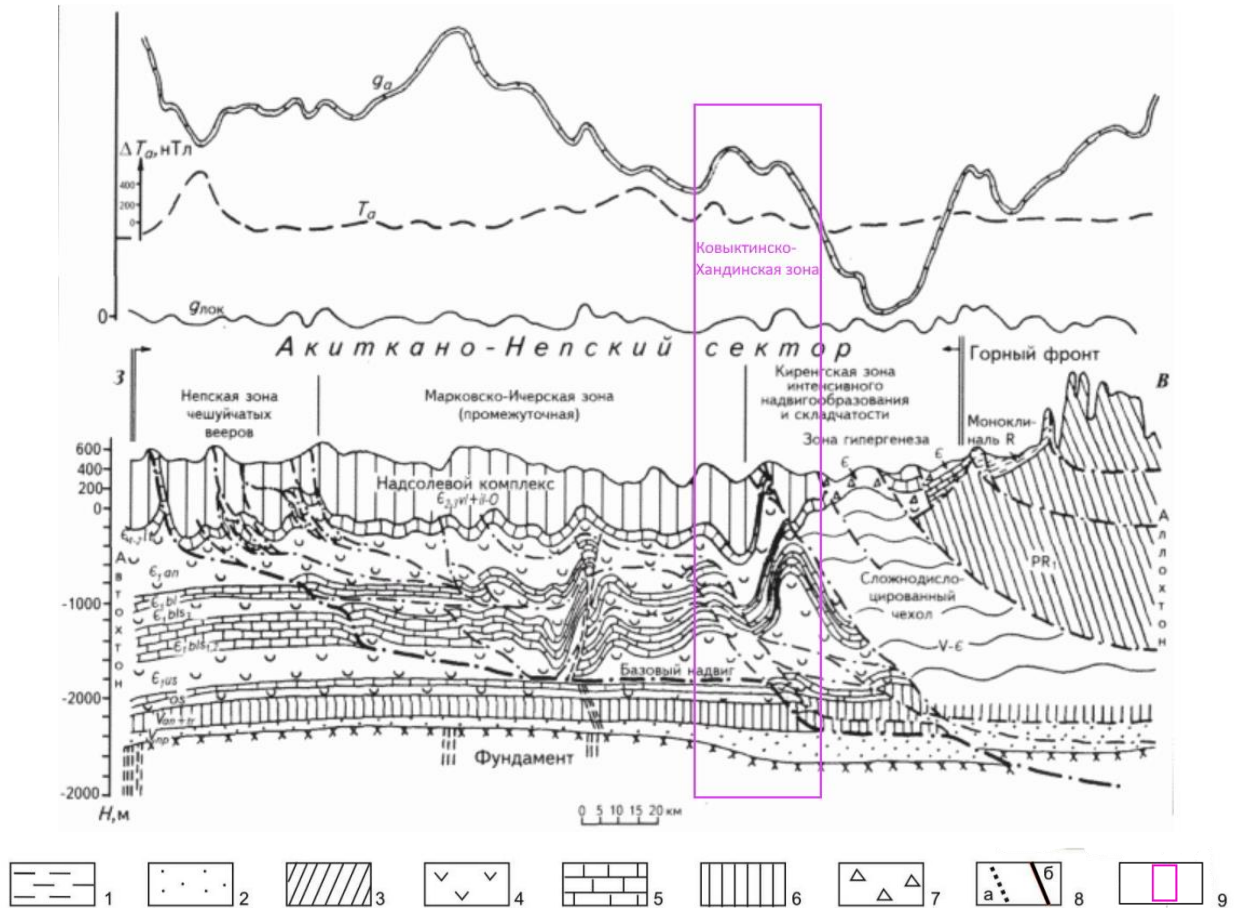


Рис. 2.6 Позиция объекта исследований на структуре осадочного чехла Аkitкано-Непеского сектора [Сметанин, 1999].

Условные обозначения: 1 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, глинистые сланцы; 2 – полимиктовые песчаники; 3 – песчаники, доломиты, известняки, ангидриты; 4 – каменная соль, доломиты, известняки; 5 – доломиты, известняки; 6 – красноцветные алевролиты, мергели, аргиллиты и песчаники; 7 – карбонатные брекчии в зонах гипергенеза; 8 – разломы: а – в фундаменте, б – предполагаемые в осадочном чехле; 9 – примерное положение территории исследования.

Принципиально новый подход к трактовке тектонического строения юга Сибирской платформы предложен М.П. Лобановым с соавторами [Лобанов и др., 1989], в основе которого лежит модель поясной субконцентрической зональности в расположении покровно-складчатых структур. Каждый из выделенных поясов, зон и структурных этажей характеризуется своими морфокинематическими особенностями. Отраженная надфронтальная пликативная складчатость выражается в осадочном чехле платформы серией линейных складко-надвиговых структур, генетическая природа которых трактуется по-разному [Лобанов, Сизых и др., 1989].

Авторами сделан вывод, что подсолевая толща, будучи «припаянной» к фундаменту, реагирует изгибом на фронтальные выступы тектонических пластин, что приводит к появлению региональных флексур типа складко-надвигов. Такой механизм объясняет огромную протяженность валов, антиклинальных складок, их асимметрию и большую амплитуду, которые с позиции обычного платформенного складкообразования объяснить невозможно [Лобанов, Сизых и др., 1989].

Граница Байкальской складчатой области с Сибирской платформой повсеместно осложнена системой субгоризонтальных разрывных структур, прослеженных непрерывно от истока р. Ангары до бассейна р. Витим. Здесь наблюдаются типичные покровы, пакеты тектонических пластин, тектонические окна, тектонические веера, дуплексы, многоярусные надвиги и шарьяжи (Рис. 2.7).

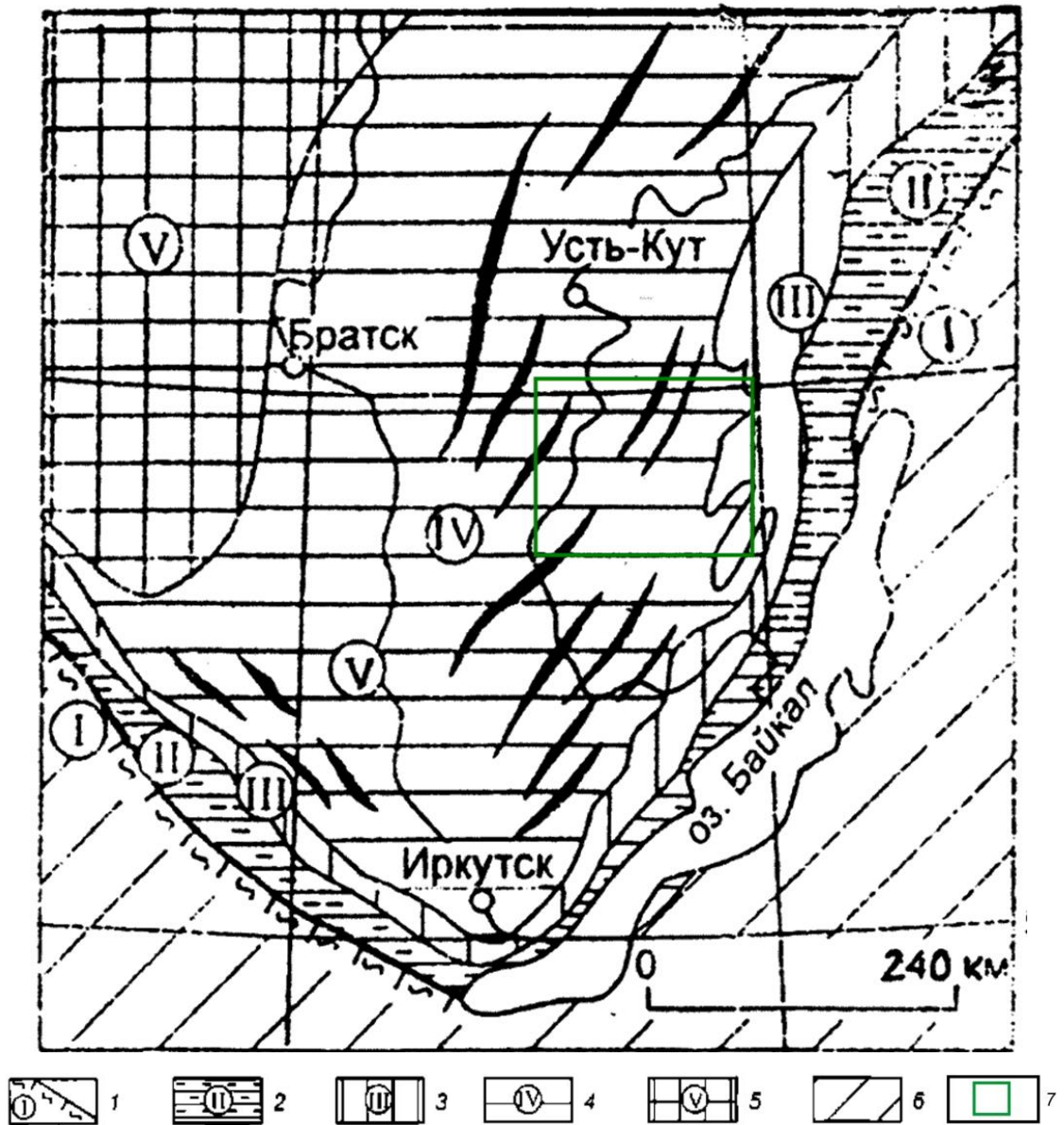


Рис. 2.7 Позиция объекта исследований на схеме поясной зональности шарьяжно-надвиговых структур южной окраины Сибирской платформы [Сизых, 2001].

Условные обозначения: Пояса (цифры в кружках обозначают номера поясов): 1 – корней надвигов и шарьяжей; 2 – шарьяжно-надвиговых структур горно-складчатого орамления по периферии платформы; 3 – принадвиговых структур красовой части платформы; 4 – фронтально-надвиговых структур внутренней части платформы; 5 – область зафронтальных структур; 6 – Центрально-Азиатский подвижный пояс.

Согласно разработанной морфокинематической модели покровно-складчатых структур юга Сибирской платформы, от Приморского разлома в Прибайкалье, Главного Саянского в Присяянье к центру платформы выделен ряд покровно-складчатых поясов, закономерно сменяющих друг друга в зональной последовательности: пояс корней надвигов и шарьяжей (I),

пояс шарьяжно надвиговых структур горно-складчатого обрамления по периферии платформы (II), пояс **принадвиговых структур краевой части платформы (III)**, пояс **фронтально-надвиговых структур внутренней части платформы (IV)**, область зафронтальных структур (V) (Рис. 2.7).

На схеме Сизых В.И. территория исследования располагается в поясе развития фронтально-надвиговых структур внутренней части платформы, **граничащей** с поясом принадвиговых структур краевой части платформы (См. Рис. 2.8).

Пояс фронтально-надвиговых структур и отраженных надфронтальных структур внутренней части платформы охватывает Ангаро-Ленскую ступень, на севере пространственно совпадает с Непско-Ботубинской антеклизой и подразделяется на два структурных этажа: фронтальных выступов надвиговых чешуй в кристаллическом фундаменте и отраженных структур в чехле платформы [Сизых, 2001].

Вдоль всего юго-восточного фланга Сибирской платформы в осадочном чехле в виде узкой полосы северо-восточного простирания прослеживается серия протяженных валообразных поднятий. Размеры и морфология валов нетипичны для платформенных структур. По длинной оси они протягиваются на 500–600 км с амплитудой 2000–2500 м. Характеризуются, как правило, ассиметричным строением – крутыми внутренними и пологими внешними юго-восточными крыльями с опрокидыванием в сторону платформы [Сизых, 2001]. Складки гребневидные, коробчатые. Практически повсеместно оси складок контролируются взбросо-надвигами. Зачастую в кристаллическом фундаменте антиклиналям и валам соответствуют фронтальные выступы тектонических пластин.

К северу от Байкала в пределах Патомского нагорья, где горно-складчатое обрамление в сравнении с Прибайкальем занимает значительно большую площадь, поясная зональность приобретает несколько иной облик. Здесь выделяется несколько крупных структурных элементов (Рис. 2.8): Байкало-Муйский офиолитовый пояс; Мамско-Бодайбинская зона чешуйчато-надвигового строения; Чуйско-Тонодско-Нечерское поднятие (аллохтонная центральная мегапластина); Прибайкало-Предпатомская поднадвиговая пластина; Непско-Ботубинская фронтальная антеклиза и фронтальная зона отраженной складчатости в чехле Сибирской платформы

Таким образом, на обзорной схеме аллохтонных структур и нефтегазоносности южной окраины Сибирской платформы на границе с Байкало-Патомским нагорьем [Сизых, 2001] территория Ковыктинско-Хандинской зоны располагается в пределах фронтальной зоны отраженной складчатости в осадочном чехле платформы, граничащей с Прибайкало-Предпатомской поднадвиговой зоной (Рис. 2.8).

Прибайкальскую поднадвиговую зону (автохтон) слагают венд-рифейские осадочные породы мощностью 4000–4500 м, высокобитуминозные, «нефтепроизводящие».

Прибайкальская поднадвиговая зона является, по-видимому, с одной стороны, областью первичной аккумуляции УВ, с другой – поставщиком нефти и газа во внутренние регионы Сибирской платформы, в пояс фронтальных выступов чешуй кристаллического фундамента и надфронтальных отраженных структур чехла платформы (область вторичной аккумуляции УВ) [Сизых, 2001; Соболев, Ларичев, 2016].

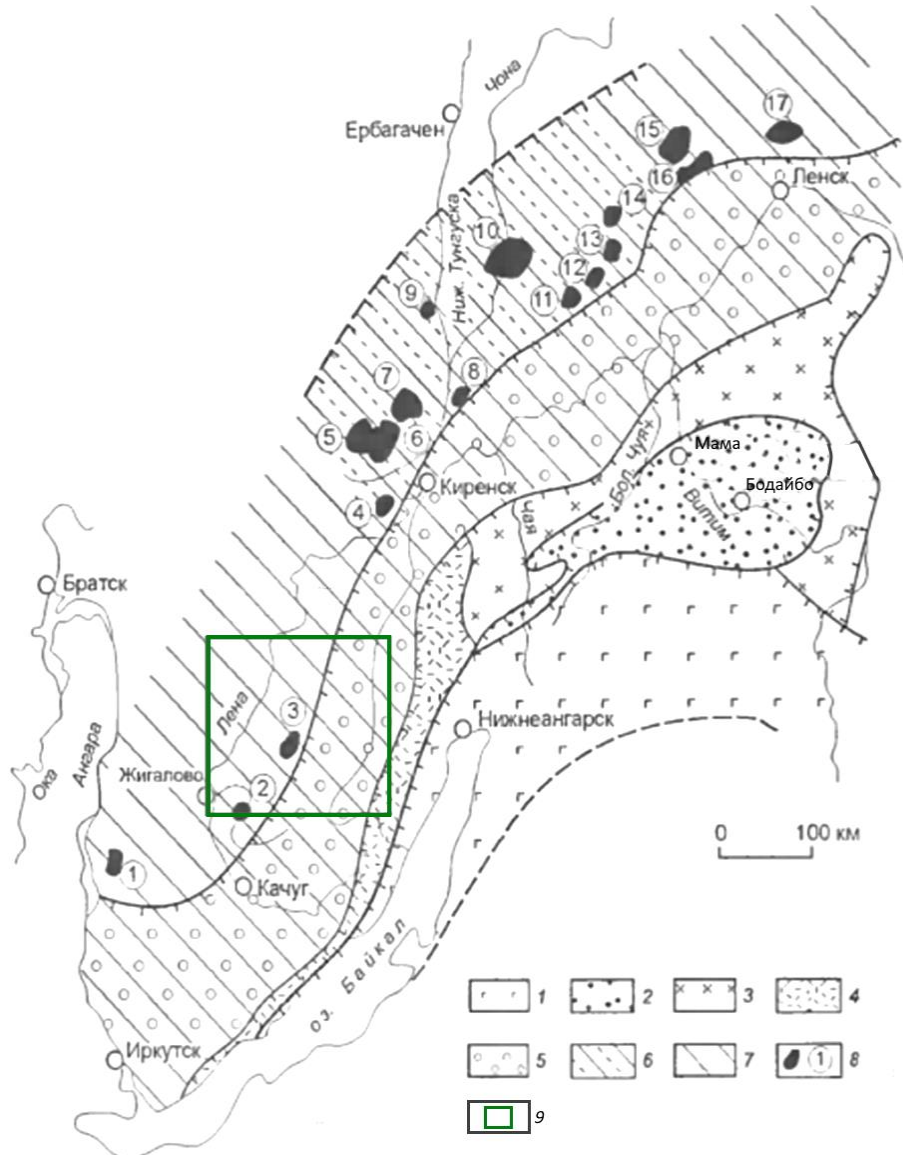


Рис. 2.8 Позиция объекта исследований на фрагменте обзорной схемы аллохтонных структур и нефтегазоносности южной окраины Сибирской платформы на границе с Байкало-Патомским нагорьем [Сизых, 2001].

Условные обозначения: 1 – Байкало-Муйский офиолитовый пояс; 2 – Мамско-Бодайбинская зона; 3 – Чуйско-Тондоско-Нечерская зона; 4 – Аkitканская мегапластина; 5 – Прибайкало-Предпатомская поднадвиговая зона; 6 – Непско-Ботуобинская фронтальная мегапластина; 7 – фронтальная зона отраженной складчатости в осадочном чехле платформы; 8 – месторождения нефти и газа; 9 – контур территории исследования.

В. И. Сизых впервые выделены четыре морфогенетических типа отраженной складчатости, составлены карты шарьяжно-надвиговой тектоники и нефтегазоносности юга Сибирской платформы масштаба 1: 1 000 000. Установлено влияние шарьяжно-надвиговых структур в локализации и пространственном

размещении нефтегазоносных залежей. Отмечается, что значительная часть месторождений нефти и газа юга Сибирской платформы в венд-кембрийских отложениях Ангаро-Ленской ступени и Непско-Ботуобинской антеклизы являются вторичными. Первичные (автохтонные) месторождения нефти и газа в древних нижнематеринских рифейских толщах исходного Байкало-Патомского палеобассейна, преобразованного в тыльной части в поднадвиговую структуру, пока не установлены, за исключением возможно Быхтахского НГКМ [Модели..., 2017].

В современном структурном плане Байкало-Патомский складчато-надвиговый пояс имеет S-образную конфигурацию, выраженную системой дуг: Западно-Прибайкальской, Северо-Байкальской и Патомской [Мазукабзов, 2003]. Дуги выпуклой частью обращены в сторону центральных частей кратона и имеют протяженность до 450 км. Западно-Прибайкальская и Северо-Байкальская дуги сопрягаются в верховьях р. Улькан, где происходит резкая смена в простирании структур. Северо-Байкальская ветвь сопрягается с Патомской в верховьях р. Малая Чуя. Наиболее ярко дугообразная форма свойственна для Патомской ветви. В меньшей степени дугообразная форма проявлена в Северо-Байкальской части горного обрамления. Байкало-Патомский складчато-надвиговый пояс, по особенностям строения подразделяется на четыре зоны: Байкало-Акитканскую, Патомскую, Прибайкальскую, Мамско-Бодайбинскую [Мазукабзов, 2003].

Обобщая результаты предшественников видно, что механизм формирования складчатых структур южной окраины Сибирской платформы, в зависимости от степени их изученности и приверженности исследователей к той или иной точке зрения, претерпевал изменения. Предлагались механизмы, связанные с вертикальными движениями фундамента, горизонтальными его смещениями [Рязанов, 1973], соленосным тектогенезом в сочетании с тангенциальным сжатием [Дубровин, 1979], гравитационным тектогенезом [Замараев, 1967].

За прошедшие годы, в связи с появлением дополнительных сведений о структуре чехла по данным бурения и геофизики эта модель претерпела лишь некоторые уточнения, связанные с выделением разных типов надвиговых структур, основанных на современной классификации [Сметанин, 2000; Сизых, 2001]. Многие детали структуры складчатых и разрывных дислокации венд-раннепалеозойского платформенного чехла региона рассмотрены в большом количестве опубликованных работ [Мазукабзов, 2003].

Подводя итог краткому обзору опубликованных работ, можно подчеркнуть главное. Осадочный разрез юга Сибирской платформы сложен венд-нижнепалеозойскими и частично рифейскими образованиями. Он построен ритмично и составляет закономерную последовательность в смене парагенезов формаций в вертикальном и горизонтальном направлениях. Во внутренних частях региона разрез представляет собой трехслойную систему, в которой средняя часть - соленосная. К периферии платформы соленосная формация

замещается сульфатно-карбонатными породами. Литолого-структурные особенности строения разреза позволяют выделить подсолевой, соленосный и надсолевой комплексы [Замараев, 1967; Дубровин, 1979; Сметанин, 2000 и др.]. В подсолевой комплекс входят терригенные отложения верхнего рифея и венда (ушаковская, непская и их аналоги). В соленосный комплекс входят образования усольской, бельской, булайской, ангарской и литвинцевской свит нижнего – среднего кембрия. Это преимущественно эвапориты, известняки, доломиты и ангидриты, переслаивающиеся между собой. Внутри этого комплекса отчетливо выделяются отдельные достаточно мощные пласты карбонатов (осинский пласт в низах усольской свиты, бельский и булайский пласты), а также большое количество более мелких прослоев, составляющих компетентный каркас способствующий передаче напряжений на значительные расстояния. В это же время наличие мощных солей обеспечивает высокую подвижность пород данного комплекса, что подтверждается присутствием большого количества зон срыва и скольжения. Надсолевой комплекс представлен карбонатно-терригенными породами красноцветной формации среднего-верхнего кембрия (верхоленская, илгинская свиты) и ордовика (усть-кутская, криволицкая, чертовская, макаровская).

Наличие гетерогенного разреза в окраинных частях платформы и проявление тангенциальных напряжений, возникших в процессе взаимодействия кратона и подвижной области, способствовали возникновению складчато-надвиговых структур в осадочном чехле на значительном удалении от складчатой области [Замараев и др., 1984; Лобанов, Сизых и др., 1989; Сизых, 2000; Сметанин, 2000].

Складчато-надвиговые структуры генетически связаны с Байкало-Патомским складчато-надвиговым поясом и могут считаться фрагментом последнего. Характеризуются сложным внутренним строением, где отмечается сочетание надвиговых и складчатых структур. Геолого-геофизические данные позволяют увязать их с зоной регионального срыва (детachment), который представляет собой базальный надвиг листрического типа.

Таким образом, разрез чехла разделяется detachment на две части - alloхтон и автохтон. Alloхтон может состоять из одной или нескольких надвиговых пластин. При наличии одной тектонической пластины в ее фронтальной части формируется система чешуйчатых вееров, которые соединяются с базальным надвигом.

Из вышеизложенного следует, что Ковыктинско-Хандинская зона по данным предшественников в восточной части охвачена дислокациями в зоне влияния Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса. Очевидно, что детализация внутреннего строения наиболее дислоцированной части разреза осадочного чехла, исследование морфологии и выявление типичных для alloхтона локальных структур позволит обосновать более детально геологическую модель объекта исследований.

3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Фактический материал

В основу работы положены материалы сейсморазведочных исследований 2D МОГТ (метод общей глубинной точки) прошлых лет и современных работ 3D МОГТ (13.5 тыс. км²), данные электроразведочных исследований зондированием становления поля в ближней зоне (ЗСБ), а также материалы бурения более 80 глубоких скважин на территории Ковыктинского и прилегающих участков, по которым производилась непосредственная геологическая интерпретация, а также архивные материалы и региональные представления о строении участка работ.

Основой для комплексного геолого-геофизического подхода при изучении складчато-надвиговой структуры осадочного чехла Ковыктинско-Хандинской зоны являлись результаты интерпретации сейсморазведочных исследований МОГТ 2D: структурные карты по основным отражающим горизонтам галогенно-карбонатной части разреза и сейсмические глубинные разрезы [Misyurkeeva et al., 2022].

Трехмерная сейсморазведка обладает высокой детальностью исследований, дающей возможность сформировать куб сейсмической записи. Это позволяет получать непрерывные поля свойств изучаемых геологических сред, с более высокой степенью надежности проводить корреляцию ОГ, выделять и трассировать тектонические нарушения и другие границы изменения рельефа отражающих поверхностей. Так же сейсморазведка 3D обладает наибольшим эффектом подавления помех, лучшим соотношением сигнал/шум. При применении миграции 3D обеспечивается более точное воссоздание истинной структуры геологических границ и физических свойств пород в сложно построенных средах

Если исследования МОГТ-3D позволяют с высокой степенью точности картировать структурно-тектонические особенности участка как в плане, так и в разрезе, то электроразведка методом ЗСБ, в свою очередь является прямым методом картирования проницаемых зон флюидонасыщенных вторичных карбонатных коллекторов [Поспеев, 2010; Современная..., 2018; Buddo et al., 2018, 2019; Мисюркеева, 2013, 2014]. Области повышенной проводимости по данным ЗСБ отражают участки развития сложных каверново-трещинных межсолевых коллекторов, для которых при бурении типичны газо- и рапопроявления, либо поглощения бурового раствора.

При расшифровке складчато-надвиговой структуры осадочного чехла участка исследования за основу взята общая модель строения складчато-надвигового пояса и методы его изучения по В.В. Гайдуку и А.В. Прокопьеву [1999].

3.2. Авторская интерпретация геолого-геофизических данных

3.2.1. Выделение тектонических нарушений и трассирование отражающих горизонтов по данным сейсморазведки

Выделение и трассирование тектонических нарушений автором выполнялось при совместном анализе: глубинного сейсмического куба, карт когерентности. Также анализировались горизонтальные срезы. Структурные особенности (морфология) тектонических нарушений выделялись на основе анализа волновой картины и характера поведения отражающих горизонтов на глубинных разрезах. В случае вскрытия тектонического нарушения скважиной увязывались данные по скважине и сейсморазведке.

Анализ характера поведения отражающих горизонтов сводился к следующему:

- *Зоны разрывов корреляции отражающих горизонтов (Рис. 3.1 – А).* Картируются как зоны разрывов отражающих горизонтов, так и потеря их прослеживаемости на различные расстояния. При этом варьирование протяженности этих зон зависит от ранга и масштаба разломов, сопутствующих им зон деформации и дробления горных, присутствия систем макротрещиноватости и других сейсмогеологических факторов.
- *Наличие пространственных смещений отражающих горизонтов (Рис. 3.1 – Б)* Необходимо отметить, что выявление малоамплитудных и слабовыраженных тектонических нарушений не всегда возможно из-за ограничения вертикальной разрешенности сейсморазведки.
- *Резкое изменение углов наклона отражающих горизонтов (Рис. 3.1 – В).* Этот критерий обусловлен перемещениями по различным векторам по плоскостям разломов фрагментов геологических тел с различными механо-прочностными свойствами. Горизонтальная разрешающая способность сейсморазведки, также влияет на данный параметр, так как часто происходит сглаживание углов наклона отражающих горизонтов.

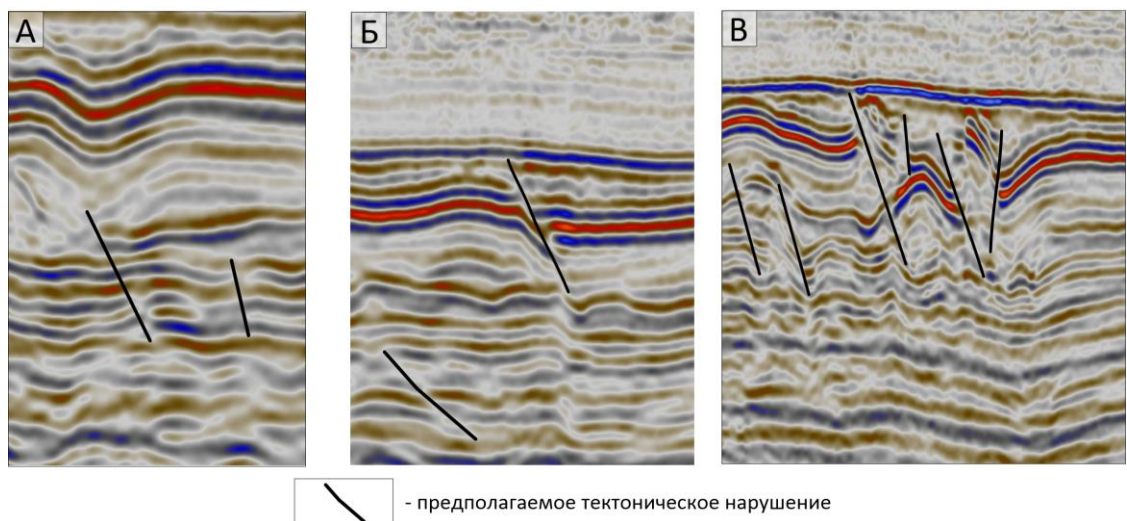


Рис. 3.1 Примеры: А – разрыва корреляции сейсмического горизонта; Б – смещения горизонтов вдоль тектонического нарушения; В – резкое изменение углов наклона отражающих горизонтов (масштаб 1:5).

Также анализировались динамические особенности сейсмических волн (волновая картина).

- Резкое изменение амплитуд сейсмических волн в зоне тектонического нарушения. Локальные аномалии изменения динамических характеристик отражённых волн по латерали и вертикали;

Этот признак, как и зона разрыва корреляции сейсмических горизонтов, обусловлен нарушением сплошности геологической среды. В зависимости от внутренней структуры и вещественного состава горных пород в зонах тектонических нарушений, характер амплитуд сейсмических волн может быть различным. Чаще всего этот признак проявляется, как ослабление динамики сейсмической записи отражающих элементов.

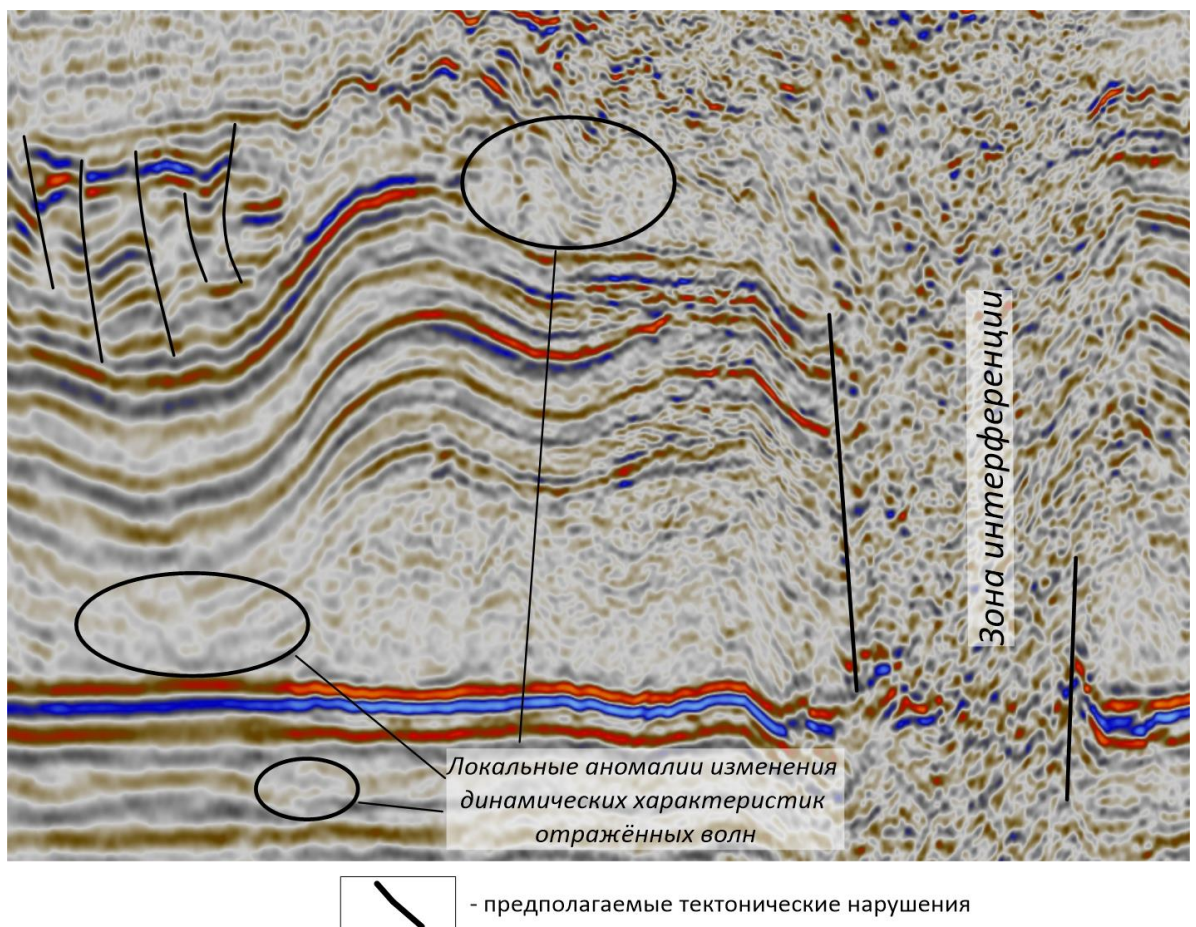


Рис. 3.2 Пример аномалий изменения динамических характеристик отражённых волн по латерали и вертикали, зон интерференции сейсмической записи

Существуют также зоны интерференции сейсмической записи, обладающие ярко выраженной дисперсностью, что обуславливается слоистостью и горизонтальной неоднородностью строения. Несмотря на то, что данные зоны не позволяют протрассировать тектонические нарушения и отражающие горизонты, они могут являться косвенным признаком зоны повышенной тектонической нарушенности.

- Резкое снижение (вплоть до потери) когерентности сейсмической записи (карты когерентности).

Среди сейсмических атрибутов, когерентность часто используется для картирования зон повышенной трещиноватости, тектонических нарушений. Когерентность отражает качество прослеживаемости сейсмических отражений и реагирует на падение амплитуды сигнала, обусловленное, в том числе, и тектоническими нарушениями. Данный атрибут основан на различных особенностях аномалий волнового поля в зонах тектонической нарушенности. Резкое снижение когерентности сейсмической записи является одним из признаков наличия разрывных дислокаций. Параметр когерентности позволяет прослеживать тектонические нарушения в объеме резервуара, в данном случае в интервалах карбонатных горизонтов-коллекторов.

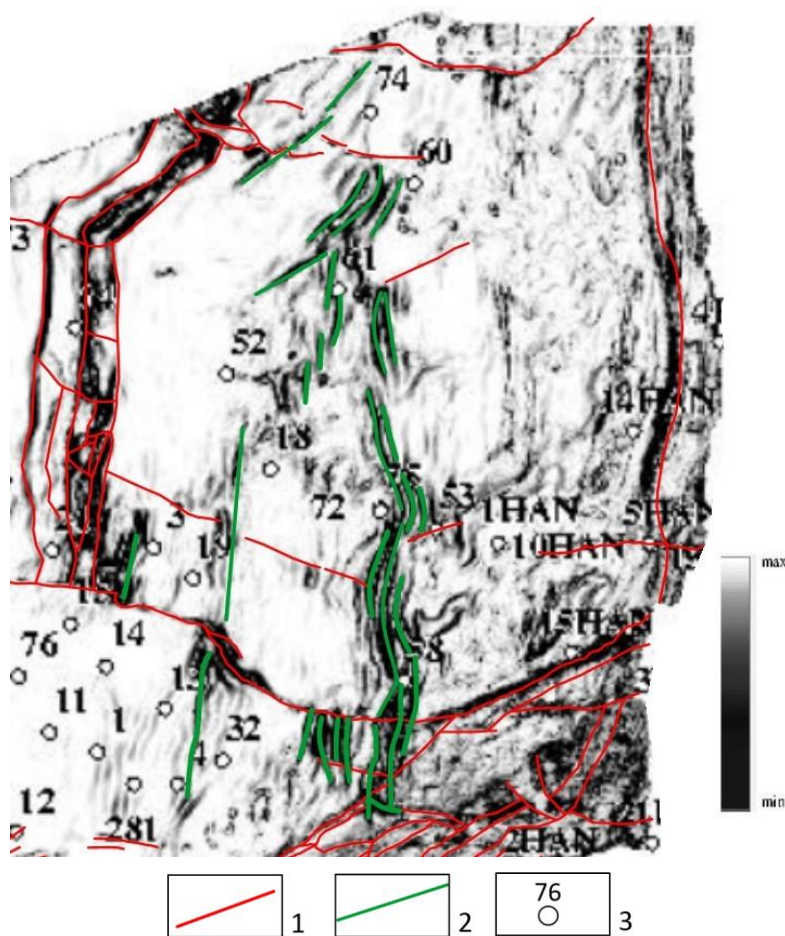


Рис. 3.3 Фрагмент карты когерентности.

Условные обозначения: 1 – тектонические нарушения по данным сейсморазведки; 2 – предполагаемые тектонические нарушения по данным автора; 3 – скважины глубокого бурения.

При анализе динамических характеристик сейсмического разреза на предмет выявления тектонических нарушений и зон трещиноватости, необходимо иметь ввиду, что их проявления связаны не с абсолютным уровнем сейсмоакустических характеристик, а со степенью их контрастности в исследуемых интервалах разреза.

Затем производилась трактовка тектонических нарушений и складчатых структур, их морфологическая характеристика. Данные 3D сейсморазведки позволяют исследовать наблюдаемые особенности сейсмической записи не только на разрезах куба, но и в объеме,

переходя от разреза к разрезу последовательно прослеживать конкретные нарушения, складчатую форму в любой трассировке профиля или веера профилей подобно многолучевому ВСП, но с постоянной кратностью а объеме толщи.

3.2.2. Расшифровка складчато-надвиговой структуры

Учитывая масштаб территории исследования и расположенных в пределах нее пликативно-дизъюнктивных форм, для представления разрезов, в работе часто использован масштаб 1:5. Здесь необходимо отметить, что чрезмерное увеличение вертикального масштаба ведет к искажению (увеличению) углов наклона слоев горных пород и разрывных нарушений на разрезе, а вместе с ними и к искажению представлений о геологическом строении территории. Поэтому, все построения произведены в соотношении вертикального и горизонтального масштабов 1:1, что дает понять реальную геологическую картину на глубину, а также реальные наклоны выделяемых тектонических нарушений и уже в последующем для наглядности и возможности умещения региональных разрезов в необходимые рамки приведены в масштаб 1:5.

При расшифровке складчато-надвиговой структуры разреза использованы методы изучения складчато-надвиговых поясов по данным В.В. Гайдюка и А.В. Прокопьева [1999; 2004].

Надвиговая система состоит из серии чешуй (пластин). Чешуи первого порядка состоят из чешуй более низкого порядка и т.д. Каждая чешуя представляет собой объем горных пород, ограниченный подстилающим или ведущим, и тыловым, или ведомым, надвигами. *«Фундаментальной особенностью надвигов является их ступенчатая траектория образования. Выделяются более протяженные участки надвига, субпараллельные слоистости или региональной сланцеватости, и относительно короткие участки надвигов – рампы, секущие слоистость или сланцеватость»* [Гайдук, Прокопьев, 1999].

Формирование надвигов сопровождается пликативными деформациями: 1) складки срыва 2) складки продолжения надвига (взбросо-складки) 3) складки изгиба-надвига (рамповые складки). В «чистом» виде перечисленные складки встречаются редко. Они либо деформируются при образовании последующих надвигов, либо образуют совместные комбинации. Все многообразие природных форм можно представить как комбинацию этих трех типов. Их размеры могут быть самыми разными – от сантиметров до километров.

Для уточнения морфологии структур и амплитуды горизонтального перемещения отложений карбонатного венда автором выполнено построение сбалансированного и восстановленного разрезов. Основные положения метода сформулированы Дальстремом [Dahlstrom, 1969], а также в работах В.В. Гайдюка, В.Ю. Фридовского, А.В. Прокопьева [1999, 2004].

На Рис. 3.5 показан алгоритм интерпретации внутреннего строения складчато-надвиговых зон на основе сейсмических разрезов (Рис. 3.5).

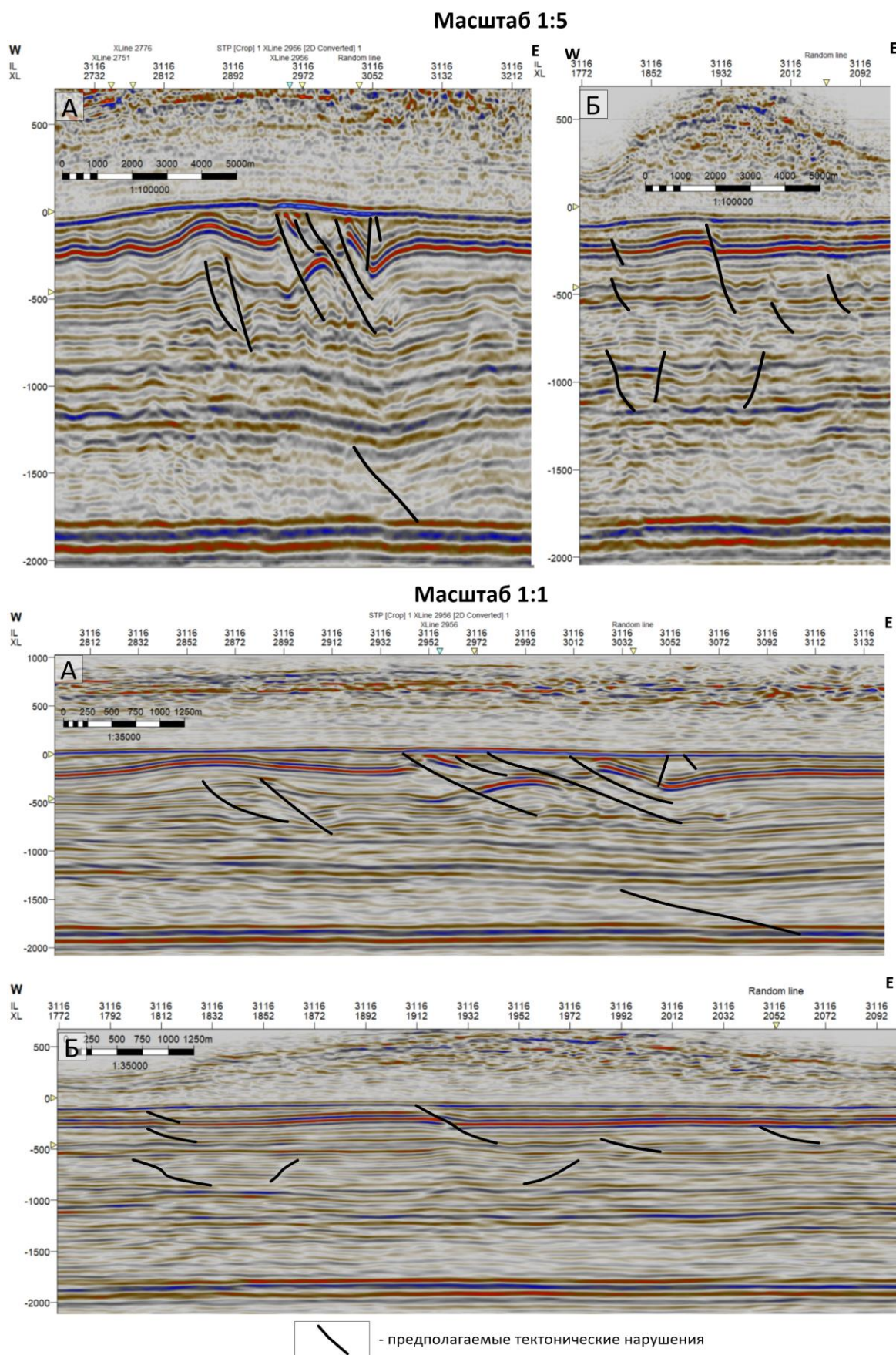


Рис. 3.4 Интерпретация сейсмических глубинных разрезов в масштабах 1:5 и 1:1.

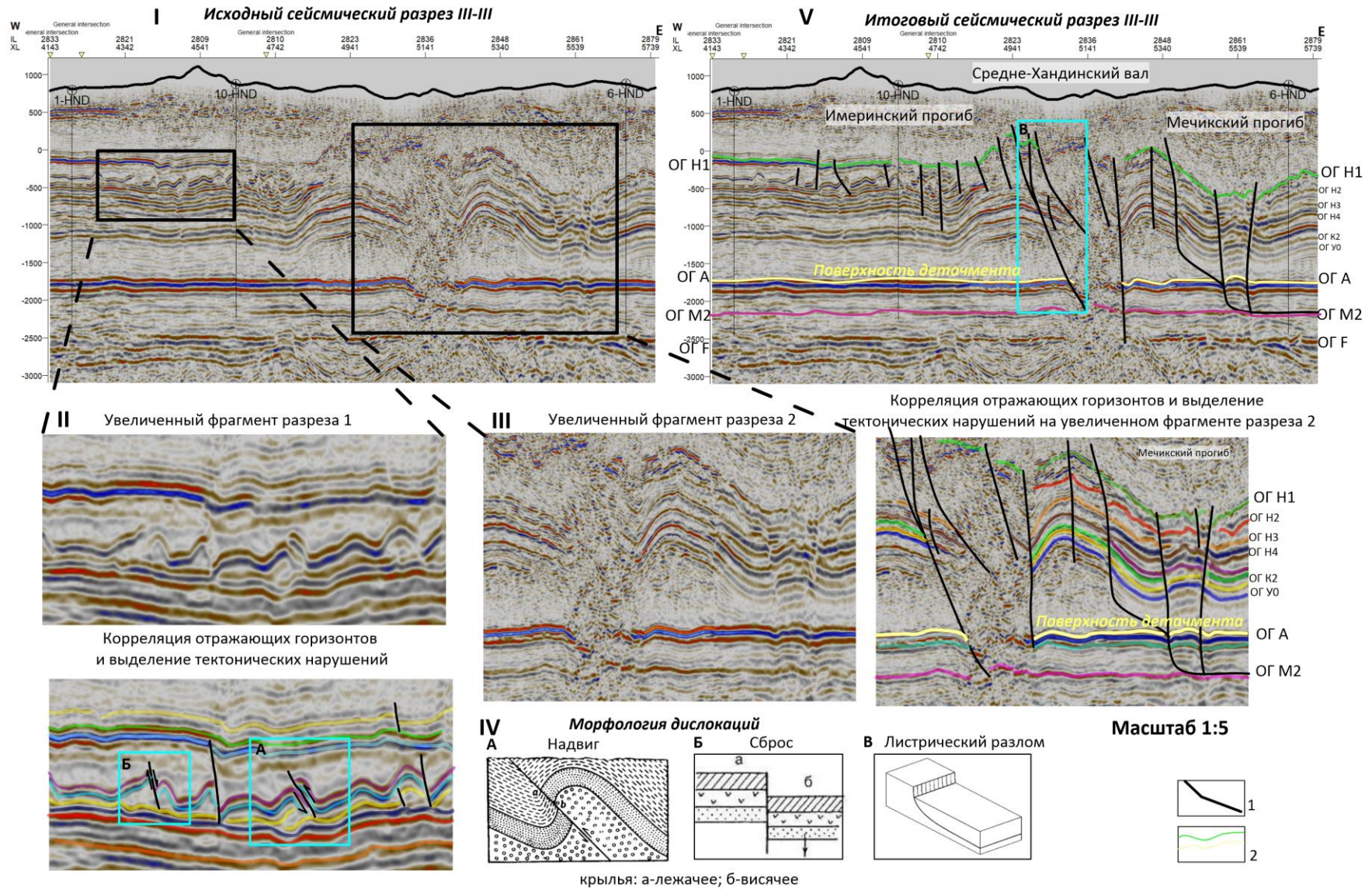


Рис. 3.5 Интерпретация внутреннего строения складчато-надвиговых зон на основе сейсмических разрезов в масштабах 1:5 и 1:1. I – исходный разрез; II – III детализация и сопоставление (IV) с существующими типами дизъюнктивно-пликативных дислокаций; IV – итоговый разрез.

Условные обозначения: 1 – предполагаемые тектонические нарушения; 2 – трассировка отражающих горизонтов.

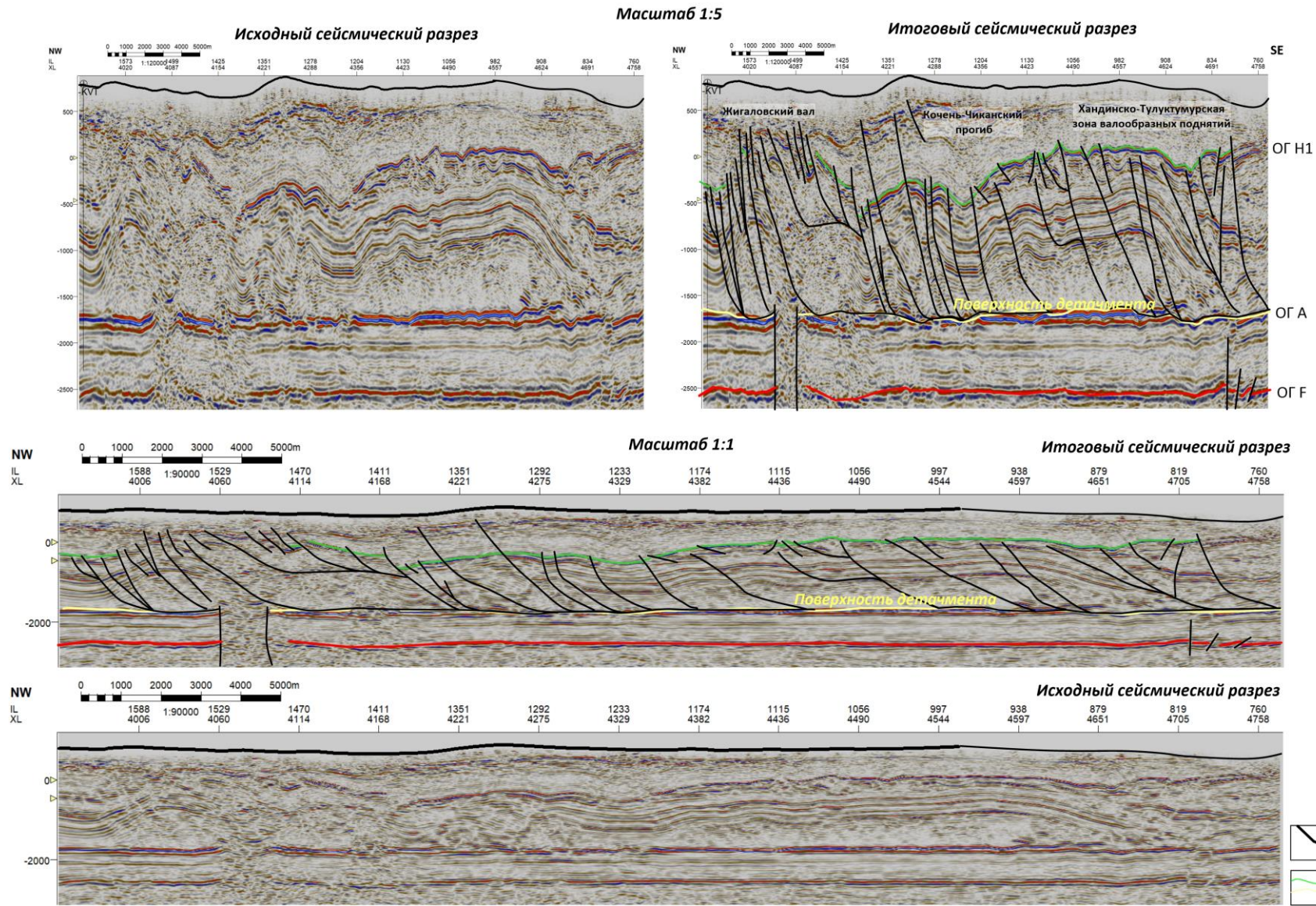


Рис. 3.6 Интерпретация внутреннего строения складчато-надвиговых зон на основе сейсмических разрезов в масштабах 1:5 и 1:1.

Условные обозначения: 1 – предполагаемые тектонические нарушения; 2 – трассировка отражающих горизонтов.

Анализ волновой картины на исследуемой площади позволил сделать вывод, что наибольшее количество тектонических нарушений выделено в средней части временного разреза чехла и приурочено к отложениям галогенно-карбонатного комплекса (Рис. 3.6).

Поверхность detachment предполагается по кровле осинского горизонта усольской свиты. В пределах галогенно-карбонатной толщи тарссируются листрические тектонические нарушения, формирующие чешуйчатую зону – серию одинаково ориентированных надвигов, которые соединяются пологим подошвенным надвигом.

На запад восходящей поверхности разрывов на территории выделяются крутые (угол более 45°) и пологие (угол менее 45°) надвиги.

В западных частях территории отмечаются сбросы, вероятно, развивавшиеся вдоль фронта надвига. Фронтальный край надвига – форланд испытывает растяжение в направлении, перпендикулярном направлению его перемещения, в результате чего образуются секущие надвиговый покров сбросы и сдвиги.

В восточной части (Хандинская площадь) практически весь соленосно-карбонатный комплекс характеризуется динамически слабыми параметрами, наклонными и прерывистым положением осей синфазности. Разломы здесь носят, главным образом, сдвиговый или сдвиго-надвиговый характер, так как отчетливо прослеживается смещение осей синфазности вдоль выделенных разломов.

В надвиговой системе не следует ожидать индентичную последовательность чешуй и одинаковый набор деформаций, так как в каждом пересечении надвиговая система считается неповторимой [Казанцева, 1987].

3.2.3. Интерпретация структурных карт

Осадочный чехол Ковыктинского месторождения представляет собой высокоскоростную среду, главной особенностью которой является тонкая слоистость и сильная дифференциация по акустическим жесткостям нижнекембрийских и венд-кембрийских отложений. Эти два фактора определяют существование в разрезе многочисленных отражающих границ, расположенных близко друг к другу и порождающих большое число отраженных волн, среди которых выделяются *опорные, регионально выдержанные отражения, которые соответствуют реальным геологическим границам.*

Опорные сейсмические горизонты:

H1 – кровля солевого комплекса (кровля литвинцевской свиты);

H2 – кровля келорского горизонта;

H3 – кровля нижнеангарской подсвиты;

H4 – кровля булайской свиты;

K2 – кровля нижне-среднебельской подсвиты.

Опорные сейсмические горизонты в подсолевом комплексе

A – кровля подсолевого комплекса (кровля осинского пласта доломитов);

B – кровля тэтэрской свиты;

M2 – кровля чорской свиты;

M_{пп} – подошва парфеновского горизонта;

Φ – поверхность кристаллического фундамента.

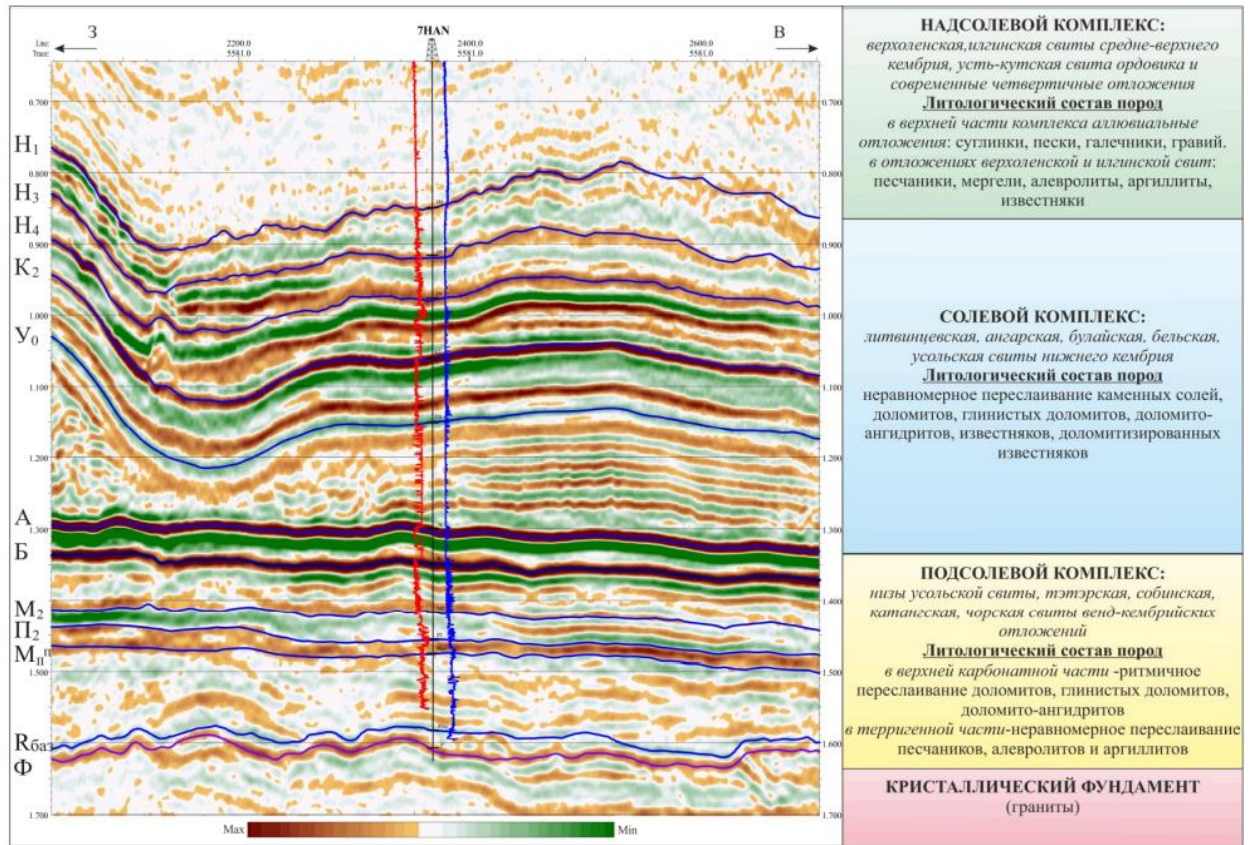


Рис. 3.7 Структурно-вещественные комплексы осадочного чехла на Ковыктинском ГKM по данным ГРР

Сейсмические горизонты соответствуют реальным геологическим (стратиграфическим) границам, на которых происходит резкое изменение скоростных свойств пород (перепад скорости на этих границах достигает 1700 м/с, а значения коэффициентов отражения изменяются от 0.12 до 0.18). Благодаря такой высокой контрастности эти границы достаточно уверенно прослеживаются на временных разрезах в виде высокоамплитудных отражений.

По результатам сейсморазведочных работ построены и проанализированы структурные карты по основным отражающим горизонтам галогенно-карбонатной части разреза, с вынесением тектонических нарушений по данным сейсморазведки и авторской интерпретации.

Горизонты солевого (карбонатно-галогенного) комплекса прослеживаются в волновом поле в виде высокоамплитудных отражений, за исключением юго-восточной части

Чиканского ЛУ, где они выклиниваются по схеме подошвенного налегания на Жигаловский вал.

На Хандинской площади проследить эти горизонты удастся только частично, в районе Хандинского вала и в районе Тулуктумурской зоны отражения либо отсутствуют полностью, либо прослеживаются фрагментарно. Связано это с повышенной дислоцированностью разреза.

На всех картах выделены крупные валы и прогибы, а также складки меньшего ранга и различных морфологических типов. Произведено сопоставление с картами когерентности и глубинными сейсмическими разрезами (Рис. 3.8).

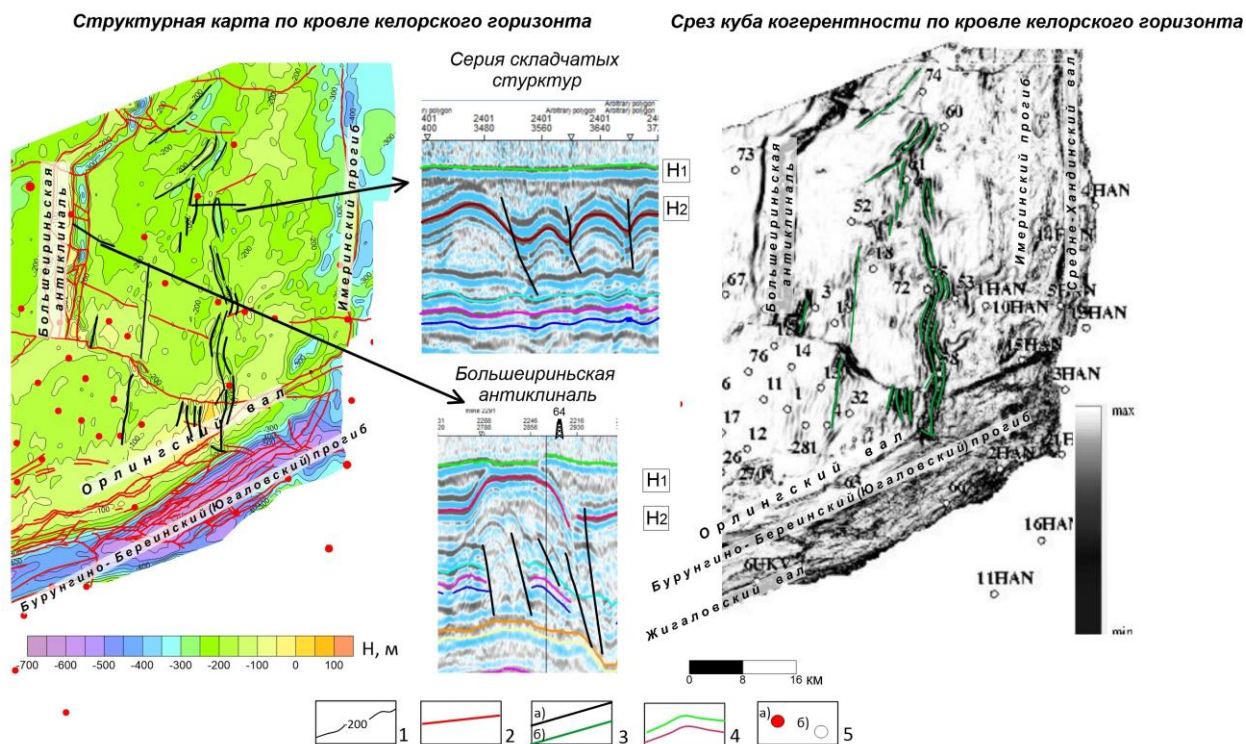


Рис. 3.8 Совместная интерпретация структурных карт, карт когерентности и сейсмических разрезов

Условные обозначения: 1 – изолинии кровли, м; 2 – тектонические нарушения по данным сейсморазведки; 3 – тектонические нарушения выделенные в результате интерпретации: а) на структурной карте, б) на срезе когерентности; 4 – трассировка отражающих горизонтов на сейсмических разрезах; 5 – скважины глубокого бурения: а) на структурной карте, б) на карте когерентности.

3.2.4. Интерпретация данных электроразведки

В составе всех стратиграфических уровней разреза осадочного чехла находятся горизонты-коллекторы, проявляющиеся осложнениями в процессе бурения, такими как поглощение бурового раствора и вскрытие зон с аномально высоким пластовым давлением (АВПД) насыщающего флюида (высокоминерализованная пластовая вода – рассолы, природный газ).

Электроразведка зондированием становления поля в ближней зоне (ЗСБ) позволяет с высокой точностью выделять в разрезе карбонатные и терригенные флюидонасыщенные коллекторы [Агафонов и др., 2004 а,б; 2005; Современная., 2018; Мисюркеева и др. 2018].

Зоны АВПД характеризуются определенным набором геоэлектрических признаков, это локальные проводящие аномалии карбонатных-горизонтов коллекторов с электропроводностью (S) часто более 6 – 7 См, сопротивлением (ρ) менее 150 Ом·м [Ильин, Вахромеев и др., 2014, 2016, 2017, 2018].

Распределение геоэлектрических параметров в разрезе и в плане отражает наличие флюидонасыщенных блоков, участков горизонтов-коллекторов. Анализ геоэлектрической обстановки, в районе скважин с зафиксированными осложнениями, позволяет оценить возможные условия бурения на основе геоэлектрических параметров.

При наличии скважинной информации о положении потенциальных коллекторов в разрезе, инверсия данных нестационарных электромагнитных зондирований может проводиться в рамках тонкослоистой геоэлектрической модели [Буддо, 2012]. Тонкослоистая модель включает в себя относительно непроводящую матрицу (соли и плотные карбонаты) и региональные карбонатные горизонты-коллекторы: келорский в литвинцевской свите, бильчирский в ангарской, биркинский в булайской, атовский и христофоровский в бельской, осинский в низах усольской свиты.

В ходе проведения инверсии кривых ЗСБ, эффективная мощность горизонтов задается по данным бурения скважин и ГИС, если нет данных об эффективных мощностях, то указывается «литологическая» мощность. Данный подход позволяет с высокой достоверностью определить наличие в разрезе горизонта, насыщенного рассолами, и с учетом других факторов (барические условия, структурно-тектонические признаки) оценить вероятность возникновения осложнения.

Комбинирование сейсмического, геоэлектрического разрезов, часто совместно с анализом графиков амплитуд отражений и проводимости соответствующих горизонтов, а также коэффициентов аномальности давлений в скважинах позволяет построить модель зоны АВПД.

На основании данных геоэлектрических моделей ЗСБ 2D и 3D по Ковыктинскому ЛУ построены карты геоэлектрических параметров и разрезы. Участки пониженных значений сопротивления (повышенной проводимости) по данным ЗСБ отражают флюидонасыщенные зоны в карбонатных горизонтах кембрия [Агафонов, 2004; 2005; Мисюркеева, 2019].

Кроме того, данные электроразведочных исследований использованы для определения флюидопроницаемости разломных зон [Мисюркеева, 2019].

3.2.5. Интерпретация данных глубокого бурения

В работе использованы материалы бурения глубоких скважин на нефть и газ в пределах Ковыктинского и прилегающих участков (Хандинский, Чиканский, Южно-Усть-Кутский), а также архивные данные и региональные представления о строении участка работ.

На территории исследования пробурено около 80 глубоких скважин. Отбор керн и ГИС осуществлялся в основном только для целевого объекта – продуктивного парфеновского горизонта венда.

Отбор керн в интервале нижнего кембрия (аллохтон) был осуществлен только в пяти скважинах: №№ 1, 2, 3, 281 – Ковыктинских и 174 – Чиканской. В интервал отбора керн попали три карбонатных горизонта нижнего кембрия: бильчирский, христофоровский и осинский. Интервал галогенно-карбонатного комплекса освещен только стандартным комплексом ГИС, специальные методы для изучения сложных трещинных коллекторов не применялись.

К числу наиболее характерных осложнений в процессе строительства скважин на Ковыктинском ГКМ относится:

- поглощение буровых и тампонажных растворов.

Основная часть поглощающих горизонтов приурочена к двум интервалам геологического разреза – к отложениям надсолевого комплекса пород до глубин 400 – 600 м, и к подсолевой терригенной (венд) части разреза. Интенсивность поглощений варьируется в широких пределах: от единиц и десятков м³ до катастрофических. Статические уровни также изменяются в широких пределах: от десятков до 700, достигая в отдельных случаях 1700 м.

- высокодебитные рапо- и газопроявления, аномально-высокое пластовое давление (АВПД) флюидов.

Данные проявления серьезно осложняют бурение и испытание скважин. Аномально высокие пластовые давления с градиентом до 2.35 – 2.50 типичны для флюидных (нефть, газ, рапа) систем в карбонатных коллекторах средней части глубин 1300 – 2200м осадочного чехла. Вскрытие скважинами трещинно-жильных зон приводит к аварийному фонтанированию рапой, рапогазовой смесью с дебитами до 7000 м³.

Также специфическими для Ковыктинского ГКМ являются такие осложнения как прихваты бурильных колонн, смятия обсадных колонн и наличие сероводорода в продуктивных карбонатных пластах коллекторах.

При интерпретации данных бурения использована информация о типах проявлений, аварийных ситуациях, смятии колонн, притоков в интервале галогенно-карбонатной части разреза. Данная информация сопоставлялась с результатами геофизических работ. Производилась привязка проявлений к сейсмическому разрезу, структурным картам и картам УЭС по данным электроразведки, что позволило увязать осложнения в скважинах с геолого-геофизическими параметрами и выявить приуроченность их к определенному типу структуры и аномалиям УЭС.

4. ДВУХЪЯРУСНОЕ СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА В ПРЕДЕЛАХ КОВЫКТИНСКО-ХАНДИНСКОЙ ЗОНЫ

По результатам многолетних геолого-геофизических исследований, в разрезе осадочного чехла в области юго-восточной окраины Сибирского кратона, в зоне сочленения платформы с краевым прогибом выделяется два структурно-тектонических яруса, сформированных шарьяжно-надвиговой и блоковой тектоникой [Малых и др., 1987; Вахромеев, Хохлов, 1988; Мигурский, Старосельцев, 1997; Сметанин, 2000, Сизых и др., 2005; Ларионова, 2011; Шемин, 2017].

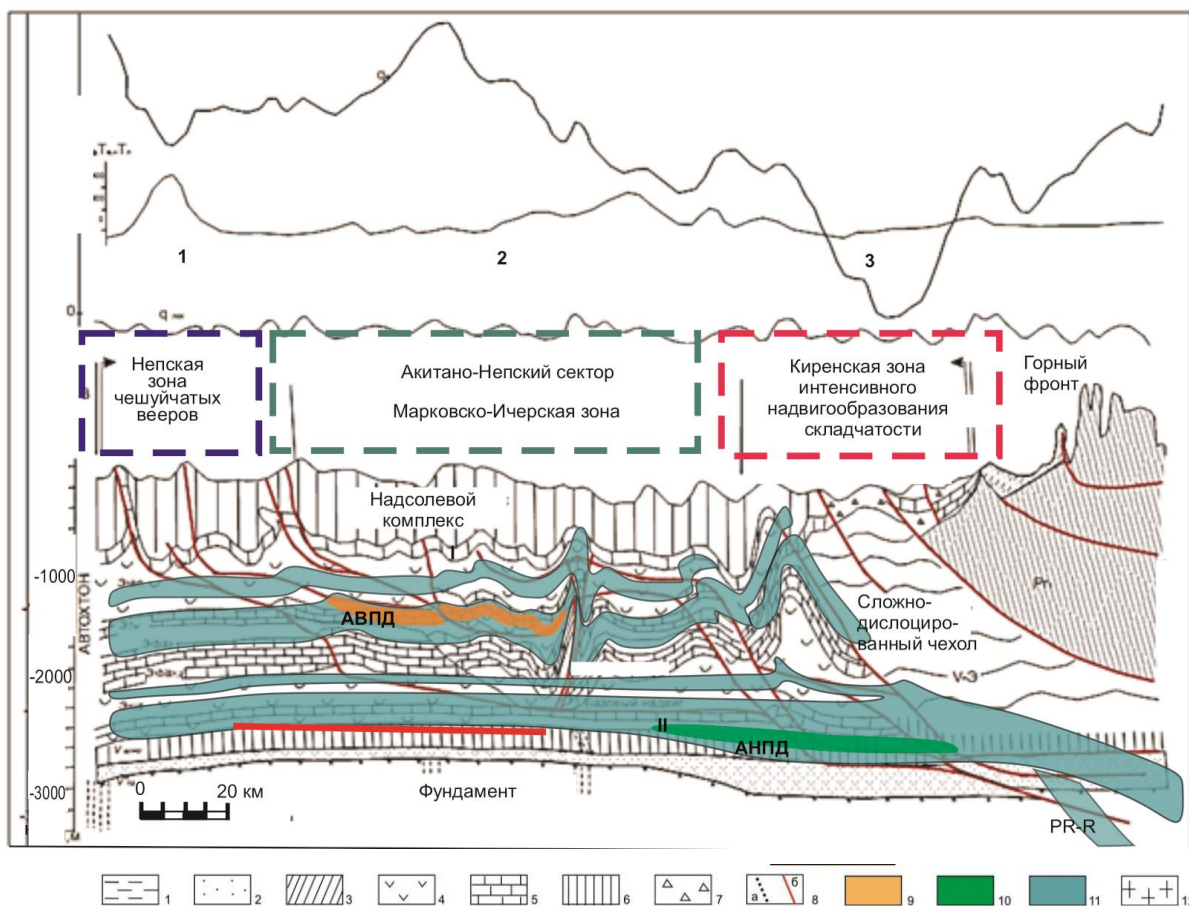


Рис. 4.1 Выделение двух структурных ярусов, разделенных поверхностью детачмента, по [Сметанин, 2000]; геологическое – по [Дубровин, 1979].

Условные обозначения: 1 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, глинистые сланцы; 2 – полимиктовые песчаники; 3 – песчаники, доломиты, известняки, ангидриты; 4 – каменная соль, доломиты, известняки; 5 – доломиты, известняки; 6 – красноцветные алевролиты, мергели, аргиллиты и песчаники; 7 – карбонатные брекчии в зонах гипергенеза; 8 – разломы: а – в фундаменте, б – предполагаемые в осадочном чехле; 9 – зоны АВПД; 10 – зоны АНПД; 11 – карбонатные горизонты; 12 – соли; 13 – фундамент.

Необходимо отметить, что исследования прошлых лет описывают строение осадочного чехла в зоне сочленения платформы и разреза краевых структур юга Сибирской платформы преимущественно в региональном плане. А большинство месторождений юга Сибирской платформы находящихся в этой зоне остаются неисследованными, несмотря на их высокий

УВ-потенциал в пределах аллохтона, доказанный многочисленными проявлениями при бурении кембрийской толщи.

Надвиговые структуры осадочного чехла исследованы на небольших и разрозненных площадях и отдельными профилями МОВ-ОГТ.

Комплексные геолого-геофизических исследования последних лет позволили детализировать современное геологическое строение осадочного чехла Ковыктинско-Хандинской зоны, включающей гигантское Ковыктинское ГКМ [Вахромеев, Сизых 2006; Вахромеев и др., 2006; Вахромеев и др., 2018; Семинский, Саньков и др., 2018; Смирнов и др., 2016, 2018, 2019].

Осадочный чехол рассматриваемой территории краевого прогиба сложен венд-нижнепалеозойскими и частично рифейскими образованиями суммарной толщиной до 6000 м (по новым сейсморазведочным данным). Он построен ритмично и составляет закономерную последовательность в смене парагенезов формаций в вертикальном и горизонтальном направлениях [Мазукабзов, 2003]. Во внутренних частях региона разрез фанерозойского чехла представляет собой трехслойную систему (подсолевая, соленосная, надсолевая), в которой средняя часть соленосная. К периферии Сибирской платформы соленосные породы замещаются сульфатно-карбонатными.

В подсолевой комплекс территории исследования предположительно входят осадки байкальской серии нижнего венда (ранее датировались как верхний рифей, здесь бурением не изучены), терригенные отложения верхнего венда (ушаковская, непская свиты и их аналоги), карбонаты венда и нижнего кембрия. Комплекс с угловым несогласием залегает на породах фундамента, конформно облекая его поверхность. Отложения подсолевого комплекса являются основной газосодержащей толщей региона. В чорской свите венда выделяются продуктивные боханский и парфеновский горизонты; ниже в подошве ухаковской свиты – базальный [Самсонов, 1975; Замаараев, 1967].

В соленосный комплекс входят образования усольской, бельской, булайской, ангарской и литвинцевской свит нижнего – среднего кембрия, преимущественно эвапориты, известняки, доломиты и ангидриты, переслаивающиеся между собой [Геология..., 1981; Мельников, 2018].

Внутри выделяются мощные пласты карбонатов (осинский пласт в низах усольской свиты, доломиты в бельской и булайской), а также большое количество более мелких прослоев, которые составляют компетентный каркас, способствующий передаче напряжений на значительные расстояния [Мазукабзов, 2003]. В то же время наличие мощных пластов солей обеспечивает высокую подвижность пород комплекса, что подтверждается присутствием большого количества зон срыва и скольжения. Наиболее мощные проявления соляного тектогенеза характерны для усольского и ангаро-литвинцевского интервалов. Не

исключено, что по результатам текущих ГРП на Хандинской площади и южнее в краевом прогибе будут установлены вендские (тирские) соли, ранее выявленные бурением в Прибайкальском (Ангаро-Ленском) палеопрогибе [Дробот, Городничев, 1981].

Надсолевой комплекс представлен карбонатно-терригенными породами красноцветной формации среднего – верхнего кембрия (верхоленская, илгинская свиты) и ордовика (усть-кутская, криволуцкая, чертовская, макаровская). Ранее считалось, что породы надсолевого комплекса Ковыктинского ГКМ по морфологическим признакам относятся к Илимско-Орлингской зоне, отличающейся от всех остальных зон Ангаро-Ленской ступени (Непская, Марковско-Ичерская и др.) простейшим строением [Дубровин 1979]. Однако, несмотря на это, в данном интервале отмечается максимально большое количество поглощений при бурении глубоких скважин на КГКМ. Поглощения связаны с наличием в разрезе проницаемых пластов-коллекторов в отложениях ордовика, а также илгинской и верхоленской свит кембрия.

Солевой и надсолевой комплексы характеризуются наиболее сложным строением, в связи с активным влиянием процессов соляной тектоники, возникшей в процессе формирования структур Байкало-Патомского надвигового пояса. Подсолевой комплекс, содержащий парфеновский продуктивный горизонт, характеризуется относительно спокойным моноклинальным залеганием [Дробот и др., 2004; Смирнов и др., 2016; Кокарев и др., 2018].

Таким образом, современное тектоническое строение Ковыктинско-Хандинской зоны рассматривается в двух структурно-тектонических ярусах: нижний (автохтон) и верхний (аллохтон), который интенсивно дислоцирован (в области сочленения платформенных структур и краевых прогибов платформы).

4.1. Нижний ярус (автохтон)

Нижний ярус (автохтон) представлен породами фундамента, отложениями венда и рефейского прогиба на востоке территории исследования.

4.1.1. Фундамент

Значительные объемы геологосъемочных, геофизических и буровых работ в последние годы позволили существенно уточнить тектонические построения предшественников [Савинский 1972; Геология..., 1981; Rosen et al., 1994; Хаин, 2001; Розен, 2001, 2003; Rosen, 2002; Мазукабзов и др., 2006; Gladkochub et al., 2006; Smelov, Timofeev, 2007; Глебовицкий и др., 2008a].

Ангаро-Ковыктинская зона нефтегазонакопления (ЗНГН) [Мельников, 2011], в которой локализовано Ковыктинское ГКМ, располагается в пределах Верхнеленского сводового поднятия, основного положительного структурного элемента зоны сочленения Ангаро-Ленской ступени и Предбайкало-Предпатомского регионального прогиба [Шутов, 1987;

Вахромеев и др, 2017, 2018, 2019; Смирнов и др., 2019]. Верхнеленское поднятие, формирование современного структурного плана которого происходило многоэтапно является наиболее крупным тектоническим элементом на Ангаро-Ленской ступени. По режиму проявления тектонических движений в новейший этап, оно отнесено к областям горообразования. Суммарные амплитуды неотектонических поднятий здесь 500–1000 м, максимальные до 1500 м [Золотарев, 1974]. По Г.Я. Шутову [1987], Верхнеленское поднятие на востоке и юго-востоке граничит с Предбайкальским и Предпатомским региональными прогибами, на юге и юго-западе ограничено Куленгской седловиной и Божеханским валом. Из сопоставления местоположения глубоких скважин с притоками УВ следует, что в контуре Верхнеленского поднятия оказались практически все известные месторождения и скважины с проявлениями УВ.

Строение фундамента в пределах района исследований уточнено по новым данным аэрогеофизических исследований уточнено (Рис. 4.2). Поверхность фундамента имеет слабо дифференцированный рельеф с глубинами залегания от -2300 м до -2700 м. Уточнены границы Верхнеленского сводового поднятия [Вахромеев и др, 2021]. По разломам глубокого заложения фундамент разбит на тектонические блоки, осложненные поднятиями и выступами, поверхность которых трещиновата, и на отдельных участках с корой выветривания. Для северо-западной части изученной площади характерны разломы северо-западной ориентировки. На востоке распространены в фундаменте разломы северо-западного и субмеридионального направлений, в том числе один из наиболее значительных разломов площади – Таймыро-Байкальский трансконтинентальный разлом. Он прослеживается на участке исследований на протяжении около 200 км.

Центральную часть изучаемой территории занимает Ковыктинский выступ. На юго-востоке и востоке данная структура контролируется системой разрывных нарушений, ограничивающих Жигаловскую и Хандинскую надразломные брахиантиклинали (валы).

С востока и запада Ковыктинский выступ ограничен впадинами. Западная впадина контролируется тектоническим нарушением, ограничивающим Хандинский вал. В южном направлении, южнее Жигаловского вала наблюдается плавный подъем кровли кристаллического фундамента. Максимальные значения глубин отмечаются в юго-восточной части территории, в пределах Мечикской впадины, которая может быть отнесена к Предбайкало-Предпатомскому региональному прогибу, и составляют -2700 м. Разница между минимальными и максимальными глубинами залегания поверхности фундамента достигает 460 м.

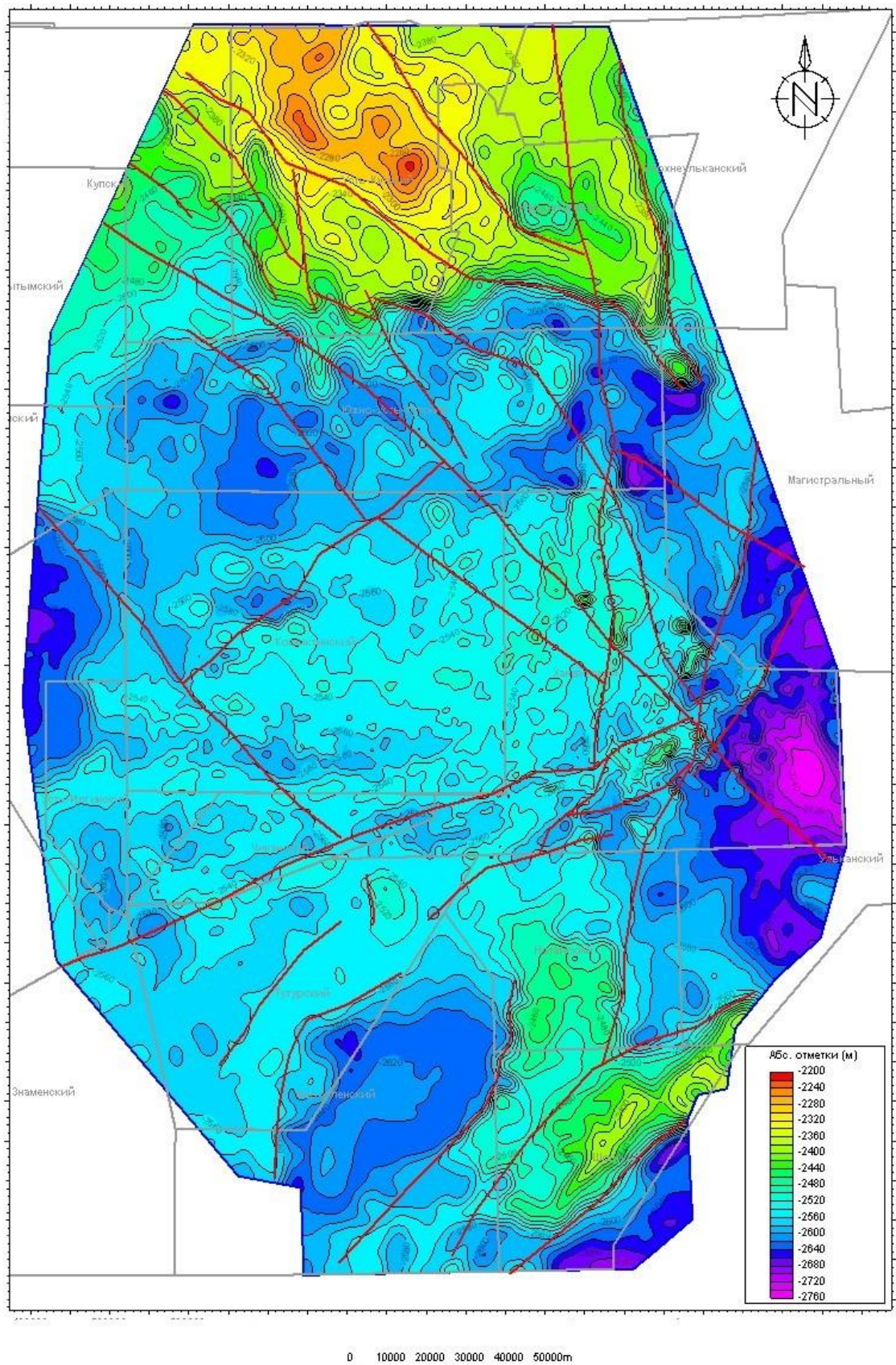


Рис. 4.2 Структурная карта по поверхности кристаллического фундамента (отражающий горизонт F) по данным аэрогеофизической съемки [Вахромеев и др, 2021].

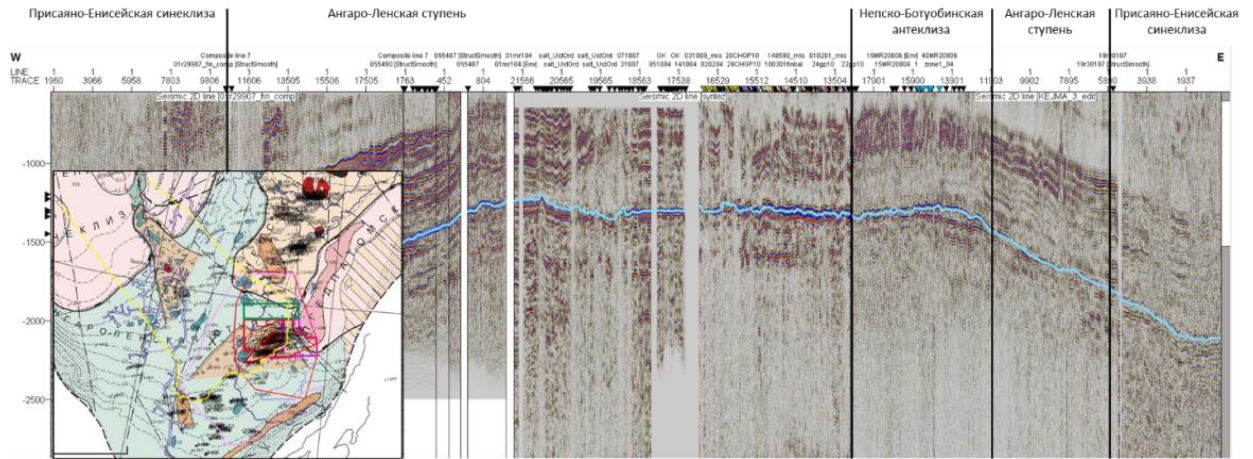


Рис. 4.3 Композитный сейсмический разрез

Абсолютные отметки в сводовой части поднятия достигают значений -2460 м. Южнее, с северо-востока на юго-запад выделяется вытянутая антиклинальная структура Качугского вала, параллельная выявленному южнее Божеханскому валу. Таким образом, как по опубликованным данным прошлых лет [Савинский, 1972; Геология..., 1989], так и по современным данным внутреннее поле фундамента наряду с общим наклоном на север имеет клавишное строение краевых впадин, сформированных по периферии поднятия (Рис. 4.2) за счет опускания отдельных блоков или их краевых частей [Карта..., 2010, Вахромеев и др. 2021]

По результатам моделирования вещественно-петрографического состава фундамента сделан вывод, что верхи геологического разреза фундамента сложены, преимущественно, породами кислого состава. В них в виде отдельных изометричных пятен присутствуют только граниты или только гнейсы. Реже встречаются участки метаморфических магматических пород основного состава - амфиболитов, долеритов. Часть этих пород подверглась процессам выветривания и разуплотнены. На востоке в основном отмечается породы среднего состава с широким распространением участков пород основного состава.

При анализе толщин терригенного комплекса и поверхности фундамента предполагается распространение рифейских отложений в южной части площади. Здесь, в юго-западном окончании Предбайкало-Предпатомского прогиба, мощность терригенного комплекса венда может достигать 650 м, тогда как в северной части площади работ она варьируется от 100 до 400 м.

На основе вновь проведенной аэрогеофизической съемки и архивных данных уточнены границы и строение Верхнеленского сводового поднятия, как структуры, важной для понимания распространения Ангаро-Ковыктинской ЗНГН [Вахромеев и др, 2021].

4.1.2. Рифей, венд

Толща верхнего рифея несогласно перекрыта отложениями венда, и «припаяна» к поверхности фундамента. Ортоплатформенные отложения венда, кембрия, ордовика

несогласно перекрывают рифейские авлакогеновые толщи и Ковыктинское ГКМ расположено именно над западной границей рифейского палеопргиба-авлакогена, над границей выклинивания толщ верхнего протерозоя – нижнего венда (Рис. 4.4).

Необходимо отметить, что в автохтоне, в парфеновском горизонте венда локализованы основные извлекаемые запасы природного газа и газового конденсата месторождения и его сателлитов. Выше по разрезу природные мегарезервуары карбонатного венда и кембрия в аллохтоне осложнены надвиговой тектоникой, линейной и брахиформной складчатостью, менее изучены по керновому материалу, не испытаны на продуктивность в скважинах поскольку пока исключены из объектов целенаправленного геологического изучения [Вахромеев и др, 2019].

Рифей-вендский терригенный нефтегазоносный комплекс включает в себя также базальный перспективный горизонт, который выделяется в основании осадочного чехла, в подошве тыптинской свиты и залегает непосредственно на породах фундамента. Сложен песчаниками разномерными до гравелитистых, с прослоями алевролитов и аргиллитов. Пласт песчаников, как и породы кристаллического фундамента, вскрыт немногочисленными скважинами и поэтому практически не изучен. На Ковыктинском ЛУ базальный горизонт вскрыт скважиной 56. При опробовании в процессе бурения из интервала 3382.0–3420.0 м (а.о. -2223.2-2561.2 м) получен разгазированный ФБР. Горизонт вскрыт практически всеми скважинами, пробуренными на территории Чиканского ЛУ. Толщина горизонта изменяется в пределах от 7 до 17.5 м. При испытании базального горизонта в скв. Чик – 21 и Чик – 23 получен приток ФБР, в остальных скважинах притока не получено. В других близко расположенных скважинах горизонт как коллектор также себя не проявил. На Хандинской площади базальный горизонт залегает непосредственно на породах фундамента, вскрыт в скв. Хнд – 1,7, 13, 15. На карте прироста проводимости по данным ЗСБ эти скважины находятся в зоне пониженной проводимости - около 1 См.

К юго-востоку, в пределах Хандинской площади, отмечается существенный прирост проводимости по данным ЗСБ на глубинах более 3км что, вероятно, свидетельствует о развитии рифейских отложений, которые, судя по повышенным значениям проводимости, могут содержать в себе коллекторы с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами. Таким образом, есть основания предполагать существование нового перспективного объекта – рифейских отложений – на территории Ковыктинского ГКМ [Вахромеев и др, 2019; Рыбальченко и др., 2020; Мисюркеева и др., 2017].

По данным Сметанина А.В. [2000] в пределах прифронтальных зон и горного фронта в венд-рифейских отложениях можно предполагать наличие крупных неразрушенных месторождений УВ, законсервированных вследствие надвиговых процессов.

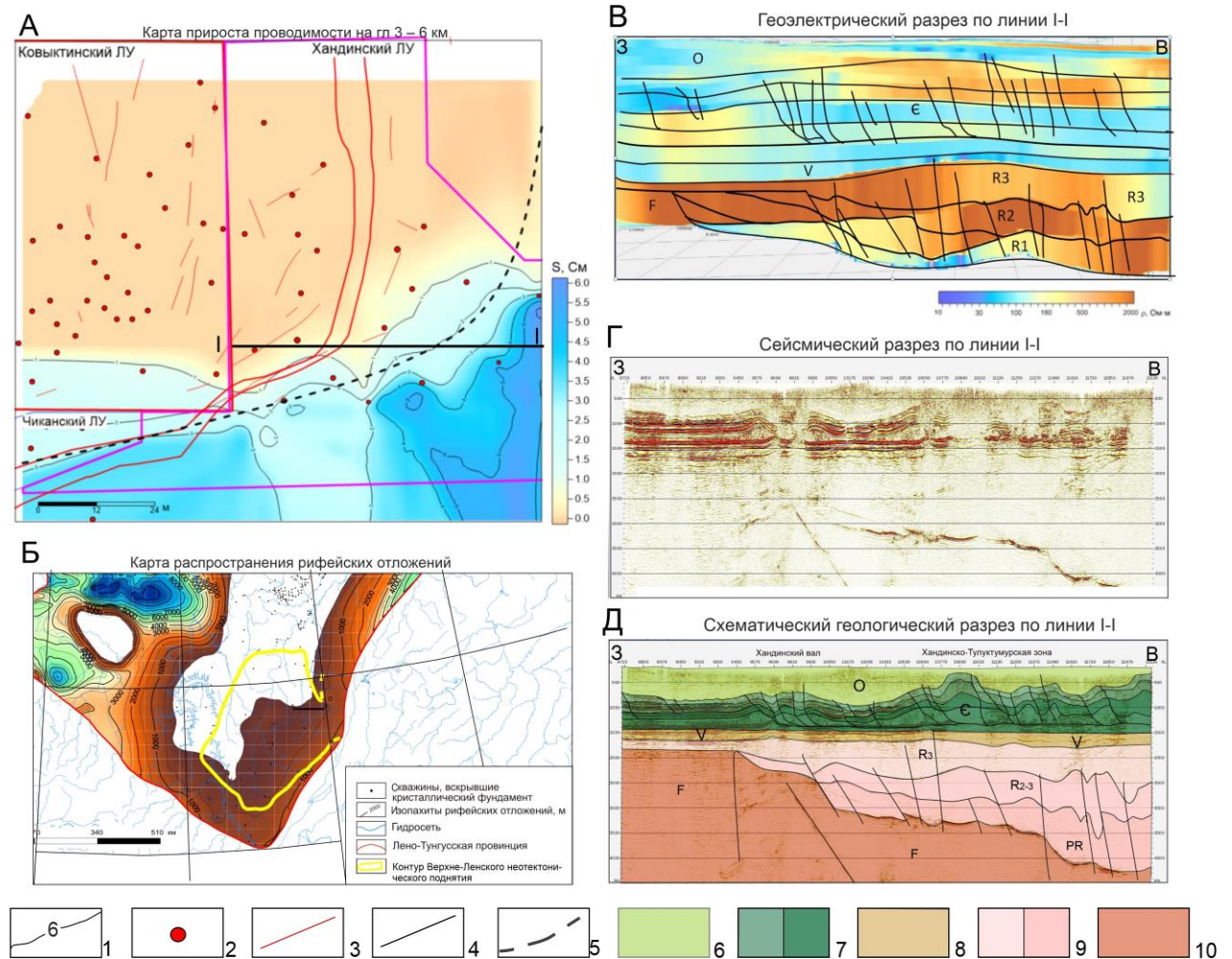


Рис. 4.4 Карты предполагаемого распространения рифейских отложений; А – по данным электроразведки; Б – по Ефимову [Ефимов, 2010]; Широтные разрезы через Предбайкало-Предпатомский позднепротерозойско-нижневендский краевой палеопрогиб по Ковыктинскому и Хандинскому ЛУ: В – геоэлектрический, по данным ЗСБ; Г – сейсмический (по данны 3D МОГТ); Д – схематический геологический.

Условные обозначения: 1 – изолинии проводимости, См; 1 – скважины, глбко бурения; ; 3 – тектонические нарушения по данным 3D МОГТ; 5 – предполагаемые тектонические нарушения; 6 – ордовикские терригенно-карбонатные отложения; 7 – кембрийские галогенно-карбонатные отложения; 8 – вендские терригенные отложения; 9 – отложения рифейского комплекса; 10 – фундамент.

4.2. Верхний ярус (аллохтон)

Верхний ярус (аллохтон) в пределах области исследований слагают породы галогенно-карбонатного комплекса (литвинцевская, ангарская, булайская, бельская и усольская свиты) и характеризуется весьма сложным строением.

Соляная тектоника – линейная складчатость, надвиги и послонные срывы – установлены на всех уровнях от усольской до литвинцевской свиты нижнего кембрия (Рис. 4.5). Эти базовые черты геологического строения осадочного чехла в пределах Ковыктинско-Хандинской зоны закономерно отражаются в строении природных резервуаров кембрия, которые вмещают залежи УВ и промышленных рассолов, выявленные глубоким бурением

[Вахромеев, Сизых, 2006; Вахромеев, Хохлов, 1988; Вахромеев и др., 2006; Смирнов и др., 2016; Шемин, 2017].

По данным сейсморазведочных исследований 3D МОГТ карбонатно-галогенный комплекс (аллохтон) представлен отражающими горизонтами $У_0$ (кровля усольской свиты), $К_2$ (кровля атовского горизонта нижнесреднебельской подсвиты), $Н_4$ (кровля булайской свиты), $Н_3$ (кровля бильчирского горизонта нижнеангарской подсвиты), $Н_2$ (кровля келорского горизонта нижнелитвинцевской подсвиты), $Н_1$ (кровля литвинцевской свиты).

Западная часть Ковыктинско-Хандинской зоны характеризуется преимущественно спокойным залеганием и относится к типично платформенному строению осадочного чехла.

Особенностью строения площади является наличие в юго-восточной и восточной частях серии крупных валов (*Жигаловского, Средне-Хандинского, группы Хандинско-Тулуктумурских валообразных поднятий и др.*). Это геологические структуры, состоящие из серии надвигов, осложняющих карбонатно-галогенный комплекс. Валы на сейсмических разрезах характеризуются динамически слабыми параметрами, наклонным и прерывистым положением осей синфазности. Для солевого комплекса характерно резкое увеличение мощности между отражающим горизонтом А (осинский горизонт усольской свиты) и вышележащей толщей, при этом верхние границы выклиниваются вверх по разрезу (Рис. 4.5, Рис. 4.7, Рис. 4.9).

В северо-восточной части выделяется самостоятельный блок, характеризующийся развитием складчато-надвиговых дислокаций, образованных за счет тангенциального сжатия со стороны складчатого обрамления. Границами блока являются Большеириньская антиклиналь на западе, система кулисообразных сбросов на юге, Имеринский прогиб на востоке. Наиболее высокая степень дислоцированности разреза характерна для краевых частей блока. Внутри блока, по-видимому, существует общая зона относительно повышенной напряженности как по горизонтали, так и по вертикали.

4.2.1. Литвинцевская свита

Интервал *литвинцевской свиты (отражающие горизонты $Н_1, Н_2$)* первый объект в толще нижнего кембрия, который затронут проявлением соляной тектоники, являющейся, в свою очередь, последствием тектонически движений надвигового характера со стороны горно-складчатого обрамления юга Сибирской платформы, а также вертикальных малоамплитудных подвижек блоков фундамента. Представляется, что породы кровельной части литвинцевской свиты плащеобразно перекрывают галоидный комплекс и нивелируют складчатые образования верхнеангарской подсвиты.

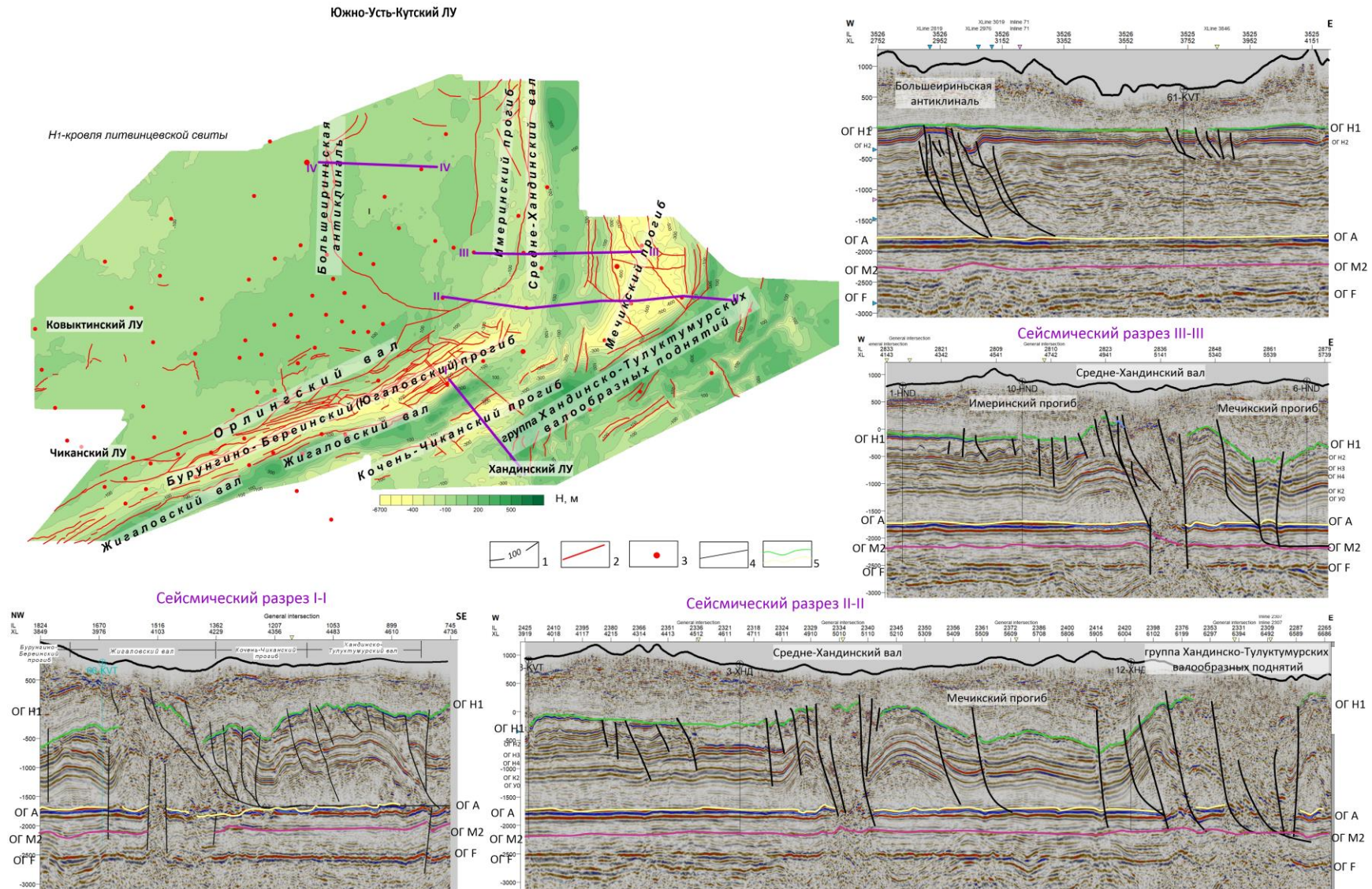


Рис. 4.5 Строение основных структур аллохтона Ковыктинско-Хандинской площади. (масштаб разрезов 1:5).

Условные обозначения: 1 – изолинии структурной поверхности, м; 2 – тектонические нарушения по данным сейсморазведки; 3 – скважины глубокого бурения; 4 – предполагаемые тектонические нарушения; 5 – трассировка отражающих горизонтов.

Структурно-тектоническое строение на территории исследования, в особенности морфология пликативных структур, наиболее ярко прослеживается по кровле келорского горизонта литвинцевской свиты (Н₂) (Рис. 4.6). Келорский горизонт толщиной 50 – 60 м распространен практически на всей территории, за исключением юго-востока (Хандинский ЛУ), где, вероятно, происходит размыв отложений, связанный с этим интервалом разреза. На структурной карте по кровле келорского горизонта на юге территории отмечаются отдельные фрагменты Жигаловского вала и окаймляющего его с юго-востока Кочень-Чиканский прогиб, амплитуда составляет до 200 м.

С северо-запада Жигаловский вал окаймляет Бурунгино-Береинский прогиб (Югаловский). Максимальное понижение рельефа в прогибе отмечается в районе скважины 63 Ковыктинская и составляет до 190 м. Субпараллельно прогибу с северо-запада проходит Орлингский вал. Вся юго-восточная часть Хандинского участка характеризуется отличными от Ковыктинского сейсмогеологическими условиями. На структурной карте по ОГ Н1 ему соответствует сильно расчлененный рельеф, состоящий из структур сжатия и растяжения (Рис. 4.6). На карте когерентности литвинцевской свиты и келорского горизонта наблюдается высокая дислоцированность отложений, отражающаяся в виде низких значений когерентности, в юго-восточной части площади исследования отмечается множество криволинейных элементов, ориентированных с юго-запада на северо-восток и с юга на север, вдоль Жигаловского вала. Это связано с многочисленными тектоническими нарушениями. На Хандинской площади разломная тектоника имеет, в основном, направление с юго-востока на северо-запад.

4.2.2. Ангарская свита

Соляные пласты *ангарской свиты* как наиболее пластичные, подвергаются деформациям в результате тангенциального стресса со стороны складчатого обрамления [Мисюркеева и др., 2018, 2021; Misyurkeeva et al., 2022].

На территории Ковыктинско-Хандинской зоны здесь наиболее ярко проявлены последствия шарьяжно-надвиговой тектоники в виде срывов и пластических перераспределений объемов каменных солей (Рис. 4.7). За счет повышенной текучести солей и многочисленным срывам морфология валовых структур в значительной степени нарушена. На уровне отложений ангарской свиты отмечаются обширные поля мелкой складчатости и серия гребней валов сдавливания (Рис. 4.8).

К верхней и средней частям нижнеангарской подсвиты приурочен бильчирский горизонт, сложенный толстоплитчатыми доломитами с прослоями соли и ангидритодоломитов, толщина 138–160 м. Состоит из четырех пластов (Б₁-Б₂-Б₃-Б₄), которые разделены пластами соли.

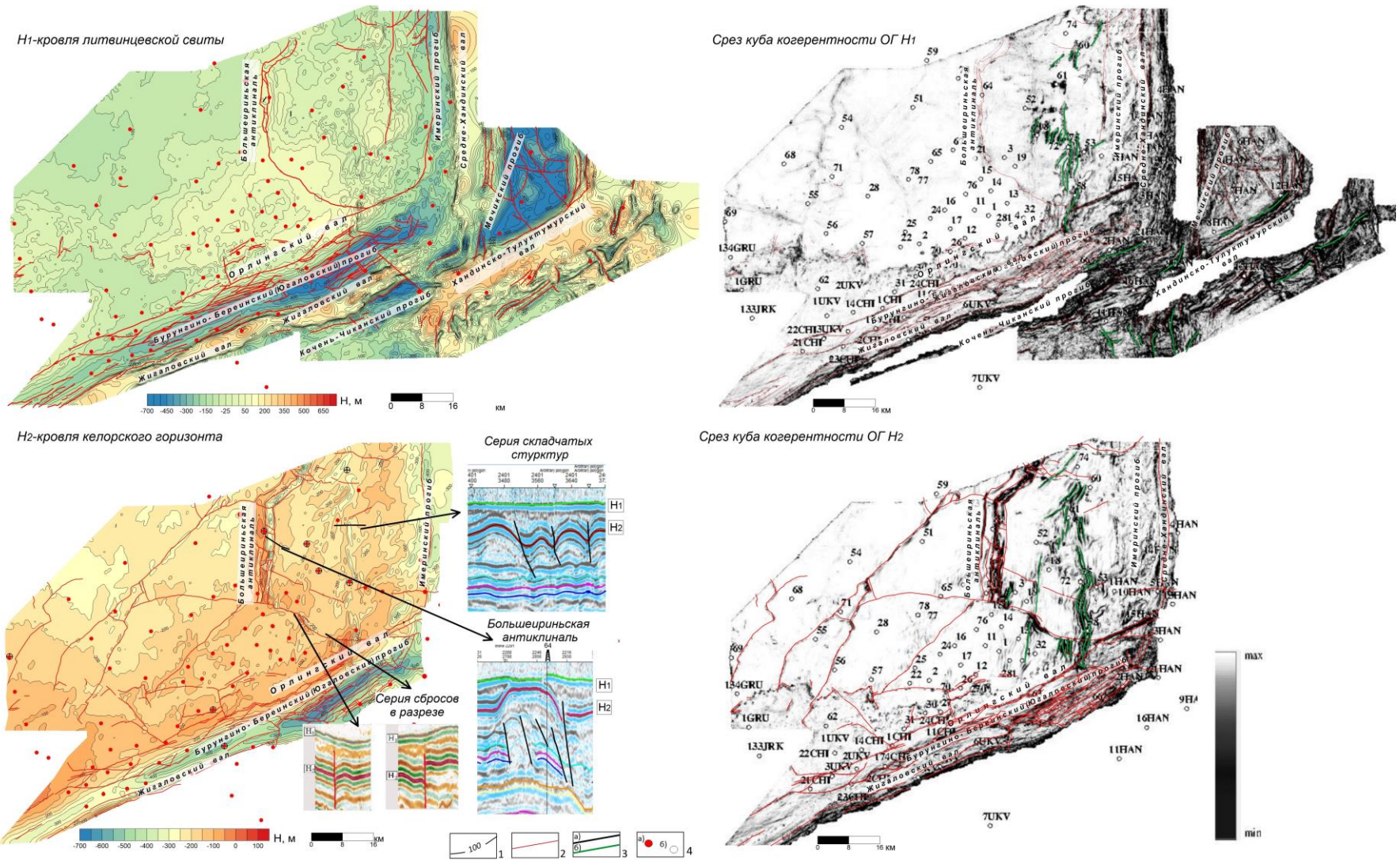


Рис. 4.6 Структурные карты и карты среза куба когерентности Ковкытинско-Хандинской зоны.

Условные обозначения: 1 - изогипсы структурной поверхности, м; 2 – тектонические нарушения по данным ГРП; 3 – предполагаемые тектонические нарушения: а) на разрезах, б) на карте когерентности; 3 – скважины глубокого бурения а) на структурной карте, б) на карте когерентности.

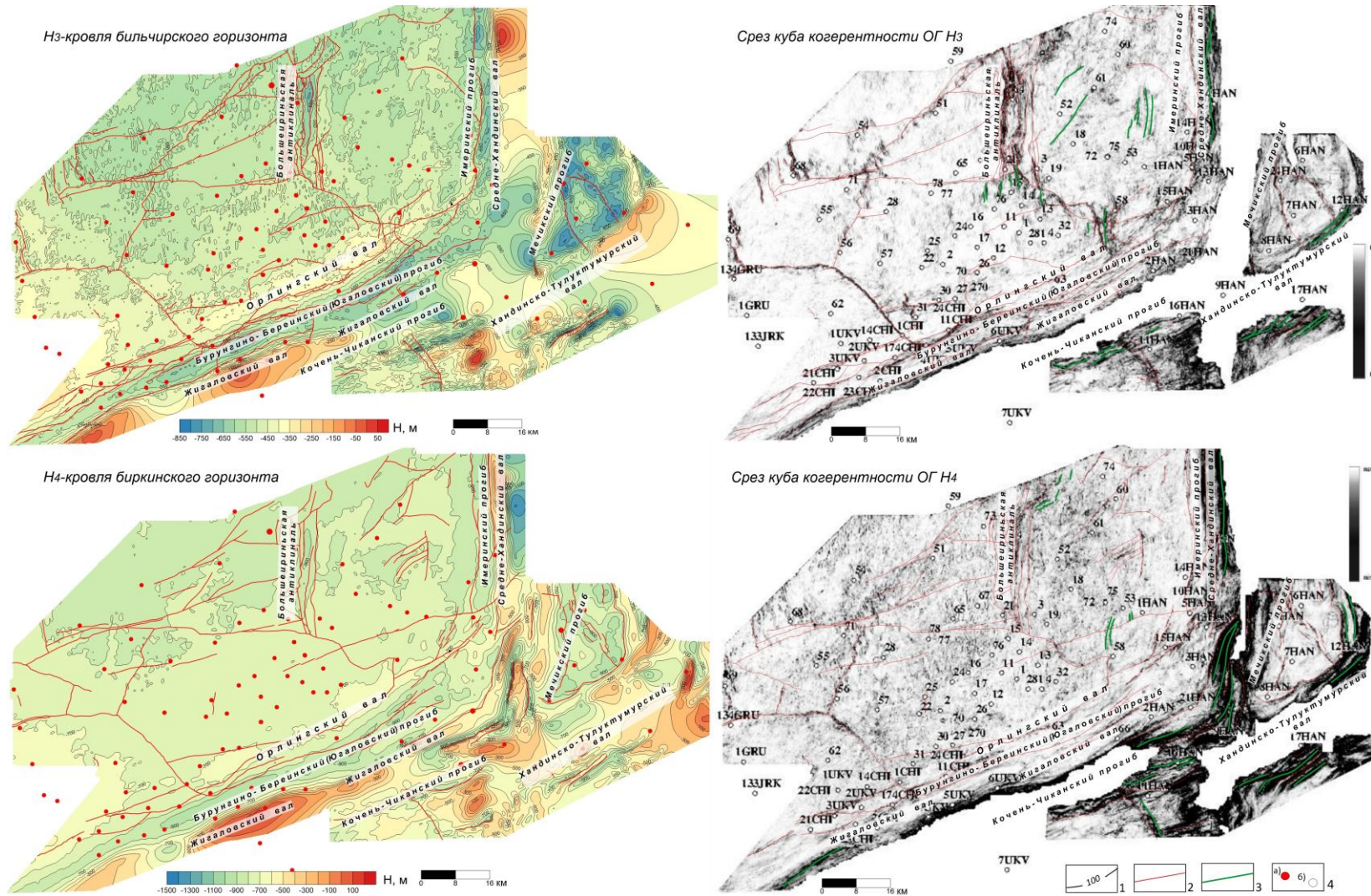


Рис. 4.7 Структурные карты и карты среза куба когерентности Ковыктинско-Хандинской зоны.

Условные обозначения: 1 - изогипсы структурной поверхности, м; 2 – тектонические нарушения по данным ГРП; 3 – предполагаемые тектонические нарушения; 3 – скважины глубокого бурения а) на структурной карте, б) на карте когерентности.

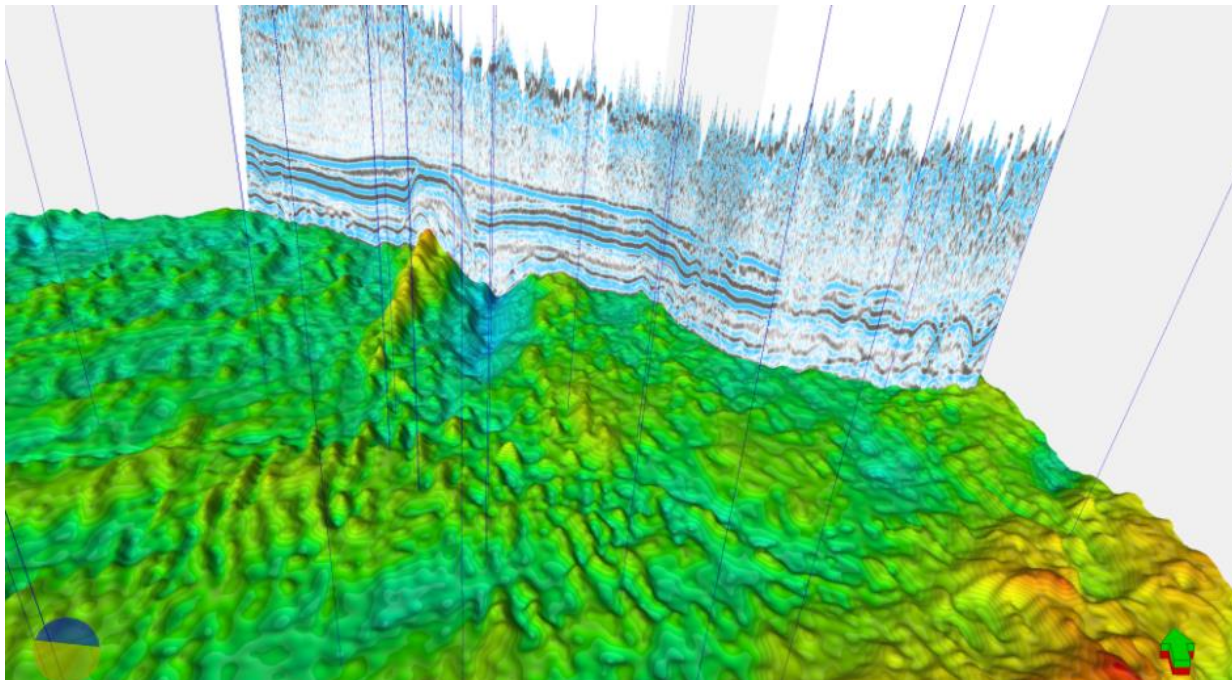


Рис. 4.8 Поверхность кровли нижнеангарской подсвиты по данным МОГТ 3D.

Структурный план по *ОГ Н₃* (*кровля бильчирского горизонта нижнеангарской подсвиты*) в целом унаследует вышележащий. В пределах северо-восточной части Ковыктинского участка здесь также следятся серии валов и прогибов. Здесь также прослеживается Орлингская пластина, ограниченная с запада Большеириньской антиклиналью, которая в направлении на северо-восток выполаживается. Отмечается большое количество тектонических нарушений (Рис. 4.7).

На карте когерентности на уровне бильчирского горизонта отмечается обилие мелких деструктивных форм. При бурении ангарской свиты зачастую возникают осложнения, связанные с поглощением, рапо- и газопроявлениями, АВПД, которые вероятно обусловлены неоднородностью складчатого строения бильчирского горизонта. Пласты бильчирского горизонта по простиранию разобщены на отдельные блоки с различными пластовыми давлениями, поэтому одни скважины дают выбросы и самоизливы пластовой воды или УВ-флюидов, другие – поглощают.

В целом, анализируя структурно-тектоническую обстановку в районе северо-восточной части Ковыктинского ГКМ, по уровню бильчирского горизонта наблюдается повышенная дислоцированность галогенно-карбонатной части разреза, наличие складок деформации галогенно-карбонатной толщи: локальные антиклинальные структуры, осложненные дизъюнктивной тектоникой, а также структуры проседания, типичные для этапа деградации надвиговых пластин за счет соляного и карбонатного карста [Александров и др., 1989].

4.2.1. Булайская свита

Отражающий горизонт Н₄ стратиграфически привязан к кровле булайской свиты. В целом унаследует вышележащий. Однако, с юга Большеириньская антиклиналь

выполаживается, отмечаясь лишь к северу в районе скважины № 64 – КОВ. В пределах северо-восточной части Ковыктинского участка здесь также следятся серии валов и прогибов (Рис. 4.7).

На юге исследуемой территории практически вся область Жигаловского вала «срезана» по причине прекращения прослеживания сейсмической записи отражающего горизонта N_4 (Рис. 4.7). Это же касается и группы Хандинско-Тулуктумурских валообразных поднятий. Мечикская впадина в восточной части площади прослеживается лишь в районе скважин 8, 7, 6 и 12 – Хандинских и представлена серией локальных погружений амплитудой до 120 м (Рис. 4.7).

Необходимо отметить, что прекращение прослеживаемости сейсмической записи в пределах валов связано прежде всего с повышенной дислоцированностью отложений в их пределах. Рапо-и газопроявления при бурении булайской свиты отмечены и в интервале биркинского горизонта-коллектора.

В целом, породы биркинского интервал разреза нижнего кембрия сильно дислоцированы и смяты в складки. Часто, в пределах скважин с газо-и рапопроявлениями в интервале биркинского горизонта-коллектора отмечаются участки дисгармоничной складчатости (см глава 6). Отмечаются разнонаправленные тектонические нарушения, отражающие как горизонтальные напряжения приводят к избирательному и разнонаправленному формированию характерных форм соляного тектогенеза в виде надвигов встречного направления.

4.2.2. Бельская свита

По данным сейсморазведочных работ МОГТ 3D поверхность ОГ K_2 , характеризующая поведение кровли бельской свиты, в общих чертах повторяет вышележащие. В бельской свите деформации от перетоков солей уже менее значительны. Здесь также выделяется Большеириньская антиклиналь. В пределах Хандинско-Тулуктумурских валообразных поднятий появляется серия отдельных, линейно вытянутых, параллельно Жигаловскому антиклиналу (валу) локальных поднятий. Амплитуда этих поднятий превышает 100 м. Разделены данные структуры погружениями глубиной до 100 и более метров. Такие линейные структуры имеют надвиговую природу (Рис. 4.9).

На востоке изучаемой территории выделяется Мечикская впадина, которая также в значительной мере осложняется локальными высокоамплитудными выступами и прогибами.

В интервале нижнесреднебельской подсвиты выделяются атовский и христофоровский горизонты-коллекторы. *Атовский горизонт* выделяется в верхней части среднебельской подсвиты. Условно принятая толщина его 50 – 87 м. Основную часть пород горизонта составляют пористые доломиты и известняки. *Христофоровский горизонт* приурочен к нижней части бельской свиты и залегает в 10 – 50 м выше балыхтинского. Он сложен

неоднородным переслаиванием доломитов, известняков и ангидрито-доломитов с преобладанием в верхней и нижней частях разреза "чистых" разностей карбонатов. В доломитах и известняках широко развиты пористость, доломитизация, выщелачивание и кавернозность.

4.2.3. Усольская свита

Отражающему горизонту U_0 – соответствует кровля усольской свиты. В усольской свите развиты сравнительно небольшие солянокупольные структуры, Высокоамплитудные структуры развиты, в основном, в юго-восточной и северо-восточной частях Чиканского и Хандинского участков (Рис. 4.9).

Максимальное развитие трещин в карбонатных пластах установлено в приосевых частях пликативных структур и в более крутых перегибах их крыльев (Жигаловский вал), то есть на участках повышенных тектонических напряжений.

Анализируя структурно-тектоническое строение Ковыктинско-Хандинской зоны представляется, что породы кровельной части литвинцевской свиты и вышележащая толща верхоленской свиты средне-верхнего кембрия и отложений ордовика плащеобразно перекрывают галоидный комплекс и нивелируют складчатые образования верхнеангарской подсвиты. Породы подсолевого комплекса представляют собой основу подвижных солей, жесткую по физико-механическим свойствам поверхность автохтона, по которой происходит межпластовый срыв или серия срывов.

Таким образом, соляные пласты, как наиболее пластичные, подвергаются деформациям в результате тангенциального стресса со стороны складчатого обрамления. Солевой комплекс образует валообразные поднятия, а подсолевой комплекс нижнего кембрия и венда залегает практически горизонтально.

С севера к Ковыктинскому месторождению примыкает Южно-Усть-Кутский участок, в пределах которого по результатам ГРП (сейсморазведочных работ 2D МОГТ) также установлено сложное тектоническое строение среднего галогенно-карбонатного комплекса (аллохтона) и тесно связанного с ним верхнего надсолевого комплекса.

Основная часть Южно-Усть-Кутского ЛУ относится к Илимско-Орлингской зоне (I) [Дубровин, 1979]. На северо-западе зона граничит с Непской зоной дислокаций (II), одной из характерных особенностей которой являются локальные линейно-вытянутые антиклинальные складки (Рис. 4.10).

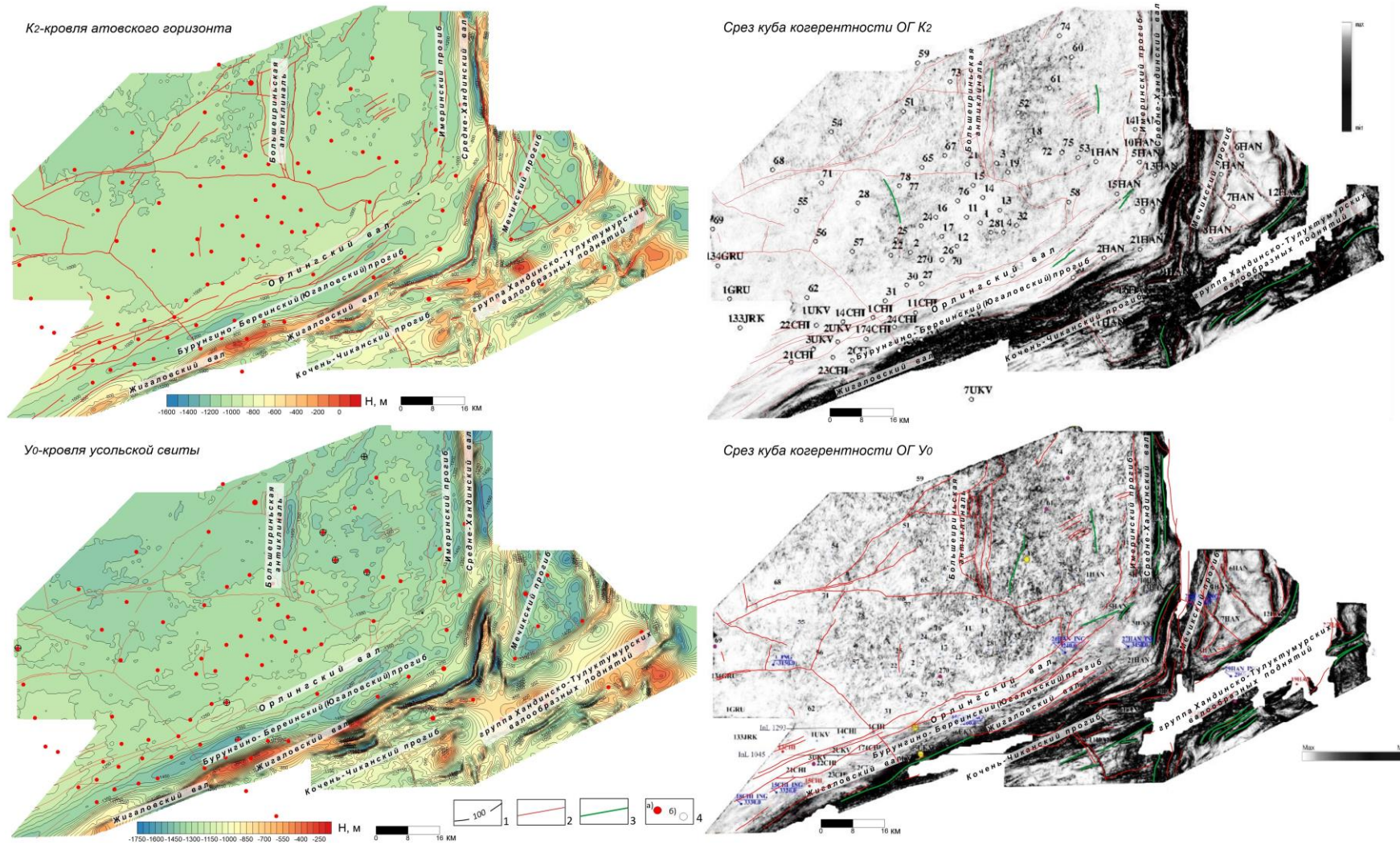


Рис. 4.9 Структурные карты и карты среза куба когерентности Ковкытинско-Хандинской зоны.

Условные обозначения: 1 - изогипсы структурной поверхности, м; 2 – тектонические нарушения по данным ГРП; 3 – предполагаемые тектонические нарушения; 3 – скважины глубокого бурения а) на структурной карте, б) на карте когерентности.

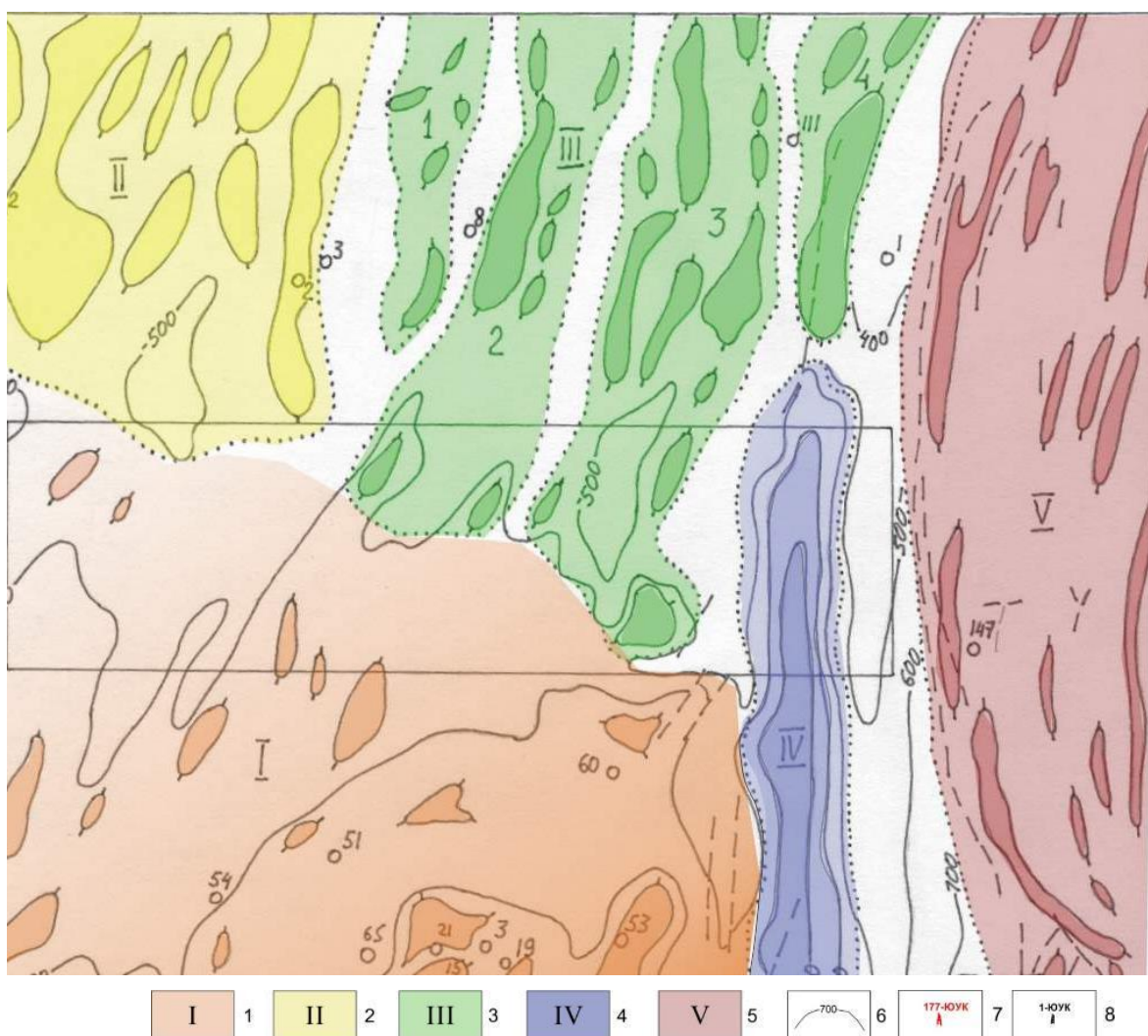


Рис. 4.10 Фрагмент структурно-тектонической схемы надсолевого комплекса (составлена на основе материалов ВСГУ «ВостСибнефтегазгеология» [Рыбьяков, Степаненко, 1991], масштаб 1:1000000).

Условные обозначения: Структурно-тектонические зоны: I-Илимо-Ленское плато, II-Непская зона дислокаций, III – Марковско-Ичерская зона дислокаций (валы: 1-Казаркинский, 2-Бочактинский, 3-Марковский, 4-Криволуцкий), IV-Средне-Хандинский вал, V-Лено-Киренский антиклинорий; -700 — изогипсы кровли нижнеустькютской свиты.

Северная и северо-восточная части территории расположены в пределах юго-западного окончания Марковско-Ичерской зоны поднятий [Дубровин, 1979]. Она характеризуется серией крупных, пологих, изолированных антиклинальных и брахиантиклинальных структур, вытягивающихся в виде валов северо-восточного простирания. В составе Марковско-Ичерской зоны выделяется четыре крупных вала шириной 18–26 км каждый, разделённых узкими, но глубокими прогибами: Казаркинский, Бочактинский, Марковский и Криволуцкий. В строении валов имеются определённые закономерности. В восточном направлении амплитуды и крутизна крыльев у каждого последующего вала больше, чем у предыдущего.

Разница амплитуд самого западного (Казаркинского) вала и самого восточного (Кривоуцкого) достигает 160 – 200 м. Каждый вал осложнён продольной синклиналью, проходящей примерно по его середине, обычно небольшой амплитуды, но хорошо выраженной. Своды валов широкие, плосковерхие, осложнены небольшими складками, имеющими незначительные амплитуды и вытянутыми также в северо-северо-восточном направлении (Рис. 4.11, Рис. 5.1).

По данным В.И Сизых [Сизых, 2005] выделяется четыре морфогенетических типовых модели отраженной складчатости осадочного чехла юга Сибирской платформы. Тектонотипом четвертой модели является Марковский вал [Дубровин, 1979; Сизых, 2005]. Структурирующими признаками, позволившими выделить этот тип в отдельный, являются, во-первых, пликативная и дизъюнктивная складчатость, затрагивающая соленосный и надсоленосный комплексы осадочного чехла. Во-вторых, это складкообразующий фактор. Так, для Марковского типа характерны срывы на границе (и внутри) соленосного и подсоленосного комплексов, переходящих в надвиг, что отчетливо наблюдается на сейсмических разрезах территории исследования. По морфологии, эти структуры обычно линейные, часто отмечаются соляные купола.

Формирование Марковского вала, по всей видимости, обусловлено процессами сугубо пластических деформаций каменной соли, возникших вследствие срыва подошвы соляного уровня, под воздействием тангенциального стресса со стороны складчатого обрамления. Наиболее интенсивно нарушены породы солевого комплекса [Сизых, 1995; Карасев, Карасева, 1969]. Надсолевой комплекс образует пологое валообразное поднятие, а подсолевой залегает уже практически горизонтально. Формирование Марковского вала произошло в результате горизонтального перемещения надсолевого комплекса по пластичной галогенной толще, которая при этом интенсивно дислоцировалась с образованием складок волочения и нагнетания солей в ядро принадвиговой антиклинальной складки.

В восточной части Южно-Усть-Кутского ЛУ находится сложно построенный Средне-Хандинский вал, заложенный над Байкало-Таймырским трансрегиональным разломом в фундаменте Сибирского кратона, на севере переходящий в Кривоуцкий. Он представляет собой субмеридионально ориентированную положительную структуру амплитудой 200 – 300 м и шириной 15 – 16 км. Западное крыло осложнено сбросами амплитудой 20 – 30 м.

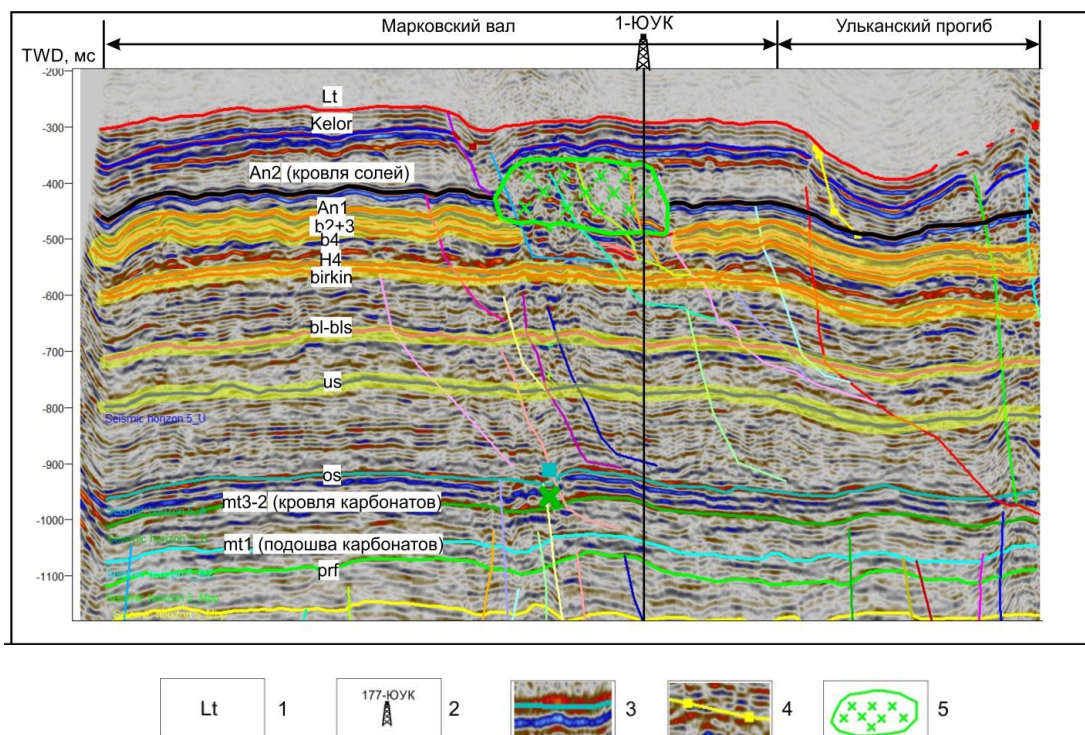


Рис. 4.11 Сейсмический временной разрез через проектную скважину 1-ЮУК (северная часть объекта исследований) по материалам ГРП 2014 г.

Условные обозначения: 1 – стратиграфические отметки горизонтов; 2 – скважины глубокого бурения; 3 – корреляция сейсмических горизонтов; 4 – разрывные нарушения по данным 2D МОГТ; 5 – предполагаемая зона развития карбонатного карста.

Таким образом, общее строение осадочного чехла объекта исследований типично для складчато-надвиговой системы Байкало-Патомского надвигового пояса [Гайдук, Прокопьев, 1999; Сметанин, 2000; Мигурский, Ларионова, 2009; Вахромеев, 2005; 2015; Модели..., 2017] и существенно детализировано на основе материалов СРР 2D и 3D и глубокого бурения на Ковыктинской, Южно-Усть-Кутской, Чиканской, Хандинской, Нотайско-Тутурской площадях.

Территория центрального блока месторождения с юго-востока ограничена Жигаловским и Орлингским валами, с востока рассечена Хандинским валом, в центральной части Большеириньским (субмеридионального простирания).

На уровне соленосной толщи нижнего кембрия сорвана и смята с образованием линейной складчатости аллохтонного типа [Гайдук, Прокопьев, 1999; Мигурский, Старосельцев, 1997; Шемин, 2017]. Смятие, виргации линейных складок [Гайдук, Прокопьев, 1999; Мигурский, 2001; Шемин, 2017; Славин, Брук, 1987; Старосельцев 2008] и послонные срывы сформированы под тангенциальным воздействием Байкало-Патомского фронта.

Детачмент надвиговой зоны в восточной части Хандинской площади проходит по тирским отложениям венда и далее на запад переходит в кровлю осинского горизонта нижнего

кембрия, поднимаясь в ангарскую свиту к форланду, фронтальной части Большеириньской коробчатой складки.

Верхоленская свита залегает на отложениях литвинцевской со стратиграфическим несогласием. Толща верхоленской свиты и ордовика как реологически жесткая мегапластина в осадочном чехле может быть сопоставлена с неоавтохтоном, поскольку деформации затронули только интервал разреза соленосной толщи. Важную роль в процессе межслоевой складчатости могли сыграть пропластки с примесью калийных солей, выявленные в скважинах по ГИС, а также обводненные нарушенные трещиноватостью галитовых пропластков в плоскостях контакта соли – карбонаты.

Привлечение новых геофизических данных (3D МОГТ, 3D ЗСБ) позволило уточнить структурно-тектоническое строение КГКМ, получить новые представления о модели складчато-надвигового строения территории месторождения, которая является весьма сложной и вносит существенные осложнения в процесс геологоразведочных и геологосъемочных работ. Важно, что складчато-надвиговая тектоника осложняет восточную (Хандинскую, частично центральную часть месторождения) и южную- юго-восточную области исследуемой территории. Западная и северо-западная часть гигантского КГКМ была менее подвержена влиянию Байкало-Патомского надвигового пояса.

Выводы: Осадочный чехол Ковыктинского ГКМ вследствие дислоцированности во фронтальной зоне Байкало-Патомского надвигового пояса имеет двухъярусное строение: нижний ярус – автохтон, верхний – аллохтон. Кембрийские породы аллохтона, в отличие от слабо нарушенного автохтона, характеризуются наличием линейной складчатости в парагенезисе с взбросо-надвигами, взбросо- и сбросо-сдвигами, которые подобны пликативно-дизъюнктивным формам тыловой части надвигового пояса.

5. ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ СКЛАДАЧТО-НАДВИГОВЫХ СТРУКТУР ВЕРХНЕГО ЯРУСА (АЛЛОХТОНА)

Территория исследования расположена не только в зоне сочленения платформенного чехла и краевого прогиба, но и в пограничной зоне стыка двух надвиговых секторов Байкало-Патомского надвигового пояса – южного (Прибайкальского) и центрального (Актиткано-Непского) [Мисюркеева, 2021, 2022].

Рассмотрим внутреннее строение складчато-надвиговых структур аллохтона, которые полукольцом охватывают с востока территорию исследования.

Южная часть Актиткано-Непского сектора представлена Южно-Усть-Кутской зоной веерных структур. С востока, вдоль трансконтинентального Байкало-Таймырского разлома глубинного заложения расположена Хандинская зона, а на запад она протягивается в виде Орлингской надвиговой пластины.

С юга-юго-востока на Ковыктинский выступ надвинута пластина с форландом в виде Жигаловского вала.

5.1. Южно-Усть-Кутская зона веерных структур (Актиткано-Непский сектор)

По результатам ГРП (сейсморазведочных работ 2D МОГТ) при визуальном анализе сейсмических разрезов вдоль субширотных профилей, расположенных в восточной части Южно-Усть-Кутского ЛУ была отмечена зона, характеризующаяся динамически слабыми параметрами, наклонным и прерывистым положением осей синфазности. Этот рисунок сейсмической записи значительно отличался от субгоризонтального рисунка волнового поля, характерного для центральной и западной части исследуемой территории. На основе тектонических схем эта область была отождествлена с зоной Байкало-Таймырского глубинного разлома [Тектоника..., 1982]. По положению осей синфазности было предположено, что в зоне над Байкало-Таймырским глубинным разломом наблюдается надвиговый характер перемещений. Авторами была предложена тектоническая модель кембрийской толщи чехла над зоной этого глубинного разлома (Рис. 5.2).

В результате комплексного тектонического анализа по данным ГРП 2014 года, в пределах Южно-Усть-Кутского ЛУ были выделены две основные системы тектонических нарушений: первая система тектонических нарушений субмеридионального северо-восточного простирания, параллельна основным разломам Байкало-Таймырского трансконтинентального разлома [Старосельцев, 2019]; вторая система тектонических нарушений имеет ортогональное положение и сдвиговый характер дислокаций.

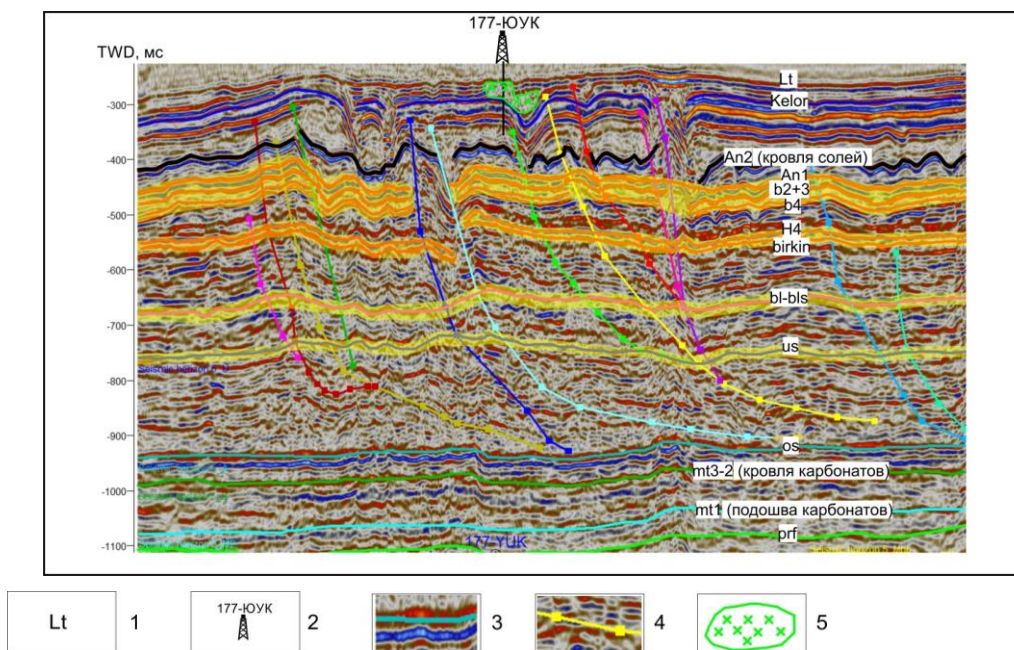


Рис. 5.1 Сейсмический временной разрез через скважину 177-ЮУК.

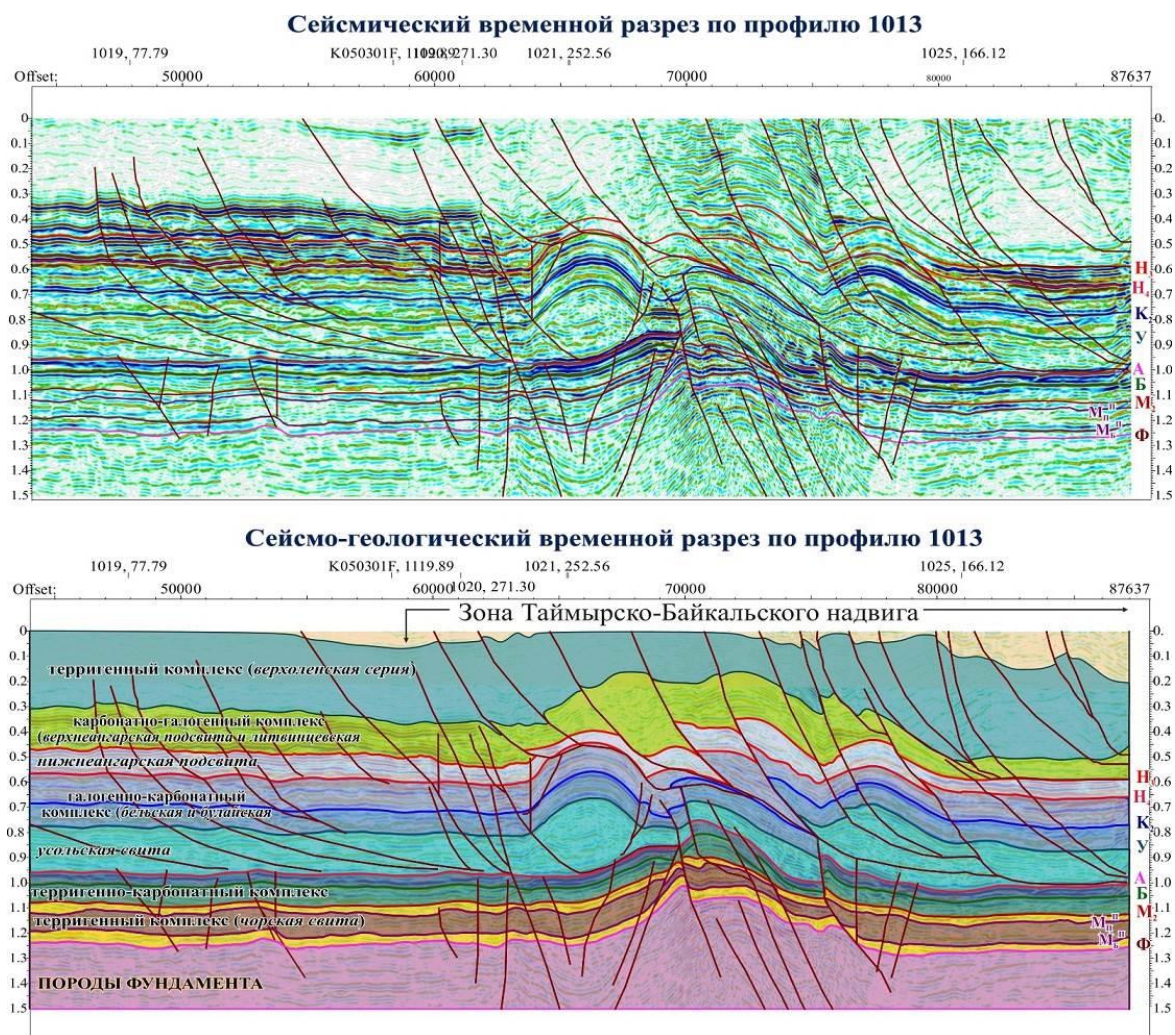


Рис. 5.2 Тектоническая модель Байкало-Таймырского глубинного разлома (по данным ГРП 2014 г.).

Отмечено, что наибольшее количество тектонических нарушений выделено в верхней части геологического разреза и приурочено к отложениям соленосных комплексов (аллохтону). Вниз по разрезу их количество уменьшается.

Геологи в процессе интерпретации сейсмических разрезов, пришли к выводу о надвиговой природе и веерной картине дизъюнктивной тектоники в кембрийской толще на севере объекта исследований (Южо-Усть-Кутская площадь). Как и в практике интерпретации полого падающих разрывных нарушений подчеркивается необходимость приведения к одному масштабу (вертикального и горизонтального). Это позволяет отразить истинные углы наклона полого падающих сместителей.

5.2. Хандинская зона (Акиткано-Непский сектор)

Структуры территории Хандинского ЛУ представлены антиклиналями и синклиналими разной амплитуды. Из наиболее крупных антиклинальных структур на площади исследования выделяются *Средне-Хандинский, Хандинско-Тулуктумурский валы* и менее выраженные Мурыннинский, Шоно-Уянский валы, а также Мечикская и Кислинская антиклинали. Отрицательные структуры представлены *Имериньским прогибом* к западу от Средне-Хандинского вала и *Мечикским прогибом* (Мечикская синклиналь) к юго-востоку от него [Дубровин, 1979]

На поверхности **Мечикская** синклиналь пространственно охватывает водораздельную часть р. Ханды и левых притоков р. Киренги. Простираение меридиональное. Ядро структуры выполнено ордовикскими отложениями, а на крыльях наблюдаются кембрийские породы. Крылья структуры пологие, погружающиеся под углом около 4 – 6°. Синклиналь осложнена второстепенными складками небольшой амплитуды (20 – 30 м). Восточное крыло синклинали в долине руч. Тептегуйа осложнено двумя разломами широтного и северо-западного простирания. Ширина синклинали изменяется от 18 км на севере до 26 км на юге (Рис. 5.3).

Прогиб развивается и в галогенно-карбонатной части разреза, что отчетливо наблюдается на сейсмическом разрезе. По всей видимости, Мечикский прогиб является компенсационной депрессией, образовавшейся в результате оттока соли при формировании Жигаловского и Средне-Хандинского валов. Прогиб отделяет Средне-Хандинский и Жигаловский валы от Хандинско-Тулуктумурского вала.

В районе Жигаловского и Средне-Хандинского валов выщелачивание каменных солей по глубоким разломам и сети многочисленных трещин могло проявляться в широких масштабах, на что указывает обилие в разрезе сульфатно-глинистых разностей пород. Масштабное проявление соляной тектоники также оказало влияние на состояние покрывки для келорского горизонта литвинцевской свиты (Рис. 5.3).

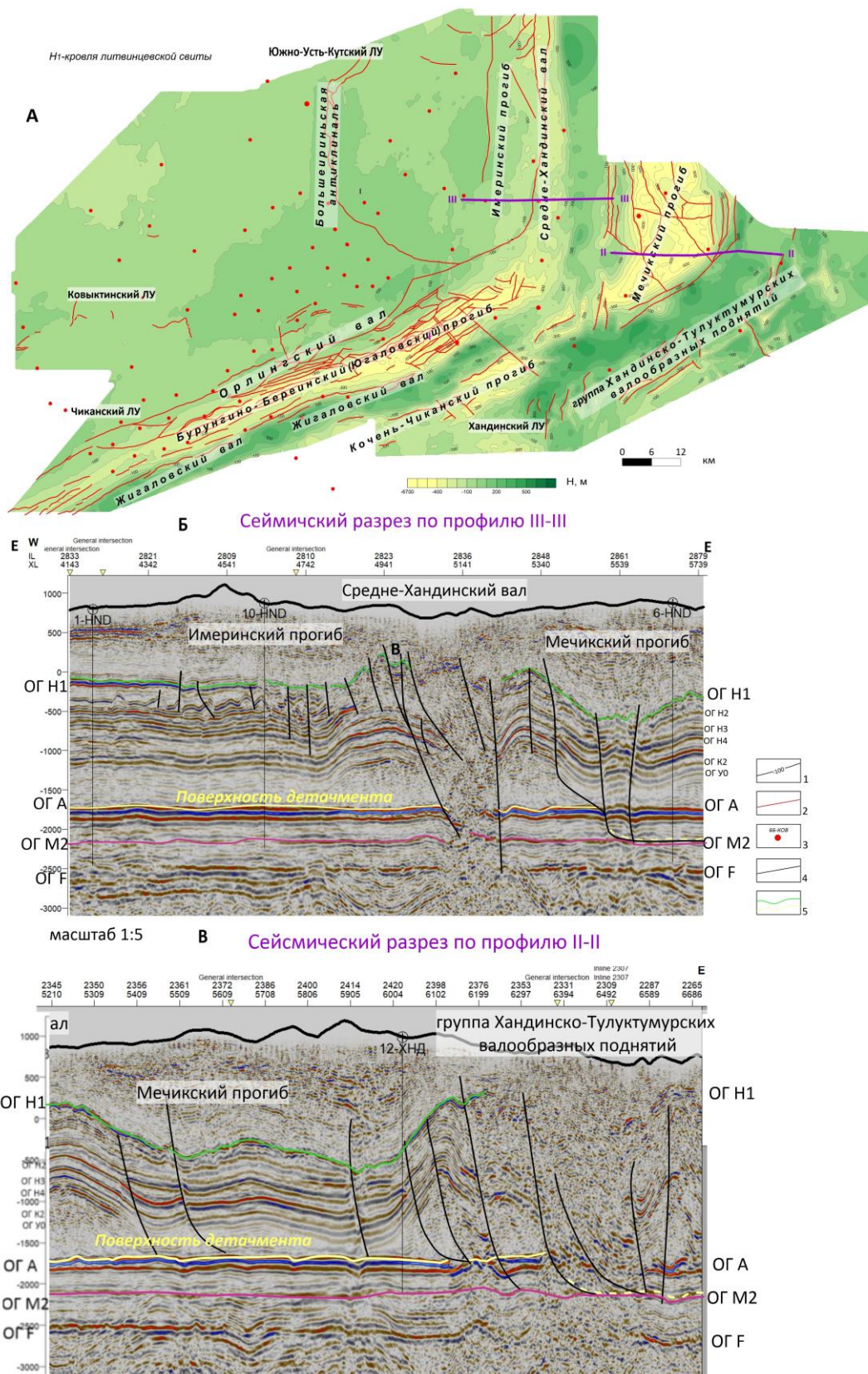


Рис. 5.3 Строение Хандинской зоны: А – структурная карта по кровле литвинцевской свиты; Б – сейсмический разрез по линии III-III. D – сейсмический разрез по линии II-II.

Условные обозначения: 1 – изогипсы кровли литвинцевской свиты, м; 2 – тектонические нарушения по данным ГРР; 3 – скважины глубокого бурения; 4 – предполагаемые тектонические нарушения; 5 – трассировка отражающих горизонтов.

Сложно построенный **Средне-Хандинский вал** представляет собой субмеридионально ориентированную положительную структуру амплитудой 200 – 300 м и шириной 15 – 16 км. Западное крыло осложнено сбросами амплитудой 20 – 30 м. По данным сейсморазведки в его составе объединены два параллельно расположенных высокоамплитудных вала шириной 4 – 5 км каждый. Между ними выделяется протяжённая зона интенсивно дислоцированных отложений галогенно-карбонатного комплекса. Вверх по разрезу оба вала объединяются в единый Средне-Хандинский. На западе вал граничит с Имеринским прогибом (Рис. 5.3)..

На юго-востоке Ковыктинско-Хандинской зоны картируется группа **Хандинско-Тулуктумурских валообразных поднятий** (Рис. 5.3 – А, В). На поверхности эта группа поднятий прослеживается по выходам пород карбонатного кембрия с северо-востока на юго-запад воль левого склона долины р. Тулуктумура через водораздел рек Тулуктумура и Култуки, и в этом направлении уходит за пределы участка исследования. В пределах Хандинского ЛУ вал имеет протяженность около 70 км, ширина 5 – 8 км, амплитуда 4010 – 800 м. Свод вала сложен породами карбонатного кембрия. Юго-восточное крыло опущено опущено по сбросу, но с меньшей амплитудой – 100 – 150 м. Вал осложнен кулисообразно расположенными куполовидными поднятиями, сложенными в сводах породами ангарской и литвинцевской свит объединенных и имеющими размеры в поперечнике от 2 до 8 км при амплитуде 500 – 600 м.

В автохтоне поведение структурных поверхностей подсолевого комплекса повторяет поведение поверхности фундамента. Здесь в сторону Хандинско-Тулуктумурской зоны тектонических нарушений наблюдается плавный подъем всех структурных поверхностей подсолевого комплекса (Рис. 5.3).

Многочисленные тектонические нарушения картируются в составе солевого комплекса в интервале ангарско-литвинцевских отложений. Практически весь соленосно-карбонатный комплекс характеризуется динамически слабыми параметрами, наклонными и прерывистым положением осей синфазности. Разломы здесь носят, главным образом, сдвиговый или сдвиго-надвиговой характер, так как отчетливо прослеживается смещение осей синфазности вдоль выделенных разломов (Рис. 5.3).

5.3. Жигаловская зона (Предбайкальский сектор)

Жигаловский вал заложен по долгоживущему глубинному разлому в фундаменте [Карта..., 2010; Анциферов, 1964] ограничивает территорию исследования с юга. Вал представляет собой крупную антиклинальную структуру, вытянутую в северо-восточном направлении. В ядре вала выходят на поверхность породы верхоленской и литвинцевской свит. Превышение вала над основаниями смежных структур уменьшается с запада на северо-

восток от 1000 – 1200 до 160 – 300 м. В поперечном сечении вал имеет асимметричную форму с более крутым юго-восточным крылом. Свод осложнен тектоническим нарушением с амплитудой смещения от 50 до 1200 м (Рис. 5.4).

На северо-западе Жигаловский вал граничит с *Бурунгино-Береинским (Югаловским)* прогибом шириной 4 – 6 км, амплитудой до 160 м, вытянутым параллельно ему в северо-восточном направлении. В свою очередь этот прогиб отделяет Жигаловский вал от *Орленского вала*, представляющего собой осложненное локальными структурами поднятие амплитудой более 200 м. На юге Жигаловский вал окаймляет *Кочень-Чиканский прогиб*, протягивающийся в северо-западном направлении в сторону Хандинского участка и разделяющий Жигаловский и Хандинско-Тулуктумурский валы.

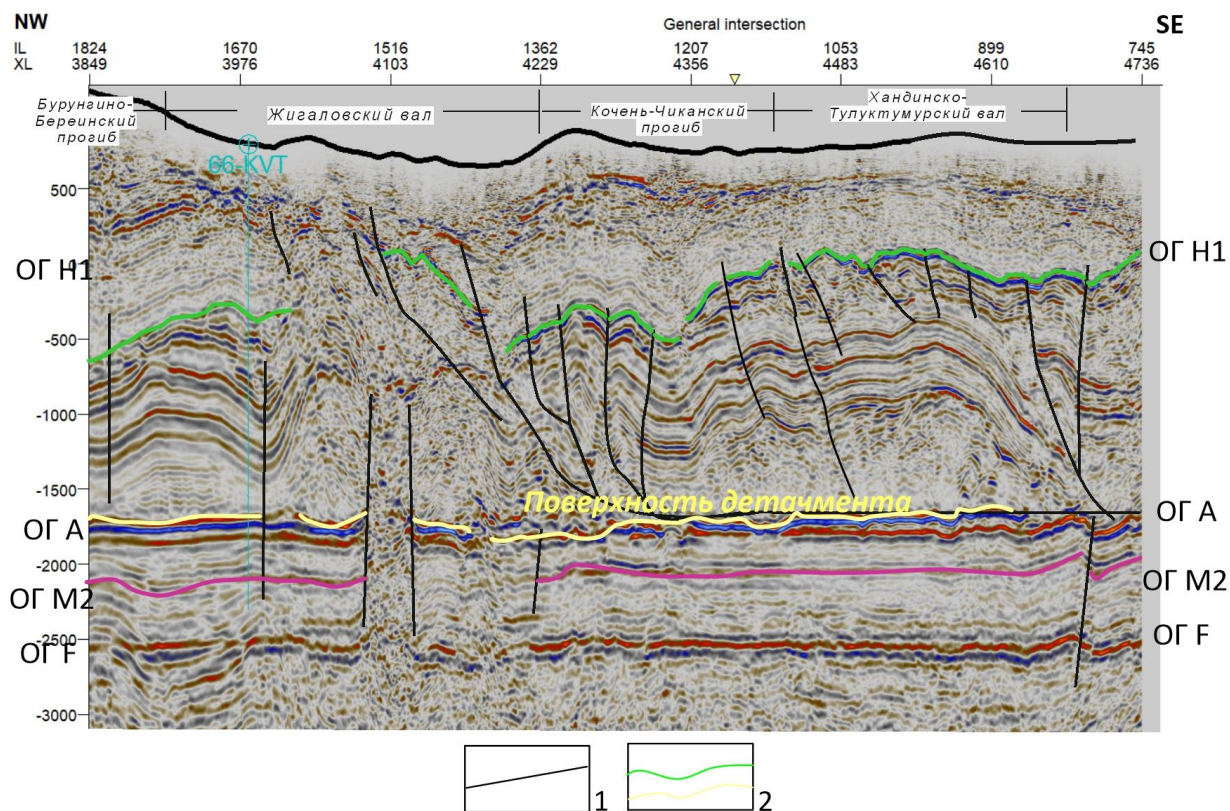


Рис. 5.4 Сейсмический разрез через Жигаловский вал с элементами интерпретации.

Условные обозначения: 1 – предполагаемые тектонические нарушения; 2 – трассировка отражающих горизонтов.

По данным ГРП приведена трактовка надвиговой составляющей на фрагментах временных сейсмических разрезов, проходящих через скважины 5 и 11 Чиканского ЛУ (северо-восточное крыло вала) и выровненный на ОГ U0. На нем видно, что интервал усольской свиты, в районе поднятия, осложнен надвиговой тектоникой, обусловленной соляным тектогенезом во внутреннем поле Жигаловского вала. На карте среза куба

когерентности скважины попадают в область минимальной когерентности, которую можно отождествить с зоной трещиноватости (Рис. 5.5).

В западной и центральной частях площади исследований, в основном, преобладает сдвиговая тектоника, преимущественно, субмеридионального северо-восточного простирания, практически параллельная разломам Жигаловского вала.

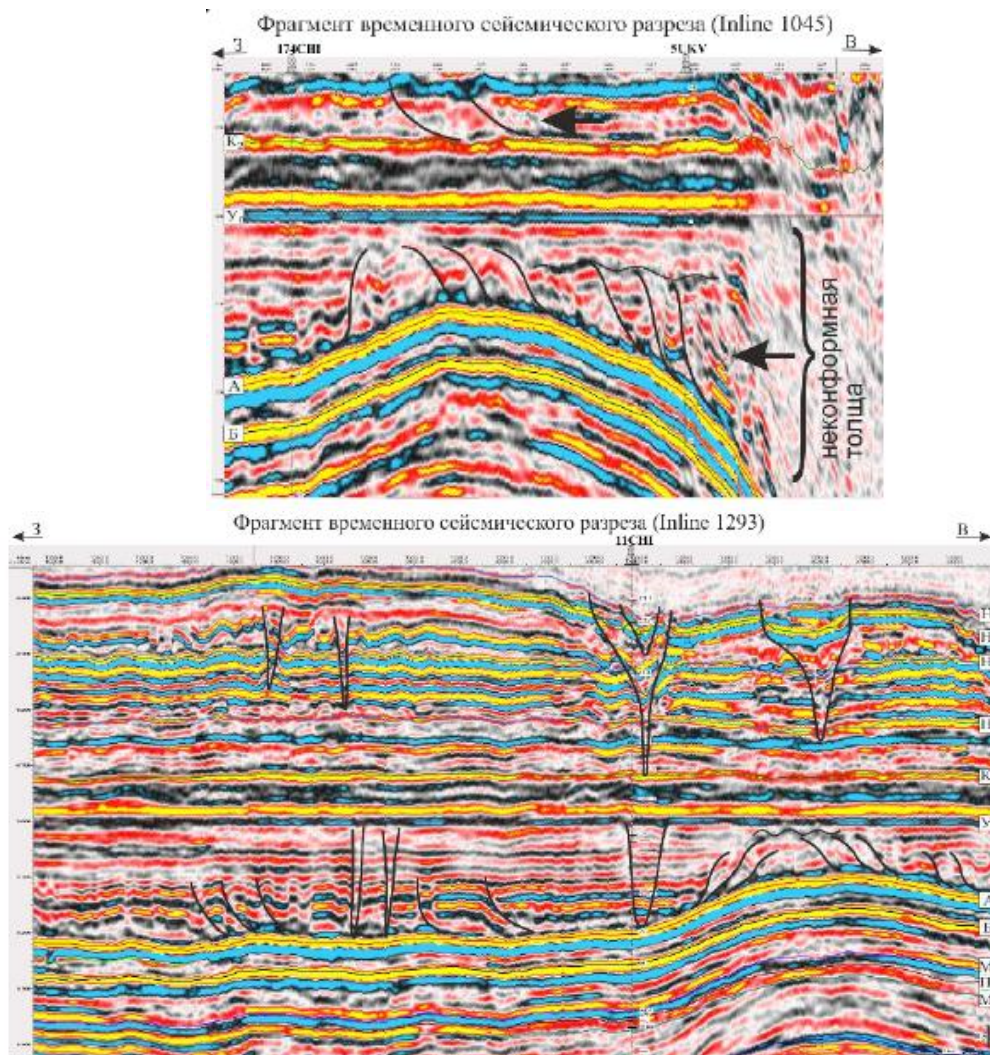


Рис. 5.5 Трактовка надвиговой составляющей на фрагментах временных сейсмических разрезов по данным ГРП (масштаб 1:5).

Необходимо отметить, что юго-западу скважинах №175, 176-Рудовских в пределах Жигаловского вала вскрыто сдвоение разреза в интервале галогенно-карбонатной части разреза (верхнебельская и нижнесреднебельская подсвиты), тем самым подтверждая наличие надвига с повторением пород в висячем и лежащем крыле (Рис. 5.6).

На скважине 176 Рудовской в 1989г. в 4 км от поселка Жигалово из коллектора в средней части усольской свиты получен аварийный фонтан рассола дебитом 3000 м³ в сутки с содержанием сероводорода.

Практически все рапопроявляющие скважины с АВПД приурочены либо к висячему крылу надвига – аллохтону, чешуйчатому вееру, реже – к собственно осевой части соляного вала, т.е. фронтальной зоне надвига.

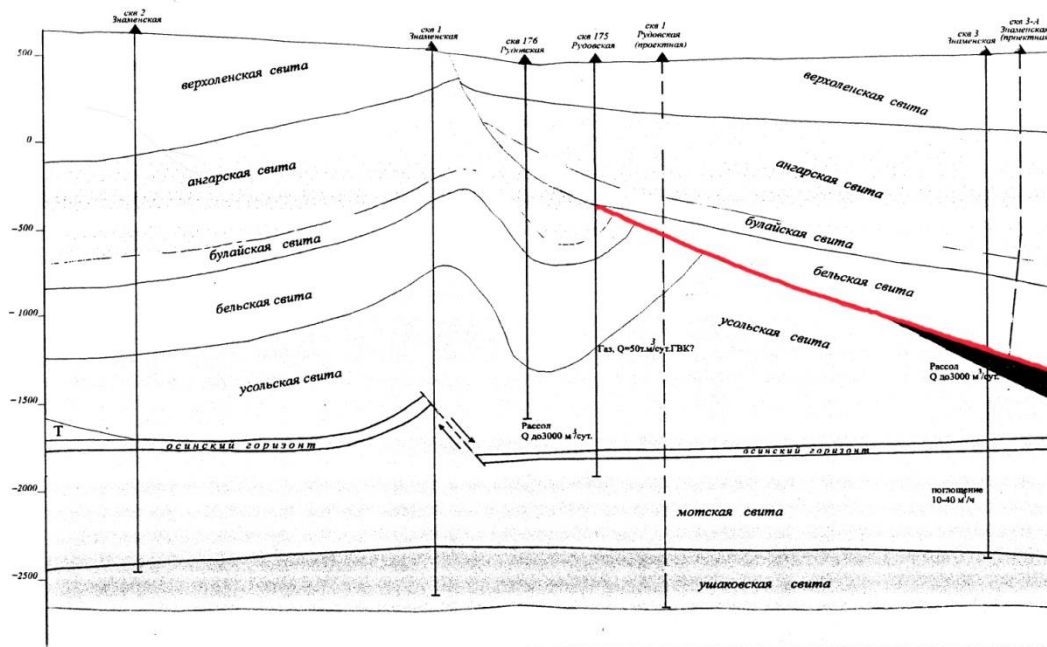


Рис. 5.6 Геологический разрез вкрест простирания Жигаловского вала через Знаменский лицензионный участок (по материалам ГПП ВостСибнефтегазгеология).

В пределах Ковыктинско-Хандинской зоны тектонические нарушения в плане преобладают на юге и востоке площади в пределах Орлинского, Жигаловского, Средне-Хандинского валов и примыкающих к ним прогибов.

Максимальное развитие трещиноватости в карбонатных пластах установлено в приосевых частях пликативных структур и в более крутых перегибах их крыльев, то есть на участках повышенных тектонических деформаций.

Виргации, изменение направления простирания главных осей линейной складчатости в зоне сочленения Жигаловского и Хандинского валов могут быть геологическим аргументом «клавишного», поэтапного воздымания отдельных блоков кристаллического фундамента от Ковыктинского выступа на юг и развитием (проградацией) линейной аллохтонной складчатости в несколько этапов. Жигаловский и Хандинский валы по сравнению с известными линейными структурами соляной складчатости наиболее разрушены в осевых частях и к новейшему времени деградировали.

Границами блока являются Большеириньская антиклиналь на западе, Орлингский вал на юге, Имеринский прогиб на востоке. На севере блок ограничен со стороны Когонайской и Таюрской синклиналей. Наиболее высокая степень дислоцированности разреза характерна для краевых частей блока. Внутри блока авторами предполагалось существование общей зоны относительно повышенной напряженности как по горизонтали, так и по вертикали. Наиболее деформированные зоны ожидалось в условиях восточных склонов антиклиналей, днищ антиклинальных складок, приразломных зон. Это позже подтверждено по результатам тектонофизического анализа [Seminsky et al., 2019]

По результатам интерпретации куба 3D-МОГТ 2016 года было уточнено структурно-тектоническое строение юго-западного ограничения данного блока (Рис. 5.7). Выявлено протяженное разрывное нарушение сдвигового типа осложняющее строение южного крыла блока [Misyurkeeva et al., 2022].

5.4.1. Внутреннее строение Орлингской аллохтонной пластины по данным комплексной интерпретации геофизических данных и глубокого бурения

По данным комплексной интерпретации геолого-геофизических данных удалось повысить точность модели структурно-тектонического строения обособленного блока в северо-восточной части Ковыктинского ЛУ.

По данным сейсморазведочных исследований 3D МОГТ в северо-восточной части Ковыктинского ГКМ автором выделена **Орлингская аллохтонная пластина** [Вахромеев и др., 2018; Мисюркеева и др., 2018; Misyurkeeva et al., 2022] (по одноименному названию реки, протекающей в пределах блока с севера-на юг) со сложным чешуйчатым строением, представляющая собой самостоятельный блок в толще нижнего кембрия, характеризующийся развитием парагенезиса складчато-надвиговых и сдвиговых дислокаций, образованных за счет тангенциального сжатия со стороны складчатого обрамления (Рис. 5.8). Площадь пластины составляет около 2 тыс. км².

Обособленность пластины на фоне строения галогенно-карбонатной части разреза месторождения следует по всему галогенно-карбонатному комплексу (от литвинцевской до усольской свиты) (Рис. 5.9). Границами пластины являются Большеириньская антиклиналь на западе, Имеринский прогиб на востоке, система кулисообразных сбросов и северная часть Орлингского вала на юге.

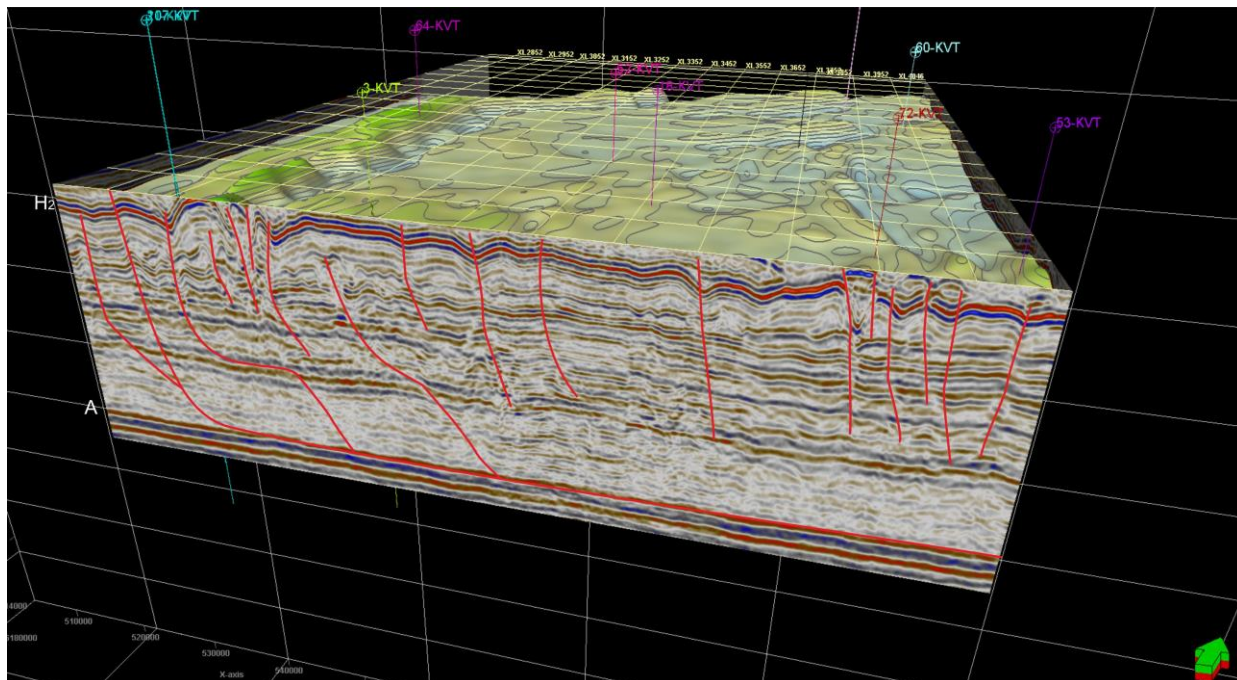


Рис. 5.8 Фрагмент куба 3D МОГТ (по данным ГРР) Орлингской аллохтонной пластины с элементами интерпретации автора.

5.4.2. Морфология складчатости в свитах нижнекембрийской толщи

Практически перпендикулярно выделенной на юге серии сбросов в направлении на север северо-восток в пределах пластины расходятся целая серия структур, но уже менее амплитудных, представляющих собой сложное сочетание положительных и отрицательных структурных форм. Серия складчатых структур представлена как крупными, так и более мелкими антиклинальными складками (Рис. 5.4, Рис. 5.9). Субпараллельно всем выделенным антиклинальным структурам с востока следуют окаймляющие их прогибы, а также зачастую сопровождающие их зоны повышенной трещиноватости. Субпараллельное расположение складок в плане может свидетельствовать об их генетическом единстве, и об общности движения материала при формировании складок [Мисюркеева, Вахромеев и др., 2019].

В пределах пластины отмечается три основных системы разрывных нарушений – субмеридиональная, северо-западная, и в отдельных случаях субширотная. Наиболее высокая степень дислоцированности разреза характерна для краевых частей блока, что довольно четко отражается на картах когерентности галогенно-карбонатной части разреза по основным горизонтам (Рис. 5.9). Внутри блока, по-видимому, существует общая зона относительно повышенной напряженности галогенно-карбонатной толщи как по горизонтали, так и по вертикали.

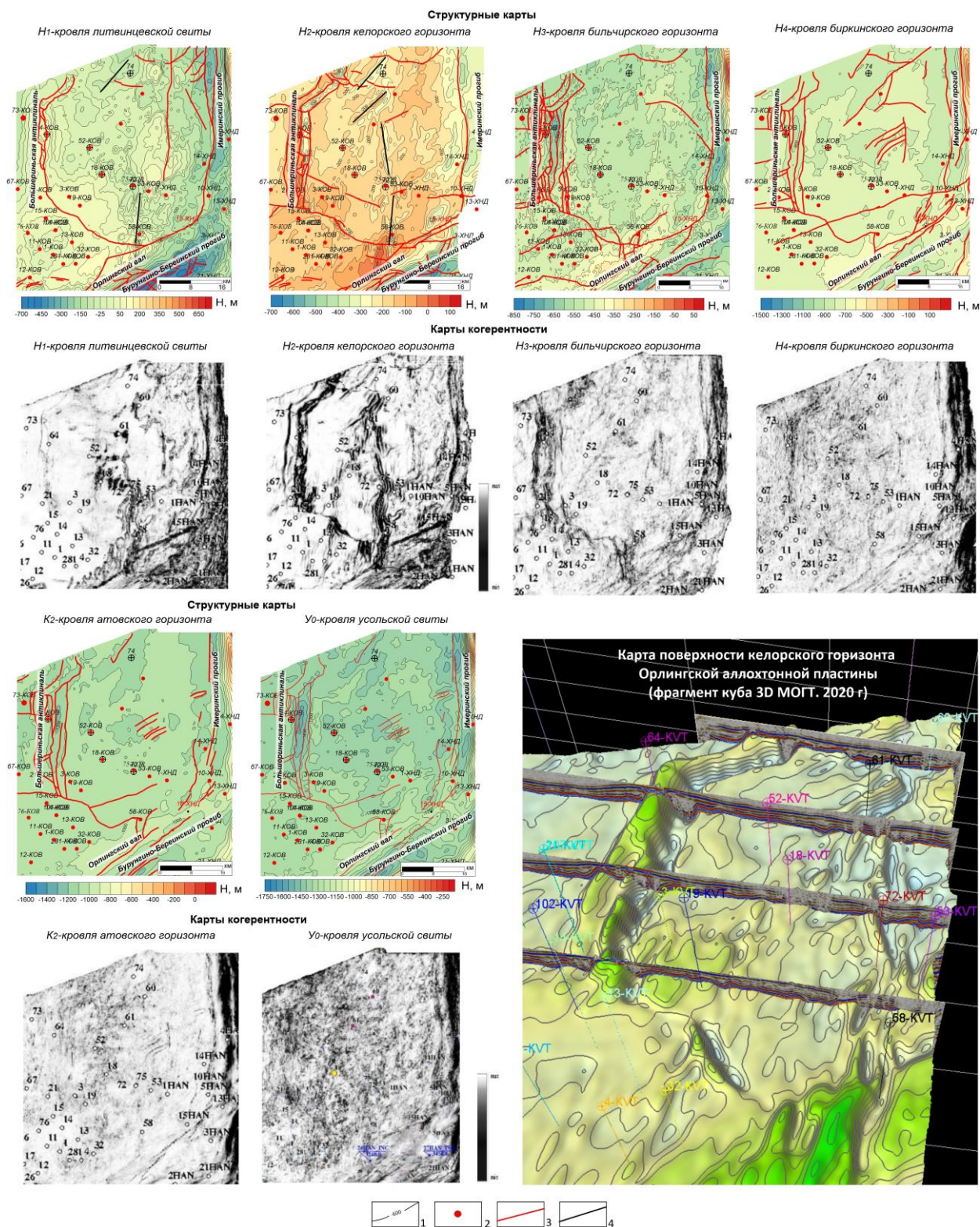


Рис. 5.9 Строение Орлингской аллохтонной пластины по галогенно-карбонатной части разреза в северо-восточной части Ковыктинского ГКМ, по данным ГРП

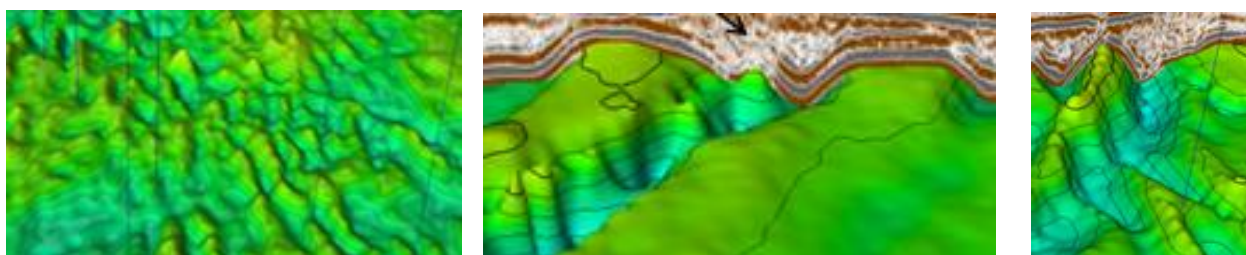
Условные обозначения: 1 – изолинии структурной поверхности, м; 2 – скважины глубокого бурения; 3 – тектонические нарушения по данным 3D МОГТ; 4 – предполагаемые тектонические нарушения.

Необходимо отметить, что по выделенной серии кулисообразных сбросов, практически перпендикулярных к выявленным внутри блока разломам, данный блок по галогенно-

карбонатной части разреза опущен в среднем на 50 – 100 м относительно юго-западной части месторождения.

Развитие в пределах северо-восточной части ЛУ дискордантно ориентированных по отношению друг к другу и контролирующих выявленный блок систем разломов, связан, вероятно, со сменой их кинематических характеристик как следствия изменения направлений векторов напряжений регионального сжатия.

В пределах Орлингской пласти отмечаются сочетание различных типов складок: от мелких, слагающих обширные поля мелкой складчатости, до крупных, протяженностью в несколько десятков километров коробчатых антиклиналей, гребневидных складок (Рис. 5.10).



А. Мелкая складчатость

Б. Коробчатая

В. Гребневидная

Рис. 5.10 Типы складок в пределах Орлингской аллохтонной пластины по данным ГРР

Наиболее крупная структура пластины, в форланде ограничивающая ее с запада – Большеириньская антиклиналь (вал), в поперечном сечении представляет собой крупную антиклинальную структуру коробчатой формы [Мисюркеева и др., 2018, 2021; Misyurkeeva et al., 2022 (Рис. 5.11) .

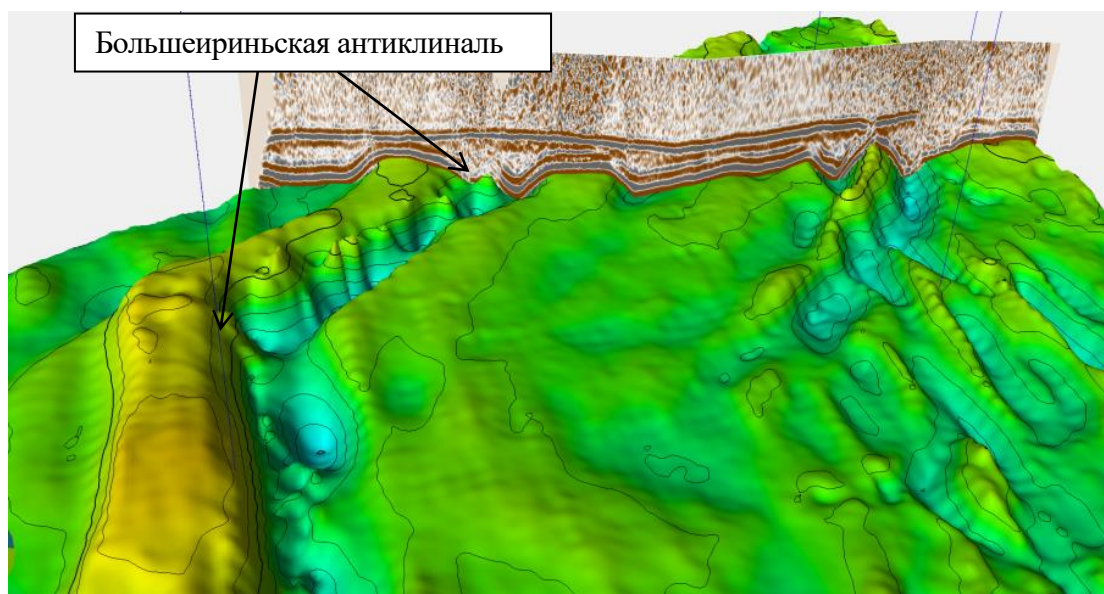


Рис. 5.11 Крупная коробчатая складка по кровле келорского горизонта (Большеириньская антиклиналь) на территории Ковыктинского ЛУ.

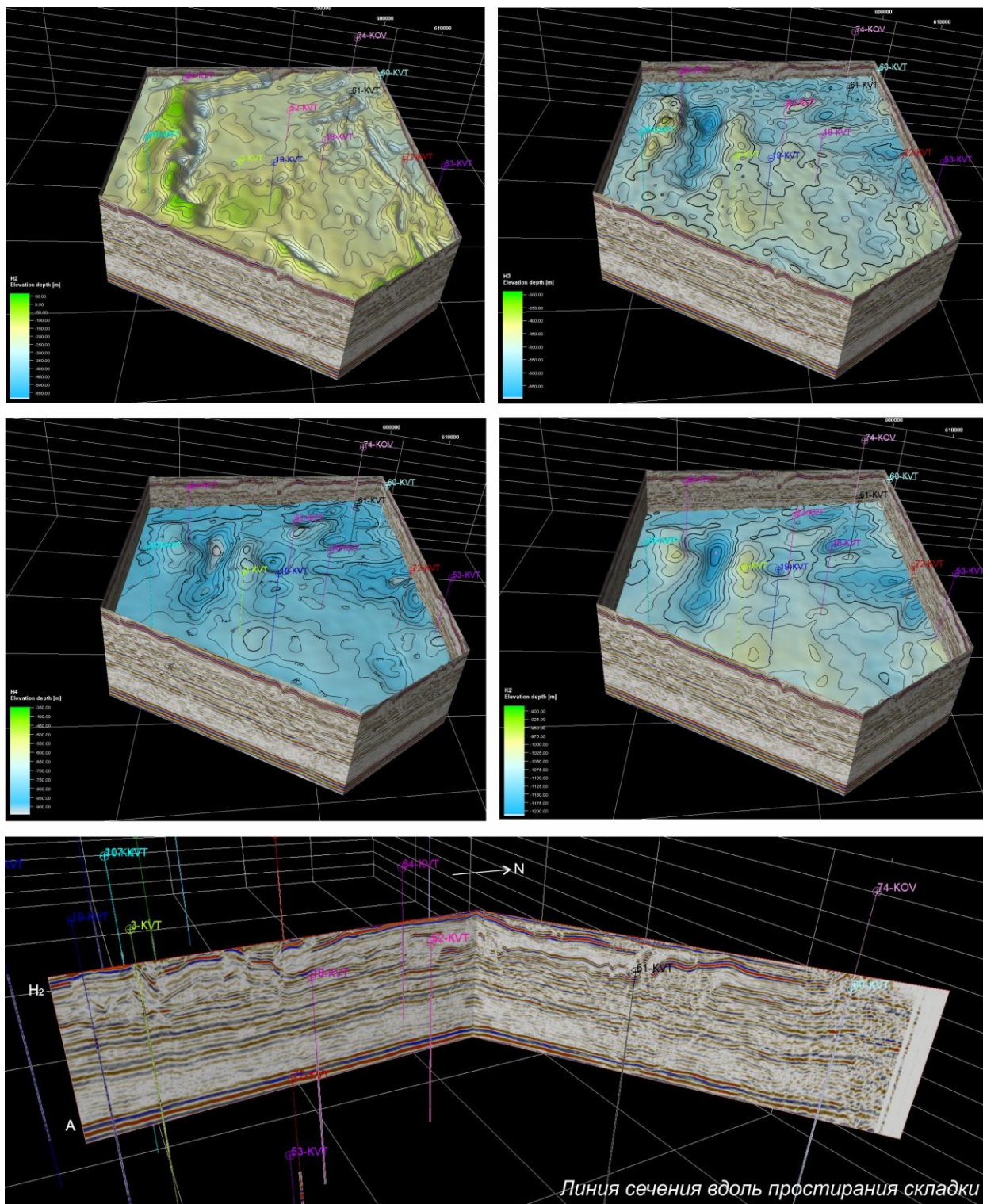


Рис. 5.12 Аксонометрическая проекция Орлингской аллохтонной пластины.

Наиболее полно складка прослеживается по келорскому горизонту литвинцевской свиты. Это положительная структура амплитудой 200 – 250 м и шириной 3 – 5 км, протягивается через площадь исследования в субмеридиональном направлении на 26 км. Затем, антиклиналь через коленообразный изгиб меняет направление на северо-восток и протягивается до 15 км за пределы площади исследования. Изменение в направлении

структуры связывается, вероятно, с меняющимся полем напряжения при формировании складчатости, отражающего разные динамические режимы [Сизых, 2001; Мисюркеева и др., 2021].

Замок складки плоский, крылья крутые. Западное крыло осложнено тетконическими нарушениями. На всем протяжении складки шарнир неоднократно ундулирует (Рис. 5.12).

По данным сейсморазведки, по келорскому горизонту, в южной части антиклинали объединены две параллельно расположенных узколинейных высокоамплитудных соляных складки, разделенных зоной разлома. В центральной части ширина складки достигает 4 – 5 км, в пределах северо-восточной периклинали около 2 км. На протяжении складки субпараллельно с востока следует прогиб.

Ниже, на уровнях ангарской, бельской и усольской свит контуры складки менее четкие. Через прогиб к востоку от складки следится подобная структура того же простирания.

Для определения тектонотипа Большеириньской антиклинали использована методика [Гайдук, Прокопьев, 1999; Jamison, 1987], согласно которым, формирование надвигов сопровождается дизъюнктивно-пликативными дислокациями и все их многообразие сводится к трем типам (Рис. 5.13):

- 1) складки срыва
- 2) складки продолжения надвига (взбросо-складки);
- 3) складки изгиба-надвига (рамповые складки)

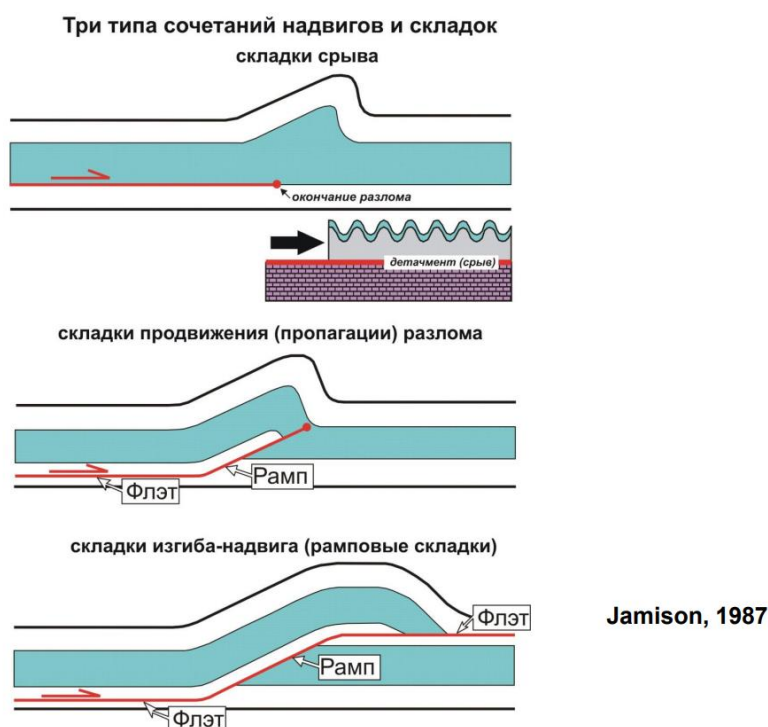


Рис. 5.13 Дизъюнктивно-пликативные дислокации надвиговой системы.

Взбросо-складки, складки срыва и рамповые складки в «чистом» виде встречаются редко. Они либо деформируются при образовании последующих надвигов, либо образуют совместные комбинации. Например, взбросо-складка может трансформироваться в рамповую складку и наоборот. Формирование складок затухающего надвига (взбросо-складок и складок срыва) может смениться формированием незатухающего секущего надвига.

Анализируя вышеизложенное, в первую очередь, можно сделать вывод о том, что Большериньская складка является тектонотипом складки срыва коробчатой формы. Учитывая тот факт, что такие складки формируются при наличии пластичных слоев (эвапоритов, глин и т.д), в данном случае солей, по которым трассируется детачмент (тектонотипом являются коробчатые и шевроновые складки Юрских гор, Загросский пояс) (Рис. 5.14).

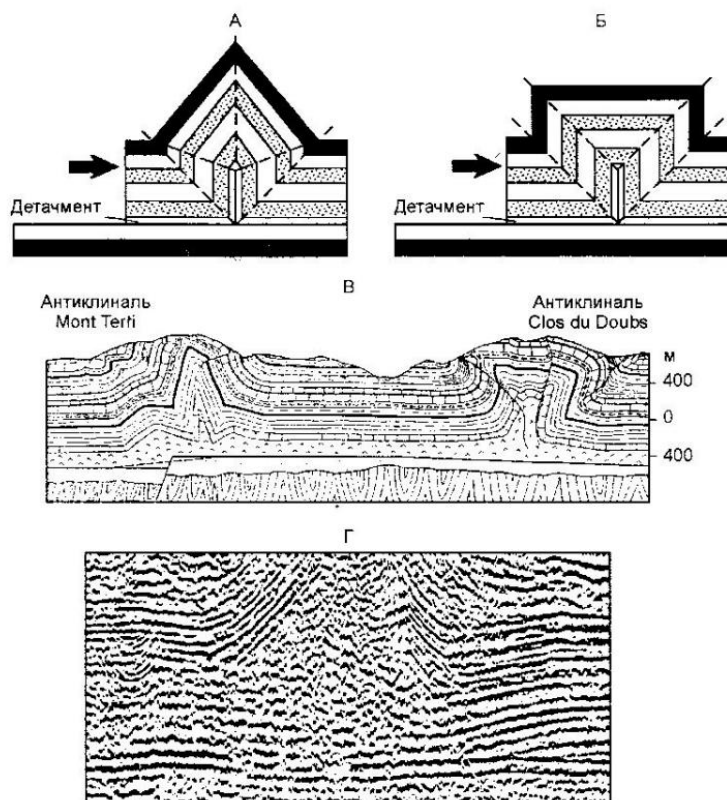


Рис. 5.14 Геометрические модели шевронных (А) и коробчатых (Б) складок срыва и их природные аналоги в Юрских горах (В) и в Предпатомском прогибе (Г) [Гайдук, Прокопьев, 1999]

Детальный анализ секущих сейсмогеологических разрезов приводит к модели активной подвижной средней части соленосной толщи кембрия, в которой последовательно сформирована сложная надвиговая система – «дуплекс» с тыловым падением чешуй. Верхние части литвинцевской, верхоленской свит и толщи ордовика играют роль жесткой плиты, ниже

которой наблюдаются деформации в виде поля мелкой дисгармоничной складчатости. Трехмерная модель рассматриваемого объекта, учитывающая сокращение подвижного интервала разреза галогенно-карбонатной толщи, показана на Рис. 5.15.

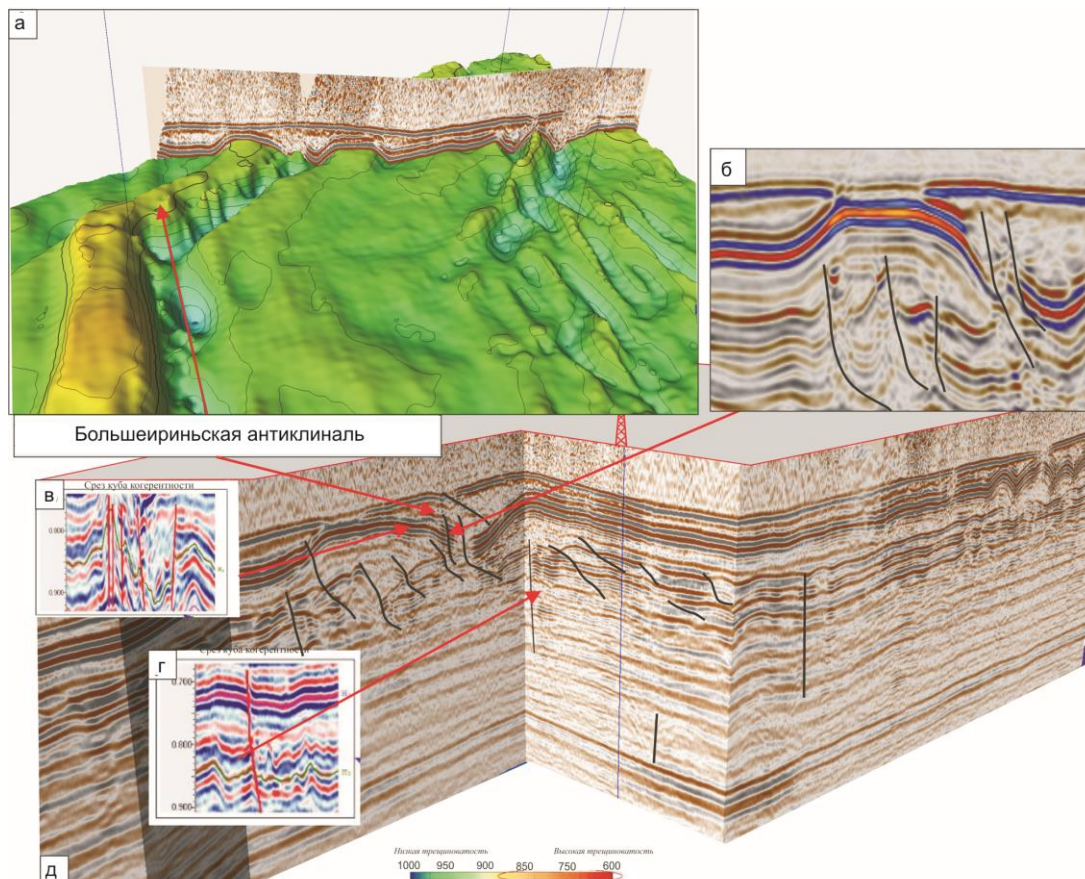


Рис. 5.15 Большеиринская антиклиналь (вал) как западное фронтальное ограничение Орлингской надвиговой системы (аллохтона): а – в изометрии по данным интерпретации сейсмического куба с 3D МОГТ; б – фрагмент складки в разрезе по данным сейсморазведки; в – в объемной модели надвиговой пластины; детализация участков структурно-тектонического осложнения в галогенно-карбонатной толще: г – дизъюнктивные; д – пликативные с мелкой дисгармоничной складчатостью.

Развитие отдельного надвига в процессе миграции складчатости предполагает формирование поверхности срыва, смещение по ней пластины и «затухание» при релаксации блоковых напряжений. Причем новый надвиг развивается по новой плоскости срыва по отношению к предыдущей. Срыв и перемещение надвиговых пластин дуплекса сопровождалось формированием парагенезисов разрывов.

На Рис. 5.16 хорошо проявлена зона левостороннего сдвига в левом дизъюнктивном ограничении пластины, сопоставляемая с трассировкой Илимского разлома. Сопоставление современных структурных построений с материалами прошлых лет позволило установить, что

Орлингская надвиговая структура является южной частью («крылом») крупной Марковско-Ичерской зоны срывов (см. раздел 2) и области «веерного расхождения крупных линейных аллохтонных складок» в направлении на северо-запад – север из южного узла этой структуры (Рис. 5.16).

Установлено, что осадочный чехол на территории центрального блока Ковыктинского месторождения вовлечен в деформации полей напряжений двух секторов Байкало-Патомского надвигового пояса – Актикано-Непского и Прибайкальского. Этим обусловлено более сложное складчато-надвиговое строение осадочного чехла центрального блока. В его контурах в галогенно-карбонатной толще нижнего кембрия выявлена Орлингская аллохтонная пластина со сложным чешуйчатым строением, рамповым фронтальным ограничением. Детальными сейсмогеологическими исследованиями разреза установлен характерный тип структур надвиговой системы, близких к чешуйчатому вееру и дуплексу.

Таким образом, на основе детализации геолого-геофизических данных автором впервые выделена в качестве самостоятельной структуры надвигового типа Орлингская надвиговая пластина, ограниченная рамповой складкой в ее фронтальной части.

Из сопоставления геологических материалов прошлых лет сделан вывод [Вахромеев, Мисюркеева, др., 2019] о том, что Орлингская надвиговая пластина, дуплекс, является южным крылом весьма протяженной [Сизых, Лобанов и др., 2005] Марковско-Ичерской надвиговой пластины (системы), затухающей в области сочленения с Предбайкальским сектором Байкало-Патомской надвиговой системы [Сметанин, 2000; Дубровин, 1979; Замаараев, 1977].

Составлена уточненная схема соотношения надвиговых зон Актиткано-Непского и Предбайкальского надвиговых секторов (Байкало-Патомский надвиговый пояс) в пределах Ковыктинско-Хандинской площади (Рис. 5.17).

Территория исследования расположена в пограничной зоне стыка двух надвиговых секторов Байкало-Патомского надвигового пояса – южного (Прибайкальского) и центрального (Актиткано-Непского).

Южная часть Актиткано-Непского сектора представлена Южно-Усть-Кутской зоной веерных структур. С востока, вдоль трансконтинентального Байкало-Таймырского разлома глубинного заложения расположена Хандинская зона, а на запад она протягивается в виде Орлингской надвиговой пластины.

С юга-юго-востока на Ковыктинский выступ надвинута пластина с форландом в виде Жигаловского вала, расположенного над одноименным долгоживущим разломом, заложеным в фундаменте.

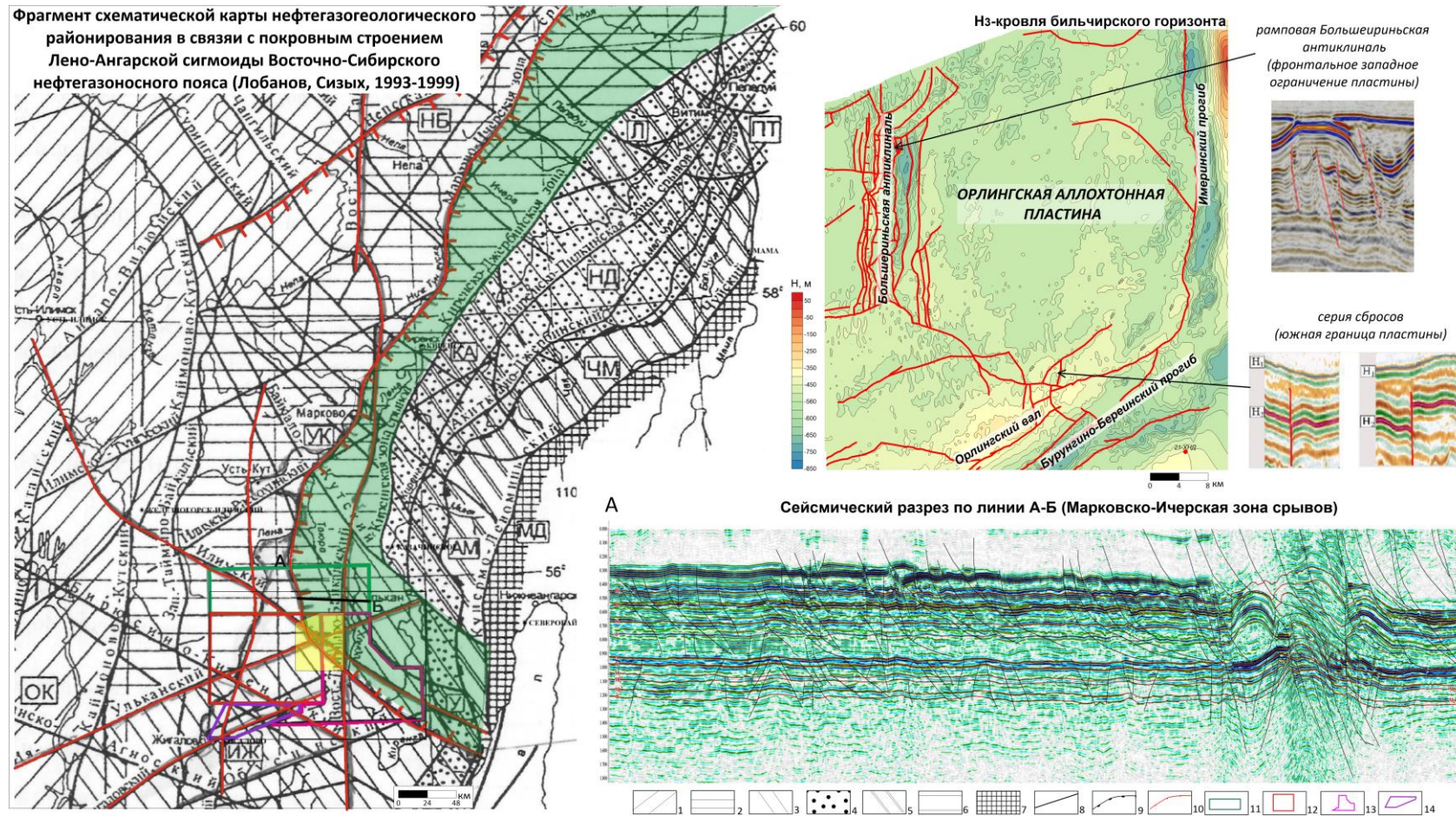


Рис. 5.16 Детализация внутреннего строения Большеиринского вала как составной части, фрагмента южного крыла Марковско-Ичерской надвиговой пластины, на основе модели [Сизых, Лобанов и др., 2005], с использованием новейших данных МОГТ 3D и бурения.

1 – западная нефтегазоносная зона (Ангаро-Вилуйская), секторы Окино-Катангский южный (ОК), Вилуйско-Тунгусский северный (ВТ); 2 – центральная нефтегазоносная зона (Непско-Ботубинско-Бельская), секторы Непско-Ботубинский северный (НБ), Усть-Кутский центральный (УК), Бельский южный (Б); восточная нефтегазоносная зона (Предсаяно-Предбайкало-Патомская); 3 – платформенный склон, слабо затронутый процессами шарьяжно-надвиговых дислокаций, секторы Иркутско-Жигаловский (ИЖ), Предсаяно-Предбайкало-Предпатомский, состоящий из: 4 – палеопрогибов Присаянского (ПР), Прибайкальского (П), Патомского (ПТ), Нюя-Джербинского (НД), 5 – зоны шарьяжно-надвиговых перекрытий с поднадвиговыми резервуарами углеводородного сырья: Ульканская (У), Актикано-Миньская (АМ), Кутимо-Абчадская (КА), Чуя-Миньская (ЧМ), Ленская (Л); 6–7 – кристаллический фундамент: 6 – шарьированный, вскрытый на краевых поднятиях, 7 – архей-протерозойский, подвергшийся деформированию вплоть до зон смятия метаморфно-метасоматическими процессами (корни шарьяжно-надвиговых ансамблей); 8 – разломы: Главный Саянский (ГС), Ольхонский (О), Мамско-Даванский (МД); 9 – современная граница чехла Сибирской платформы; 10 – система надвиговых дислокаций в осевой части рамповой Большеиринской аллохтонной антиклинали (вала); лицензионные участки: 11 – Южно-Усть-Кутский, 12 – Ковыктинский, 13 – Хандинский, 14 – Чиканский.



Рис. 5.17 Схематическая карта соотношения надвиговых зон Ачиткано-Непского и Предбайкальского надвиговых секторов в пределах Ковыктинско-Хандинской площади.

Условные обозначения: скважины: 1 – с рапопроявлением; 2 – с газо- и рапопроявлением; 3 – с газопроявлением; 4 – со смятием колонн; 5 – тектонические нарушения по данным сейсморазведочных исследований; 6 – тетконические нарушения по фундаменту ; 7 – границы надвиговых зон; 8 – Предбайкальский надвиговый сектор; 9 – Ачиткано-Непский надвиговый сектор.

Предпринята попытка построения сбалансированного разреза для построения геометрически непротиворечивого структурного разреза через надвиговую пластину. Для того чтобы проверить, является ли разрез сбалансированным или нет, его нужно развернуть в недеформированное состояние («распрямить» складки и сместить слои по разломам в обратном направлении). Если разрез сбалансирован, то на восстановленном разрезе все слои должны совместиться вдоль траектории надвигов без пробелов и перекрытий [Dahlstrom, 1969].

При построении сбалансированных разрезов, помимо условия сохранения длины слоев, может быть введен ряд дополнительных условий (ограничений), являющихся, по существу, основными эмпирическими закономерностями строения надвиговых систем. Общими для всех надвиговых систем являются закономерности, сформулированные С. Дальстремом [Dahlstrom,

1969]: 1) отсутствие складчатых и постскладчатых деформаций в автохтоне; 2) связанность надвигов с детачментом; 3) ступенчатая траектория надвигов; 4) выдержанность горизонтального сокращения вдоль надвиговой зоны; 5) ограниченный набор структурных форм, слагающих надвиговую систему. Применительно к конкретным надвиговым системам могут вводиться уточнения в вышеперечисленные условия.

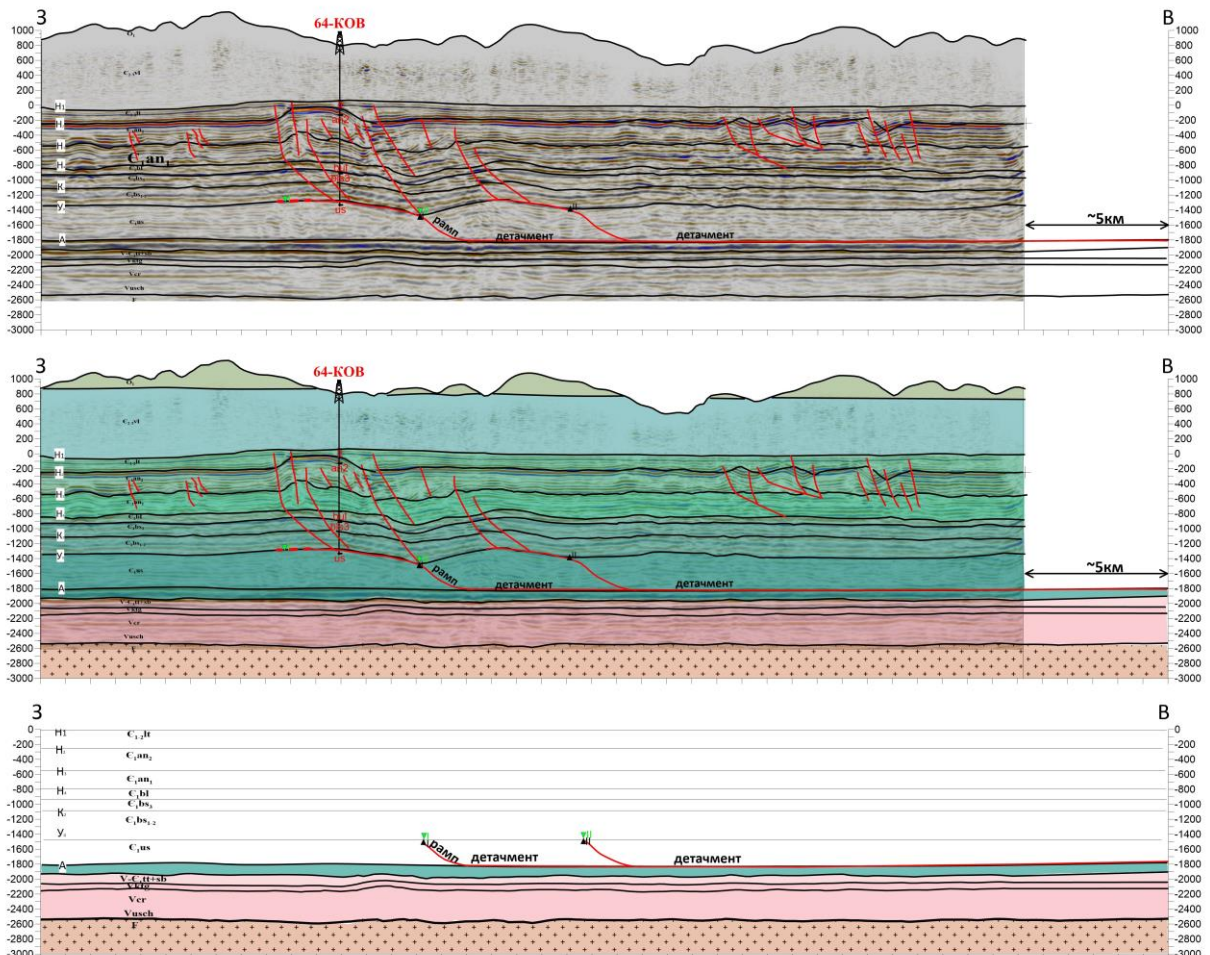


Рис. 5.18 Сбалансированный и восстановленный разрезы (соотношение вертикального и горизонтального масштабов для визуализации 1:5), версия автора.

Линия профиля выбрана автором перпендикулярной простиранию структур (параллельна направлению тектонического транспорта). В данном случае выбрано широтный профиль через Орлингскую аллохтонную пластину и ее фронтальное ограничение – Большеириньскую антиклиналь (Рис. 5.18).

Определена кровля автохтона (осинский горизонт) и нанесена на разрез до начала балансировки. Стратиграфическая приуроченность кровли автохтона это одно и то же, что и стратиграфическая приуроченность детачмента.

Затем выбраны вертикальные линии отсчета, или пин-линии, которые должны находиться в недеформированной части краевого прогиба – перед фронтом надвиговой системы. Относительно пин-линии измеряется длина слоев. Предположительно установлено, что укорочение по надвигу в данной части площади составило около 5 км (Рис. 5.18).

Выводы Складчатые и разрывные структуры, выявленные в пределах изученной части Ковыктинского ГКМ на основе комплексного анализа данных геофизической разведки и глубокого бурения, относятся к двум секторам Байкало-Патомского надвигового пояса. Зона Жигаловского вала с сопутствующими дислокациями северо-восточного простирания принадлежит к Прибайкальскому сектору. Южно-Устькутская зона чешуйчатых вееров, Орлингская аллохтонная пластина и Хандинская складчато-надвиговая зона образовались при интенсивном сжатии пород в Ачиткано-Непском секторе, что привело к наибольшей нарушенности галогенно-карбонатной толщи в пределах восточной части изученной площади.

6. ГЕОЛО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВОГО СТРОЕНИЯ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА КАК ОСНОВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРР

Основные перспективы в газоносном отношении Ковыктинского месторождения связываются с терригенными отложениями вендско-рифейского и нижнекембрийского возраста, залегающими под мощной галогенно-карбонатной толщей нижнекембрийских пород.

Бурение глубоких скважин на территории Ковыктинского ГКМ в мощных солевых толщах – покрывках над залежами газа – нередко осложняется, и даже становится невозможным из-за высоконапорных фонтанов флюидов, обусловленных аномально-высокими пластовыми давлениями (АВПД). Самым тяжелым и опасным осложнением в процессе бурения на КГКМ является вскрытие объектов с аномально высоким пластовым давлением (АВПД), приуроченных к галогенно-карбонатной гидрогеологической формации. Межсолевые трещинные коллекторы приурочены к интервалам трещиноватости и кавернозности карбонатных образований (преимущественно доломитам), в качестве флюидопоров выступают мощные прослои солей.

Таким образом, необходимость учета внутреннего строения надвиговых структур является важной составляющей при обосновании детальной модели геологического строения осадочного чехла месторождения с целью более корректного проектирования ГРР, в первую очередь бурения [Мисюркеева, 2021; Misyurkееva et al., 2022].

При сопоставлении региональных геологических карт соляной тектоники, шарьяжно-надвиговой тектоники и распространения АВПД-объектов в глубоких скважинах на юго-восточной окраине Сибирской платформы, в границах Верхне-Ленской впадины сделан вывод, что территория с проявлением АВПД в плане располагается в зонах влияния Байкало-Патомского надвигового пояса или в поясе «фронтально-надвиговых и отраженных надфронтальных структур внутренней части платформы» [Вахромеев, 2000; 2015]. (Рис. 6.1).

Показано, что все аномально-приточные объекты локализованы в полосе Байкало-Патомской надвиговой системы, пространственно совпадают с зонами ухудшения записи картины волнового поля по МОГТ 2D и структурами проседания (компенсации), а также уверенно картируются методами площадной электроразведки за счет повышенной проводимости пород-коллекторов [Вахромеев, 2000; 2008б; 2015].

Вахромеевым А.Г [2015] были выделены определенные геолого-структурные особенности существования зон АВПД непосредственно для Ковыктинского ГКМ:

- существование двух этажей дисгармоничной складчатости – в «ангарских» и в «усольских» солях, что говорит в пользу большей напряженности геологического разреза, чем на смежных площадях к северу или юго-западу;

- сокращение расстояния между антиклиналями по сравнению с северной – «непской» зоной линейной складчатости;

- раскрытие веера складок центральной части КГКМ на север, т.е. расположение изучаемой зоны АВПД в своеобразном «узле», из которого расходится веер линейно-вытянутых валов – Усть-Кутского, Омолойского, Марковского и Казаркинского.

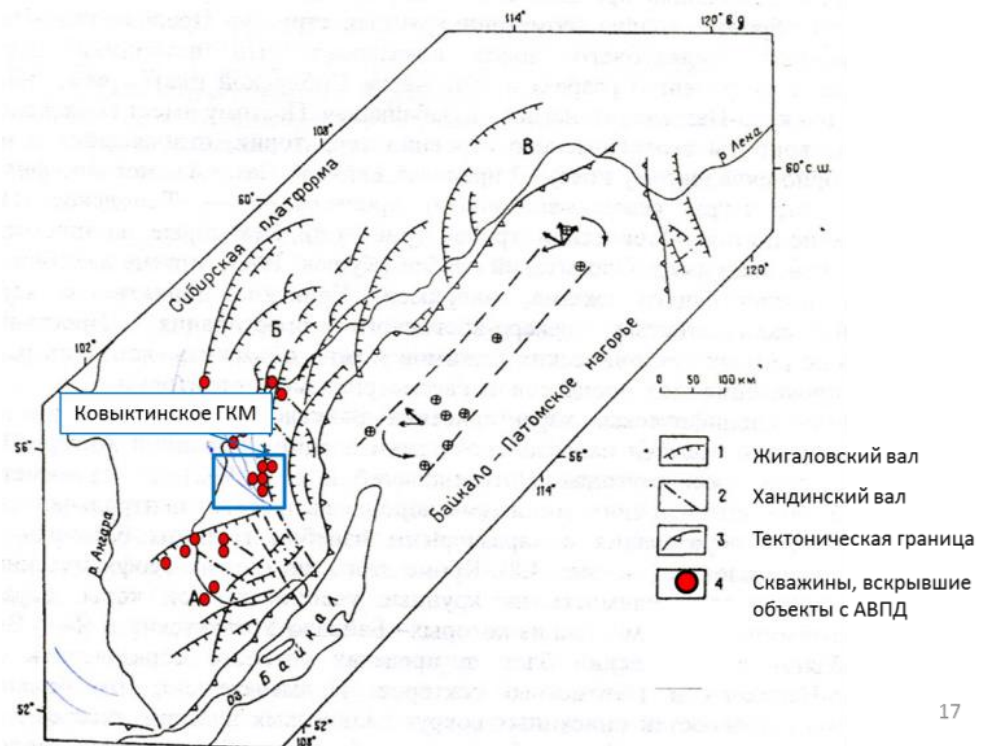


Рис. 6.1 Схема сопоставления фронтальных ограничений крупных надвиговых пластин Предбайкало-Патомского надвигового пояса и глубоких скважин с АК и АВПД в соленосной гидрогеологической формации осадочного чехла по [Сметанин, 2000] , с дополнениями [Вахромеев, 2008a].

Условные обозначения: 1 – Жигаловский вал, 2 – Хандинский вал, 4 – скважины, вскрывшие интервалы АК-АВПД.

Залежи концентрированных рассолов с АВПД, вскрытые наиболее высокодебитными скважинами в центральном блоке КГКМ, локализованы в контуре крупной Орлингской надвиговой пластины. Надвиговая система имеет сложное дуплексное внутреннее строение трещинного мегарезервуара кембрия.

В настоящей работе, по данным сейсморазведки МОГТ 3D и электроразведки методом ЗСБ с интерпретацией данных на основе комбинированного подхода 1D и 3D 3D- существенно уточнены внутреннее геологическое строение Орлингской аллохтонной пластины, южного крыла Аkitкано-Непского надвигового сектора Байкало-Патомского надвигового пояса [Misurkeeva et al., 2019; Мисюркеева и др., 2019, 2021a,б, Misurkeeva et al., 2022].

6.1. Прогноз условий бурения глубоких скважин на основе новой модели.

В пределах Орлингской аллохтонной пластины (Актикано-Непский надвиговой сектор) на сегодняшний день располагаются практически все скважины Ковыктинского месторождения, вскрывшие коллектор с АВПД, газо- или рапопроявлением в интервале галогенно-карбонатной части разреза, встречающиеся при бурении на основной перспективный горизонт (Рис. 5.17, Рис. 6.2).

Вторая группа скважин с газо- или рапопроявлениями относится к Чканскому месторождению, примыкающему с юга (Предбайкальский надвиговой сектор) (Рис. 5.17, Рис. 6.2).

Свита (гориз-т)	Зона газо- и рапопроявления в северо-восточной части Ковыктинского ЛУ									Чиканский ЛУ					
	Квт-26	Квт-27	Квт-3	Квт-18	Квт-52	Квт-53	Квт-60	Квт-61	Квт-64	Квт-72	Чик-11	Чик-22	ЮК-5	Грз-1	
Ангарская (бильчирский)	-488* Блч-1	-419 Блч-1	-632 Блч-4	-490 Блч-2	-576 Блч-3			-573* Блч-3 -641 Блч-4		-440* Блч-1					
Булайская (биржинский)	-	-	-	-870	-	-	-	-832*	-	-921					
Бельская (христофор.)	-	-	-	-1304	-1303		-1347	-1160							
Усольская (балыктинский)	-	-	-	-1412	-1357		-	-	-1348	н/в	-1320	-1382	-1503	-1471	-1716

- поглощение

- газопроявление

- рапопроявление

* газопроявление с H₂S

Газопроявление бильчирского гор-та (ангарская свита):
Квт-26 Q_г = 5-10 тыс. м³/сут, Q_в = 100 м³/сут
Квт-27 Q_г = 200 тыс. м³/сут,
Квт-18 разгазирование бур. р-ра
Квт-52 разгазирование бур. р-ра
Квт-61 выход УВ газа с содержанием H₂S
Квт-72 выход УВ газа с содержанием H₂S

Газопроявление биржинского гор-та (булайская свита):
Квт-18 Q_г = 3-5 тыс. м³/сут, при испытании – Q_г = 25 тыс. м³/сут
Квт-61 выход УВ газа с содержанием H₂S

Рис. 6.2 Проявления в скважинах Ковыктинского ГКМ.

Коллекторы приурочены к интервалам трещиноватости и кавернозности карбонатных образований (преимущественно доломитам), в качестве флюидоупоров выступают мощные прослой солей (Рис. 6.3). Керн представлен деформированными в мелкую складчатость карбонатными породами, фиксируются послонные срывы.

В ряде скважин Ковыктинского ЛУ установлено смятие обсадных колонн. Существует версия о пластическом течении солей, которое привело к смятию колонн, но больше нигде на территории КГКМ данный эффект не был зафиксирован. В ряде скважин факт смятия подтверждается невозможностью извлечения бурового инструмента, в других скважинах по косвенным признакам – ликвидации скважин из-за неполного цементирования обсадных колонн или несоответствия условиям эксплуатации.

В результате комплексной интерпретации сейсморазведочных, электроразведочных и геопромысловых данных выявлено, что рассолонасыщенные зоны АВПД располагаются в специфических геологических и тектонических условиях, локальные зоны аномального коллектора с АВПД достаточно четко проявляются в геофизических полях [Мисюркеева и др., 2013,2014; . Мисюркеева 2021а, 2022].

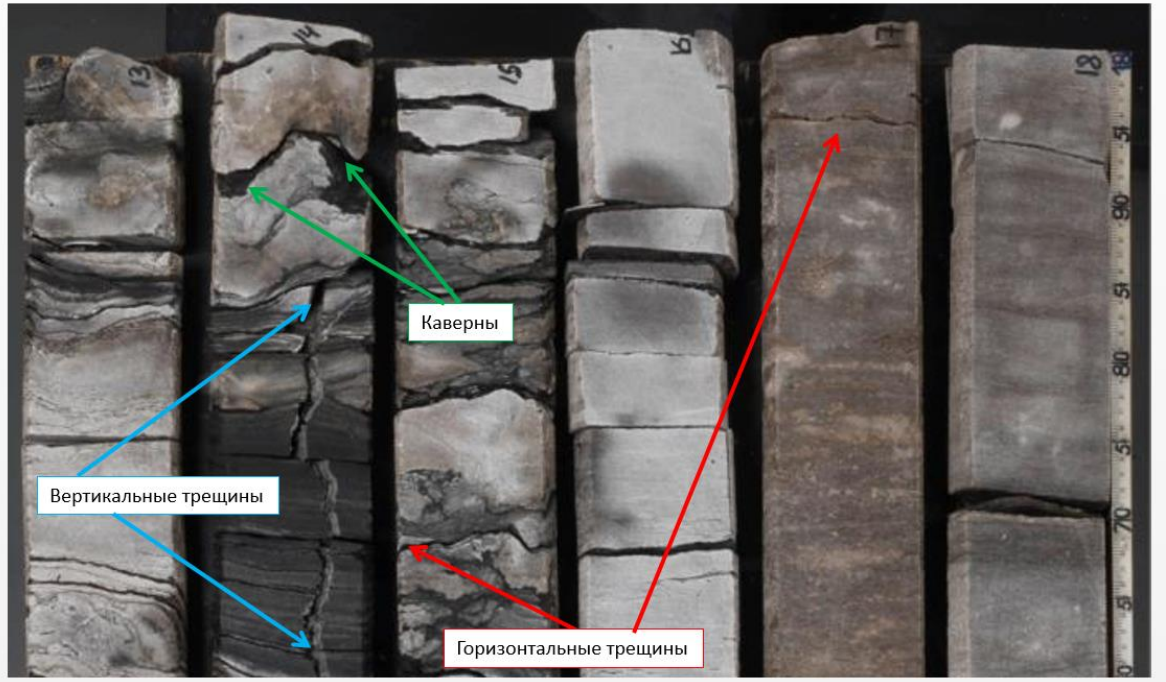


Рис. 6.3 Керн коллектора карбонатного горизонта: трещинно-поровый, трещинно-порово-кавернозный, трещинный.

Так, например, в районе скважины № 60-КОВ первые проявления зафиксированы на уровне *подошвы литвинцевской – кровли ангарской свит*. Здесь, по данным сейсморазведочных исследований отмечается интенсивная раздробленность отложений литвинцевской и ангарской свит, кроме того, интервал литвинцевской свиты затронут развитием подземного карста. По данным ВСП, наблюдается ярко выраженная анизотропия картины волнового поля [Барышев и др., 2006].

Подобные участки, по данным электроразведки характеризуется пониженными значениями сопротивления/повышенной проводимости. Области повышенной проводимости по данным ЗСБ отражают участки развития коллектора, которые при бурении могут проявлять себя выбросами рапы и газа, либо поглощениями бурового раствора. Часто, отмечается приуроченность подобных участков к зонам повышенной тектонической нарушенности.

Первый от поверхности горизонт, в котором проявлен коллектор с АВПД и притоками рапы – *бильчирский горизонт нижнеангарской подсвиты*. Бильчирский горизонт приурочен к верхней и средней частям нижнеангарской подсвиты. Сложен толстоплитчатыми доломитами с прослоями соли и ангидрито-доломитов, толщина 138 – 160 м. Состоит из четырех пластов (Б₁-Б₂-Б₃-Б₄), которые разделены пластами соли. Горизонт проявил себя поглощениями от 1-10 до 30-40 м³/ч, в ряде скважин – до полного. В скв. № 3-КОВ происходил самоизлив рапы, в скв. № 61-КОВ – незначительный приток газа с сероводородом (пласт Б₂₊₃) и приток пластовой воды до 4-5 м³/сут. (пласт Б₄). В скв. 26 при бурении на ГЖС получен выброс рапы 18,3 м³/ч и газа 10 тыс. м³/сут. с повышенным содержанием сероводорода и СО. В скв. № 27-КОВ при бурении получен выброс газа до 200 тыс. м³/сут.

При испытании получен приток газа 56 тыс. м³/сут, нефти конденсатного типа до 37 м³/сут. и незначительное количество пластовой воды. Выброс газа зафиксирован и в одной из новых разведочных скважин на КГКМ – скважине № 74-КОВ. Пенообразование и разгазирование бурового раствора отмечалось в скважинах №№ 51, 52, 60-КОВ и др.

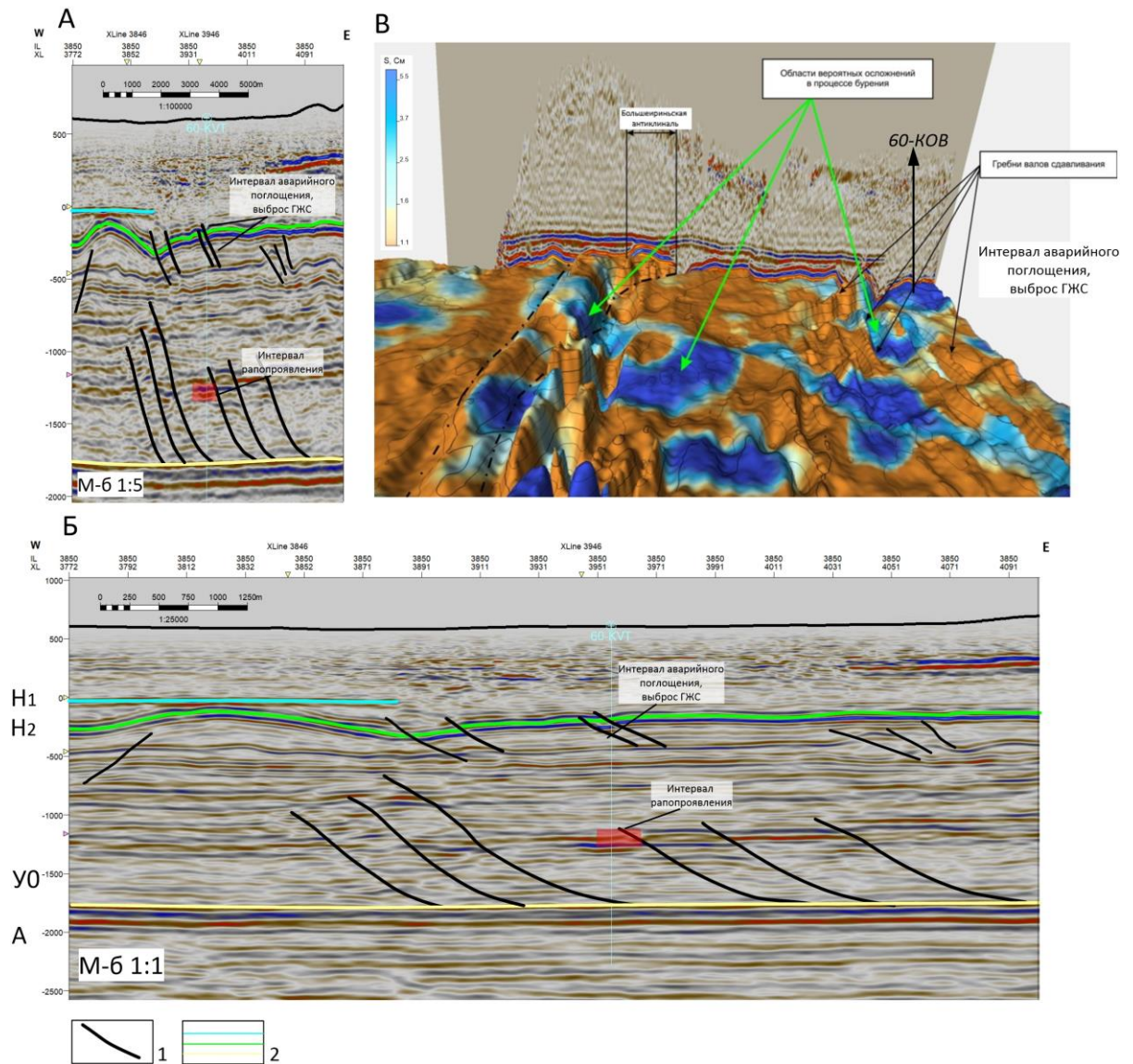


Рис. 6.4 Комплексная геолого-геофизическая интерпретация в пределах скважины № 60: А – сейсмический разрез масштаб 1:5; Б – сейсмический разрез масштаб 1:1; В – Интегрированный куб МОГТ+ЗСБ, карта проводимости литвинцевской свиты.

Условные обозначения: 1 – предполагаемые тектонические нарушения; 2 – трассировка отражающих горизонтов.

Пласты бильчирского горизонта по простиранию разобщены на отдельные блоки с различными пластовыми давлениями, поэтому одни скважины дают выбросы и самоизливы пластовой воды или УВ-флюидов, другие – поглощают.

Рассматривая сейсмический разрез через скважины №№ 27, 26, 3, 18, 52, 61, 60, как с газопроявлениями, так и с рапопроявлениями в интервале бильчирского горизонта-коллектора, также наблюдаются некоторые особенности (Рис. 6.5).

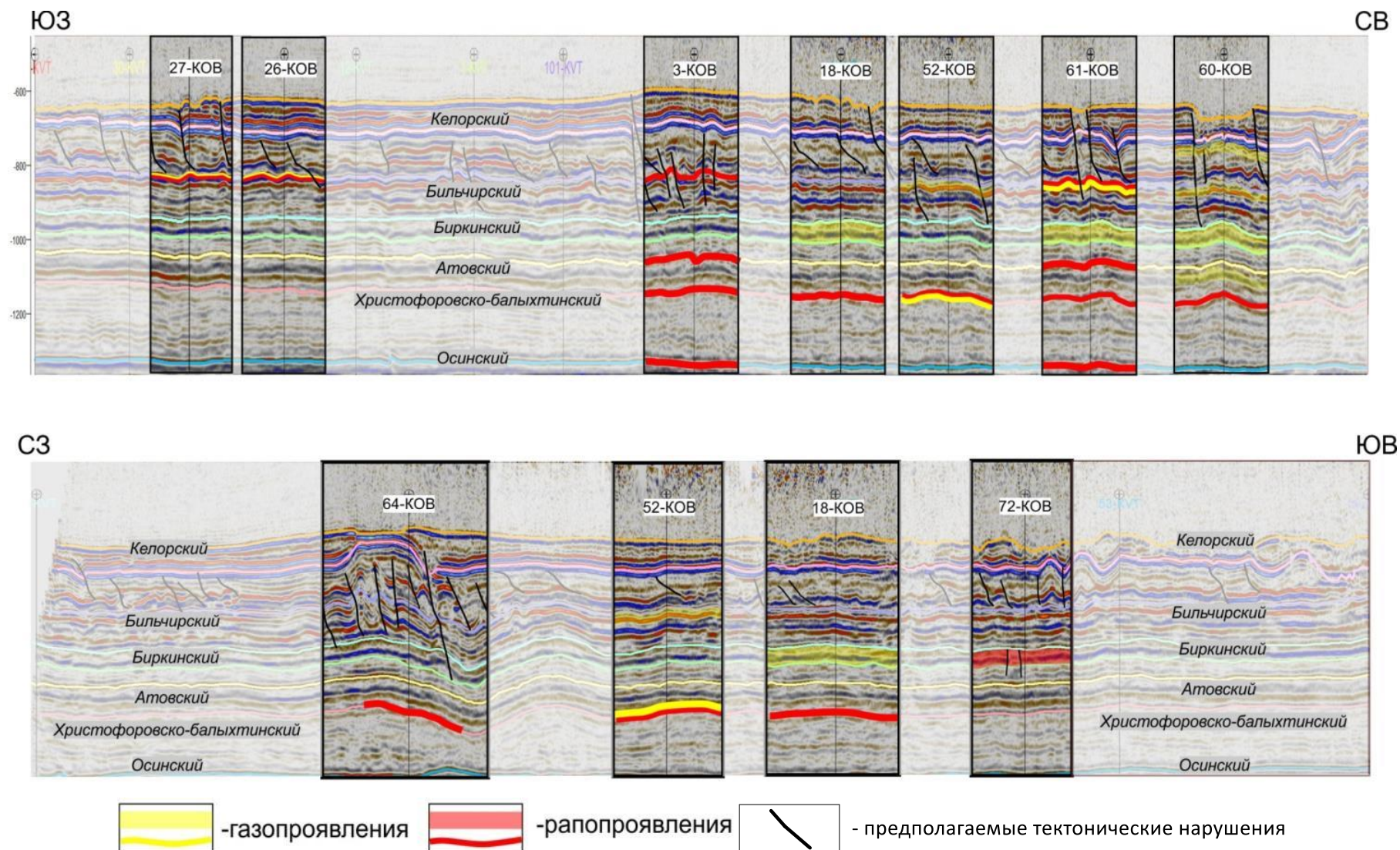


Рис. 6.5 Сейсмические разрезы по данным МОГТ 3D через скважины с рапо- и газопроявлениями на территории КГКМ.

Так, в пределах скважин №№ 26, 27-КОВ на юге КГКМ в интервале бильчирского горизонта наблюдается малоамплитудная антиклинальная структура. В обеих скважинах при проходке отмечалось газопроявление. В скважине № 27-КОВ выброс газа составил около 200 тыс. м³/сут, а в скважине № 26-КОВ помимо газопроявления получен выброс рапы.

В направлении на северо-восток к скважине № 3-КОВ в интервале бильчирского горизонта отмечалось водопроявление интенсивностью до 110 м³/сут (Рис. 6.7).

Еще по сейсмогеологическим разрезам 2D в районе скв.3-КОВ была выявлена модель активной подвижной средней части соленосной толщи кембрия, в которой последовательно сформирована (см. рис. 3, 4) сложная надвиговая система – «дуплекс» с тыловым падением чешуй [Вахромеев, Горлов, Мисюркеева и др., 2018].

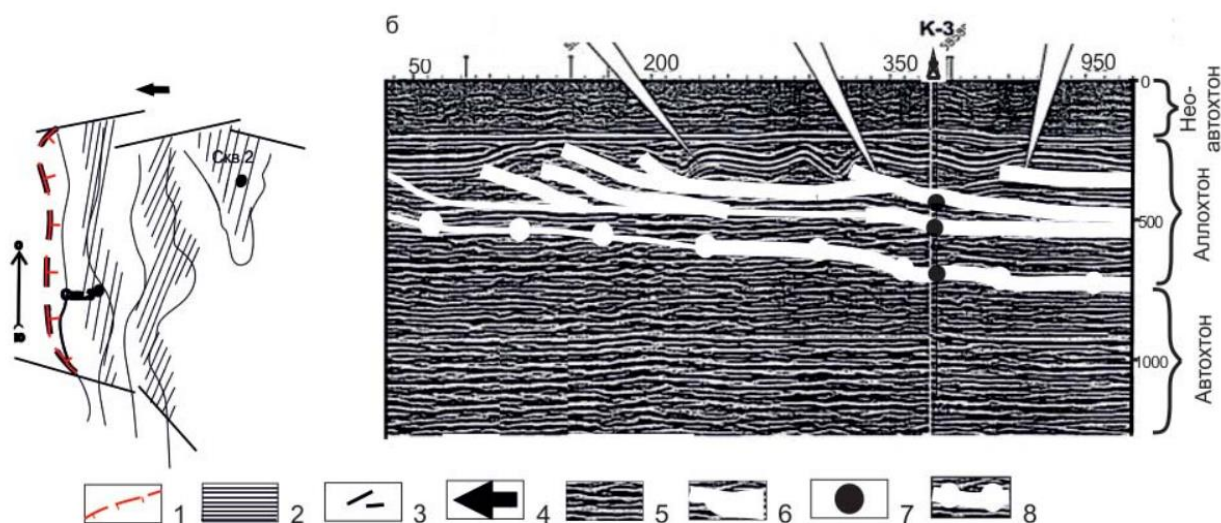


Рис. 6.6 : А – фрагмент надвиговой пластины в плане, б – на временном разрезе сейсморазведкой МОГТ 2D.

Анализ данных сейсмического куба 3D МОГТ по КГКМ впервые позволил исследовать соляную тектонику в толще нижнего кембрия с высокой степенью детальности. В пределах скважины по новым данным 3D сейсморазведки произведена детализация строения галогенно-карбонатной толщи, отмечается ее повышенная дислоцированность. Выявлены характерные для надвиговой системы многочисленные тектонические нарушения, послонные срывы (Рис. 6.7).

Далее по профилю, в направлении к скважинам №№ 18, 52-КОВ, структурно-тектоническая обстановка в интервале галоидно-карбонатной толщи более спокойная. При проходке бильчирского горизонта в данных скважинах притоков рапы не зафиксировано. В скважине № 18-КОВ отмечалось разгазирование бурового раствора.

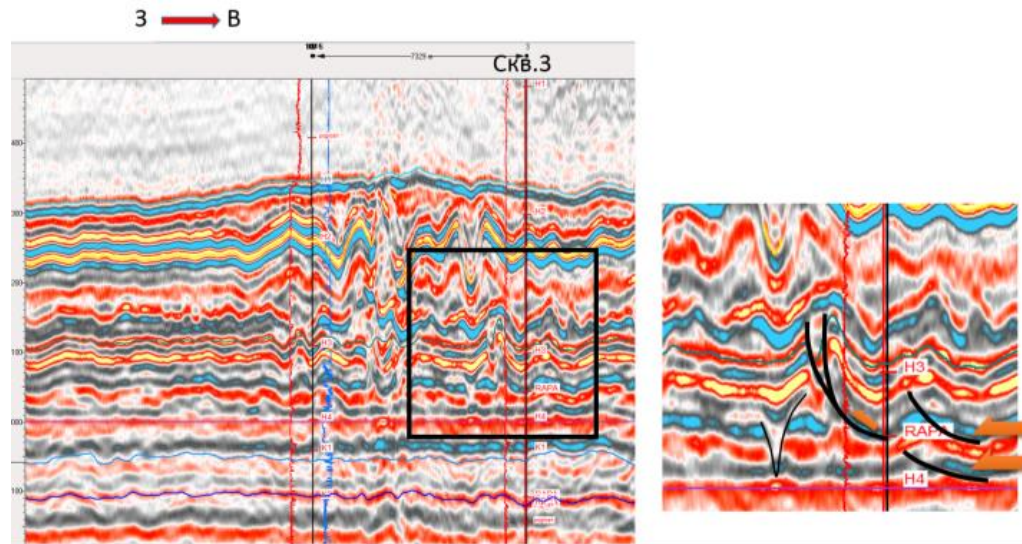


Рис. 6.7 Ангарская свита (бильчирский горизонт) в пределах скважины № 3 – КОВ на сейсмогеологических разрезах. Цветом показаны слои с разным коэффициентом отражений волны (что говорит о разной плотности слоев, разной реологии), по данным ГРП

Усложнение структурно-тектонической обстановки вновь наблюдается в районе скважины № 61, где при бурении отмечался выброс газа с водой. Скважина располагается в осевой части антиклинальной структуры (Рис. 6.5). Скважина № 74 располагается в приосевой части антиклинальной структуры. В процессе бурения в скважине были зафиксированы катастрофические поглощения в интервале ангарской свиты и приток газа. Сейсмические признаки выделения рапопроявляющих участков характеризуются чертами срыва надвиговых складчатых форм (Рис. 6.7, Рис. 6.8, Рис. 6.8).

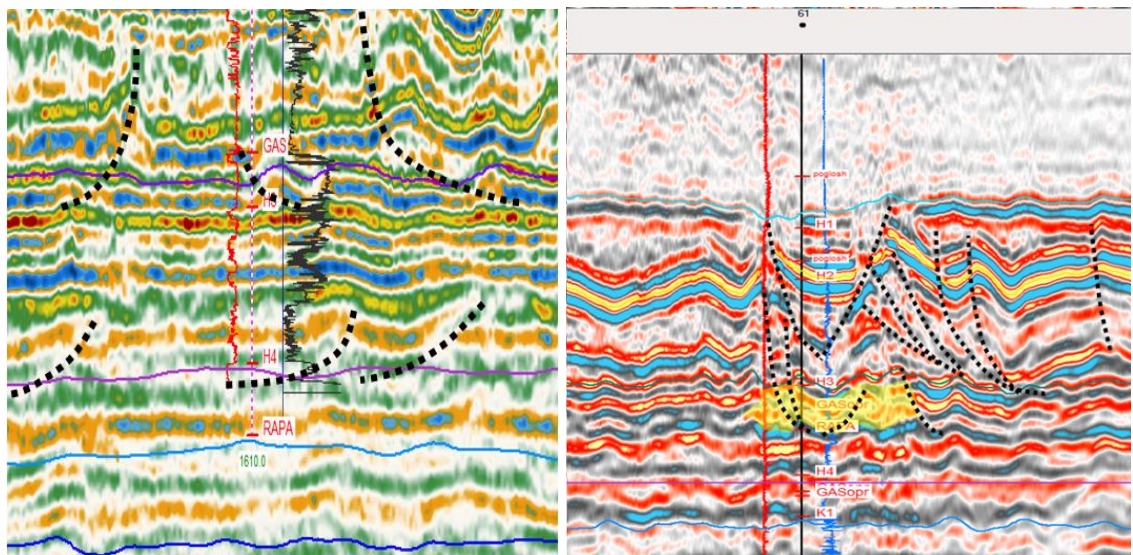


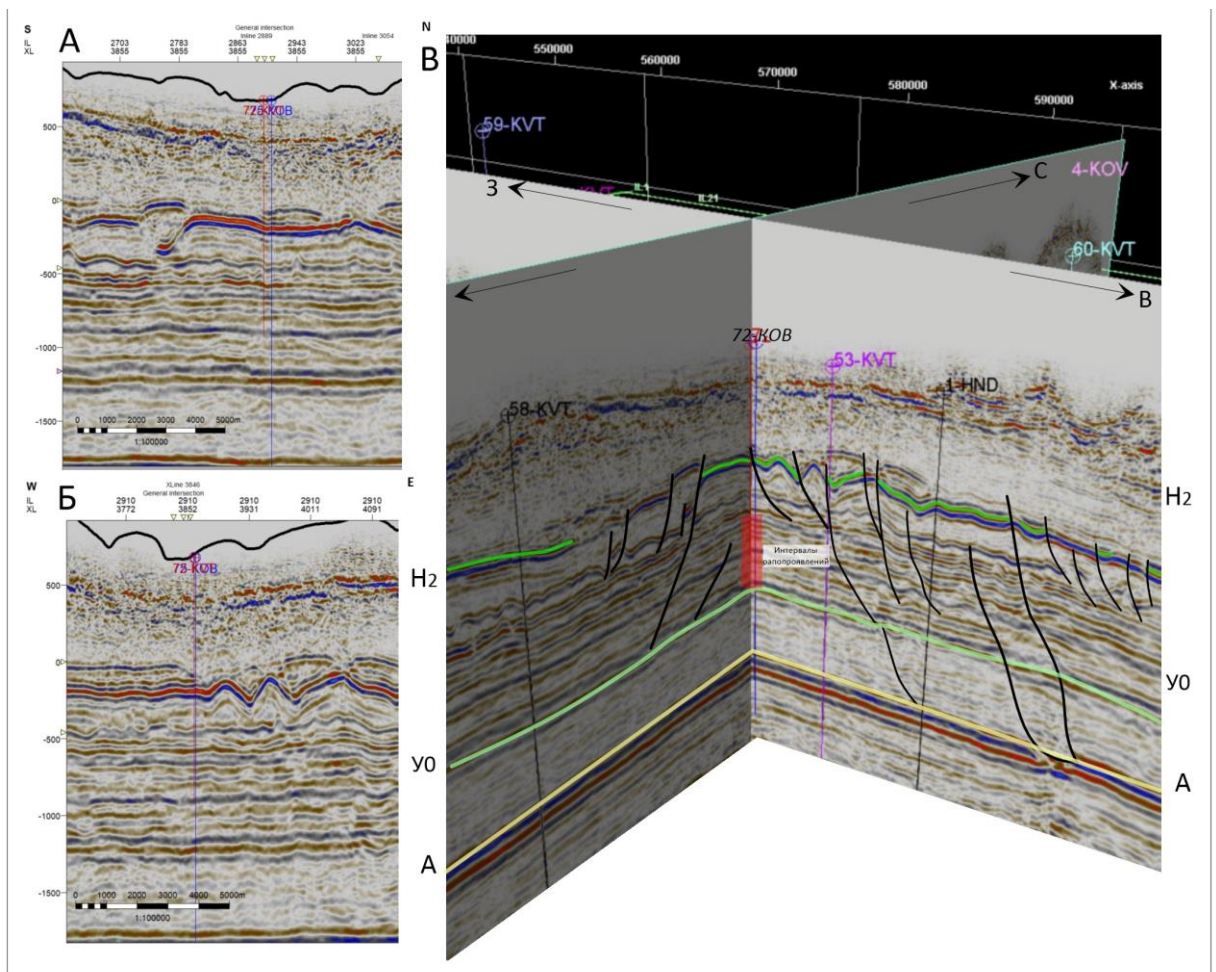
Рис. 6.8 А – Сейсмическая картина в районе скв.72 (по данным ГРП); Б – Сейсмическая картина в районе скв.61.

В целом, анализируя структурно-тектоническую обстановку в районе северо-восточной части Ковыктинского ГКМ, по уровню бильчирского горизонта отмечается, что в районе рапо- и газопроявляющих скважин наблюдается повышенная дислоцированность галогенно-карбонатной части разреза, наличие складок галогенно-карбонатной толщи: локальные

антиклинальные структуры, осложненные дизъюнктивной тектоникой, а также структуры проседания.

Помимо бильчирского горизонта, рапо-и газопроявления при бурении отмечены и в интервале *биркинского горизонта-коллектора* булайской свиты. Так, при проходке данных отложений в скважинах №№ 18, 60, 61 зафиксированы газопроявления, а в скважине № 72 - рапопроявление. Повышенные газопоказания, а также разгазированный буровой раствор отмечались и в других скважинах КГКМ (134-ГРЗ, 59-КОВ и др.)

Скважина № 72, в которой из биркинского горизонта получен приток рапы, располагается в зоне сочленения надвиговых систем Предбайкальского и Ажиткано-Непского секторов Байкало-Патомской надвиговой зоны (Рис. 6.9).



 - предполагаемые тектонические нарушения

Рис. 6.9 Сесмогеологическая модель в пределах скважины № 72.

Необходимо отметить, что плотные, массивные доломиты булайской свиты в целом представляют собой регионально выдержанный водоупор, разделяющий водоносные горизонты бельской и ангарской свит. Однако притоки рапы в скважине № 72 все-таки получены. По всей видимости, учитывая структурное положение скважины по данным МОГТ 3D, пласты доломитов в булайской свите могут являться водоносными и содержать

трещинные воды в пределах локальных куполовидных структур в условиях сильной раздробленности отложений [Пиннекер, 1961].

Скважина № 72 ликвидирована, не достигнув проектного горизонта (парфеновский горизонт). Скважина № 75, пробуренная рядом со скважиной № 72 вскрыла несколько интервалов рапопроявлений в бельской и усольской свитах. Предусмотренные мероприятия по бурению скважины, в связи с инцидентом на скважине № 72, позволили пройти скважину до проектного горизонта.

Скважины №№ 18, 60, 61 также располагаются в в сложных структурно-тектонических условиях. На сейсмическом разрезе хорошо отражается сложное строение в интервале булайской свиты скважины № 61-КОВ (Рис. 6.8 – Б). Породы сильно дислоцированы и смяты в складки. Биркинский интервал разреза в данной скважине характеризуется волновой картиной интерференционного и мелкобугорчатого вида, что может свидетельствовать о проявившейся горизонтальной деформации галогенно-карбонатной толщи.

Необходимо отметить, что выбросы газа из отложений булайской свиты (биркинский горизонт) при бурении скважин на Ковыктинском ГКМ и не только, свидетельствуют о его перспективности в газоносном отношении. По данным ГИС, в интервале булайской свиты достаточно хорошо прослеживается биркинский карбонатный горизонт-коллектор, выше залегает галогенная покрывка ангарской свиты, которая может способствовать сохранности предполагаемой залежи. Однако, отсутствие на сегодняшний день доказанных промышленных залежей УВ в интервале булайской свиты не позволяет отнести биркинский горизонт к регионально- или зонально-продуктивному.

В нижней части соленосной формации рассолоносные горизонты бельско-верхнеусольского комплекса (атовский, христофоровский, балыхтинский) изолированы сверху солью верхнебельской подсвиты, снизу – усольским водоупором. Водообмен в них весьма затруднен (близок к застоному) и осуществляется в основном благодаря субвертикальным межпластовым перетокам по трещинам и «гидравлическим окнам». Движение рассолов по латерали в региональном плане практически отсутствует [Анциферов, 2004].

Атовский горизонт выделяется в верхней части среднебельской подсвиты. При его вскрытии притоки рапы зафиксированы в скважинах № 3 и № 61.

Христофоровский горизонт приурочен к нижней части бельской свиты и залегает в 10 – 50 м выше балыхтинского. Он сложен неоднородным переслаиванием доломитов, известняков и ангидрито-доломитов с преобладанием в верхней и нижней частях разреза "чистых" разностей карбонатов. В доломитах и известняках широко развиты пористость, доломитизация, выщелачивание и кавернозность. Поры часто заполнены кальцитом и солью. В горизонте выделяются две пористо-проницаемые зоны, которые прослеживаются на большинстве площадей, изменяясь по толщине.

Отсутствие на Ковыктинском месторождении надежной изолирующей соленосной перемычки между балыхтинским горизонтом усольской свиты и христофоровским бельской позволяет рассматривать их в качестве единого христофоровско-балыхтинского резервуара.

Балыхтинский горизонт выделяется в верхней части усольской свиты в 5 – 50 м ниже ее кровли. Горизонт сложен известняками и доломитами, засолоненными, кавернозными с тонкими прослоями ангидритов и солей в нижней части, его толщина 9 – 18 м. Коллекторские свойства обусловлены вторичными порами перекристаллизации и выщелачивания. Поры и каверны часто заполнены солью.

С христофоровским и балыхтинским горизонтами связана крупная по запасам гидроминерального сырья Орлингская зона АВПД. В её пределах устанавливается два типа АВПД. Первый связан с хорошо проницаемыми высоконапорными резервуарными ловушками, которые при их вскрытии проявляются высокодебитными притоками рапы. В свою очередь, эти АВПД заметно различаются по характеру своего проявления (пластовым давлениям, дебитам, температуре), что свидетельствует о различии условий их формирования, а также, вероятно, их гидродинамической изолированности. Второй тип приурочен к слабопроницаемым резервуарам, которые в процессе их проходки не дают осложнений, но затем способствуют росту межколлонного давления, приводя к механической деформации ствола скважины.

В скважинах №№ 52, 60, 61, 64 – Ковыктинских из христофоровско-балыхтинского резервуара получены мощные фонтаны рапы с минерализацией до 500–600 г/л при плотности до 1,40–1,42 г/см³. Вместе с рапой из скважин № 52 (1 и 2 ствол) и 64 поступал газ. Расчетные пластовые давления оцениваются на уровне 47 – 49 МПа, коэффициент аномальности K_a составляет 2,1 – 2,3.

Скважина №64-КОВ расположена в восточном крыле Большеириньской антиклинали, являющейся фронтальным ограничением Орлингской надвиговой пластины (Рис. 6.10).

По данным электроразведочных исследований, коллекторы с притоками газа и рапы в пределах скважины характеризуются низкими значениями сопротивления.

Геоэлектрическая модель с тонкими проводниками, залегающими в высокоомных вмещающих породах, наилучшим образом согласуется с результатами бурения и геопромысловых исследований скважин [Буддо, 2008; Смирнов, Горлов и др, 2016]. Полученные данные о распределении геоэлектрических параметров–удельного электрического сопротивления и проводимости горных пород в разрезе в сопоставляются с данными бурения, ГИС, ГТИ и сейсморазведки, позволили закартировать зоны возможных осложнений в интервалах литвинцевской, ангарской, булайской, бельской и усольской свит (Рис. 6.10Рис. 6.11).

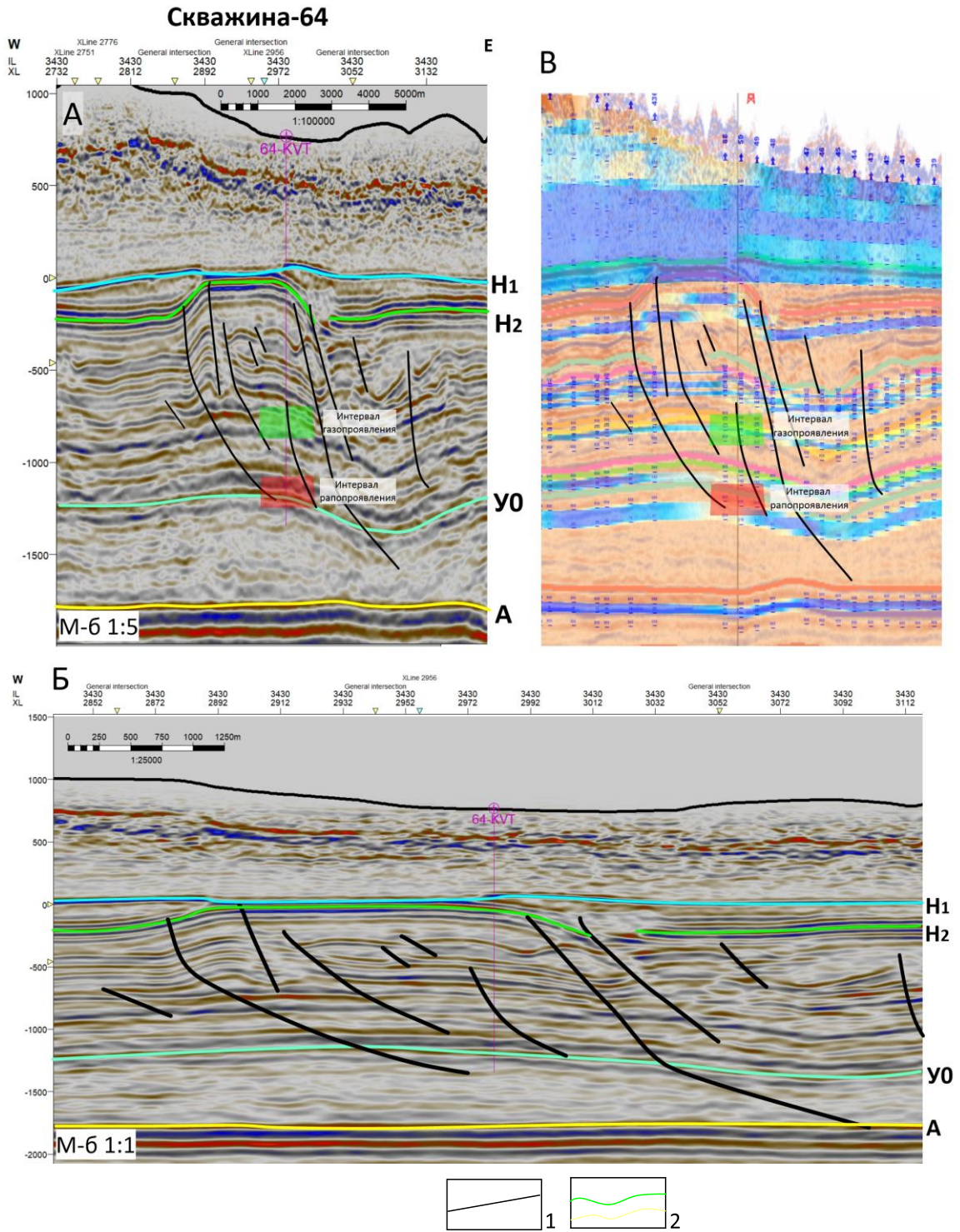


Рис. 6.10 Сесмогеологическая модель в пределах скважины № 64. А – сейсмический разрез с элементами интрпретации в масштабе 1:5, Б - А – сейсмический разрез с элементами интрпретации в масштабе 1:1. В – сейсмогеоэлектрический разрез в масштабе 1:5.

Условные обозначения: 1 – предполагаемые тектонические нарушения; 2 – трассировка отражающих горизонтов.

При сопоставлении данных сеймо-и электроразведочных исследований по эталонным профилям также выявлено, что в интервале келорского горизонта-коллектора, в районе скважин с осложнениями в виде поглощений бурового раствора, отмечается повышение

проводимости горизонта, тогда как значения амплитуд по данным сейсморазведочных работ, напротив, в скважинах с поглощениями понижаются (Рис. 4.24, Приложения № 6, 7). Выявленные закономерности вполне удовлетворяют предполагаемому строению горизонта, который, как известно, характеризуется повышенной трещиноватостью и кавернозностью.

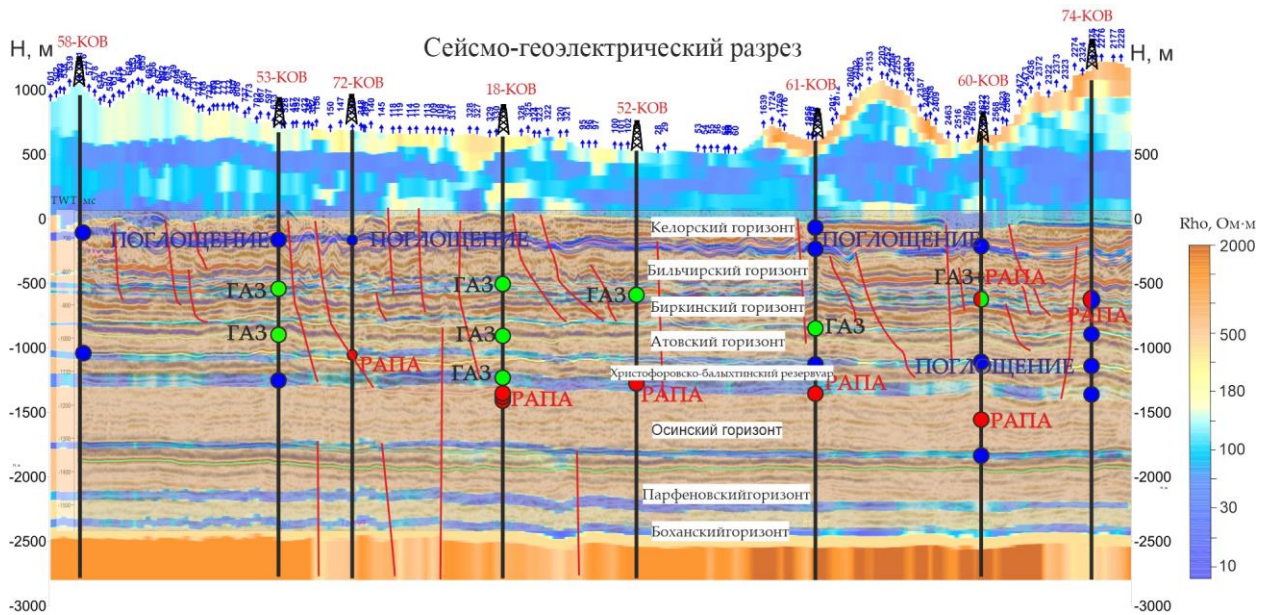


Рис. 6.11 Сводный геофизический профиль через скважины №№ 56-53-72-18-52-61-60-74

Согласно проведенным исследованиям и комплексной интерпретации сейсморазведочных, электроразведочных и геопромысловых данных, рассолонасыщенные зоны АВПД располагаются в специфических геологических и тектонических условиях, локальные зоны аномального коллектора с АВПД достаточно четко проявляются в геофизических полях. Им соответствуют аномалии проводимости в интервалах литвинцевской, ангарской, булайской, бельской и усольской свит, полимодальность распределения проводимости комплексов.

Район исследований характеризуется сложными сейсмогеологическими условиями (соляная тектоника, многочисленные дизъюнктивные нарушения, различная степень дислоцированности пород).

Применение комплексного подхода позволяет выделять флюидонасыщенные зоны в карбонатных горизонтах кембрия, провести оценку возможных осложнений и выработать рекомендации по выбору оптимальной конструкции и размещению проектных скважин.

Разработка конструкции скважины должна осуществляться на основе анализа геологического разреза и накопленного опыта строительства скважин в данном районе. При этом должно обращать внимание на возможное упрощение и облегчение конструкции скважины.

В заключение следует отметить, что комплексный подход к прогнозу горно-геологических условий бурения скважин на основе результатов бурения и испытания скважин, сейсморазведки, геофизических и технологических исследований скважин позволяет, во многих случаях, значительно снизить риски возникновения аварийных ситуаций.

На Рис. 6.12 показано совместное представление материалов МОГТ 3D и ЗСБ, которые позволяют проследить структурно-тектонические особенности строения горизонта и его геоэлектрические характеристики.

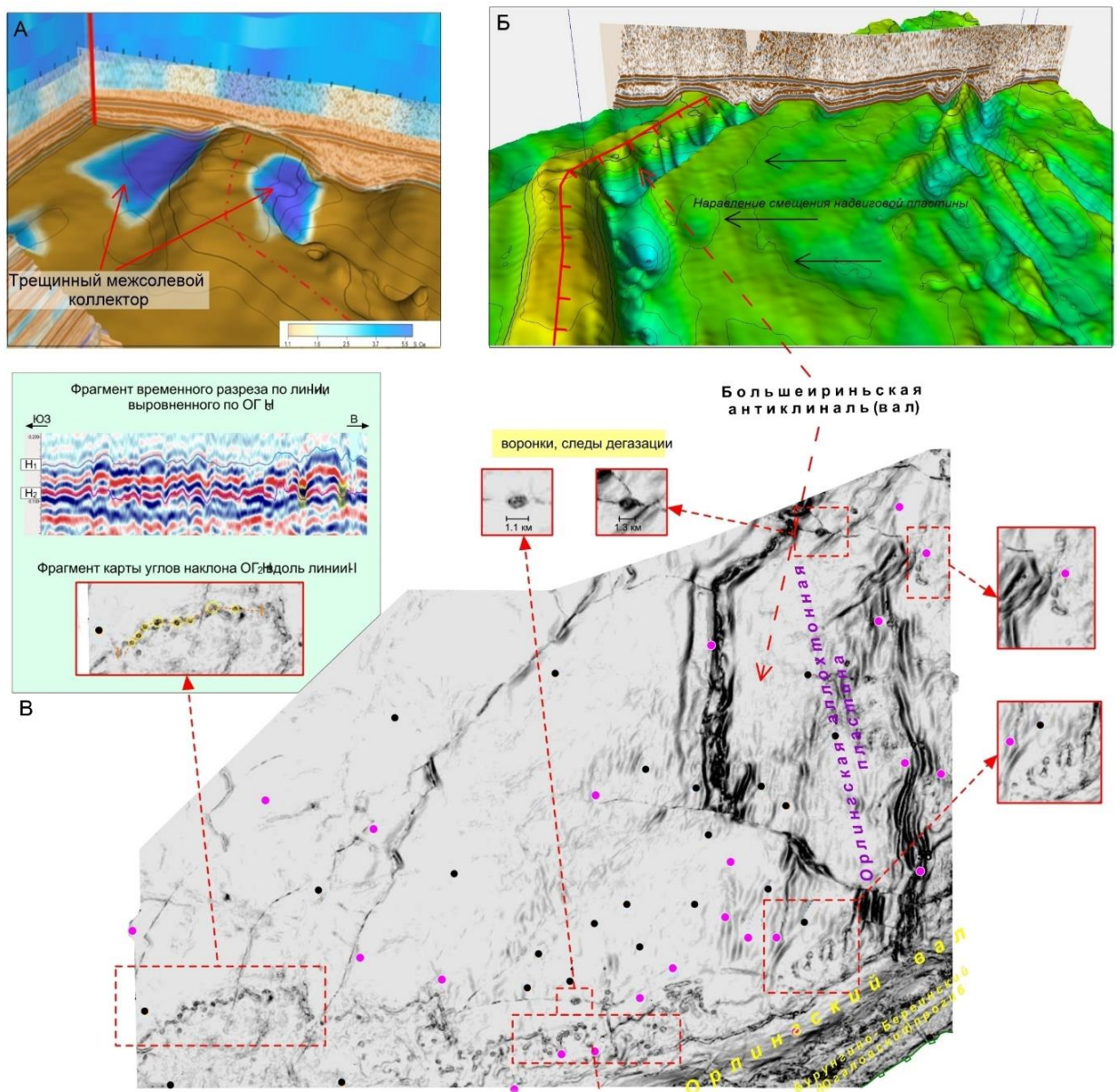


Рис. 6.12 Большеиринская антиклиналь (вал) как западное фронтальное ограничение Орлингской аллохтонной пластины: А – на карте продольной проводимости по данным 3D ЗСБ; Б – в изометрии по данным интерпретации сейсмического куба с 3D МОГТ; В – на стратиграфическом срезе ОГ Н₂.

Области повышенной проводимости по данным ЗСБ отражают участки развития трещинных межселевых коллекторов, которые при бурении могут проявлять себя газо- и

рапопроявлениями, а также поглощениями бурового раствора. Отмечается приуроченность подобных участков к пониженным структурным формам, а также зонам тектонических нарушений.

Актуальность локального прогноза распределения в разрезе кембрия флюидных АВПД-систем predeterminedена развертыванием буровых работ ПАО «Газпром» на газонасыщенных песчаниках парфеновского горизонта чорской свиты венда, залегающих гипсометрически ниже.

6.2. Возможность оценки степени флюидопроницаемости разломных зон комплексом глубинных геофизических методов

Разрывные нарушения оказывают большое влияние на формирование, переформирование и разрушение залежей углеводородов. При поисково-разведочных работах необходимо учитывать наличие и расположение в плане и разрезе дизъюнктивных нарушений вблизи геологических структур.

Широкое развитие дизъюнктивных нарушений, что определило специфику проницаемости осадочных толщ чехла и особенности гидрогеологического строения территории исследования.

Представляется, что многочисленные интенсивные поглощения и рапопроявления в соленосной формации Ковыктинско-Хандинской зоны свидетельствуют о наличии в ней пластов-коллекторов с высокой емкостью и проницаемостью, а значительные диапазоны варьирования коэффициента аномальности и высоты пьезоуровней—об энергетической возможности подземных перетоков между пластами в различных направлениях (вверх и вниз). Перетоки происходят в основном по вторичным трещинам, которые пересекают и карбонатные, и соляные пласты. Коллекторы приурочены к интервалам трещиноватости и кавернозности карбонатных образований (преимущественно доломитам), в качестве флюидоупоров выступают мощные прослои солей.

Наибольшее переформирование структурного плана территория Ангаро-Ленской ступени претерпела в галогенно-карбонатной части разреза, где породы в палеозойский тектонический этап оказались смяты в складки и разбиты многочисленными тектоническими нарушениями. Кайнозойский тектонический этап способствовал образованию новых и раскрытию первичных трещин в карбонатных горизонтах-коллекторах.

В литвинцевском и ангарско-булайском водоносных комплексах могут происходить не только вертикальные межпластовые перетоки, но и внутрипластовое латеральное (очень слабое) движение воды по проницаемым интервалам карбонатных пластов и, возможно, по их контактам с соляными пластами. Латеральное движение ориентировано к секущим трещинам и разломам, по которым происходит разгрузка содержащихся в этих комплексах соленых вод

и рассолов (рапы) в пресноводную надсолевую формацию, где они разубоживаются и разгружаются в виде наземных субаквальных источников.

В бельско-верхнеусольском водоносном комплексе водообмен осуществляется в основном благодаря субвертикальным межпластовым перетокам по трещинам и “гидрогеологическим окнам”, имеющимся между изолированными зонами коллекторов с АВПД. Движение по латерали в этом комплексе практически ничтожно.

Учитывая вышеизложенное, представляется, что для вертикальных перетоков флюида в осадочном чехле должны существовать разломные зоны либо зоны повышенной трещиноватости, способные к проведению флюида, а также флюидораспределяющие элементы, по которым растворы от подводящих каналов отводились на участки, где они формировались в коллекторе. Флюидораспределяющими, как правило, служат разрывы, сопрягающиеся с главным флюидоподводящим каналом, пересекаемые им проницаемые пласты и т. д. Флюидовмещающими в данном случае являются трещины и каверны в карбонатных горизонтах, которые в итоге определяют положение, морфологию, размеры и внутреннее строение, например, рапопроявляющих зон и участков АВПД. В то же время существуют тектонические зоны, которые в результате вторичных процессов закальматированы и не способны к проведению флюида.

Таким образом, галогенно-карбонатная часть разреза территории исследования представляет собой крупнейшую, весьма сложную систему взаимодействия трещиноватости, по которой может происходить перераспределение (транзит) и циркуляция флюида в межблоковом пространстве [Мисюркеева и др., 2018 а,б].

Сложность выделения тектонических нарушений и оценки флюидопроводности тектонических нарушений (трещиноватости) в карбонатных горизонтах заключается в неоднозначности понимания о строении их геологической модели, а также их характера насыщения по площади. Наиболее эффективным при изучении разломных зон представляется комплексный подход, предполагающий одновременное подтверждение существования разлома, а также его проводящей способности геологическими и геофизическими методами. Подходы к исследованию и картированию тектонических нарушений осадочного чехла, а также оценке их флюидопроницаемости произведены на основе данных высокоплотных геофизических съемок на территории КГКМ:

-сейсморазведка МОВ ОГТ 3D

-электроразведка методом зондирования становлением поля в ближней зоне в модификации 3D (3D ЗСБ).

За счет большого количества пространственных накоплений и высокой вертикальной разрешающей способности данные методы позволяют картировать разрывные нарушения,

характеризующиеся различной степенью флюидопроводности.и [Мисюркеева и др., 2018, Современная..., 2018].

Сейсморазведка позволяет с высокой степенью точности картировать положение, форму и структурные особенности разрывного нарушения как в плане, так и в разрезе. В свою очередь электроразведка позволяет охарактеризовать разрывное нарушение по степени проницаемости (способное и не способное к проведению флюида)

Данный комплекс методов является эффективным при решении проблемы картирования разрывных нарушений для целей прогноза горно-геологических условий бурения, а также прогноза перспектив газоносности резервуаров карбонатно-галогенной части разреза.

Степень достоверности выделения и картирования дизъюнктивных нарушений в разрезе осадочного чехла различна и зависит от сложности геологического строения территории, плотности сейсмических профилей, качества полевых материалов и наличия априорной геологической информации.

На региональной карте продольной проводимости отложений литвинцевской свиты на территории Ковыктинского и прилегающих лицензионных участков области повышенной проводимости (2–36 См) протягиваются вдоль Хандинского и Жигаловского валов (Рис. 6.13). На всем протяжении выделенную область, повторяя ее направление, контролируют тектонические нарушения по данным сейсморазведки.

В контуре областей распространения повышенных значений проводимости литвинцевской свиты располагаются скважины глубокого бурения с поглощениями при прохождении данного интервала. Области повышенной проводимости в интервале литвинцевской свиты связаны с наличием келорского пласта-коллектора, представленного трещинно-кавернозными доломитами. Его отличает значительная изменчивость в поведении слагающих его отдельных карбонатных водоносных пластов, имеющих между собой гидродинамическую связь.

Тем самым, применение комплекса геолого-геофизических методов позволяет выделить флюидонасыщенные зоны в карбонатных горизонтах кембрия и выполнить оценку возможных осложнений. Интеграция структурной и геоэлектрической 3D моделей, полученных по результатам МОГТ 3D и 3D ЗСБ, позволяет картировать зоны проявления коллекторов. Локальное повышение продольной проводимости также может относиться к зонам флюидонасыщенной трещиноватости, сопровождающей проницаемые тектонические нарушения.

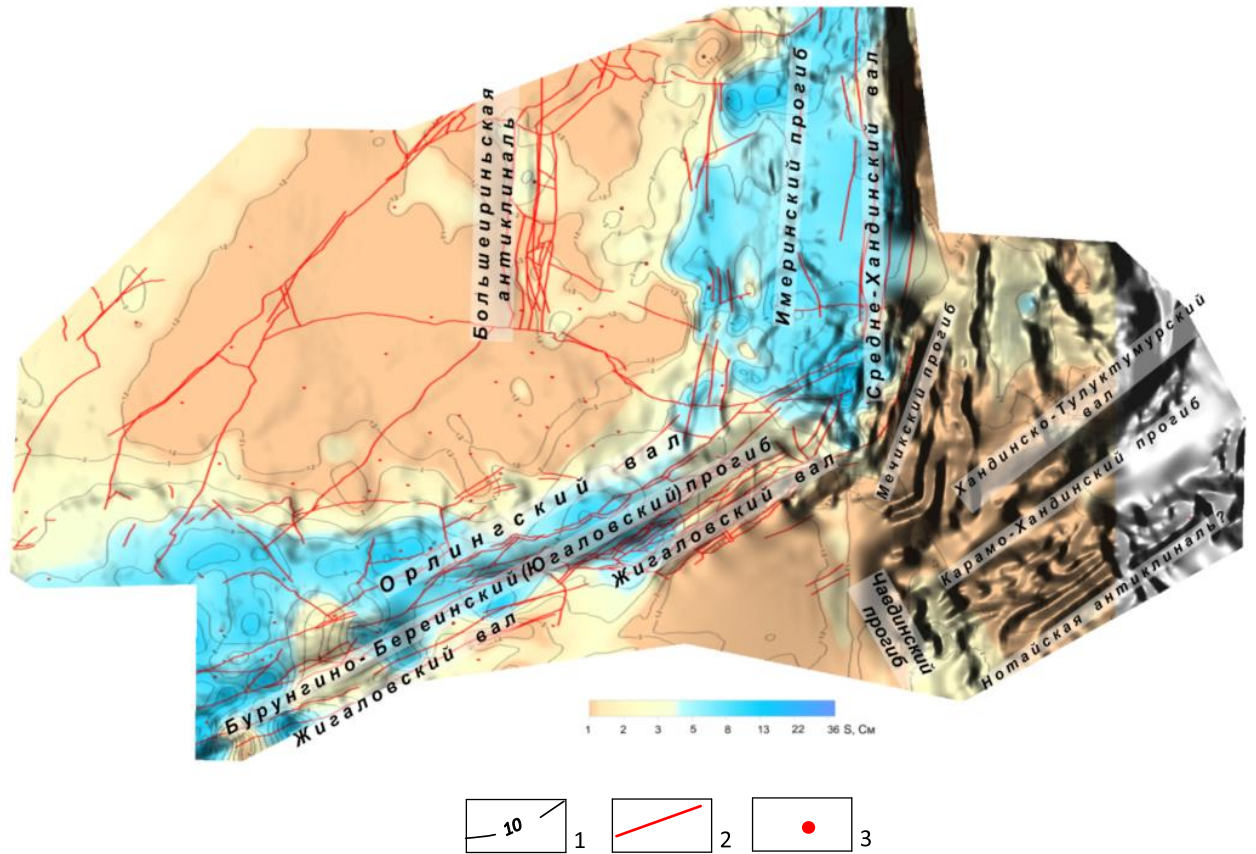


Рис. 6.13 Карта продольной проводимости отложений литвинцевской свиты на сейсмической основе по кровле келорского горизонта.

Условные обозначения: 1 – изолинии проводимости, См; 2 – тетконические нарушения по данным сейсморазведки; 3 – скважины глубокого бурения.

На сегодняшний день, проявления в зоне влияния надвигового пояса на территории месторождения продолжают при эксплуатационном разбуривании месторождения, что вносит существенные осложнения в процесс освоения месторождения. Надвиговая модель до сих пор не учитывается на этапе постановки кустового бурения.

Кроме того, в ближайшее время планируется реализация проекта по добыче и переработке пластовых рассолов Ковыктинского месторождения для получения соединений лития и других ценных компонентов, что также предопределяет важность учета надвигового строения месторождения для реализации данного проекта.

Выводы Трехмерная модель изученной части Ковыктинского ГКМ, разработанная на базе сейсмического куба с отображением осадочно породных комплексов и системы складчато-надвиговых структур, является геологической основой более корректного проектирования ГРП. Возможно ее использование с целью поисков залежей УВ и лити-еносных рассолов в межсоловых карбонатных резервуарах аллохтона (нижний кем-брий), а также для снижения аварийности бурения глубоких скважин на целевые объекты в природных резервуарах терригенного автохтона (венд), вмещающих газоконденсатные залежи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного исследования на основе сопоставления геолого-геофизических материалов прошлых лет и новых геолого-геофизических материалов, геопромысловых данных бурения существенно уточнено структурно-тектоническое строение Ковыктинско-Хандинской зоны, получены новые представления о модели складчато-надвигового строения территории месторождения, которая является весьма сложной и вносит существенные осложнения в процесс геологоразведочных и геологосъемочных работ.

Обосновано деление осадочного чехла Ковыктинско-Хандинской зоны на два структурно-тектонических яруса: нижний (автохтон) и верхний (аллохтон), который интенсивно дислоцирован (в области сочленения платформенных структур и краевых прогибов платформы).

Складчато-надвиговая тектоника осложняет галогенно-карбонатную часть разреза осадочного чехла в восточно-северо-восточной, частично центральной и юго-юго-восточной областях исследуемой территории. Западная и северо-западная часть гигантского КГКМ была менее подвержена динамическому влиянию Байкало-Патомского надвигового пояса.

Детachment надвиговой зоны в восточной части проходит по тирским отложениям венда и далее на запад переходит в кровлю осинского горизонта нижнего кембрия, поднимаясь в ангарскую свиту к форланду, фронтальной части Большеириньской коробчатой складки.

На основе детализации геолого-геофизических данных 3D МОГТ, 3D ЗСБ и глубокого бурения по отложениям литвинцевской, ангарской, булайской, бельской и усольской свит нижнего кембрия в качестве самостоятельной структуры надвигового типа Орлингская надвиговая пластина являющаяся южным крылом весьма протяженной [Сизых, Лобанов и др., 2005] Марковско-Ичерской надвиговой пластины (системы), затухающей в области сочленения с Предбайкальским сектором Байкало-Патомской надвиговой системы [Сметанин, 2000; Дубровин, 1979; Замараев, 1977].

Составлена уточненная схема соотношения надвиговых зон Ачиткано-Неского и Предбайкальского надвиговых секторов (Байкало-Патомский надвиговой пояс) в пределах Ковыктинско-Хандинской площади. Выявлено, что территория исследования расположена в пограничной зоне стыка двух надвиговых секторов Байкало-Патомского надвигового пояса – южного (Прибайкальского) и центрального (Ачиткано-Неского).

Увязка промыслово-геологических исследований газо- и рапопроявляющих скважин со структурно-геологическими условиями природного резервуара, его отражения в геофизических полях (сейсмических и геоэлектрических свойствах разреза) позволила выявить приуроченность зон осложнений/проявлений в глубоких скважинах к определенным геолого-структурным условиям.

Основные выводы по детализации структурно-тектонического строения площади сводятся к следующему:

1. Гигантское Ковыктинское ГКМ (Ковыктинско-Хандинская зона) располагается на стыке крупных мегаструктур литосферы платформа-прогиб.
2. Краевой прогиб выполнен предположительно рифейскими отложениями и отрезан (отделен) сбросом Байкало-Таймырского транконтинентального разлома от платформенного блока.
3. В области краевых прогибов поверхность фундамента разбита на блоки и осадочный чехол существенно деформирован. Блоковая делимость отражается в картине структурных поверхностей по данным 3D МОГТ и детализирует геологоструктурные построения прошлых лет.
4. Территория исследования подвержена геодинамическому влиянию Байкало-Патомского надвигового пояса в восточной части.
5. Аллохтон фронтальной частью перекрывает платформенный блок (Орлингская пластина). Это южное крыло Марковско-Ичерской пластины Актикано-Непского сектора. С юга фронтальным ограничением аллохтона выступает Жигаловский вал, а сам аллохтон расположен на сопредельных площадях Знаменской, Тутурской, Рудовской, Нотайской – южнее территории исследований. На этой территории нет новых данных сейсморазведки 3D и построение детальной модели затруднено.
6. Внутреннее строение аллохтона Актикано-Непского сектора, левого крыла Марковско-Ичерской пластины детализировано как Южно-Усть-Кутская зона чешуйчатых вееров и Орлингская надвиговая пластина, ограниченная с юга левосторонним сдвигом в парагенезисе с складчато-надвиговыми дислокациями и фронтальным ограничением с запада – Большеириньской коробчатой антиклиналью.

Таким образом, полученная концептуальная модель позволяет геологически обоснованно перейти от дискретной модели (данные 2D МОГТ, бурения редких скважин) к дискретно непрерывной (данные 3D МОГТ, 3D МОГТ, более 80 скважин глубокого бурения).

Симбиоз, объединенное представление структурно-тектонической и седиментационной моделей объекта исследований позволили глубже понять геологическое строение осадочного чехла зоны сочленения типично платформенной области и краевого прогиба кратона.

Новое, детализированное представление, изложенное в диссертационной работе, может являться геолого-структурной основой для решения практических задач, перейти к математической модели подсчета запасов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов Ю.А., Вахромеев А.Г. Новые геолого-геофизические подходы в прогнозе зон АВПД на примере Орленгской структурной седловины // Четвертая Байкальская молодежная школа-семинар «Геофизика на пороге третьего тысячелетия»: сб. трудов. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004а.
2. Агафонов Ю.А., Вахромеев А.Г., Травников В.В. Типизация геоэлектрических моделей коллекторов для условий юга Сибирской платформы и параметры синтетических электромагнитных откликов для разных зондирующих установок // Тезисы докл. II Сибирской Междунар. конф. мол. ученых по наукам о Земле. - Новосибирск, изд-во НГУ. - 2004б.
3. Агафонов Ю.А., Поспеев А.В., Вахромеев А.Г. Возможности нестационарных электромагнитных зондирований при изучении коллекторских свойств осадочного чехла // VII Междунар. науч.-практ. конф. – Сб. тезисов. Геленджик: «ГЕОМОДЕЛЬ-Консалтинг», 2005. – С. 86.
4. Александров А.А., Левит А.Н., Семакин Б.В. Локальные неоднородности соляных толщ в сейсморазведке. - М: Наука, 1989 с.
5. Анциферов А.С. Тектоника и перспективы нефтегазоносности Жигаловского вала и прилегающих районов Иркутского амфитеатра: авто-реф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. – Москва–Иркутск. – 1964. – 21 с.
6. Анциферов А.С. Ресурсы уникальных хлоридных кальциевых рассолов Сибирской платформы и проблемы их промышленного освоения // Разведка и охрана недр, 2004. № 8-9. С. 30-32.
7. Анциферов, А.С., Бакин, В.Е., Варламов, И.П. и др. Под ред. Конторовича, А.Э., Суркова, В.С., Трофимука, А.А. Геология нефти и газа Сибирской платформы. – М.: Недра, 1981. 552 с.
8. Ахияров А.В, Орлов В.И., Бондарев А.Н. Зависимость продуктивности терригенных коллекторов от их фациальной принадлежности на примере парфеновского горизонта Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геофизика. 2007. №6. С. 60-67.
9. Барышев А.С., Хренов П.М., Шерман, С.И. Роль горизонтальных движений в динамике развития разломов юга Восточной Сибири // / Разломы и горизонтальные движения горных сооружений СССР. – М.: Наука, 1977. – С. 30–42.
10. Барышев Л.А., Хохлов Г.А. Комплексная интерпретации данных сейсморазведки и ГИС на основе физико-геологической модели./Технологии сейсморазведки. – М., 2006. – №3. – С. 55 – 60.
11. Буддо И.В. Тонкослоистые модели при изучении коллекторов в осадочном чехле методом зондирований становлением поля в ближней зоне – методика и результаты интерпретации (на примере юга сибирской платформы): автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. – Иркутск, 2012. – 32 с.

12. Вахромеев А.Г., Хохлов Г.А. Перспективы прогноза зон рапопроявлений в Верхоленском (Жигаловском) газоносном районе Иркутской области. //Сб. Особенности технологии проводки и закачивания скважин в Вост. Сибири и Якутии. – Новосибирск, Иркутск: ВСНИИГГиМС, 1988, – С.140-142.
13. Вахромеев А.Г. Структурно-гидрогеологическая модель высокодебитных напорных коллекторов галогенно-карбонатной формации юга Сибирской платформы. //Тезисы докладов XVI Всероссийского совещания по подземным водам Востока России. –Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ. 2000. – С. 128-129.
14. Вахромеев А.Г., Сизых В.А. Роль шарьяжно-надвиговой тектоники в формировании аномально-высоких пластовых давлений и промышленных металлоносных рассолов Сибирской платформы // Доклады РАН. - 2006. - № 2. - С. 1-5.
15. Вахромеев А.Г. Закономерности локализации «предельно насыщенных» рассолов в разрезе осадочного чехла на юге Сибирской платформы. //Материалы всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, ИЗК СО РАН, 2006. – С. 151-154.
16. Вахромеев А.Г., Мышевский Н.В., Хохлов Г.А. Аномально-высокие пластовые давления как фактор, осложняющий освоение углеводородных месторождений Восточной Сибири // Материалы Всерос. совещания «Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии: фундаментальный и прикладной аспекты». – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2006. – Выпуск 5. – С. 98–119.
17. Вахромеев А.Г. Геодинамическая модель формирования аномально-высоких давлений флюидов в разрезе осадочного чехла Сибирской платформы. // Известия отд. наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. Геология.-2008а. - № 12. - с. 39-51.
18. Вахромеев А.Г. Поисковые гидрогеологические критерии локализации месторождений редкометальных промышленных рассолов Сибирской платформы. //Изв. Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Вып.7(33).- Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008б.-с 30-41.
19. Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и локализации месторождений промышленных рассолов в карбонатных каверново-трещинных резервуарах кембрия юга сибирской платформы / А.Г. Вахромеев. – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2015.
20. Вахромеев А.Г., Поспеев А.В., Кравчук О.Э., Гладкочуб Д.П. Краевые прогибы юга Сибирской платформы и методология их геологического изучения с целью наращивания минерально-сырьевой базы углеводородов на территории Иркутской области // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – № 4 (28). –С. 75–83.
21. Гайдук В.В., Прокопьев А.В. Методы изучения складчато-надвиговых поясов. – Новосибирск: Наука, 1999. – 160 с.

22. Гафаров Р.А., Лейтес А.М., Федоровский В.С., Прозоров Ю.И., Савинская М.С., Савинский К.А. Тектоническое районирование фундамента Сибирской платформы и этапы становления его континентальной коры// Геотектоника. 1978. №1. С. 43-57. Геологическое строение и нефтегазоносность краевых прогибов / А.С. Анциферов / Особенности геологического развития зоны сочленения Сибирской платформы с Саяно-Байкальской горной областью. – М. : Наука, 1980. – 244 с.
23. Геология нефти и газа Сибирской платформы / А.С. Анциферов, В.Е. Бакин, И.П. Варламов [и др.]. Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 552 с.
24. Глебовицкий В.А., Хильтова В.Я., Козаков И.К. Тектоническое строение Сибирского кратона: интерпретация геолого-геофизических, геохронологических и изотопно-геохимических данных // Геотектоника. – 2008. – № 1. – С. 12–26.
25. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-48-Иркутск. Т.Ф. Галимова, С.А. Пермяков, В.Т. Бобровский, А.Г. Пашкова, Л.А. (ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУНПП «Иркутскгеофизика», Иркутская геологическая экспедиция) 2006, г.
26. Дробот Д.И., Пак В.А., Деятелилов Н.М., Хохлов Г.А., Карпышев А.В., Бердников И.Н. Нефтегазоносность докембрийских отложений Сибирской платформы, перспективы подготовки и освоение их углеводородного потенциала // Геология и геофизика. -2004. - Т.45. - 1. - С.110-120.
27. Дробот Д. И., Городничев В. И. Эпигенез нефтидов в рифей-вендских и кембрийских отложениях юга Сибирской платформы // Нефтегазоносность Сибири и Дальнего Востока. — Новосибирск: Наука, 1981. — С. 63—73.
28. Дубровин М.А. Складчатость соленосной толщи Верхне-Ленской впадины Ангаро-Ленского прогиба. - «Геология и геофизика», 1974, № 7, с. 77-86.
29. Дубровин М.А.. Соляная тектоника Верхне-Ленской впадины Сибирской платформы. Новосибирск. Наука, 1979.
30. Ефимов А.С., Смирнов М.Ю., Берилко Г.А. и др. Обобщение результатов анализа геологических и сейсмических данных в пределах Сибирской платформы по территории, обеспечивающей прирост запасов углеводородного сырья для нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» // Геология и минеральные ресурсы Сибири. – Новосибирск, 2010. – № 1. – с. 12 – 32.
31. Жарков М.А., Кузнецов Г.А. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности центральной части Ангаро-Ленского краевого прогиба.// В сб.: Новые данные по геологии, нефтеносности и полезным ископаемым Иркутской области. - М: Недра. 1964, с. 3 -54.

32. Жарков М.А., Замараев С.М. История тектонического развития юга Сибирской платформы // Вопросы сравнительной тектоники древних платформ. Наука, М., 1964. – 156 с., с. 135-145.
33. Зайцев Н.С. О тектонике южной части Сибирской платформы // В кн.: Вопросы геологии Азии. Том 1. М., изд-во АН СССР, 1954. - С. 399-443.
34. Замараев С.М. Тектоническое строение и история геологического развития юго-восточной части Сибирской платформы. В сборнике «Геофизические исследования и проблемы нефтегазоносности юга Сибирской платформы». М., Гостеоатехиздат, 1962
35. Замараев С.М. Складчатые структуры юга Сибирской платформы. В сборнике «Тектоника юга Сибирской платформы и перспективы ее калиеносности». М., изд-во «Наука», Иркутск, 1965
36. Замараев С.М. Краевые структуры южной части Сибирской платформы. М., Наука, 1967, 247 с.
37. Золотарев А.Г. Рельеф и новейшая структура Байкало-Патомского нагорья. Наука, Новосибирск, 1974. 120 с.
38. Казанцева Т.Т. Аллохтонные структуры и формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1987, 158 с.
39. Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т. Происхождение складчатости. М., Наука, 1981, 135 с.
40. Камалетдинов М.А., Сизых В.И., Казанцева Т.Т. и др. Надвиговая тектоника Восточно-Европейской и Сибирской платформ (сравнительная характеристика и значение для нефтегазоносности) // Изв. АН РБ. Геология. Уфа, 2000. № 5 с. 46-60.
41. Карасев И.П., Карасева В.И. Тектоника юга Сибирской платформы. В кн.: Геология и нефтегазоносность юга Восточной Сибири. М., Недра, 1969, с.120-124.
42. Карта перспектив нефтегазоносности Сибирской платформы (2002 г.)Редактор: В. С. Старосельцев.Зам. редактора: Н.В. Мельников, В.И. Демин.
43. Карта новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири. Масштаб 1:2 500 000. Министерство геологии СССР. СНИИГГиМС. (Под ред. В.В. Гребенюка, М.П. Гришина, Ф.Г. Гурари, А.Э. Конторовича и др.), 1978.
44. Карта новейшей тектоники юга Восточной Сибири. Масштаб: 1:1 500 000 / ВостСибНИИГГиМС, ИГУ, Аэрогеология; ред. А. Г. Золотарев, П. М. Хрепков, отв. исп. В. М. Белоусов. – М.,1981. – 4 л.
45. Карта глубинного строения: карта дифференцированного гранитно-метаморфического слоя (по поверхности кристаллического фундамента) масштаба 1: 1 000 000. N-48 (Иркутск) Автор: А.Г. Пашкова (ВСЕГЕИ, ФГУНПП «Иркутскгеофизика», ИГЭ, 2010).

46. Кокарев П.Н., Диких И.А., Сердюкова В.А. Особенности строения пород-коллекторов парфёновского горизонта ковыктинской зоны газонакопления по материалам геофизического исследования скважин и результатам испытаний скважин. 2018.
47. Кулагин О.А. Картирование надвигов на юге Восточной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2011. № 4. С. 30-32.
48. Кушев В.Г. Зеленокаменные прогибы (троговые комплексы) Восточной Сибири в системе архейских кратонов и протерозойских подвижных поясов /Докембрийские троговые структуры Байкало-Амурского региона и их металлогения Новосибирск: Наука, 1985.
49. Ларионова Т.И. Признаки перспективности участков скопления углеводородов в аллохтоне складчато-надвиговых территорий // Геология, тектоника, металлогения Северо-Азиатского кратона: Мат-лы Всероссийской научной конференции. Якутск: Изд-во СВФУ, 2011, т.1. С. 59 – 62.
50. Леви К.Г., Кульчицкий А.А. Поверхности выравнивания северо-восточной части Байкальской рифтовой зоны / Рельеф и четвертичные отложения Станового нагорья. –М.: Наука, 1981. –С. 19-35.
51. Лобанов М.П., Сизых В.И., Синцов А.В. Покровно-складчатое строение юга Сибирской платформы (платформы минерагении и нефтегазоносности) // Шарьирование и геологические процессы. – Уфа. – 1989. – С. 23 – 24.
52. Мазукабзов А.М. Структура и геодинамика южной окраины Сибирского кратона//Диссертация, Иркутск, 2003.
53. Мазукабзов А.М., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Станевич А.М., Диденко А.Н., Бибикина Е.В и др./ Эволюция южной Сибирского кратона в докембрии, Склярёв Е.В. (ред.). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – 367 С.
54. Малых А.В., Замараев С.М., Рязанов Г.В., Гелетий Н.К. Тектоника центральной части Непского свода. Новосибирск: Наука, 1987. 81 с.
55. Мандельбаум М.М., Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р. и др. Изучение юга Сибирской платформы и Байкальской рифтовой зоны методом глубинных сейсмических зондирований // Геофизика (спец. выпуск). – 1999. – С. 10–21.
56. Мельников Н.В., Якшин М.С., Шишкин Б.Б. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2005. – 428 с.
57. Мельников Н.В., Мельников П.Н., Смирнов Е.В. Зоны нефтегазонакопления в районах проведения геологоразведочных работ Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции//Геология и геофизика, 2011, т. 52, № 8, с. 1151–1163.
58. Мигурский А.В., Старосельцев В.С. Шарьяжное строение зоны сочленения Сибирской платформы с Байкало-Патомским нагорьем // Советская геология, 1989. - № 7. - С. 9-15.

59. Мигурский А.В., Старосельцев В.С. Нефтегазогеологическое районирование авто- и аллохтона на юге Сибирской платформы // Современные проблемы шарьяжно- надвиговой тектоники. Уфа, 1997. с. 67-69.
60. Мигурский А.В. Виргации дислокаций и прогноз погребенных поднятий в зоне сочленения Сибирской платформы с Байкало-Патомским нагорьем / А.В.Мигурский // Фундаментальные проблемы геологии и тектоники Северной Евразии. Тез. докл. - Новосибирск: СО РАН, филиал «Гео», 2001. - С. 42-44.
61. Мигурский А.В., Ларионова Т.И. Перспективы нефтегазопоисковых работ в аллохтоне Предпатомского регионального прогиба (Сибирская платформа) // ГЕО-Сибирь-2009. Т. 2. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. матер. V Междунар. научн.конгресса «ГЕО-Сибирь-2009». – Новосибирск: СГГА, 2009. – 295-300 с.
62. Мигурский А.В. Масштабные латеральные перемещения пород и флюидов на Сибирской платформе // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2010. -№ 1. - с. 53-57
63. Митрофанов Г.Л., Таскин А.П. Структурные соотношения Сибирской платформы со складчатым сооружением // Геотектоника. 1994. № 1. – С. 3–15
64. Модели строения и количественная оценка перспектив нефтегазоносности реиональных резервуаров нефти и газа Предпатомского регионального прогиба (Сибирская платформа). Под ред. Г.Г. Шемина: монография. Новосибирск: Изд-во ГЕО, 2017г - 560 с.
65. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Вып. 7. Непско-Ботуобинский регион / А.Э. Конторович, Н.В. Мельников, В.Н. Воробьев и др.: Вып. 8. Иркутский бассейн; [Текст] / А. Э. Конторович, В.С. Сурков, А..А. Трофимук, Г.Г. Шемин и др.– Новосибирск, 1995. – 59 с.
66. Николаевский А.А. Глубинное строение восточной части Сибирской платформы и ее обрамления. – М.: Наука, 1968. – 181 с.
67. Новейшая тектоника (неотектоника) Байкальского региона // Атлас «Байкал». Новейшая тектоника. Масштаб: 1:4000000. 1993 г. Редактор: Г.И. Галазий / Российская академия наук (Сибирское отделение): Межведомственный научный совет по программе «Сибирь». Федеральная служба геодезии и картографии России. Москва. 160 с.
68. Пиннекер Е.В., Астраханцев В.И., Ломоносов И.С. Подземные воды Иркутского угленосного бассейна / Акад. наук СССР. Сиб. отд-ние. Вост.-Сиб. геол. ин-т. - Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1961. - 216 с., 1 л. карт. : черт., карт. ; 26 см. - Библиогр.: с. 212-214.
69. Поспеев А.В. Выделение пластов-коллекторов в разрезе осадочного чехла юга Сибирской платформы по данным зондирований становлением электромагнитного поля в ближней зоне / А.В.Поспеев, И.В.Буддо, Ю.А.Агафонов, Н.О.Кожевников // Геофизика. - 2010. - № 6.

70. Прокопьев А.В., Фридовский В.Ю., Гайдук В.В. Разломы. (Морфология, геометрия и кинематика). Учеб. пособие (Отв.ред. Л.М. Парфенов. — Якутск. ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. — 148 с.
71. Розен О.М. Сибирский кратон – фрагмент палеопротерозойского суперконтинента // Суперконтиненты в геологическом развитии докембрия: материалы совещания. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2001. С. 227–230.
72. Розен О.М. Сибирский кратон: тектоническое районирование, этапы эволюции /О.М. Розен // Геотектоника. – 2003. – № 3. –С. 3–21.
73. Рязанов Г.В. Морфология и генезис складок Непской зоны. Новосибирск, «Наука», 1973. 89 с.
74. Савинский К.А. Глубинная структура Сибирской платформы по геофизическим данным. – М. :Недра, 1972. – 324 с.
75. Самсонов В.В. Иркутский нефтегазоносный бассейн. Иркутск, Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1975, 198 с.
76. Саньков В.А., Парфеевец А.В., Мирошниченко А.И. и др. Позднекайнозойское разломообразование и напряженное состояние юго-восточной части Сибирской платформы // Геодинамика и тектонофизика, 2017, т. 8, №1, с. 81-105.
77. Сизых В.И. Шарьяжно-надвиговая тектоника окраин древних платформ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН: Филиал «ГЕО», 2001. – 154 с.
78. Сизых В. И., Лобанов М. П., Коваленко С.Н. Проблемные вопросы нефтегазоносности Сибирской платформы в связи с покровным строением // Геология и минерагения юга Сибири: Вестник ГеоИГУ. Вып. 4.– Иркутск: Иркут. ун-т, 2005.– С. 62–66.
79. Сизых В.И., Сизых А.И. Шарьяжно-надвиговая тектоника. – Иркутск: Иркут. ун-т, – 2005. – 195 с.
80. Семинский К.Ж., Саньков В.А., Огибенин В.В., Бурзунова Ю.П., Мирошниченко А.И., Горбунова Е.А., Горлов И.В., Смирнов А.С., Вахромеев А.Г., Буддо И.В. Тектонофизический подход к анализу геолого-геофизических данных на газоконденсатных месторождениях со сложным строением платформенного чехла. Геодинамика и тектонофизика. 2018;9(3):587-627. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0364>.
81. Скузоватов М.Ю. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности вендского терригенного комплекса Ангаро-Ленской нефтегазоносной области.//Диссертация, 2017.
82. Смелов А.П., Тимофеев В.Ф., Зайцев А.И. Строение, этапы становления фундамента Северо-Азиатского кратона и фанерозойский кимберлитовый магматизм//Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы науч.совещ. – Иркутск: Изд-во Ин-та геогр. СО РАН, 2003. – С 225-232.

83. Сметанин А.В. Опыт динамической интерпретации гравитационных аномалий. Иркутск, 2000. - 85 с.
84. Сметанин А.В. Предбайкало-Патомский надвиговой пояс // Геология нефти и газа. 2000. № 1. С. 14-20.
85. Смирнов А.С., Горлов И.В., Яицкий Н.Н., Горский О.М., Игнатьев С.Ф., Поспеев А.В., Вахромеев А.Г., Агафонов Ю.А., Буддо И.В. Интеграция геолого-геофизических данных - путь к созданию достоверной модели Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геология нефти и газа. 2016. №2. С.56-66.
86. Смирнов А.С., Вахромеев А.Г., Шелухов И.В., Касьянов В.В., Яицкий Н.Н., Макарова А.В. Картирование сложно построенных трещинно-кавернозных зон с АВПД в геологическом разрезе осадочного чехла северо-восточного борта Ангаро-Ленской ступени по геофизическим данным. // GeoBaikal 2018: материалы 5-й междунациональной науч.-практ. конф. – Иркутск: EAGE, 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201802041.
87. Смирнов А.С., Вахромеев А.Г., Курчиков А.Р., и др. Выявление и картирование флюидонасыщенных анизотропных трещинных коллекторов Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, № 5 (329), 2019, с. 4-12.
88. Старосельцев В. С. Актуальные проблемы тектоники нефтегазоперспективных регионов / В. С. Старосельцев. - Новосибирск: Наука. - 2008. - 212 с.
89. Схема «Четвертого Межведомственного регионального стратиграфического совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы». Новосибирск, 1989 г.
90. Тектоническая карта нефтегазоносных провинций Сибирской платформы. М: 1:5 000 000 / В.С. Старосельцев, Н.В. Мельников, М.П. Гришин и др. – Новосибирск, СНИИГГиМС, 2018
91. Тектоника нефтегазоносных областей юга Сибирской платформы. Под ред. С.Л. Арутюнова, В.П. Корчагина. М., Недра, 1982.
92. Тетяев М.М. О шарьяжах Восточной Сибири//Вестн.Геол.комитета.1928. №4/6. С. 8–12.
93. Тыщенко Л.Ф. Геологическое строение и нефтегазоносность подсолевого терригенного комплекса Иркутского нефтегазоносного бассейна. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геол.-минер. наук. Иркутск, 1982.
94. Флоренсов Н.А., Логачев Н.А., Кузнецов М.Ф. Неотектоническая карта юга Восточной Сибири под ред. М-б 1:4 000 000 // Атлас Иркутской области. – М.-Иркутск: ГУГК СССР. – 1962. –Атлас Иркутской области. Москва-Иркутск/ 182 с., с. 22-23
95. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов [Текст] / В. Е. Хаин. – М. : Научный мир, 2001. – 606 с.

96. Хильтова В.Я., Берковский А.Н., Козаков И.К. и др. Основные элементы строения фундамента Сибирской платформы: геолого-геофизические, геохронологические и изотопно-геохимические данные // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы. Мат-лы совещ. М.: ГЕОС. 2003. Т. 2. С. 276- 279.
97. Шатский Н.С. Основные черты тектоники Сибирской платформы // Бюл. МОИП. Отд. геол. – 1932. – № 3–4. – С. 476–609.
98. Шемин Г.Г. Надвиги на юго-востоке Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 1988. – № 11. – С. 32–38.
99. Шемин Г.Г., А.В. Мигурский, М.Ю. Смирнов, А.Г. Вахромеев, А.А. Поспеев Комплексная характеристика и количественная оценка перспектив нефтегазоносности региональных резервуаров нефти и газа верхневендско-нижнекембрийского аллохтонного карбонатного макрокомплекса Предпатовского регионального прогиба (Сибирская платформа) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, № 1 (33), .2018 – с. 33-55.
100. Шутов Г.Я. Верхнеленское сводовое поднятие - новый перспективный объект для поисков залежей газа в Ангаро-Ленской НГО/ Геология нефти и газа, № 1, 1987, с. 5-9.
101. Gladkochub D.P., Pisarevsky S.A., Donskaya T.V., Natapov L.M., Mazukabzov A.M., Stanevich A.M., Sklyarov E.V. Siberian Craton and its evolution in terms of Rodinia hypothesis // Episodes. – 2006. – V. 29. – No 3. – P. 169–174
102. Dahlstrom C.D.A. Balanced cross sections // Canadian journal earth science.- 1969. - V 6, N4. - P. 743 - 757.
103. Jamison W.R. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes // Journal of structural geology. - 1987. - V. 9, N2. - P. 207 - 219.
104. McClay K.R. Glossary of thrust tectonics terms // Thrust tectonics. - London; New York; Tokyo; Melbourne; Madras: Chapman and Hall, 1992. - P. 419 - 433.
105. Paor D.G. de, Balanced section in thrust belts. P.I: Construction // Ibid.- 1988. - V.72, N1. - P. 73-90.
106. Rosen O.M. Siberian craton – a fragment of a Paleoproterozoic supercontinent // Russian Journal of Earth Sciences. – 2002. – V. 4. – No 2. – P. 103–119. 326.
107. Rosen O.M., Condie K.C., Natapov L.M., Nozhkin A.D. Archean and Early Proterozoic evolution of the Siberian Craton: a preliminary assessment // Archean Crustal Evolution / Ed. Condie K.C. Amsterdam, Elsevier, 1994. – P. 411–459.
108. Smelov A.P., Timofeev V.F. The age of the North Asian Cratonic basement: An overview // Gondwana Research. – 2007. – V. 12. – P. 279–288.

Список работ автора по теме исследований

109. Мисюркеева Н.В., Агафонов Ю.А., Токарева О.В., Михеева Е.Д., Вахромеев А.Г. ЗСБ, как базовый метод прямых поисков промышленных рассолов в осадочном чехле платформ (на

- примере одной из площадей Сибирской платформы). VIII –ая Междунар. Науч.-практ. Конф. ГЕОМОДЕЛЬ- 2013: Сб. тезисов. Геленжик: «ЕАГЕ-ГЕОМОДЕЛЬ- 2013», 2013, с.82.
110. Ильин А.И., Вахромеев А.Г., Агафонов Ю.А., Буддо И.В., Мисюркеева Н.В. Методика опережающего прогноза горно-геологических условий бурения поисково-разведочных скважин на Ковыктинском ГКМ методом нестационарных электромагнитных зондирований. Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Геонауки-2014: актуальные проблемы изучения недр», ИрГТУ, 04-2014.
111. Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Агафонов Ю.А., Вахромеев А.Г. Применение малоглубинных зондирований ЗСБ для прогноза условий бурения поисково-разведочных скважин на примере Ковыктинского газоконденсатного месторождения. Материалы VII Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна ЭМЗ - 2015. http://conf.nsc.ru/ems2015/ru/ems2015_doklady.
112. Мисюркеева Н.В., Токарева О.В., Агафонов Ю.А. Буддо И.В., Вахромеев А.Г. Оценка эффективности поисков промышленных рассолов электромагнитными методами ИрГТУ, 04-2014
113. Ланкин Ю.К., Сапункова Л.В., Михеева Е.Д., Мисюркеева Н.В., Вахромеев А.Г. Оценка ресурсов промышленных рассолов уольского карбонатного резервуара нижнего кембрия Илгинской зоны Ангаро-Ленского месторождения, юг Сибирской платформы// Геология и минерагения центральной Азии. Мат-лы XIX междунар. научно-техн. Конф.- Иркутск : Изд-во ИРННТУ, 2015.- 344с, с. 250-255.
114. Buddo I.V., Misurkeeva N.V., Agafonov Y.A. & Smirnov A.S.. Optimal Sequence Of Gas Field Investigations From The Kovycta Gas-Condensate Field. 7th Saint Petersburg International Conference & Exhibition 2016. Saint Petersburg. 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201600167.
115. Мисюркеева Н.В., Поспеев А.В., Вахромеев А.Г., Горлов И.В., Смирнов А.С., Игнатъев С.Ф., Агафонов Ю.А., Буддо И.В. К вопросу об оценке потенциала боханского горизонта венда на Ковыктинском газоконденсатном месторождении. GeoBaikal 2016. Иркутск. 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201601712.
116. Горлов И.В., Смирнов А.С., Игнатъев С.Ф., Вахромеев А.Г., Поспеев А.В., Мисюркеева Н.В., Агафонов Ю.А., Буддо И.В. Новые газоперспективные объекты в кембрийских отложениях Ковыктинского ГКМ. GeoBaikal 2016. Иркутск. 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201601706.
117. Ильин А.И., Вахромеев А.Г., Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Поспеев А.В., Смирнов А.С., Горлов И.В. Новый подход к прогнозу АВПД в карбонатных рапоносных коллекторах кембрия на Ковыктинском ГКМ. GeoBaikal 2016. Иркутск. 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201601692.

118. Вахромеев А.Г., Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Поспеев А.В., Смирнов А.С., Горлов И.В. The new approach to the prediction of the abnormally high pressure in cembrian reservoirs at the kovykta gas-condensate field. В сборнике: GeoBaikal 2016.
119. Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Агафонов Ю.А., Поспеев А.В. Стадийность постановки электроразведочных работ на примере Ковыктинского ГКМ. Вопросы естествознания. 2016. № 1 (9). С. 100-103
120. Емельянов В.С., Буддо И.В., Шарлов М.В., Мисюркеева Н.В., Поспеев А.В., Агафонов Ю.А.. Оценка точности определения УЭС горизонтов-коллекторов в разрезе Ковыктинского ГКМ по данным ЗСБ. География и природные ресурсы 2016 № 6. С. 133–138. Иркутск. 2016 ВАК
121. Ильин А.И., Сверкунов С.А., Вахромеев А.Г., Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Агафонов Ю.А. Горлов И.В. Прогноз горно-геологических условий бурения разведочной скважины на примере Ковыктинского меторождения. Материалы XXVII Всероссийской молодежной конференции с участием исследователей из других стран (г. Иркутск, 22–28 мая 2017 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2017. С. 107 – 108.
122. Вахромеев А.Г., Горлов И.В., Смирнов А.С., Мисюркеева Н.В., Шутов Г.Я., Поспеев А.В., Станевич А.М., Шемин Г.Г. Неотектонический этап активизации краевой области Сибирского кратона как конечная фаза формирования Ковыктинской зоны нефтегазонакопления. Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы научного совещания (17-20 октября 2017 г, ИЗК СО РАН, г. Иркутск) Выпуск 15. С. 26-29.
123. Мисюркеева Н.В., Вахромеев А.Г., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Поспеев А.В. Рифейские прогибы Сибирской платформы – перспективы нефтегазоносности по данным геологоразведочных работ последних лет // «Росгеология. В поисках новых открытий» памяти В.В. Воропанова: материалы второй научно-практической конференции (Иркутск, 9-10 ноября, 2017). – Иркутск: Изд-во АО «Урангеологоразведка» ОП Сосновгеология, 2017. – с.11-14.
124. Вахромеев А.Г., Сверкунов С.А., Иванишин В.М., Мисюркеева Н.В., Горлов И.В.. Особенности первичного вскрытия бурением, карбонатных биогермных построек с каверново-связанным пустотным пространством и АВПД флюидных систем на юге Сибирской платформы// Mongolian Geoscientist, Т. 45, Геология и минерагения центральной Азии. Мат-лы XX междунар. научно-техн. Конф.- Изд-во Ulaanbaatar, 2017 :395с, с. 374-378.
125. Vakhromeev A.G., Sverkunov S.A., Ivanishin V.M., Misiurkeeva N.V., Buddo I.V.. Rock formation transient stress condition of fluid-saturated carbonate reservoirs. Saint Petersburg 2018. Санкт-Петербург. 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201800307.

126. I.V., Smirnov A.S., Misiurkeeva N.V., Shelohov I.A., Agafonov Y.A., Lushev M.A., Korotkov S.A., Trjasin E.Ju.. Integration of geomechanical, geoelectric and structural-tectonic models for the Kovykta gas condensate field geological model improvement. Saint Petersburg 2018. Санкт-Петербург. 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201800285.
127. Gorlov I.V., Misiurkeeva N.V., Buddo I.V., Vahromeev A.G., Shelohov I.A., Agafonov Y.A.. Localization and prospects of complex hydrocarbon gas deposits in the Vendian-Cambrian sediments of the south of the Siberian craton (Kovykta gas condensate field). Saint Petersburg 2018. Санкт-Петербург. 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201800223.
128. Shelohov I.A., Buddo I.V., Misiurkeeva N.V., Emelyanov V.S., Agafonov Y.A., Smirnov A.S., Gorlov I.V., Makarova A.V.. Studies of carbonate reservoirs of the Cambrian age of the Kovykta gas condensate field through the integration of the TEM and Seismic techniques. Saint Petersburg 2018. Санкт-Петербург. 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201800225.
129. Мисюркеева Н.В., Агафонов Ю.А. Опыт применения электромагнитных зондирований для поисков подземных вод в Восточной Сибири. Материалы Всероссийского совещания по ПОДЗЕМНЫМ ВОДАМ ВОСТОКА РОССИИ XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. 18-25 июня 2018 года, г. Новосибирск.
130. Горлов И.В., Мисюркеева Н.В., Вахромеев А.Г., Смирнов А.С. Создание геологической модели межсолевого пласта-коллектора по геолого-геофизическим данным. Материалы Всероссийского совещания по ПОДЗЕМНЫМ ВОДАМ ВОСТОКА РОССИИ XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. 18-25 июня 2018 года, г. Новосибирск.
131. Ильин А.С., Вахромеев А.Г., Компаниец С.В., Агафонов Ю.А., Буддо И.В., Шарлов М.В., Поспеев А.В., Мисюркеева Н.В., Сверкунов С.А., Горлов И.В., Смирнов А.С., Огибенин В.В. «Способ локального прогноза зон рапопроявлений». Патент № 2661082, опубл. 11.07.2018, бюлл. № 20. () /Заявка № 2017132006 (056188) от 12.09.2017.
132. Современная практическая электроразведка. Монография. Поспеев А.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Шарлов М.В., Компаниец С.В., Токарева О.В., Мисюркеева Н.В., Гомульский В.В., Суров Л.В., Ильин А.И., Емельянов В.С., Мурзина Е.В., Гусейнов Р.Г., Семинский И.К., Шарлов Р.В., Вахромеев А.Г., Сень Е.А. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. – 231 с. – ISBN 978-5-9909584-1-8. DOI: 10.21782/B978-5-9909584-1-8
133. Буддо И.В., Смирнов А.С., Мисюркеева Н.В., Шелохов И.А., Поспеев А.В., Касьянов В.В., Агафонов Ю.А. Интегрирование данных электромагнитных и сейсморазведочных исследований на всех стадиях геологоразведочных работ: от поисково-оценочного этапа до разработки месторождения углеводородов. Экспозиция нефть газ, Октябрь 6(66), 2018 г., г. Наб. Челны, с. 24-28.

134. Buddo I.V., Pospeev A.V., Shelohov I.A., Misiurkeeva N.V., Agafonov Y.A., Smirnov A.S. Geoelectric Model of the Section As an Integral Part of the Oil and Gas Fields Geological Model (Case Study From the Kovykta Gas Condensate Field). *GeoBaikal* 2018. 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201802044.
135. Misiurkeeva N.V., Buddo I.V., Shelohov I.A., Vakhromeev A.G., Agafonov Y.A., Gorlov I.V., Smirnov A.S.. Feasibility of Fault Zones Fluid Permeability Assessment From the Set of Geophysical Data. *GeoBaikal* 2018. 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201802046.
136. Gorlov I.V., Misiurkeeva N.V., Buddo I.V., Vakhromeev A.G., Shelohov I.A., Smirnov A.S. Improvement of the Eastern Part of the Kovykta Gas Condensate Field Geological Model in the Light of the New Geological and Geophysical Data. *GeoBaikal* 2018. 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201802059.
137. Шелохов И.А., Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Верховзин И.И., Агафонов Ю.А. Особенности гидрогеологической модели (ВПЗ) Ковыктинского ГКМ и её уточнение по данным электромагнитных зондирований. Материалы XII Российско-Монгольской международной конференции по астрономии и геофизике «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона»: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика (к 100-летию ИГУ), г. Иркутск, 2018 г.
138. Мисюркеева Н.В., Шелохов И.А., Буддо И.В., Агафонов Ю.А. Возможность оценки степени флюидопроницаемости разломных зон комплексом глубинных геофизических методов. Материалы XII Российско-Монгольской международной конференции по астрономии и геофизике «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона»: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика (к 100-летию ИГУ), г. Иркутск, 2018а.
139. Вахромеев А.Г., Мазукабзов А.М., Горлов И.В., Смирнов А.С., Мисюркеева Н.В. Трещинные коллекторы нефти и газа, металлоносных рассолов в аллохтоне Ковыктинской зоны нефтегазоаккумуляции// Тезисы XII Российско-монгольской международной конференции «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика», г. Иркутск, 2018, с.1-2
140. Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Шелохов И.А. К вопросу о картировании разрывных нарушений и степени их проницаемости комплексом глубинных геофизических методов в пределах нефтегазоносных структур Сибирской платформы. Материалы международной научно-практической конференции «Игошинские чтения – 2018б».
141. Буддо И.В., Шелохов И.А., Смирнов А.С., Мисюркеева Н.В. Картирование зон трещиноватости карбонатно-галогенных пород в Восточной Сибири по комплексу методов сейсмо- и электроразведки. Материалы международной научно-практической конференции «Игошинские чтения – 2018»

142. Вахромеев А.Г., Горлов И.В., Мисюркеева Н.В., Сверкунов С.А. Ланкин Ю.К., Смирнов А.С. Гидрогеологические основы локального прогноза флюидонапорных систем с АВПД в карбонатных природных резервуарах кембрия Ковыктинского ГКМ. Геология и Минеральные ресурсы – № 4 (36), 2018.
143. Буддо И.В, Шелохов И.А, Смирнов А.С, Мисюркеева, Горлов И.В Влияние неопределенностей структурных построений и емкостных характеристик коллектора на оценку флюидного насыщения при комплексировании данных сейсмо- и электроразведки. Материалы XXVIII Всероссийской молодежной конференции Структура литосферы и геодинамика
144. Шелохов И.А, Буддо И.В, Смирнов А.С, Мисюркеева Н.В. Изучение интервалов флюидонасыщенной трещиноватости комплексом методов сейсмо- и электроразведки. Материалы XXVIII Всероссийской молодежной конференции Структура литосферы и геодинамика, 2019
145. Buddo I.V., Shelokhov I.A., Smirnov A.S., Musjurkejeva N.V. Mapping the fractured zones of the carbonate-haloid rocks in Eastern Siberia by seismic and electromagnetic survey. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 229 (2019) 012002. 2019. doi:10.1088/1755-1315/229/1/012002.
146. Misurkeeva N.V., Vakhromeev A.G., Buddo I.V., Smirnov A.S. and Gorlov I.V. Folded-Thrust Dislocations of the Kovykta Section of the Baikal-Patomsky Thrust Belt According to New Geological and Geophysical Data// Geomodel 2019 DOI: 10.3997/2214-4609.201950139
147. Buddo, I. Shelokhov, A. Smirnov, V. Emelyanov, N. Misyurkeeva, I. Gorlov. The influence of the geophysical methods and well-logs ambiguity on the geological model of oil and gas uncertainty. ProGRESS'19. Sochi, Russia, 2019. DOI: 10.3997/2214-4609.201953082
148. Smirnov, I. Buddo, I. Shelokhov, Y. Agafonov, A. Vakhromeev, N. Misyurkeeva, I. Gorlov. Modern approaches to the geological and geophysical data integration to optimize expenses at the exploration and development stages of hydrocarbon fields. ProGRESS'19. Sochi, Russia, 2019. DOI: 10.3997/2214-4609.201953084
149. Вахромеев А.Г., Смирнов А.С., Мазукабзов А.М., Шутов Г.Я., Горлов И.В., Мисюркеева Н.В.; Огибенин В.В.. Верхнеленское сводовое поднятие – главный объект подготовки ресурсной базы Иркутского центра газодобычи // Геология и минеральные ресурсы Сибири. 2019, № 3. С. 38-56. DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-38.
150. Буддо И.В., Ильин А.И., Вахромеев А.Г., Смирнов А.С., Горлов И.В., Шелохов И.А., Мисюркеева Н.В. Сверкунов С.А, Опыт комплексирования современных геолого-геофизических исследований для снижения риска осложнений при бурении кустов скважин // SPE Russian Petroleum Technology Conference

151. Seminsky K.Z., Buddo I.V., Bobrov A.A., Misyurkeeva N.V., Burzunova Y.P., Smirnov A.S., Shelokhov I.A. Mapping the internal structures of fault zones of the sedimentary cover: a tectonophysical approach applied to interpret TDEM data (Kovykta gas condensate field). *Geodynamics & Tectonophysics*. 2019; 10(4):879-897. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-4-0447>.
152. Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Комаров А.Г., Смирнов А.С. Малоглубинная электроразведка мЗСБ для поиска подземных вод при обустройстве Ковыктинского ГКМ. *Геобайкал* 2020
153. I.V. Gorlov, A.G. Vahromeev, A.S. Smirnov, A.I. Plyin, N.V. Misyurkeeva, I.V. Buddo, G.G. Shemin and I.S. Pozdnyakova. Detailing The Geological Structure of The Cambrian Deposits of The Kovykta Gas Condensate Field. *Conference Proceedings, GeoBaikal 2020, Oct 2020, Volume 2020*, p.1 – 6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202052051>
154. Вахромеев А.Г., Смирнов А.С., Мазукабзов А.М., Горлов И.В., Поспеев А.В., Клыкова В.Д., Мисюркеева Н.В., Станевич А.М. Геологическое строение юго-восточной краевой области сибирского кратона на основе новейших данных ГРП по Ковыктинскому газоконденсатному месторождению. Иркутск, Институт земной коры СО РАН, 2019.
155. Рыбальченко В.В., Трусов А.И., Буддо И.В., Абрамович А.В., Смирнов А.С., Мисюркеева Н.В., Шелохов И.А., Оцимик А.А., Агафонов Ю.А., Горлов И.В., Погребский А.В. Повышение достоверности решения нефтегазопоисковых задач по результатам комплексирования сейсмо- и электроразведки на участках ПАО «Газпром» (Западная и Восточная Сибирь) // *Газовая промышленность*. 2020. № 10/807. С. 20-29.
156. Рыбальченко В.В., Трусов А.И., Буддо И.В., Абрамович А.В., Смирнов А.С., Мисюркеева Н.В., Шелохов И.А., Оцимик А.А., Агафонов Ю.А., Горлов И.В., Погребский А.В. Комплекс вспомогательных исследований на этапах разведки и разработки месторождений нефти и газа: от картирования многолетнемерзлых пород до поисков подземных вод для обеспечения бурения и эксплуатации. // *Газовая промышленность*. 2020. № 11/808. С. 20-28.
157. Поспеев А.В., Вахромеев А.Г., Курчиков А.Р., Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Агафонов Ю.А., Смирнов А.С., Горлов И.В. К вопросу об оценке потенциала боханского горизонта по данным нестационарных электромагнитных зондирований на Ковыктинском газоконденсатном месторождении. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 11 (347). 2020. DOI: 10.30713/2413-5011-2020-11(347)-9-21.
158. Мисюркеева Н.В., Вахромеев А.Г., Буддо И.В., Горлов И.В., Смирнов А.С. Детализация внутреннего строения надвиговых структур при обосновании геологической модели осадочного чехла. *Литосфера и геодинамика*, 2021а.

159. Мисюркеева Н.В., Вахромеев А.Г., Смирнов А.С., Горлов И.В., Близнюков В.Ю. Внутреннее строение Ковыктинско-Хандинской зоны Байкало-Патомского надвигового пояса. Новые идеи в геологии нефти и газа, конференция, 2021б.
160. Misyurkeeva N.V., Vakhromeev A.G., Smirnov A.S., Buddo I.V., Gorlov I.V., Shemin G.G., 2022. Adjustment of Thrusting Structure in the Kovykta-Khandinskaya Reflected Folding Zone. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (2s), 0607. doi:10.5800/GT-2022-13-2s-0607
161. Вахромеев А.Г., Мейснер А.Л., Колмаков А.В., Смирнов А.С., Горлов И.В., Мисюркеева Н.В. Картирование поверхности кристаллического фундамента Верхнеленского сводового поднятия, Иркутский амфитеатр, по данным современной аэрогеофизической съемки// Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». 19–22 октября 2021 г., ИЗК СО РАН, г. Иркутск.