

Федеральное государственное бюджетное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов
Мирового океана имени академика И.С. Грамберга
(ФГБУ «ВНИИОкеангеология»)

На правах рукописи

ЖОЛОНДЗ Александр Сергеевич

**СТРОЕНИЕ ЮЖНО-КАРСКОЙ ВПАДИНЫ И ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЫ
ПРИЯМАЛЬСКОГО ШЕЛЬФА
КАРСКОГО МОРЯ**

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук
Яновская Татьяна Борисовна

Санкт-Петербург – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1: Общие сведения о районе исследований	8
1.1. Физико-географическое описание.....	8
1.2. Сейсмическая изученность на 2012 г.....	9
1.3. Тектоническое и структурное строение региона.....	11
ГЛАВА 2: Сейсмические исследования на приамальском шельфе Карского моря.	24
2.1. Методика проведения.....	24
2.2. Интерпретация результатов, полученных по отраженным продольным волнам 44	
2.3. Обработка и интерпретация данных горизонтальных каналов донных станций в транзитной зоне.	52
2.4. Выводы	66
ГЛАВА 3: Региональное строение мезозойско-кайнозойского осадочного чехла в пределах области исследований.	68
3.1. Анализ сейсмических данных по профилям.....	68
3.2. Элементы структурного строения.....	78
3.3. Распределение мощности осадочных комплексов в пределах исследуемой области 84	
3.4. Элементы тектонического районирования (дизъюнктивы).....	88
3.5. Выводы.....	106
ГЛАВА 4: Новые локальные структуры, перспективные на углеводороды	107
4.1. Результаты геохимического опробования.....	107
4.2. Комплексная интерпретация сейсмических и газогеохимических данных.....	120
4.3. Выводы	134
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	135
Список литературы.....	137

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

Несмотря на то, что сейсмические исследования на полуострове Ямал были начаты в 1940-х гг., а в акватории Карского моря – в 1960-х гг., на карте сейсмической изученности региона остаются еще «белые пятна». До 2012 г. практически полностью неизученной сейсморазведочными методами оставалась переходная зона суша–море (так называемая транзитная зона). Она представляет собой полосу 5 – 15 км шириной с глубинами моря от 0 до 10 – 15 м [Верба и др., 2000]. Также мало изучена южная часть приямальского шельфа Карского моря и Байдарацкая губа, в которой первые сейсморазведочные работы МОВ-ОГТ 2Д были проведены ОАО «Южморгеология» в 2004 – 2006 гг.

Исследованиями строения и нефтегазоносности полуострова Ямал и Карского моря в разное время занимались НИИГА (ВНИИОкеангеология), Севморгео, МАГЭ, ВНИГНИ, СНИИГГиМС, ВНИГРИ, ВНИИГАЗ и другие организации.

Значительный вклад в изучение строения, нефтегазоносности, эволюции региона внесли такие ученые, как В.А. Скоробогатов, Д.А. Астафьев, В.И. Богоявленский, М.Л. Верба, Н.М. Иванова, А.Д. Павленкин, В.А. Верниковский, А.В. Ступакова, А.В. Куницын, В.Б. Пийп, А.В. Осыка, Н.П. Запывалов, А.Э. Конторович и многие другие.

В 2012 – 2014 гг. ФГБУ «ВНИИОкеангеология» и ОАО МАГЭ провели совместные работы на приямальском шельфе Карского моря. Эти исследования позволили впервые по региональной сети профилей изучить строение транзитной зоны, провести непрерывный профиль суша-море от скважины и по результатам работ МОВ-ОГТ создать сеймостратиграфическую модель опорных отражающих горизонтов. Сейсморазведочные работы сопровождались геохимическим опробованием, точки проведения которого выбирались на основании анализа данных сейсмоакустического профилирования.

Цель работы. На основе современных многоволновых сейсморазведочных данных разработать и провести апробацию научно-методического подхода, подходящего для проведения региональных исследовательских работ в транзитных зонах и слабоизученных областях, для получения литолого-физических характеристик осадочных комплексов на примере приямальской части Южно-Карского шельфа. Провести анализ условий осадконакопления в мезозое и кайнозое с учетом новых сейсмических данных, выявить локальные особенности строения мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, которые могут

потенциально иметь углеводородный потенциал. Сопоставить полученные результаты с данными газогеохимического анализа для уточнения перспективности выявленных структур.

Основные задачи работы:

- Разработать единую сейсмостратиграфическую модель отражающих горизонтов для суши, транзитной зоны и приамальской части Карского моря;
- Выполнить совместную обработку сейсмических данных по продольным и обменным волнам и выявить особенности применяемого метода работ в транзитной зоне;
- Получить литолого-физические характеристики комплексов осадочного чехла с применением разработанного научно-методического подхода с использованием отраженных продольных и обменных волн;
- Провести анализ региональных закономерностей распространения мезозойско-кайнозойских комплексов осадочного чехла и расположения дизъюнктивных нарушений на исследуемой площади;
- Выявить новые локальные структуры на основе совместного анализа данных сейсморазведочных и газогеохимических исследований, которые могут служить цели восполнения нефтегазовых запасов.

Научная новизна:

- Впервые проведена непрерывная сейсмостратиграфическая увязка комплексов в акватории Карского моря и на полуострове Ямал с использованием сейсмического профиля суша-море, начинающегося от скважины на суше.
- Получены результаты комплексной обработки сейсморазведочных данных с использованием четырехкомпонентных донных станций в транзитной зоне, позволившие получить обобщенные литолого-физические характеристики слоев.
- Проведена совместная интерпретация новых и ретроспективных сейсмических данных, что позволило построить структурные схемы по опорным горизонтам, уточнить границы структур домезозойского основания в мелководной зоне и установить закономерности распространения мезозойско-кайнозойских комплексов в пределах исследуемой площади.
- В результате анализа сейсмических волновых полей выявлены дизъюнктивные нарушения и составлена схема их расположения, определены возможные механизмы образования центральной депрессионной части Южно-Карской впадины.

- В транзитной зоне приамальской части Южно-Карского шельфа по результатам комплексной интерпретации сейсмических и газогеохимических работ выявлены две новые локальные структуры, перспективные для поиска углеводородов.

Фактический материал и методы решения задач.

Для решения поставленных задач использованы новые и ретроспективные данные сейсморазведки МОВ-ОГТ 2D, полученные ОАО МАГЭ и ОАО СМНГ, газогеохимия (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»), а также созданная автором аналитическая база геолого-геофизических данных, включающая в себя информацию по скважинам, результаты ранее опубликованных исследований. База продолжает пополняться по мере получения новых данных. Общее количество сейсмических профилей в базе составляет более 40 и почти 1700 значений газогеохимического опробования.

При проведении построений использовались такие программные продукты, как ESRI ArcGIS, IHS (SMT) KINGDOM, GlobalMapper, Golden Software Surfer, Geocap, Microsoft Office (MS Access).

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются представительностью и надежностью исходных материалов, применением современных методов обработки и анализа данных, проверяемостью полученных автором результатов.

Практическая значимость работы описывается следующими выводами:

1. На примере проведенных исследований в транзитной зоне поставлены проблемные вопросы и пути их решения при проведении и обработке материалов сейсморазведочных работ с использованием четырехкомпонентных донных станций.
2. Создана основа для дальнейшего изучения геологического строения и особенностей распространения мезозойских и кайнозойских осадочных комплексов в пределах района исследований, опирающаяся на современные данные, включающие региональную изученность транзитной зоны.
3. Показано латеральное распределение основных дизъюнктивных нарушений на исследуемой площади, что может быть использовано при оценке нефтегазового потенциала региона.
4. По результатам комплексирования сейсмических и геохимических методов исследований выявлены новые локальные структуры, перспективные на углеводороды.

Методология и методы исследований

Изучение строения осадочного чехла основывается на применении сейсмической разведки методом общей глубинной точки. Обработка полученных данных проведена с использованием

современного программного обеспечения Landmark ProMAX/SeisSpace и по разработанному автором в ходе диссертационного исследования графу обработки, объединившем в себе опыт и знания, приобретенные в процессе работы во ФГБУ «ВНИИОкеангеология».

Газогеохимические исследования проведены в ФГБУ «ВНИИОкеангеология» в отделе литологии и геохимии.

Защищаемые положения.

1. Разработанный научно-методический подход, включающий использование четырехкомпонентных донных станций и комплексную обработку отраженных продольных и поперечных волн, обеспечивает создание непрерывной сейсмостратиграфической модели суша-море и получение обобщенных литологических характеристик, увязанных с данными по скважине.
2. Многофакторный анализ морфоструктурных и тектонических особенностей в пределах области исследований позволил установить трехэтапное погружение центральной депрессионной части Южно-Карской впадины с некомпенсированным режимом осадконакопления в течение поздне триасового - раннемелового времени.
3. Корреляция сейсмического атрибутивного анализа и геохимических признаков нефтегазоносности (повышенные концентрации метана и его гомологов, ароматических и жидких углеводородов) позволяет выявить локальные перспективные участки в транзитной зоне приямальского шельфа Карского моря.

Личный вклад автора заключается в подборе оптимального графа и проведении обработки и интерпретации сейсмических данных по продольным и обменным волнам, данных сейсмоакустического профилирования, комплексном анализе сейсморазведочных и газогеохимических данных, создании структурных схем отражающих горизонтов и схемы структурных элементов. По инициативе автора и при его непосредственном участии создана схема дизъюнктивных нарушений. Создана и пополняется база данных результатов исследований и публикаций по Южно-Карскому шельфу.

Апробация результатов

Основные положения диссертационной работы были опубликованы в 3 статьях в журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК, докладывались, обсуждались и получили одобрение на конференциях «Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана» (Санкт-Петербург, 2014), «Геофизика-2015» (Санкт-Петербург, 2015), 18 научно-практической конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель 2016» (Геленджик, 2016), Научно-практической конференции «Сейсмические технологии–2017» (Москва, 2017), 19-ой научно-практической конференции по

вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель 2017» (Геленджик, 2017), а также на секции геофизики Ученого совета ФГБУ «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга».

Объем и структура работы.

Работа состоит из 4 глав, введения и заключения. Содержит 145 страниц, 104 рисунка и список литературы из 86 наименований.

ГЛАВА 1: Общие сведения о районе исследований

1.1. Физико-географическое описание

Полуостров Ямал

Географическое положение полуострова описывается координатами по широте 68° и 73° с.ш. и долготе – между 66° и 73° в.д. С запада омывается Карским морем (на юго-западе – Байдарацкой губой), с востока – Обской губой. С севера полуостров отделен от акватории Карского моря находящимся через пролив Малыгина островом Белый, имеет длину около 700 км, а ширину – около 240 км. Ландшафты полуострова представлены тундрой, на юге – с лесотудровыми участками. Имеется большое количество озер, самое крупное из которых – Ямбуто, входящее в систему озер Нейто.

Климат холодный. Основная часть полуострова находится в субарктическом поясе, а северное побережье – в арктическом. Средняя температура зимой составляет примерно -25°C , а летом – около 9°C . Повсеместно распространена многолетняя мерзлота. Талые грунты встречаются под крупными реками и озерами.

Морфологически территория полуострова представляет собой преимущественно заболоченную равнину с небольшими высотами (до 200 м).

Карское море

Карское море – окраинное море Северного Ледовитого океана, площадью около 900 тыс. км². Ограничено побережьями п-овов Ямал и Гыдан, архипелагами Новая Земля и Северная Земля. Наибольшая глубина составляет примерно 620 м, а средняя – не превышает 100 м.

В море впадают полноводные реки Обь и Енисей.

Также это море одно из самых холодных. Температура выше 0°C летом только вблизи устьев рек, а большую часть года море покрыто льдами.

В морфологии дна выделяются два желоба – Святой Анны (максимальная глубина 620 м) и Воронин (максимальная глубина 420 м).

Район исследований находится в шельфовой зоне приямальской части Карского моря. Глубины моря в нем не превышают 250 м. При этом в северной части полуострова Ямал и острова Белый дно моря пологое, глубина постепенно увеличивается до 75 м на расстоянии почти 30 километров от берега.

Глубина моря в районе южной части побережья Ямала изменяется с меньшим градиентом. Расстояние от береговой линии до изобаты 75 м в этой части Карского моря изменяется от 50 до 100 км.

Максимальные глубины в Байдарацкой губе не превышают 25 м.

1.2. Сейсмическая изученность на 2012 г.

Геофизическое изучение Ямала до конца 1940-х гг. носило эпизодический характер, в результате которых были получены начальные представления о геологии четвертичных отложений полуострова, о распространении мерзлых пород, а также была составлена первая обзорная геологическая карта масштаба 1: 2 500 000. С конца 40-х гг. геологические и геофизические исследования начинают быть более планомерными. Связано это в первую очередь с началом хозяйственного освоения территорий. Так в 1946 – 1948 гг. до поселка Мыс Каменный были проведены инженерно-геологические изыскания под строительство железной дороги, а около самого поселка была пробурена первая на Ямале скважина. Но при глубине чуть более 130 м она так и не вышла из мерзлых пород [Скоробогатов, 2003].

С 1950 г. начинаются аэромагнитные съемки, а несколькими годами позже и геологические исследования, постепенно продвигаясь по полуострову с юга на север.

К концу 50-х гг. на юге Ямала начались работы для решения задач геотектонического районирования, а также выявления площадей, перспективных на нефть и газ. В пределах южного Ямала выделены Щучьинский и Ямало-Юганский районы магнитных полей, различающихся по своей геотектонической природе. Описан Байдарацкий глубинный разлом. В 1960-1961 гг. на акватории Обской и Тазовской губ были выполнены сейсмические исследования. По результатам их интерпретации были выделены четыре крупных поднятия – Северо-Щучьинское, Каменно-Трехбугорное, Гыданское и Средне-Ямальское.

В 1961-1962 гг. были проведены первые гравиметрические наблюдения на Ямале.

Результаты проведенных магнитных и гравиметрических съемок стали основой для построения более чем 80 вариантов схем тектонического районирования фундамента. Главное практическое значение полученных результатов заключалось в том, что отрицательные аномалии магнитного и гравитационного полей в южной части Ямала примерно совпадали с выявленными крупными локальными поднятиями в осадочном чехле, и таким образом послужили поисковым обоснованием для постановки сейсмических работ методом отраженных волн (МОВ).

Примерно с середины 1960-х гг. началось активное изучение строения Ямала и перспектив нефтегазоносности сейсмическими методами. К 1972 г. по региональным, а затем и

по площадным сейсмическим работам были оконтурены в пределах суши Харасавейское, Крузенштернское и Бованенковское локальные поднятия.

С совершенствованием технологий и методики сейсморазведки объемы выполняемых работ с ходом времени только росли. К концу 80-х гг. на Бованенковском валу выявили нефтегазоконденсатное месторождение. Это в свою очередь дало толчок для интенсификации и увеличения глубинности исследований. А в конечном итоге это привело к уточнению площадей уже известных и открытию новых месторождений. Всего к настоящему моменту на полуострове и акватории Обской и Тазовской губ насчитывается более 40 месторождений.

Обнаружение нефти и газа на суше не могло не повлиять на исследование акватории открытого моря. Однако, систематические сейсмические исследования в южной части акватории Карского моря начались только в 70-х гг. XX века. Фрагмент сейсмической изученности на приямальском шельфе Карского моря и в Байдарацкой губе по состоянию на 2012 г. приведено на Рисунке 1.1.

В результате в южной части Карского моря были открыты два крупнейших месторождений – газоконденсатное Русановское (1989 г.) и газовое Ленинградское (1990 г.).

Первые крупные работы на Западно-Ямальском шельфе были проведены в 1993 г. ОАО «СМНГ» для уточнения границ морского продолжения Харасавейского месторождения.

После этого в систематических сейсмических исследованиях был длительный перерыв до 2004 г., когда ОАО «МАГЭ» провели площадные работы на Обручевском валу. Первые сейсмические наблюдения в Байдарацкой губе ОАО «Южморгео» провели лишь в 2006 г.

На 2012 г. Южно-Карский шельф покрыт неравномерной по плотности сетью сейсмических профилей (Рисунок 1.1). Более того, большая часть этих работ была проведена до начала 1990-х г. Полностью неизученной осталась прибрежная мелководная зона (транзитная зона), большие неисследованные площади выделяются в южной части акватории.

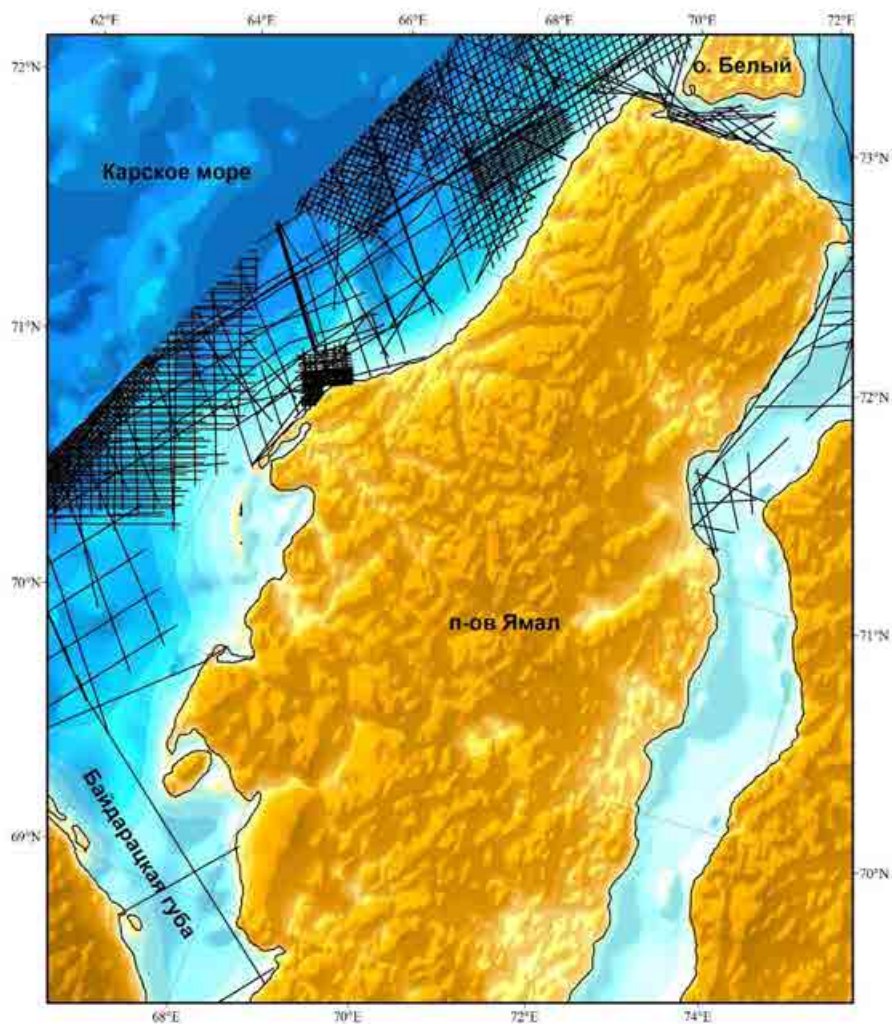


Рисунок 1.1. Схема сейсмической изученности Южно-Карского шельфа (фрагмент, по состоянию на 2012 г.) [Региональные..., 2014].

1.3. Тектоническое и структурное строение региона.

Обзор структурно-тектонических построений, выполненных по Карскому морю, по Ямалу и по Баренцево-Карскому региону, является очень сложной задачей по нескольким причинам. Во-первых, это количество разных вариантов. В разное время этим регионом занималось большое количество ученых с разными взглядами, иногда противоречащими друг другу [Герман, 1963; Самойлович, 1980; Скоробогатов, 2003 и др.]. Во-вторых, количество вариантов построений возрастает с увеличением площади исследований. Таким образом, описать все варианты не представляется возможным. В этом разделе приводятся материалы, на основе которых производилось изучение приямальской части Южно-Карского шельфа.

Одно из первых построений [Скоробогатов, 2003] было выполнено по результатам интерпретации материалов сейсморазведки и гравиметрии по территории полуострова (Рисунок 1.2).

Дальнейшее изучение южной части акватории Карского моря позволили построить тектоническую схему [Скоробогатов, 2003], включающую в себя район от Новой Земли до Таймыра (Рисунок 1.3). Авторы схемы отмечают, что в структуре осадочного чехла выделяется множество положительных и отрицательных структур разных порядков. В качестве «станового хребта» Ямальной области называется Нурминский мегавал.

На приямальском шельфе выделяются Южно-Карская впадина, восточная часть которого продолжается на полуостров, и Скуратовский мегавал.

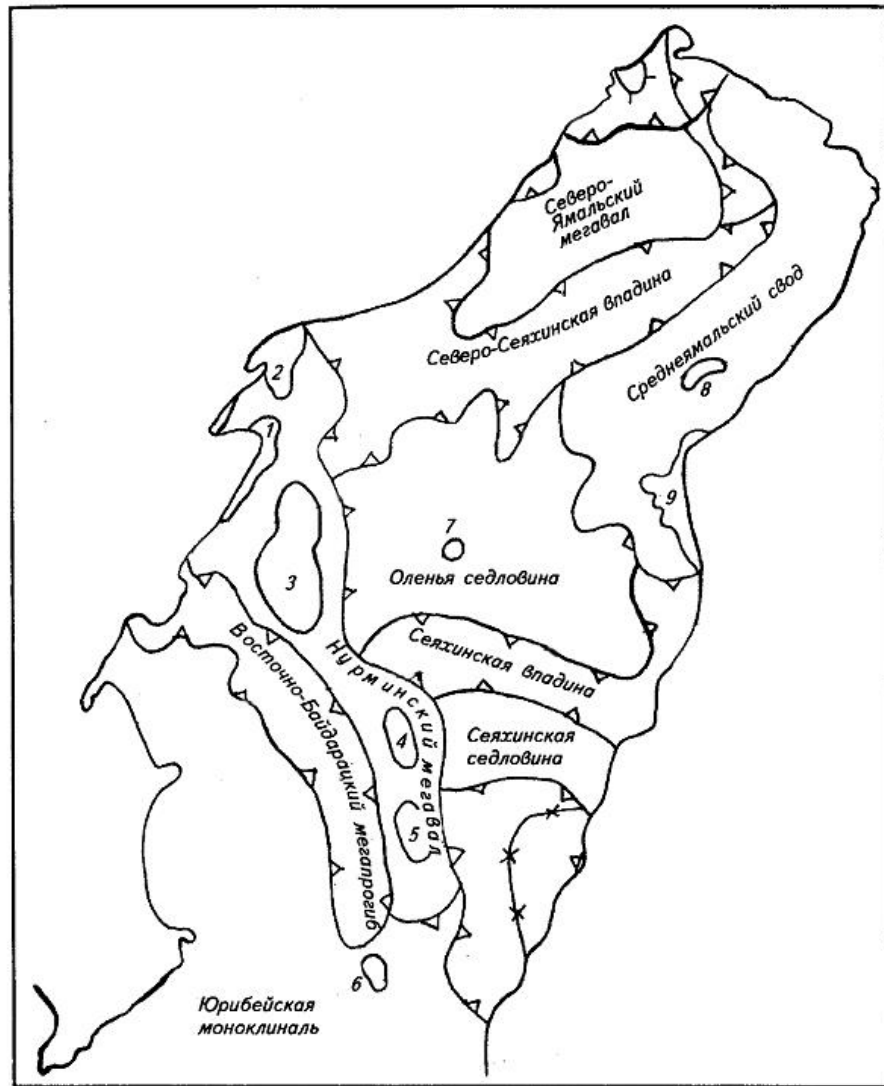


Рисунок 1.2. Тектоническая схема Ямала (середина 80-х гг.) [Скоробогатов, 2003].
Месторождения: 1 – Крузенштернское, 2 – Харасавейское, 3 – Бованенковское. 4 – Средне-Ямальское, 5 – Нурминское, 6 – Новопортовское, 7 – Верхне-Тиутейское, 8 – Северо-Тамбейское, 9 – Южно-Тамбейское.

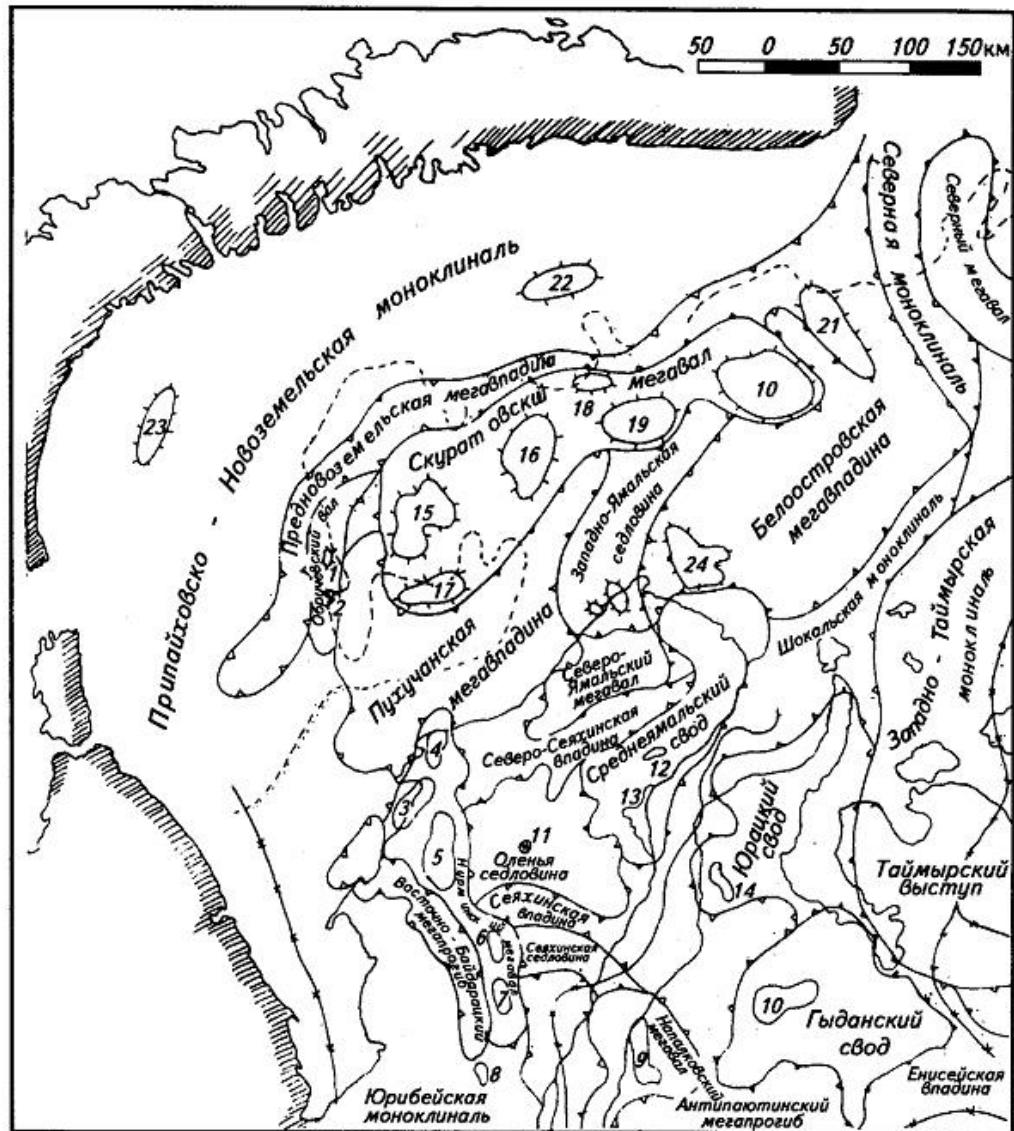


Рисунок 1.3. Тектоническая схема севера Западно-Сибирской плиты (начало 90-х гг.) [Скоробогатов, 2003]. Месторождения: 1 – Обручевское, 2 – Амдерминское, 3 – Крузенштернское, 4 – Харасавейское, 5 – Бованенковское, 6 – Нейтинское, 7 – Средне-Ямальское, 8 – Новопортовское, 9 – Геофизическое, 10 – Гыданское, 11 – Верхне-Тиутейское, 12 – Северо-Тамбейское, 13 – Южно-Тамбейское, 14 – Утреннее, 15 – Ленинградское, 16 – Русановское, 17 – Северо-Пухучемское, 18 – Матусевича, 19 – Скуратовское-1, 20 – Скуратовское-2, 21 – Рогозинское, 22 – Криповича, 23 – Литке, 24 – Белоостровское.

Южная часть шельфа Карского моря характеризуется сходством геологического строения с сопредельной сухопутной частью Западно-Сибирской плиты. Большая часть осадочных образований представлена юрско-меловыми отложениями. В конце перми - начале триаса южная часть Карского шельфа, как и Западно-Сибирская плита, подверглась воздействию интенсивного рифтогенеза, сопровождавшегося трапповым магматизмом [Добрецов и др., 2013]. Система рифтогенных зон сформировала структурный план региона. В пределах

шельфовой зоны и на полуострове Ямал выделяются Ямальский и Колтогорско-Уренгойский рифты, последний имеет продолжение на Западно-Сибирской плите до широты верховий Иртыша (Рисунок 1.4).

В становлении Южно-Карского бассейна в эволюции осадконакопления намечается два главных этапа: пермско(?)-триасовый – рифтогенный, юрско-четвертичный – бассейновый (койлогенный) [Скоробогатов, 2003]. Начиная с перми(?)-триаса, весь Баренцево-Карский регион развивался в общем по единому сценарию, отступление от которого произошло лишь в позднем мелу-кайнозое, когда в Баренцево-Северокарском бассейне на значительных площадях установлены проявления апифта, а в Южно-Карском бассейне продолжалось достаточно интенсивное погружение, компенсируемое накоплением осадочных толщ [Арктические моря..., 2004].

Выделение рифтогенного комплекса триасовых отложений в Южно-Карском море может основываться только на косвенных данных, так как скважин, вскрывших рифтовые отложения, на полуострове Ямал и в южной части Карского моря на сегодняшний момент нет. Это связано с тем, что в основном скважины бурятся на выявленных локальных поднятиях, в то время как триасовые отложения, особенно рифтогенные, могут быть распространены вокруг этих поднятий. Наиболее полные представления о процессе рифтогенеза приводятся в статьях М.Л. Вербы [2007], Н.М. Ивановой [2011, 2011] и в монографии [Западная Сибирь, 2000]. Но все авторы основываются на анализе данных северной части Западной Сибири и во многом аналитически продолжают элементы рифтов на территорию полуострова Ямал и в Карское море.

Юрско-меловое время в целом характеризуется последовательным расширением площади распространения более молодых отложений. В это время в пределах Южно-Карского седиментационного бассейна формировались морские мелководные, преимущественно песчаные образования, сменявшиеся в сторону северного и юго-западного бортов аллювиальными песками. В дальнейшем, захватывая байосское время (J2), произошло расширение морского бассейна. По мнению некоторых исследователей [Западная Сибирь, 2000], самой обширной в истории юрского моря была раннетюарская трансгрессия, когда сформировалась регионально выдержанная глинистая толща — тогурская свита.

Наиболее яркая черта позднеюрского осадконакопления в Южно-Карском бассейне – формирование "чёрных глин" (баженитов) с содержанием Сорг 5-17%. Однако здесь время их формирования охватывает волжский и начало берриасского века, мощность не превышает 100 м, к бортам впадины увеличивается количество прослоев с пониженным содержанием органического вещества.

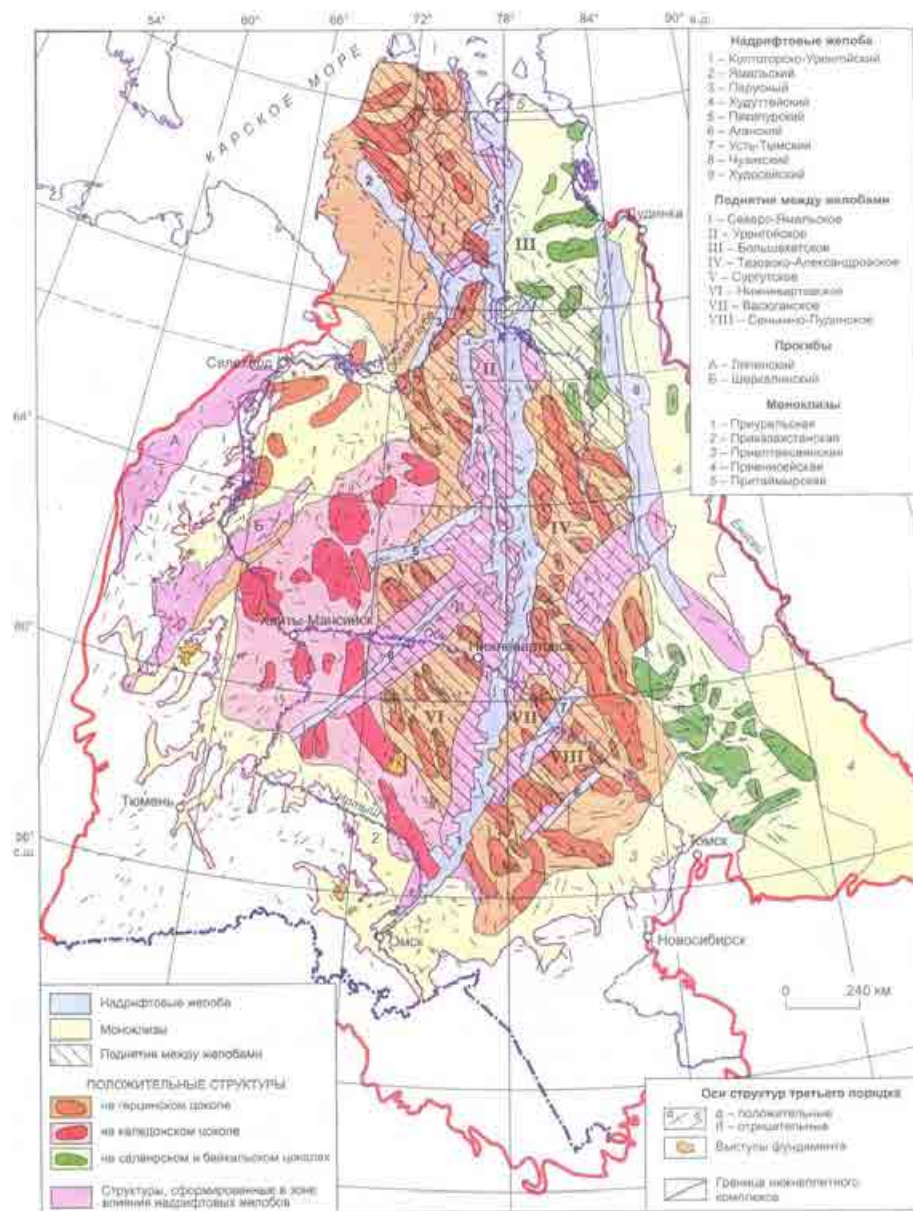


Рисунок 1.4. Карта тектонического строения нижнеплитного комплекса Западно-Сибирской плиты [Сурков, 2004].

Неокомское время характеризуется активизацией тектонического режима и ростом локальных антиклинальных поднятий, о чём свидетельствует эрозия "черных глин" на сводах Бованенковской, Нейтинской и Новопортовской структур на п-ове Ямал [Фомичев, Волкова, 1989]. Непосредственно на шельфе Карского моря Ульянов Г.В. [2011], Осыка А.В. [2006] отметили резкое изменение интенсивности отражающего горизонта Б (подошва меловых отложений) до полного его исчезновения, что позволило им предположить размыв отложений баженовской свиты на Русановском поднятии и Скуратовском мегавалу. На юге п-ова Ямал интервал разреза с многочисленными песчаными слоями выделен в новопортовскую пачку, к которой приурочены залежи нефти. Не исключено сходное строение неокомских образований и на смежном шельфе Карского моря, что позволяет и на акватории рассчитывать на

существование достаточно емких коллекторов и надежных глинистых покрышек в составе неокомских отложений, достигающих мощности 1500 м.

Вверх по разрезу морские глинистые породы сменяются угленосными прибрежно-морскими, континентальными прибрежно-морскими и континентальными образованиями. Чтобы представить более полную информацию об изменении разреза осадочного чехла в пределах района работ мы приводим разрезы по данным бурения для скважин Харасавейская-2, Ленинградская-1, Русановская-1, Белоостровская -1 и Малыгинская (Рисунок 1.5).

В аптское время произошла пенеplanation рельефа практически во всём Баренцево-Карском регионе, исключая Таймыр [Западная Сибирь, 2000]. В раннеальбское время в Южно-Карском бассейне формируется морская, существенно глинистая толща, регионально распространенная и являющаяся надежной крышкой для продуктивной аптской толщи. Средне-верхнеальбская часть разреза представлена переслаиванием песчаников, глин и преобладающих алевролитов.

Позднемиоценовое время характеризуется в Южно-Карском бассейне устойчивым морским осадконакоплением. Разрез сложен преимущественно алевроито-глинистой толщей мощностью около 1 000 м, которая сформировалась в основном в мелководной обстановке. Относительно глубоководные условия, по-видимому, были характерны для туронского и позднесантонского времени. Региональная туронская, преимущественно глинистая толща служит надёжной крышкой для газовых залежей на ряде месторождений Ямала и на Ленинградском месторождении в пределах акватории.

В позднем сантоне в Южно-Карском бассейне накопилась толща опок и опоковидных глин, к которой приурочен региональный сейсмический отражающий горизонт. Довольно устойчивое осадконакопление продолжалось в бассейне и на протяжении палеоген-неогенового времени.

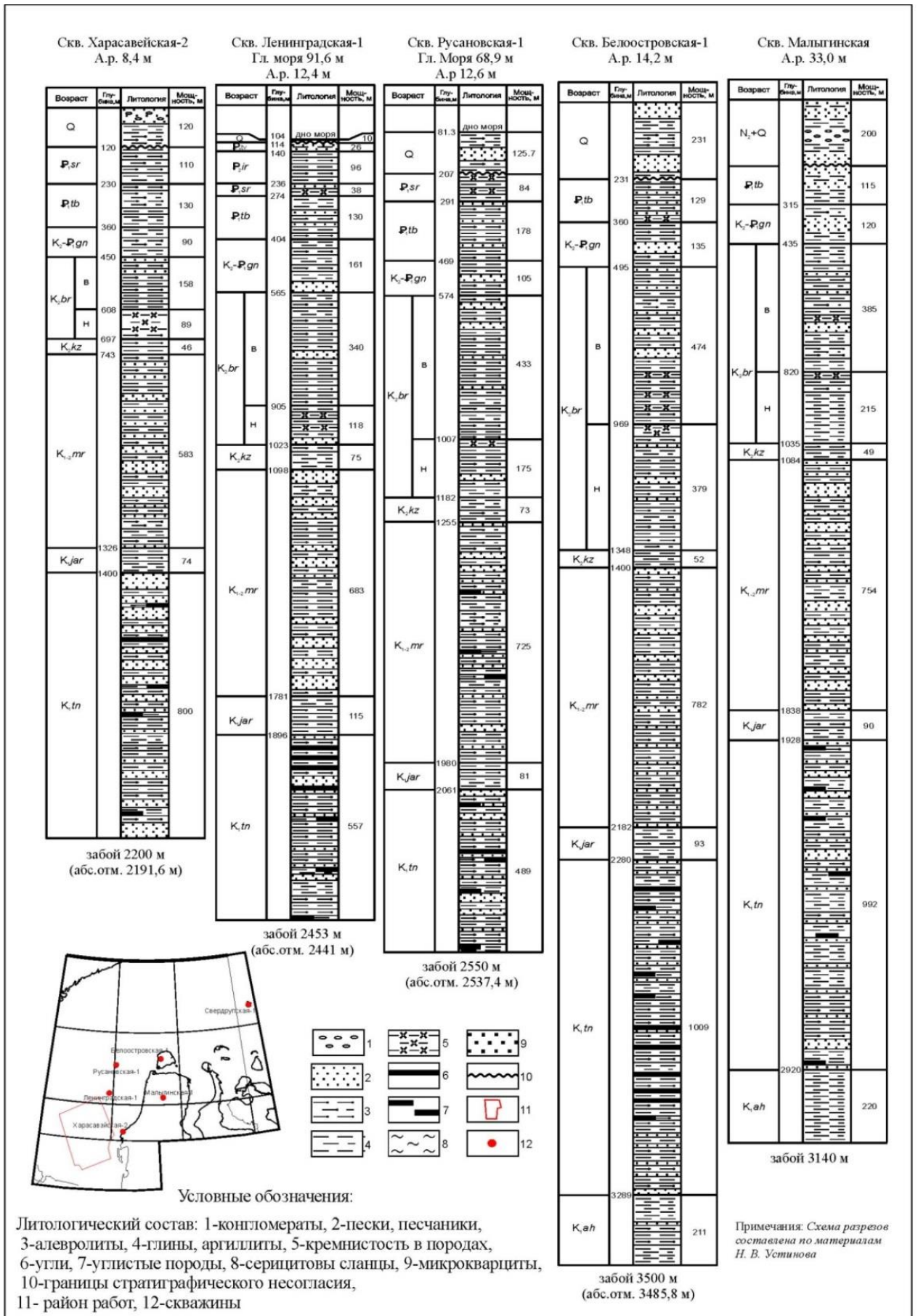


Рисунок 1.5. Схема сопоставления разрезов юрско-меловых отложений п-ова Ямал и шельфа южной части Карского моря [Изучить ..., 2005].

В основу тектонического районирования Южно-Карского седиментационного бассейна (Рисунок 1.6) положена структурная карта по подошве осадочного чехла (горизонт А), составленная по материалам сейсморазведочных работ до 2012 г. [Кириллова, 2014]. Это одна из последних обобщающих работ по Южно-Карскому региону. В подошве осадочного чехла залегают отложения от верхов перми(?) - низов нижнего триаса до верхнеюрских. Почти все относительно крупные структуры, выделяемые по подошве осадочного чехла, прослеживаются и по отражающим горизонтам в вышележащей части чехла.

Обручевский гемивал, одна из самых крупных положительных структур, вытянут в субмеридиональном направлении на 200 км. Амплитуда его около 1000 м по фундаменту, 300 – 400 м по кровле юры, 200 – 300 м по меловым отложениям. В сводовой части гемивала с юга на север глубина залегания фундамента изменяется от 3,5 до 4,5 км, кровли юры - от 2,5 до 3,2 км, кровли неокома от 1,7 до 2,1 км.

Обручевский гемивал осложнён рядом локальных структур. Наиболее крупная из них – Обручевская брахиантиклиналь, площадь которой по разным горизонтам колеблется от 80 до 300 км², а амплитуда от 35 до 85 м.

В пределах Южно-Карского седиментационного бассейна самой крупной отрицательной структурой является Южно-Карская впадина. Мощность чехла в рассматриваемой впадине достигает 12 км. При этом в южной половине глубина залегания фундамента колеблется от 6 до 12, а северной - от 4 до 7 км. Уменьшение мощности идёт в основном за счёт триаса и частично юры.

Центральной структурой южной половины впадины является Ленинградский свод, который выделяется по всем сейсмическим горизонтам.

Ленинградский свод охватывает три куполовидных поднятия: Ленинградское, Русановское и Малыгинское. Ленинградское поднятие расположено в юго-западной части свода. Площадь его изменяется по разным горизонтам от 2,4 до 4 тыс. км². Русановское поднятие осложняет северную часть свода. Его площадь от 1,6 до 3,3 тыс. км². Малыгинское поднятие находится в юго-восточной части свода. Его площадь оценивается в 3,3 – 5,2 тыс. км².

Куполовидные поднятия разделяются седловинами и впадинами.

Ленинградский свод окружен крупными мегапрогибами: Пахучанским, Ноябрьским и Белоостровским. Южнее свода располагается Пахучанский мегапрогиб. Его площадь на акватории 16,1 тыс. км². Максимальная глубина залегания фундамента 11,5 км. В пределах Пахучанского мегапрогиба прослеживается продолжение Нурминского вала.

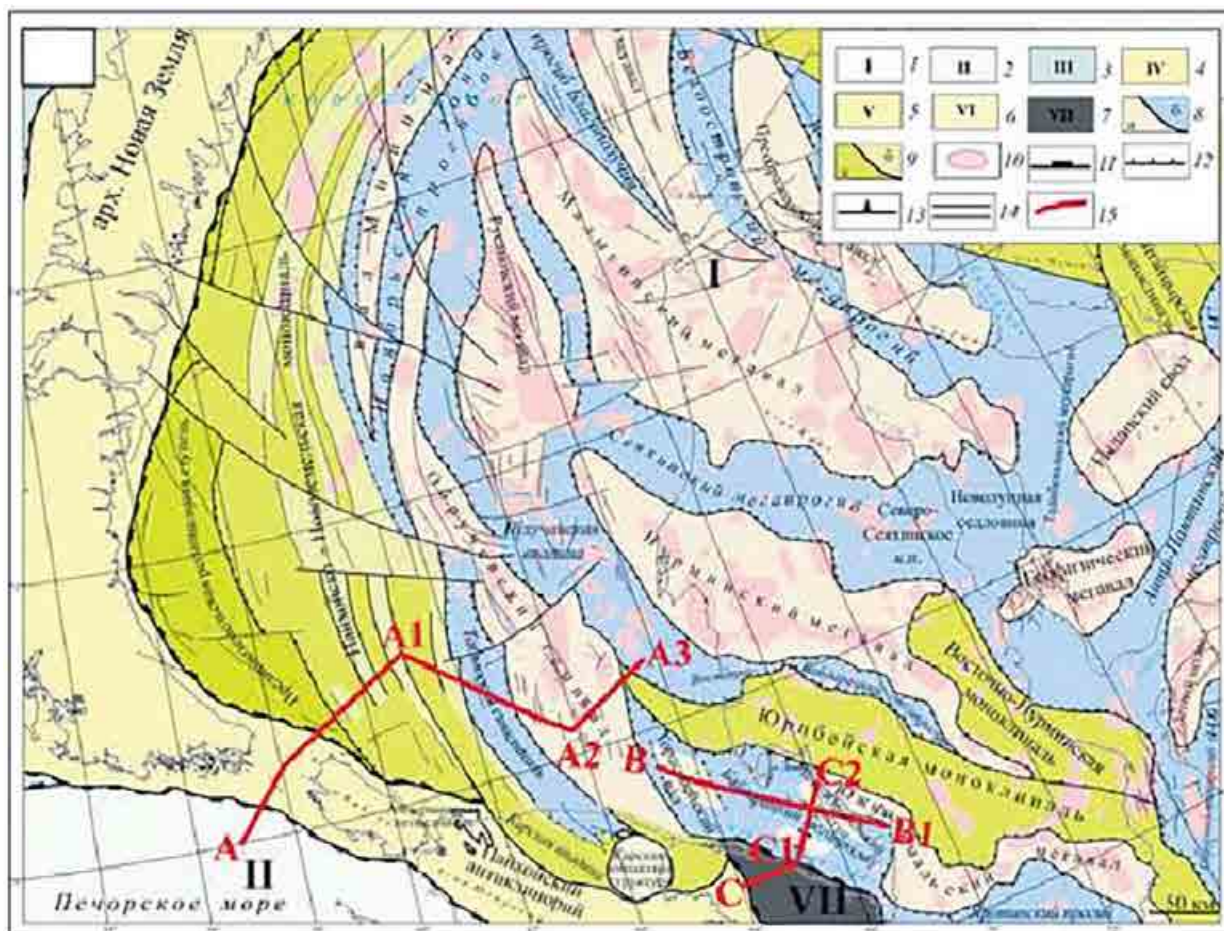


Рисунок 1.6. Карта структурных элементов мезозойско-кайназойского платформенного чехла севера Западно-Сибирской плиты [Кириллова, 2014].

Условные обозначения: трансрегиональные структуры: 1 — Западно-Сибирская плита, 2 — Тимано-Печорская плита, 3 — Баренцевская плита, 4 — Северо-Сибирский порог, 5 — Пайхойско-Новоземельская складчатая система, 6 — Таймыро-Североземельская складчатая система, 7 — Уральская складчатая система; структуры I порядка Западно-Сибирской плиты: 8 — а — мегавалы, гемивалы, валы, б — мегапрогибы, синклинали, прогибы, впадины, 9 — а — прогибы, б — поднятия на Пайхойско-Новоземельской моноклинали, 10 — локальные поднятия; контуры структур: 11 — трансрегиональные, 12 — I порядка; разрывные нарушения: 13 — сбросы, совпадают с границами структур I порядка, 14 — сбросо-сдвиги, сбросы, прочие, 15 — геолого-геофизические разрезы

Ноябрьский мегапрогиб обрамляет Ленинградский свод с запада и с севера. Площадь его 23 тыс. км². Глубина залегания фундамента 12 км. Выступами и седловинами он разделён на прогибы, в которых наблюдаются поднятия с амплитудой до 5 км.

Северная половина Южно-Карского бассейна включает в себя Скуратовскую зону поднятий, которая состоит из ряда мелких поднятий. Глубина залегания фундамента в своде поднятий меняется с запада на восток от 6 до 5 км.

Геологическое строение Южно-Карской впадины и особенно возраст фундамента остается дискуссионным вопросом, так как в пределах акватории фундамент не вскрыт скважинами. По мнению Г.В. Ульянова [2011], данные по прилегающим регионам и материалы морской сейсморазведки дают возможность предположить, что в состав фундамента входят блоки и докембрийской, и палеозойской (каледонской, возможно, герцинской) складчатости.

По мнению некоторых авторов, например Дараган-Сущевой [2013], отрицательные структуры Южно-Карской синеклизы в пермское и нежне-среднетриасовое время являлись межгорными впадинами и прогибами. Сформированы они были на орогенной стадии развития герцинид. При этом утверждается, что ни герциниды, ни более древние складчатые комплексы севера Западной Сибири не продолжают на шельф Карского моря.

Мощность отложений в центральной части Южно-Карской синеклизы превышает 11 км, сокращаясь к бортовым участкам плиты, вплоть до полного выклинивания на ее границе с прилегающими складчатыми сооружениями. Существенный вклад в изучение глубинного строения Карского региона внесли исследования на Арктических геотраверсах – 2-АР, 3-АР [Куницын, Пийп, 2008 (№6); Винокуров и др, 2011]. Положение профилей представлено на Рисунке 1.7.

По результатам обработки профиля ГСЗ 2-АР, который пересекает Южно-Карскую впадину, установлено, что кора впадины имеет двухслойное строение, а мощность осадочного чехла составляет около 12 км [Куницын, Пийп, 2008 (№3)]. Также авторы отмечают, что осадочный чехол характеризуется повышенным градиентом скорости, значения которой изменяются от 3 до 6,2 км/с.

Профиль 3-АР состоит из трех участков от Белого моря до Северо-Сибирского порога. Карское море он пересекает в северо-восточном направлении. Южно-Карская впадина характеризуется мощным осадочным чехлом с мощностью до 18 км [Куницын, Пийп, 2008 (№6)].

На Русановском поднятии мощность чехла редуцируется до 8 км. В некоторых местах осадки разделяются на два подслоя, при этом верхний описывается высоким градиентом скоростей до 5,7 км/с. Нижний подслон с меньшим градиентом скорости, которая изменяется в пределах от 5,5 до 6,2 км/с [Куницын, Пийп, 2008 (№6)].

В сейсмическом поле разрез осадочного чехла представлен как неоднородная слоистая среда, где наибольшую энергетическую выраженность имеют сравнительно резкие физические границы перехода песчаных тел к глинистым. В то же время, именно широко распространенные глинистые горизонты, формирование которых связано с региональными трансгрессиями, можно считать приуроченными к границам главных этапов тектонической истории региона.

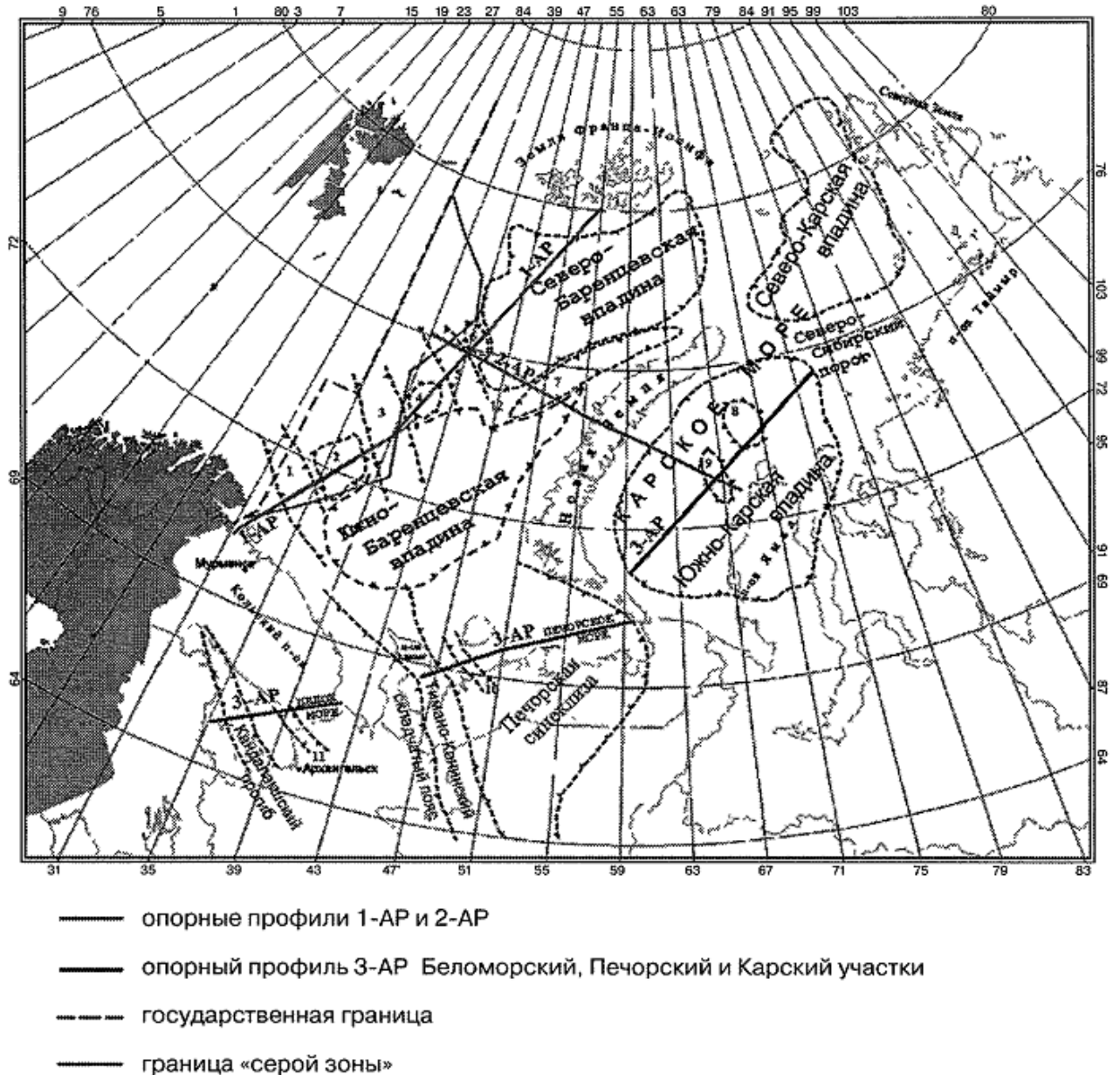


Рисунок 1.7. Тектоническая схема региона с указанием положения региональных профилей 2-АР, 3-АР по [Куницын, Пийп, 2008 (№6)]: 1 – Западно-Кольский прогиб, 2 – свод Федынского, 3 – Демидовский авлакоген, 4 – свод Ферсмана, 5 – Малыгинский грабен, 6 – поднятие Вернадского, 7 – Адмиралтейский вал, 8 – Скуратовское поднятие, 9 – Русановское поднятие, 10 – Оксинский грабен, 11 – Керецкий грабен, 12 – Лудловская седловина.

В результате того, что исследование региона шло поэтапно и разными исследовательскими коллективами, для полуострова Ямал и прилегающей части Карского моря в литературе характерно использование индексации сейсмических горизонтов с привязкой к конкретной площади [Скоробогатов, 2003]. Так можно встретить горизонты НП₁, НП₂, Ю₁, Ю₂

и многие другие [Колотухин, 2008]. В региональном масштабе все их можно скоррелировать к нескольким сейсмостратиграфическим опорным отражающим горизонтам [Колесов, 2010].

Согласно литературным данным, в осадочном чехле можно выделить следующие сейсмостратиграфические горизонты:

- горизонт А, опорный, несогласный с вышележащими горизонтами, представляет собой поверхность домезозойских отложений и является подошвой кайнозойско-мезозойского осадочного чехла;
- группа триасовых горизонтов выделяется в наиболее полных разрезах осадочного чехла, представлены отложениями тампейской серии, кровля которой отождествляется с горизонтом Ia, а наиболее изучены бурением в тюменской сверхглубокой скважине СГ-6 [Ульянов, 2011];
- группа юрских горизонтов Т представлена отложениями большехетской серии, верхней границей группы является горизонт Т₁ малыгинской свиты, а кровлей юрских отложений – горизонт Б битуминозной баженовской свиты;
- неокомский горизонт М ассоциируется с кровлей ахской свиты;
- к нижнемеловым отложениям также относится и танопчинская свита, кровлей которой является горизонт М¹;
- выше по разрезу выделяется яронгская свита нижнего мела, с кровлей которого ассоциируется горизонт Г₂;
- на границе нижнего и верхнего мела выделяется марресалинская свита, кровля которой интерпретируется как горизонт Г;
- верхнемеловые отложения представлены горизонтами группы С с выделяемым горизонтом С₁ как кровли березовской свиты.

Параметрическое и поисково-разведочное бурение

За весь период на Ямале и в Карском море пробурено большое количество поисково-разведочных скважин. В пределах южной части Карского моря большинство скважин имеет забой в меловых отложениях.

В Карском море параметрическое бурение выполнено на островах Белый и Свердруп [Каминский, 2011].

Нефтегазоносность

Южно-Карская нефтегазоносная область (НГО) является северным окончанием Западно-Сибирской нефтегазовой провинции (НГП) и граничит с Баренцево-Карской НГП.

Бассейн характеризуется доказанной газоносностью неоком-аптского (Русановское месторождение) и альб-сеноманского (Ленинградское месторождение) комплексов [Шипилов, 2000]. Потенциал нижнемеловых отложений для добычи нефти и газа подтвержден бурением на острове Белый, где была получена нефть из танопчинской свиты.

На Белоостровском месторождении, расположенном на северо-западе о. Белый, к нефтегазоносным комплексам (НГК) относятся отложения готерив-аптского возраста, а покрывкой являются глинистые отложения яронгской свиты [Шипилов, 2001].

В Южно-Карской НГО доюрские, триасовые и палеозойские отложения, несмотря на наличие проявлений и редких скоплений нефти и газа в пределах Западно-Сибирской НГП, на предмет выделения НГК специально не изучались [Ананьев, 2007].

В Байдарацкой губе палеозойские отложения перекрыты меловыми и кайнозойскими отложениями, мощность которых не превышает 2 км. Следовательно, данный район может являться перспективным для постановки работ на изучение верхней части палеозойских толщ, перспективы нефтегазоносности которых в Западной Сибири подтверждаются геологическими материалами [Запывалов, 2010].

Развитие современных технологических и вычислительных мощностей, появление новых технологий в сейсморазведке и добыче нефти и газа заставляют пересматривать состав НГК в регионе [Богоявленский, 2012; Никульшина, 2013]. При этом начинают рассматриваться НГК на ранее недостижимых глубинах. В настоящий момент выделяются следующие НГК: триасовый, нижнесреднеюрский, верхнеюрский, ачимовский, неокомский, апт-сеноманский и туронский.

ГЛАВА 2: Сейсмические исследования на приямальском шельфе Карского моря.

2.1. Методика проведения.

На Рисунке 1.1 приведен фрагмент изученности приямальского шельфа Карского моря методом отраженных волн, из которого видно, что транзитная зона оставалась не изученной. На рисунке 2.1 показано положение сейсмических профилей с цветовым разделением участков, выполненных в акватории, в транзитной зоне и на суше. Подробное описание технической части выполненных работ на каждом участке будет приведено далее.

Исследование МОВ-ОГТ 2Д в морской части проводились 2012 – 2014 гг. на НИС «Профессор Куренцов», в транзитной зоне на НИС «Геофизик» и суше в 2013 г. Суда базировались в порту Мурманск.

Геохимические исследования были выполнены в 2012 – 2013 гг. на МБС «Неотразимый» и НИС «Петров».

В процессе выполнения работ проводилась полевая камеральная обработка данных с целью контроля и оценки качества полученных результатов исследований.

Область исследований занимает полосу шириной в среднем около 50 км и длиной около 400 км на западном побережье полуострова Ямал и в акватории Карского.

Необходимо отметить, что в данном районе с середины 1990-х гг. не проводилось региональных исследований на такой большой площади. Транзитная зона до этого момента систематически не изучалась.

2.1.1. Профили МОВ-ОГТ 2D, выполненные в море

По методике морских сейсморазведочных работ с буксируемым приемным устройством выполнен 21 профиль.

Все профили имеют одинаковые параметры расстановки: длина буксируемой косы - 4201,7 м, расстояние между пунктами приема (ПП) - 25 м, расстояние между пунктами возбуждения (ПВ) - 25 м, глубина погружения косы – 5-6 м, количество каналов – 168.

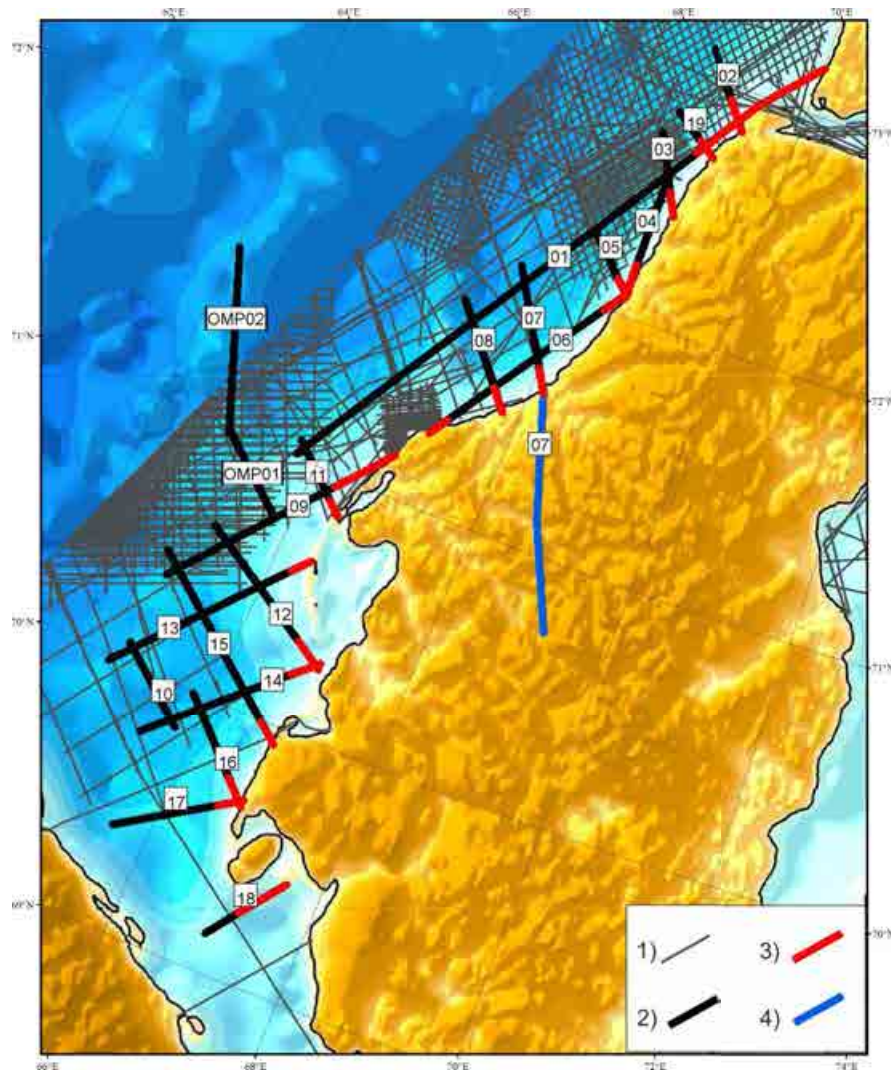


Рисунок 2.1. Положение профилей ВНИИОкеангеология.

Условные обозначения: 1) морские профили МОВ-ОГТ 2D, выполненные до 2012 г., 2) участки новых профилей МОВ-ОГТ 2D, выполненных по технологии морской сейсморазведки, 3) участки новых профилей МОВ-ОГТ 2D, выполненных в транзитной зоне, 4) участок профиля МОВ-ОГТ 2D, выполненного по технологии наземной сейсморазведки.

Кратность перекрытия составила не менее 80. Для выполнения морских работ использовалось оборудование, имеющее следующие технические характеристики:

1. Регистрирующая аппаратура

Тип	Seal v.5.1
Количество каналов	168 каналов
Длина записи	8 с
Число вспомогательных каналов	7
Частота дискретизации	2 мс
Формат записи	SEG-D 8058 (rev.1)

Накопители	IBM 3592
Система контроля качества (тип)	eSQC-Pro v.2.2

2. Приемник сейсмических сигналов (сейсмокоса)

Тип сейсмической косы	Sercel Seal 24bit digital
Фактическая длина активной части косы (с учётом LAUM)	4201,7 м
Групповой интервал	25 м
Длина активных секции	150 м
Количество активных секций	28
Количество каналов в косе	168
Количество каналов в секции	12
Количество гидрофонов в группе	16
Чувствительность гидрофонов	17,4 мкВ/мкБар
Вынос 1-го канала от кормы	161 м
Вынос 1-го канала от центра ПИ	144,75 м
Глубина буксировки косы	6 м
Тип гидрофонов	SLH-20
Диаметр косы	55 мм
Система позиционирования	Линия и катушка связи
Рабочая температура	-10°C до +40°C
Температура хранения	-35°C до +50°C
Макс. рабочая глубина	30 м
Макс. нерабочая глубина	250 м
Вес заполненной секции на воздухе	419 кг ± 10 кг
Рабочее натяжение	до 5800 daN
Длина стримера (косы)	до 15.75 км
Максимальное натяжение при выборке	2700 daN
Предельное натяжение	>11500 daN
Контроллер позиционирования глубины	DigiCourse System 3
Заглубители косы (типа)	Digicourse 5011E

3. Система возбуждения упругих колебаний

Тип источников	Sleeve Gun
Количество источников в одной линии	11
Используемые объёмы источников	70; 100; 150 и 300 cu.in.
Погрешность срабатывания ПИ	±1.5 мс

Максимальный рабочий объём	1590 куб. дюймов
Рабочее давление на выстреле	2000 psi
Рабочее заглубление линии	5 м
Интервал возбуждения	25 м
Система буксировки	Норвежский буй А6
Вынос центра ПИ от кормы	16,25 м
Конфигурация	Линейный резонансный источник
Управление источниками	BigShot v.2.62.0242
Контроль качества	BigShot v.2. 62.0242 (MS-DOS)
Компрессоры	ЕК-30А-1 (3 единицы)
Давление	2000 psi.

Оценка качества полученных данных показала, что полевые сейсморазведочные материалы имеют хорошее качество. Однако, необходимо отметить, что такие факторы, как мелководные условия, сильные донные течения и сложное тектоническое строение региона повлияли на формирование сейсмического волнового поля, что выразилось в высоком уровне разнообразных волн-помех. Большинство из них связано с влиянием верхней части разреза (ВЧР). На временах первых вступлений до времен 1.5 – 2 с наблюдается интенсивный пучок помех, состоящий из сложно интерферирующих между собой прямой и преломленных волн.

В процессе камеральной обработки, выбран следующий граф:

- Ввод исходных данных в формате SEG-D;
- Редактирование трасс;
- Ввод и присвоение геометрии;
- Изменение шага дискретизации до 4 мс;
- Полосовая фильтрация;
- Предварительный скоростной анализ с шагом 2-5 км (в зависимости от длины профиля);
- Получение предварительного суммированного разреза;
- Полосовая фильтрация, выбор фильтра по исходным данным;
- Фильтрация в F-K области по исходным данным;
- Интерактивный анализ спектров скоростей через 1 км;
- Предсказывающая деконволюция;
- Поправка за сферическое расхождение;
- Ввод кинематических поправок;
- Миграция Кирхгофа во временной области после суммирования (при необходимости);
- Получение суммированного разреза;

- Переменная во времени частотная фильтрация;
- Деконволюция;
- Построение глубинного разреза.

На Рисунке 2.2 приведены примеры волнового поля исходного (слева), с применением широкополосного фильтра 2-4-70-80 Гц (по центру) и после применения фильтра в F-K области (справа). Вид F-K фильтра показан на Рисунке 2.3. Во всех примерах для визуализации применяется автоматическая регулировка усиления (АРУ) с окном 500 мс.

После подбора фильтров широкополосного и F-K и их применения проводился скоростной анализ. Иллюстрация подбора скоростного закона приведена на Рисунке 2.4. Все приведенные иллюстрации относятся к процессу обработки профиля 04, но в целом аналогичны на всех профилях исследуемой области.

После проведения скоростного анализа были проведены процедуры суммирования и пост-стековой обработки (Рисунок 2.5).

В результате процедуры суммирования был получен разрез, фрагмент которого приведен на Рисунке 2.5(а). В волновом поле на временах более 3 с наблюдаются фрагменты отражающих горизонтов. Для повышения их интенсивности была применена процедура пост-стековой миграции Кирхгофа (Рисунок 2.5, б). После ее применения нижние горизонты стали прослеживаться более четко. Для сжатия сигнала использовалась процедура адаптивной деконволюции, параметры которой подбирались опытным путем. После применения деконволюции была применена процедура переменного по времени широкополосного фильтра (Рисунок 2.5,в). При визуализации применялась автоматическая регулировка усиления с окном 500 мс.

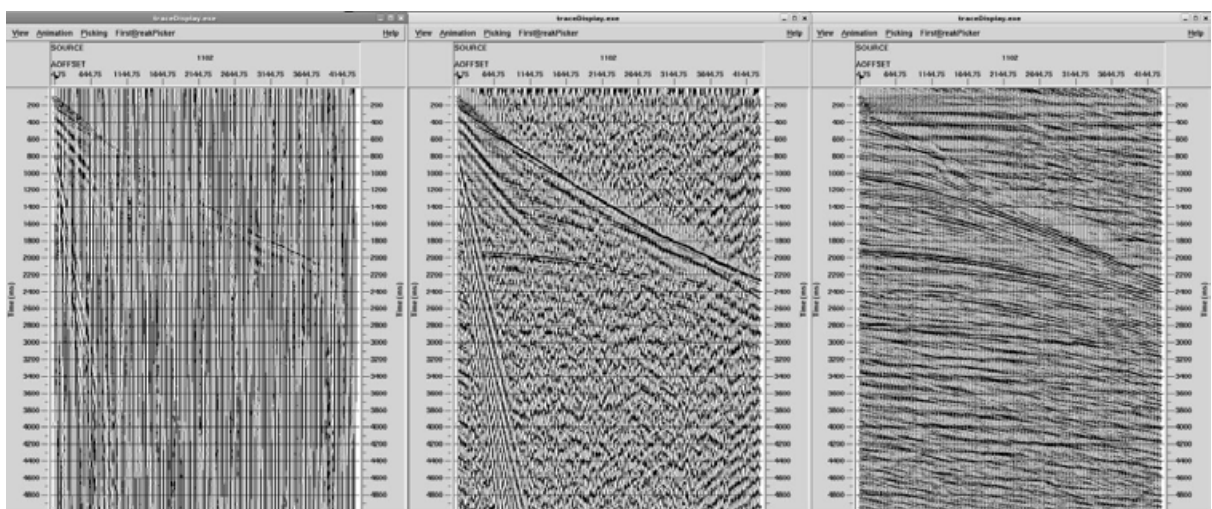


Рисунок 2.2. Примеры волнового поля исходного (слева), после применения широкополосного фильтра (по центру) и после применения F-K фильтра.

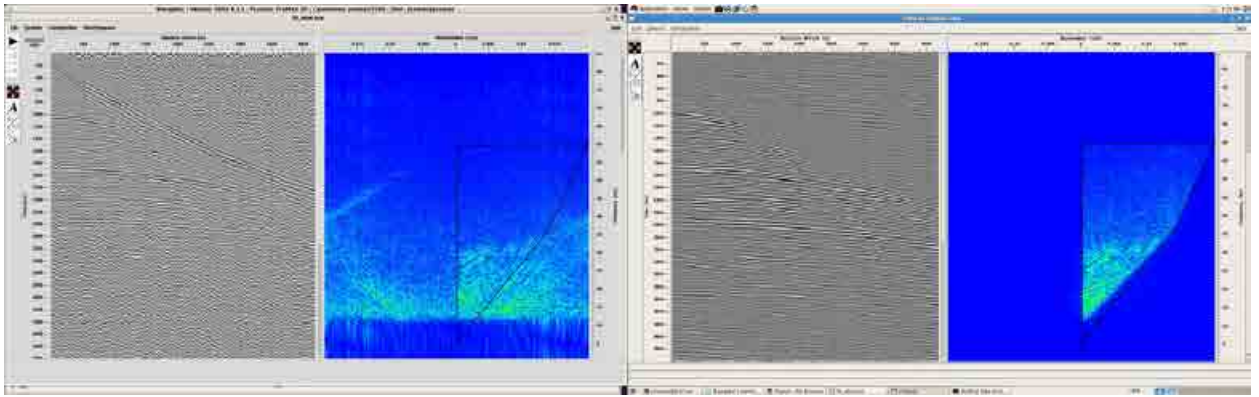


Рисунок 2.3. Иллюстрация подбора F-K фильтра.

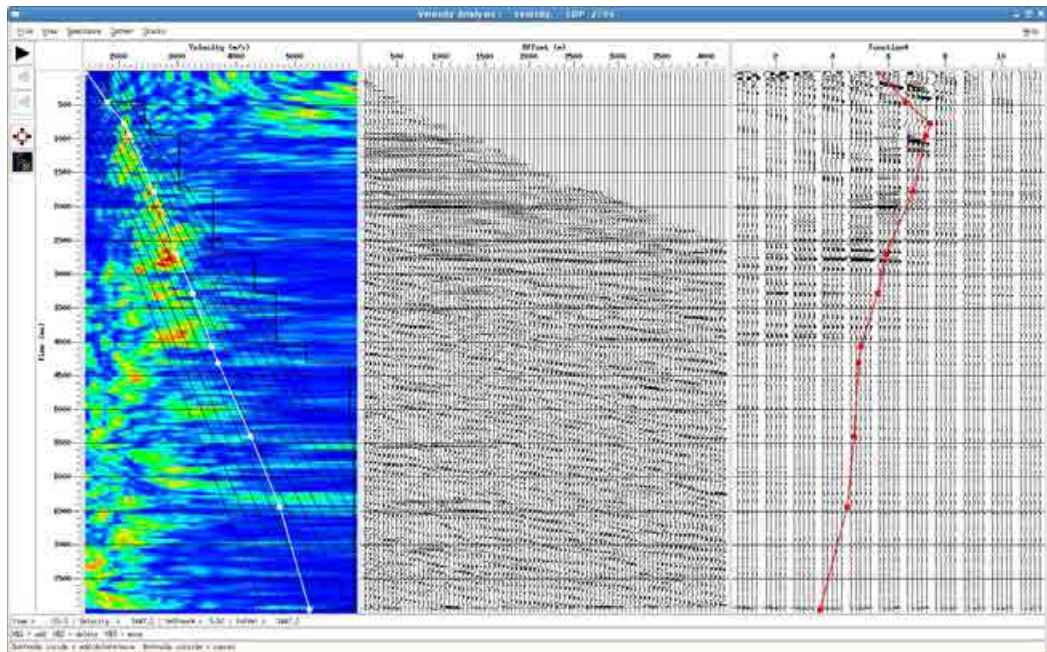


Рисунок 2.4. Проведения скоростного анализа.

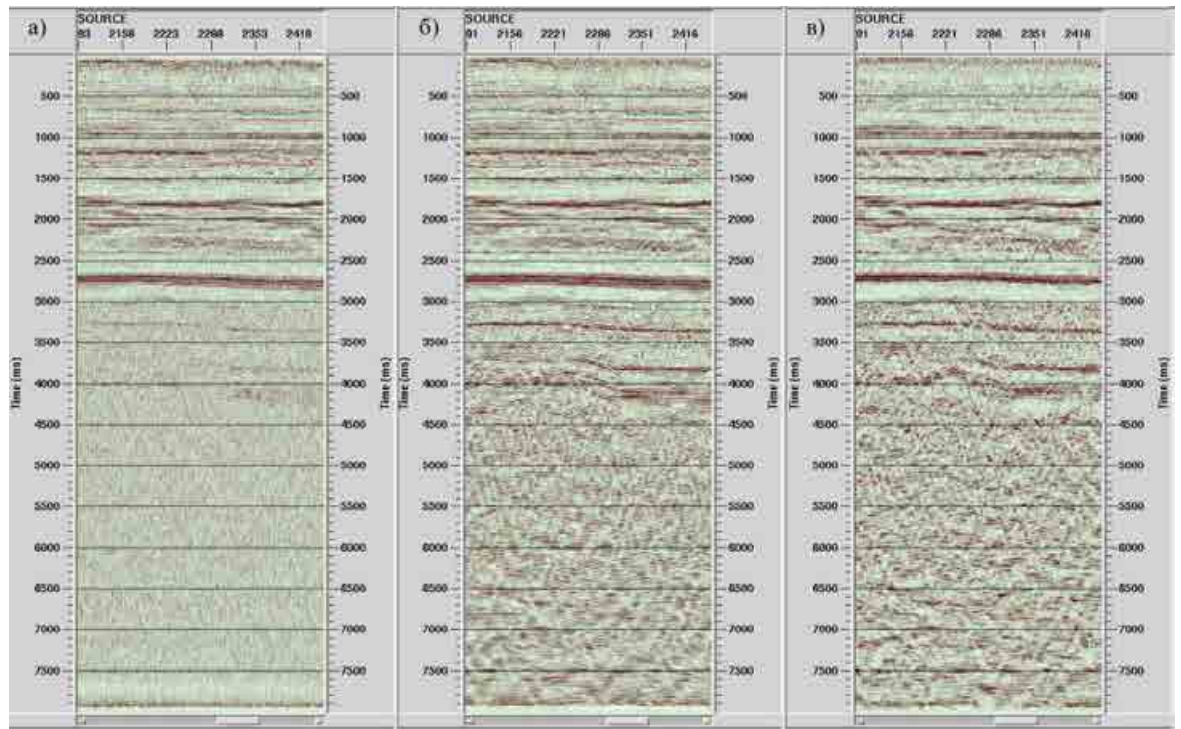


Рисунок 2.5. Результат постобработки: *а* – суммированный разрез без обработки, *б* – суммированный разрез после проведения миграции Кирхгофа, *в* – после проведения процедуры адаптивной деконволюции и переменной во времени фильтрации. Профиль 04.

Из результирующего волнового поля видно, что выбранный граф кинематической обработки сейсмических данных, полученных при выполнении морского этапа сейморазведочных работ МОВ-ОГТ, существенно избавлен от влияния высоко фона помех. Волновое поле имеет четко выраженные отражающие горизонты, а помехи выделяются только на временах за пределами области полезного сигнала.

2.1.2. Профили МОВ-ОГТ 2D, выполненные в транзитной зоне

Сейморазведочные работы в транзитной зоне проводились на глубинах от 0 до 20 м. На профиле 07 для увязки с выполненными наземными сейморазведочными работами десять приемников (500 м) были установлены в грунт на берегу.

В северной части района работ вблизи о. Белый (профили 01 и 02) работу затрудняли приливно-отливные течения, достигающие скорости 3 узлов и мешающих судовождению по профилям. Кроме того, течения создавали дополнительный сейсмический шум на приемниках, а в штормовую погоду смещали приемники со своих мест.

Для производства сейморазведочных работ было задействовано 2 судна и один катер.

Основным судном для проведения сейсмических работ в транзитной зоне было НИС «Геофизик» (Рисунок 2.6).



Рисунок 2.6. Судно НИС «Геофизик».

На НИС «Геофизик» располагалось сейсмическое оборудование, с него производилась постановка, сбор и обслуживание сейсмоприемников, контроль качества и обработка полученных данных, а также размещался личный состав экспедиции.

Для возбуждения сейсмического сигнала при производстве работ использовался морской буксир (МБ) «Маринеско» (Рисунок 2.7). На морском буксире с этой целью были установлены пневмопушки и компрессорное оборудование. Также МБ «Маринеско» использовался также для расстановки и сбора сейсмоприемников.



Рисунок 2.7. Судно-источник МБ «Маринеско».

На глубинах менее 5 м, где невозможна была работа с МБ «Маринеско», для обеспечения постановки и сбора сейсмоприемников использовался рабочий катер РК-700 (Рисунок 2.8).

Методика сейсморазведки МОВ-ОГТ 2D в транзитной зоне отличается от методик сейсморазведки в море и на суше и подразумевает работу отдельными расстановками, когда набор неподвижных приемников принимает сейсмический сигнал от движущегося источника. Геометрия расстановок зависит от заданных проектом размера бина и кратности. В ходе выполнения работ на приамальском шельфе Карского моря шаг пикетов приема и пунктов возбуждения составляет 50 м. Линия отстрела смещена на 50 м параллельно линии приема, поскольку на малых глубинах движение судна непосредственно по линии приема невозможно из-за высокой вероятности повредить приемные устройства (Рисунок 2.9). При такой системе наблюдений линия проектного профиля находится на равном удалении между линиями приемников и источников.



Рисунок 2.8. Рабочий катер РК-700.

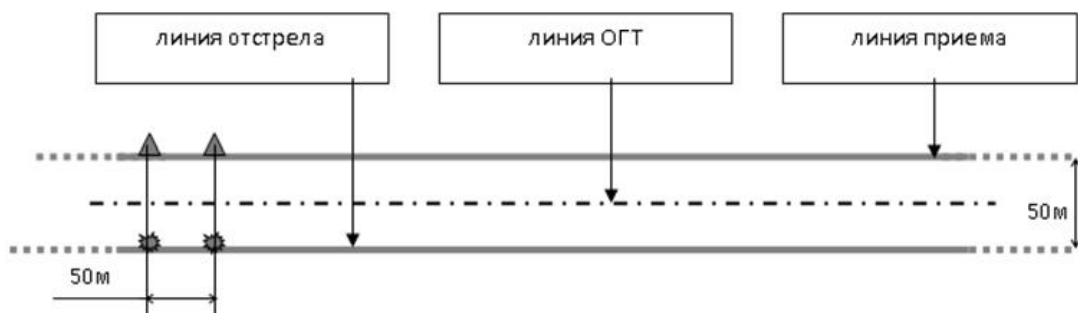


Рисунок 2.9. Принципиальная схема расстановки в транзитной зоне.

Длина расстановки составила 9750 м. По технологическим соображениям расстановка состояла из 5 частей, длина каждой части равнялась 1950 м. Каждая часть представляла собой фал с петлями для крепления приемников, грузами и буйками на концах секции. На

завершающей стадии работы на мелководных профилях по соображениям оптимальной загрузки катера работа осуществлялась расстановками по 3 секции длиной по 2950 м.

При постановке приемников с идущего по профилю НИС «Геофизик» или катера РК-700 ставился один концевой груз, затем разматывался фал, к которому карабинами прикреплялись приемники и опускались на дно, в конце ставился второй концевой груз.

Перекрытие между соседними расстановками составляло 1950 м, то есть одну секцию приемников.

На концах профилей, упирающихся в берег, чтобы уменьшить эффект снижения кратности из-за невозможности возбуждения сейсмического сигнала на берегу, проводился дополнительный двухкилометровый отстрел со смещением пикетов на 25 м вдоль профиля.

Сбор и регистрация сейсмической информации осуществлялись морской донной бескабельной системой автономной регистрации сейсмических волн производства фирмы OYO Geospace Ind. Система состоит из трех основных частей: набора автономных донных сейсмоприемников (Рисунок 2.10), системы контроля и обслуживания сейсмоприемников (Рисунок 2.11), обрабатывающего комплекса для визуализации и хранения сейсмических данных.

Автономный донный сейсмоприемник (ОВХ) представляет собой цифровой регистратор с непрерывным режимом записи сигнала со встроенного гидрофона и системы из трех ортогональных геофонов. Принятый сейсмический сигнал в цифровой форме записывается во встроенную энергонезависимую память. Время автономной работы приемника составляет 20 суток. Приемник снабжен инклинометром, позволяющим определять вертикальные углы наклона осей геофонов.

Обрабатывающий комплекс ОВХ Geospace представляет собой сервер с набором программных модулей, которые позволяют:

- сводить исходные данные приемников, геометрию расстановки, моменты времени возбуждения сейсмического сигнала и формировать файлы сейсмических данных формата SEG-D;
- визуализировать полученные данные на экране;
- хранить сейсмические данные.



Рисунок 2.10. Донный регистратор Geospace (OBX).



Рисунок 2.11. Размещение донных регистраторов OBX на борту судна.

Возбуждение сейсмического сигнала выполнялось групповым пневмоисточником (Рисунок 2.12). Группа состояла из одной линии, включающей 5 пневмопушек GI-Gun 210 общим объемом 930 куб. дюймов (15 л).

Пневмоисточники обеспечивались воздухом компрессорной станцией, включающей три компрессора высокого давления SAUER WP4351. Рабочее давление поддерживалось на уровне 2000 psi +/- 10%. Производительность компрессора позволяла производить отстрел со скоростью 4 узла.

Подрыв, синхронизация пневмоисточников и их связь с навигационной системой обеспечивались контроллером управления стрельбой BigShot.



Рисунок 2.12. Внешний вид пневмопушки GI GUN-210.

Сложность обработки данных, полученных в результате сейсморазведочных работ в транзитной зоне, состоит в том, что используется нестандартная геометрия расстановки. В результате камеральная обработка производилась в двух программных продуктах – Gedco VISTA и Promax/SeisSpace.

В Gedco VISTA производились следующие операции с данными:

- Ввод исходных данных в формате SEG-Y;
- Присвоение геометрии;
- Широкополосная фильтрация;
- Предварительный скоростной анализ с шагом 2 км;
- Получение предварительного суммированного разреза;
- Выбор фильтра широкополосной фильтрации;
- Фильтрация в F-K области;
- Интерактивный анализ скоростных спектров через 0,5 км;
- Поправка за сферическое расхождение;
- Ввод кинематических поправок;
- Получение суммированного разреза.

После этого, окончательная пост-стековая обработка и визуализация проводились в ProMAX/SeisSpace с использованием следующих процедур:

- Деконволюция;
- Изменение шага дискретизации до 4мс;
- Миграция Кирхгофа во временной области после суммирования (по необходимости);

- Переменная частотная фильтрация;
- Автоматическая регулировка усиления;
- Построение глубинного разреза.

Процедура подбора параметров полосового фильтра иллюстрируется Рисунком 2.13, на котором приведена сейсмограмма с одного пункта возбуждения в исходном виде (а), с АРУ 500 мс (б), с АРУ 500 мс и широкополосным фильтром 7-12-60-70 Гц (в).

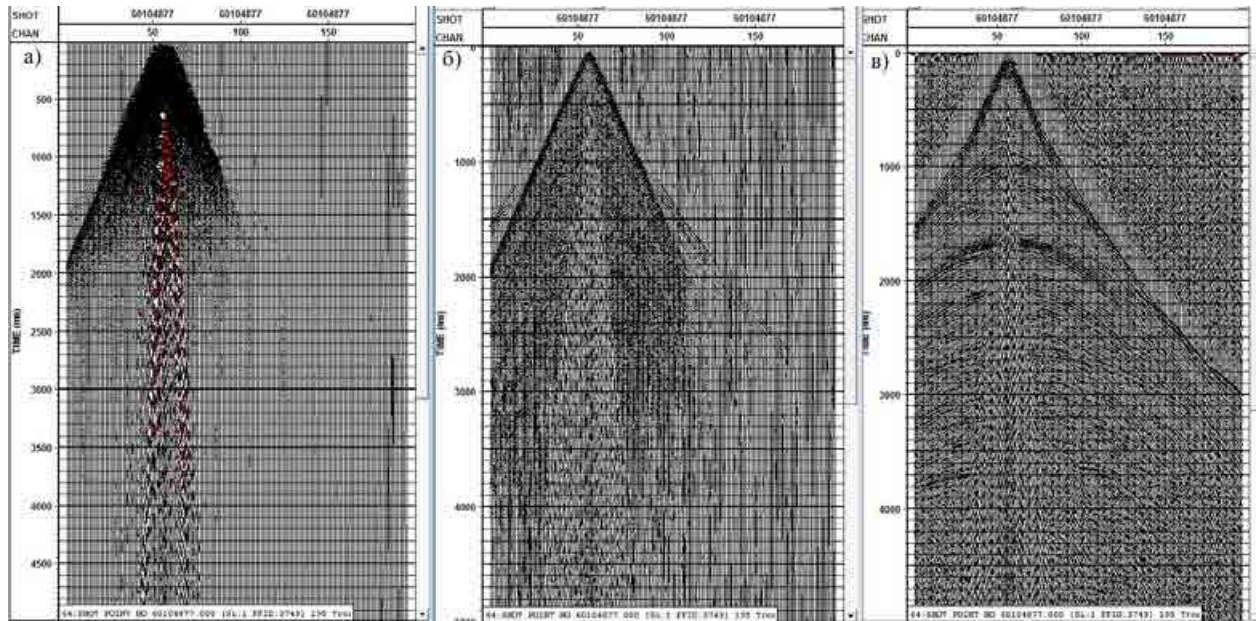


Рисунок 2.13. Запись одного пункта возбуждения: а) исходное поле; б) исходное поле с АРУ 500 мс; в) с применением полосового фильтра.

После этого проводился выбор параметров фильтра в F-K области. Рисунок 2.14 иллюстрирует выбор области в спектральном поле. На Рисунке 2.15 представлен пример записи до применения F-K фильтра (слева) и после (справа). На Рисунке 2.16 показано поле до применения F-K фильтра (слева) и та составляющая поля, которая будет удалена фильтром (справа).

Затем проводилась процедура спектрального анализа скоростей и формирования скоростных зависимостей (Рисунок 2.17).

На Рисунке 2.18 представлены фрагменты суммированного разреза по профилю 14 в транзитной зоне. Слева приведен суммированный разрез до обработки, а справа – после применения процедур адаптивной деконволюции, широкополосного фильтра и АРУ 500 мс.

В результате были получены сейсмические разрезы, на которых четко прослеживаются сейсмические отражающие горизонты в осадочном чехле. Качество полученных разрезов, глубинность, разрешенность сейсмической записи сопоставимо с параметрами волнового поля

сейсмических разрезов, полученных при выполнении морского этапа исследования приямальной части Южно-Карского шельфа.

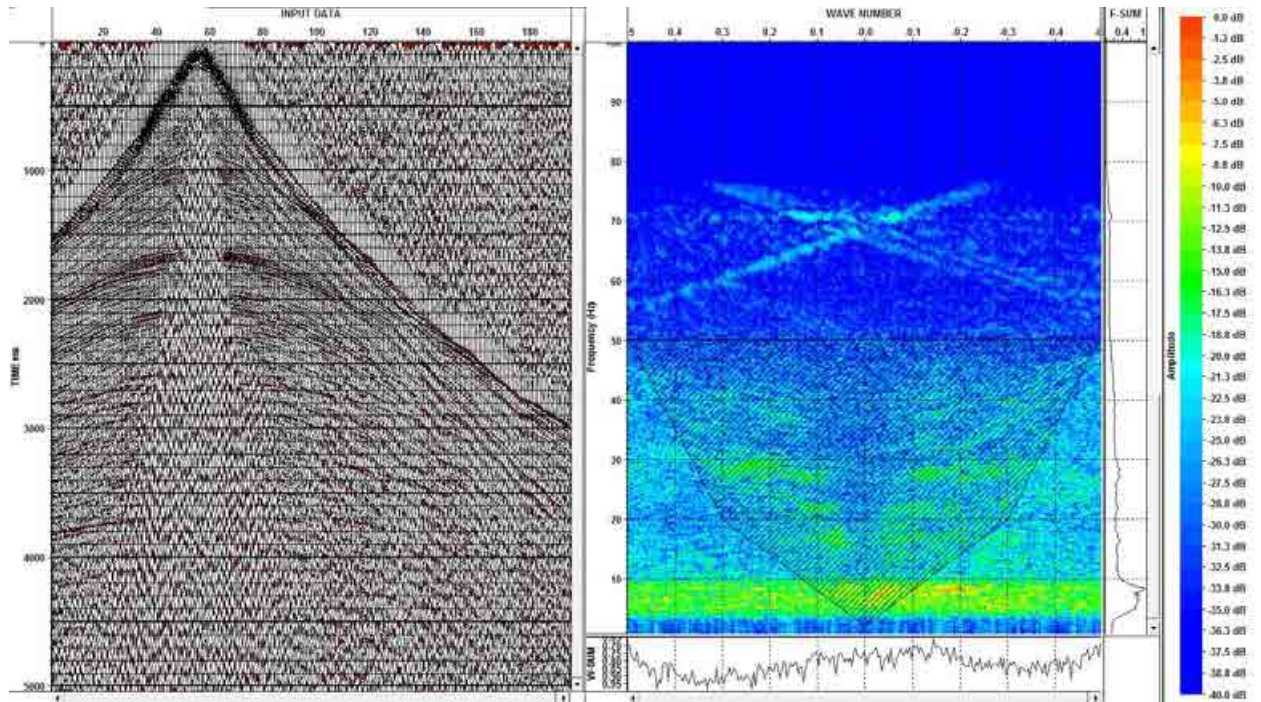


Рисунок 2.14. Выбор области в F-K спектре для создания фильтра.

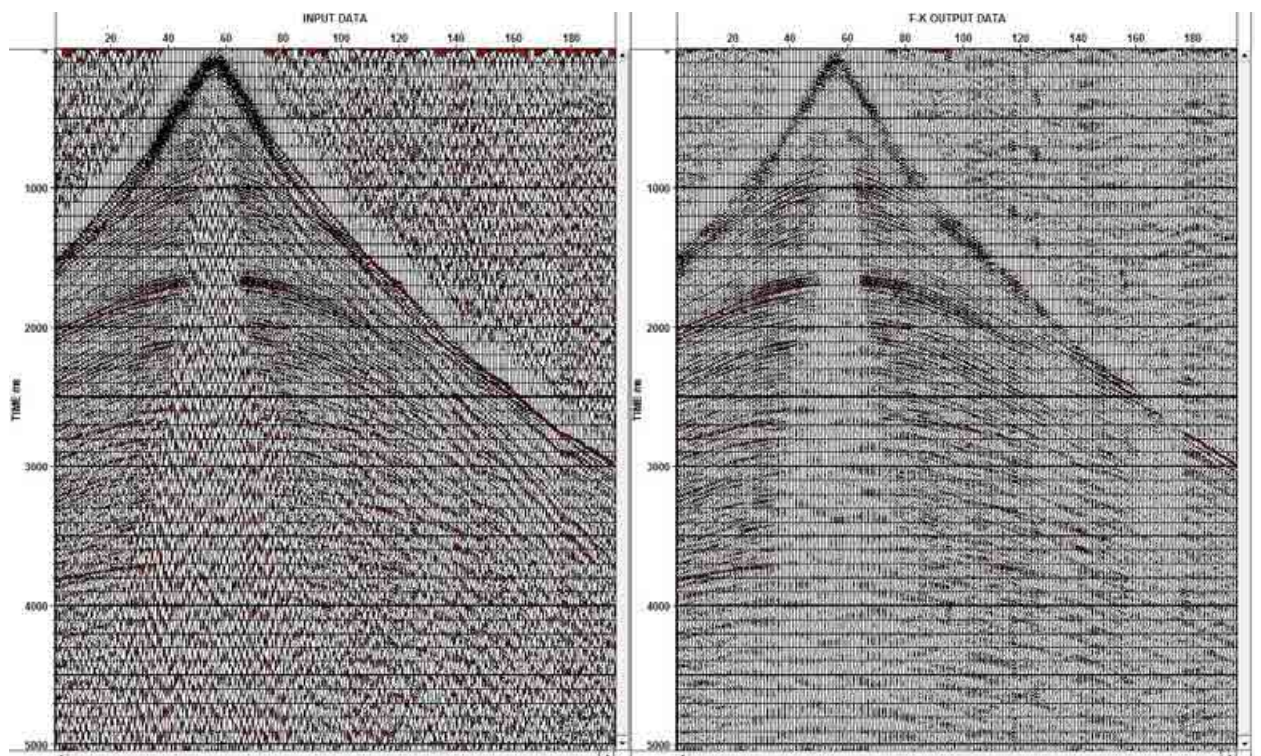


Рисунок 2.15. Исходное поле до применения F-K фильтра (слева) и после (справа).

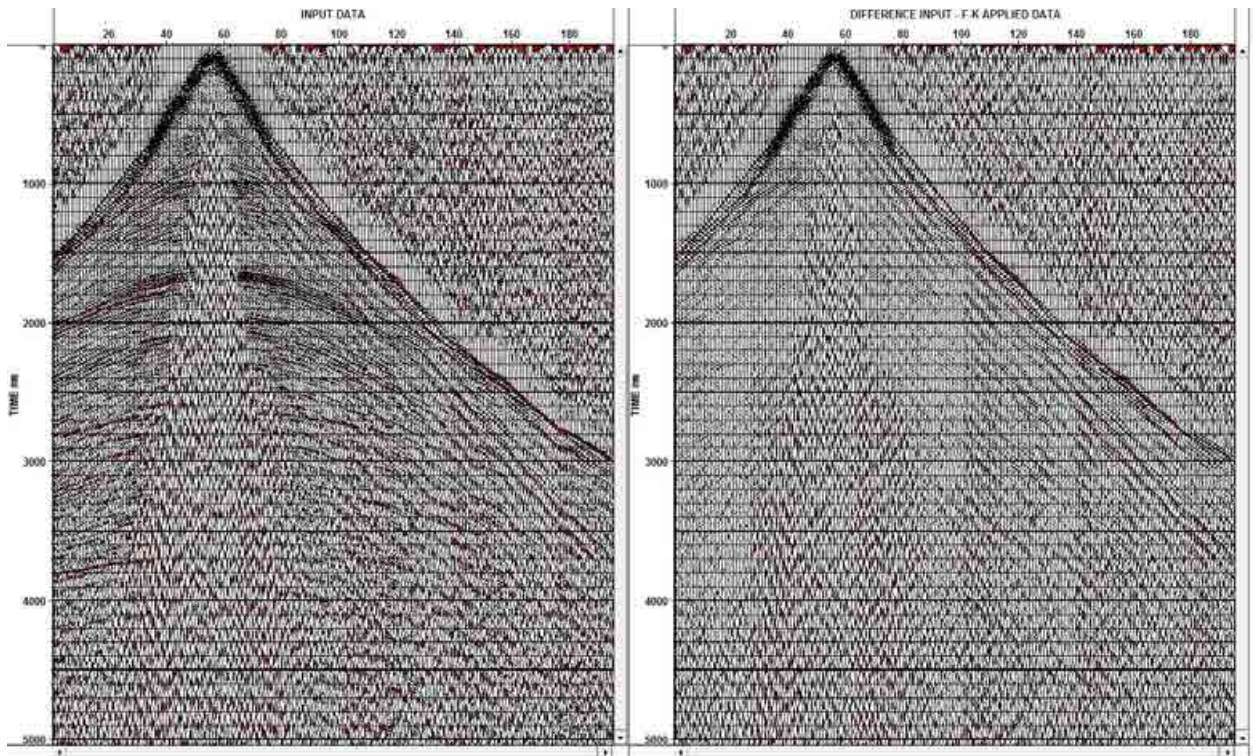


Рисунок 2.16. Исходное поле до применения F-K фильтра (слева) и та часть поля, которая будет удалена фильтром (справа).

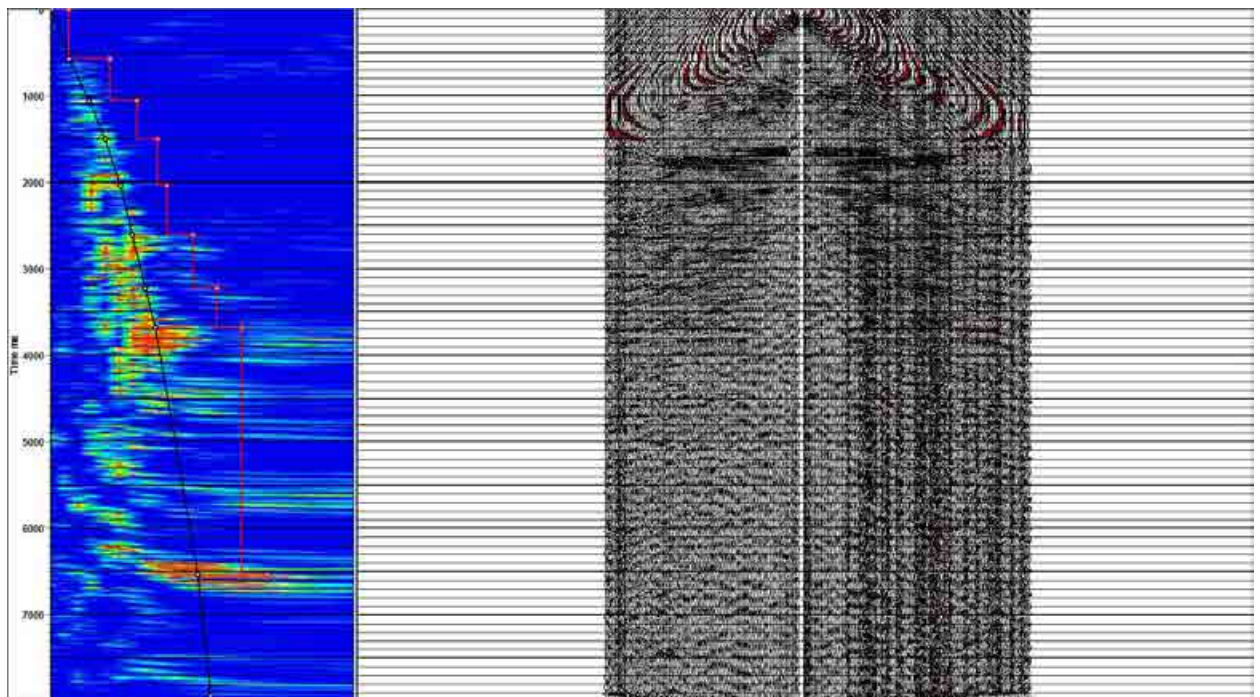


Рисунок 2.17. Спектральный анализ скоростей.

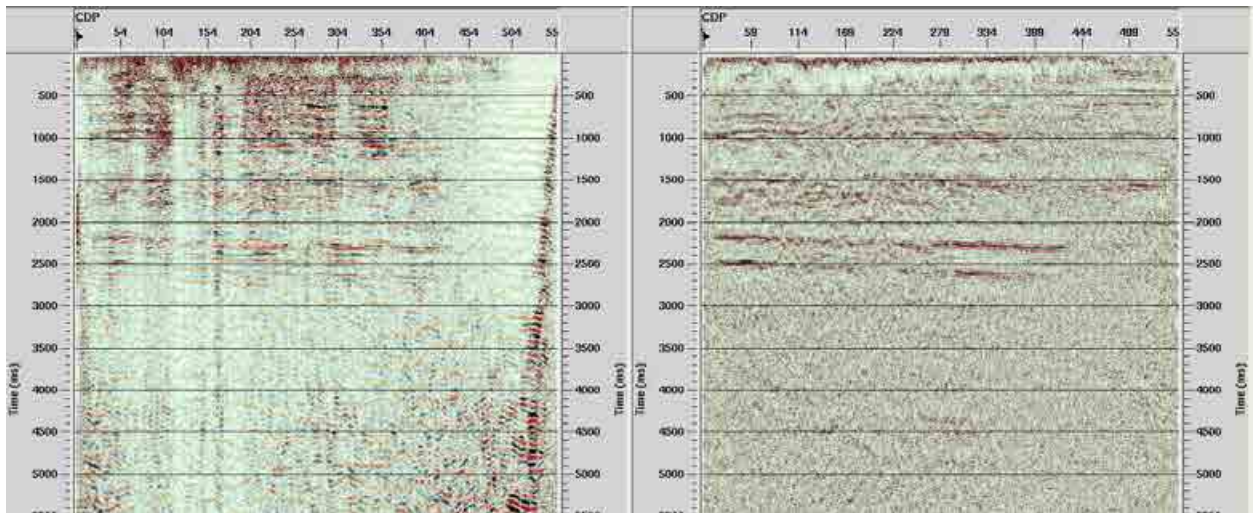


Рисунок 2.18. Суммированный разрез в транзитной зоне до (слева) и после (справа) постобработки.

2.1.3. Исследования МОВ-ОГТ 2D, выполненные на полуострове Ямал

Для решения задачи непрерывной увязки сейсмических горизонтов на полуострове и в Карском море отработан сухопутный участок профиля 07, который начинается от скважины на Восточно-Бованенковском месторождении. Общая длина профиля составила около 100 пог. км.

Прием и регистрация сигналов выполнялись сеймостанцией Geospace с использованием модулей GSX (Geospace) в комплекте с одиночными сеймоприемниками GS-ONE (Рисунок 2.19). Расстояние между регистраторами на профиле составляло 50 м. Длина записи — 8 секунд. Для регистрации одной сейсмограммы использовалась центральная активная 161-канальная расстановка (источник возбуждения находится на 81 канале).

Контроль геометрии расстановки и тестирование параметров полевого оборудования производилось непосредственно на профиле, после установки оборудования на местности. Пишущие модули GSX тестировались наладчиком геофизического оборудования по Wi-Fi каналу портативным компьютером LineViewer. С целью контроля позиционирования пунктов приема, координаты модуля GSX сравнивались с имеющимися проектными координатами пикетов, и, в случае отклонения от установленного допустимого радиуса, переустанавливались.

- Поправка за сферическое расхождение;
- Ввод кинематических поправок;
- Предсказывающая деконволюция;
- Получение суммирование разреза;
- Миграция Кирхгофа во временной области;
- Деконволюция;
- Переменная частотная фильтрация;
- Построение глубинного разреза.

Пример исходного волнового поля и выбор оптимальных параметров полосового фильтра приведен на Рисунке 2.20.

Параметры F-K фильтра подбирались так, чтобы максимально удалить все сейсмические волны-помехи (Рисунок 2.21). В процессе обработки F-K фильтр применялся в режиме пропускания (Рисунок 2.21, б).

После того, как сейсмический сигнал был максимально очищен от помех с применением описанных фильтров, проводился скоростной анализ. Кривая скоростей суммирования формировалась по максимумам когерентности в спектральной области, как показано на Рисунке 2.22. В спектральной области практически отсутствуют спектральные максимумы, относящиеся к кратным волнам.

Шаг формирования скоростной зависимости составляет 1 км.

Фрагмент полученного суммированного разреза приведен на Рисунке 2.23 (а).

На этапе пост-стековой обработки были применены процедуры, позволяющие улучшить полученный сейсмический разрез. Для этой цели были применены процедуры пост-стековой миграции Кирхгофа для повышения уровня сигнала на границах и ослабления шумового фона (Рисунок 2.22, б) и процедура адаптивной деконволюции для фокусирования фаз на границе.

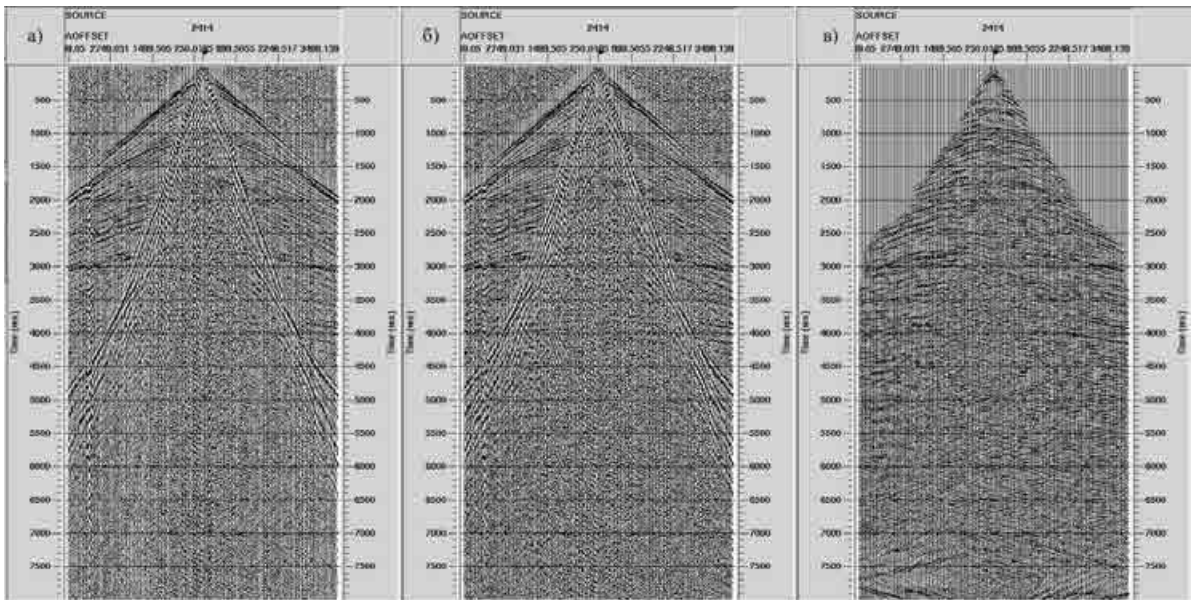


Рисунок 2.20. Примеры записей волнового поля: а) исходные; б) с широкополосным фильтром; в) после применения F-K фильтра. АРУ с окном 500 мс.

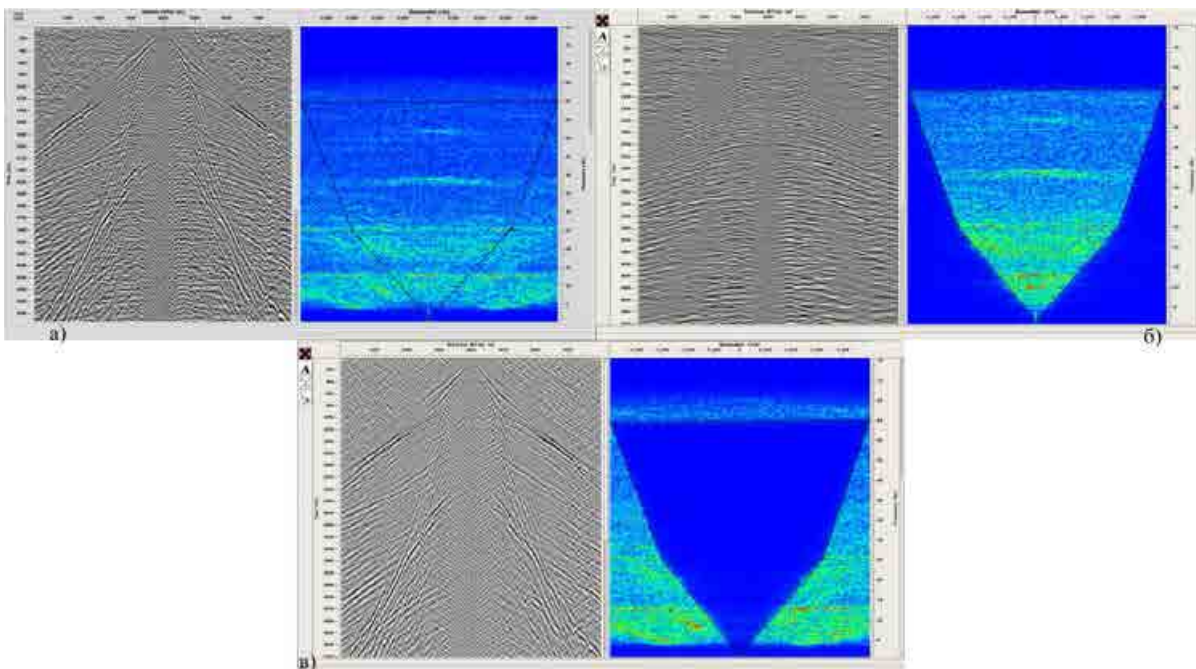


Рисунок 2.21. Выбор F-K фильтра: а) исходные записи; б) фильтр в режиме пропускания; в) фильтр в режиме вырезания. АРУ 500 мс для визуализации.

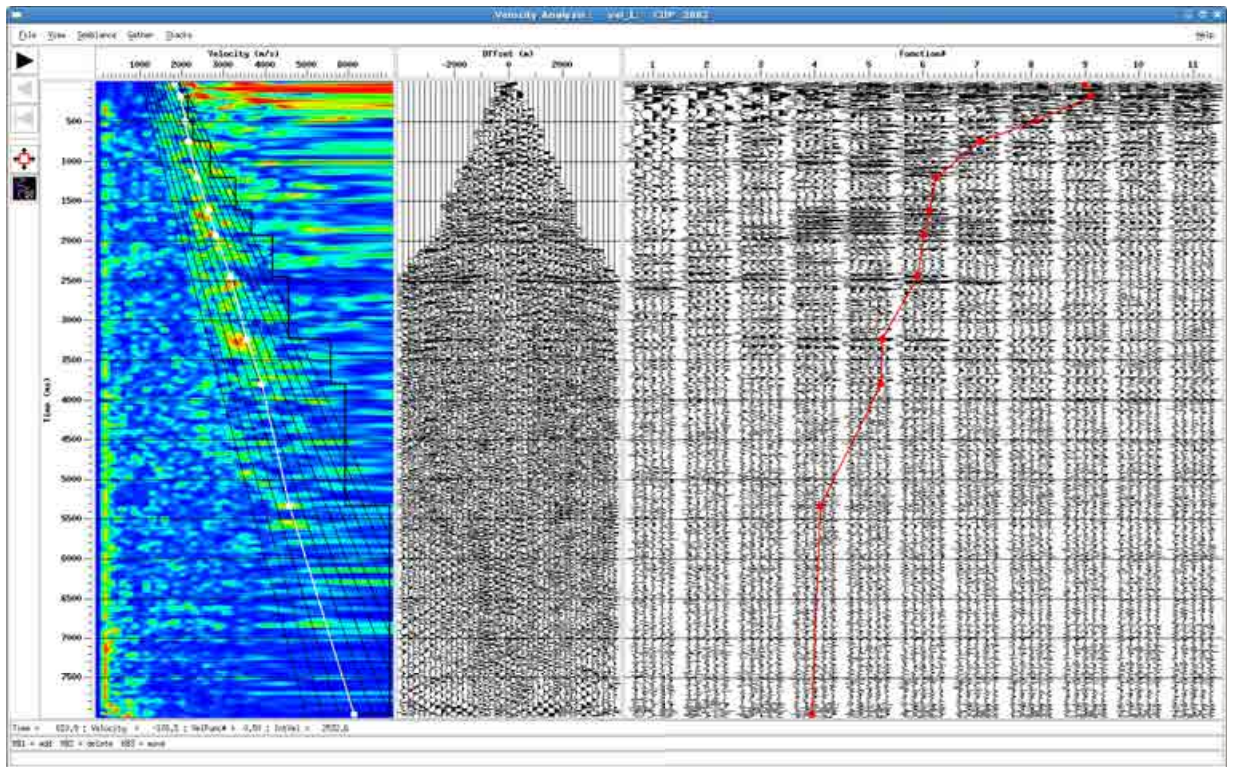


Рисунок 2.22. Пример формирования скоростной кривой.

На Рисунке 2.23 (в) показан фрагмент итогового разреза по наземному профилю.

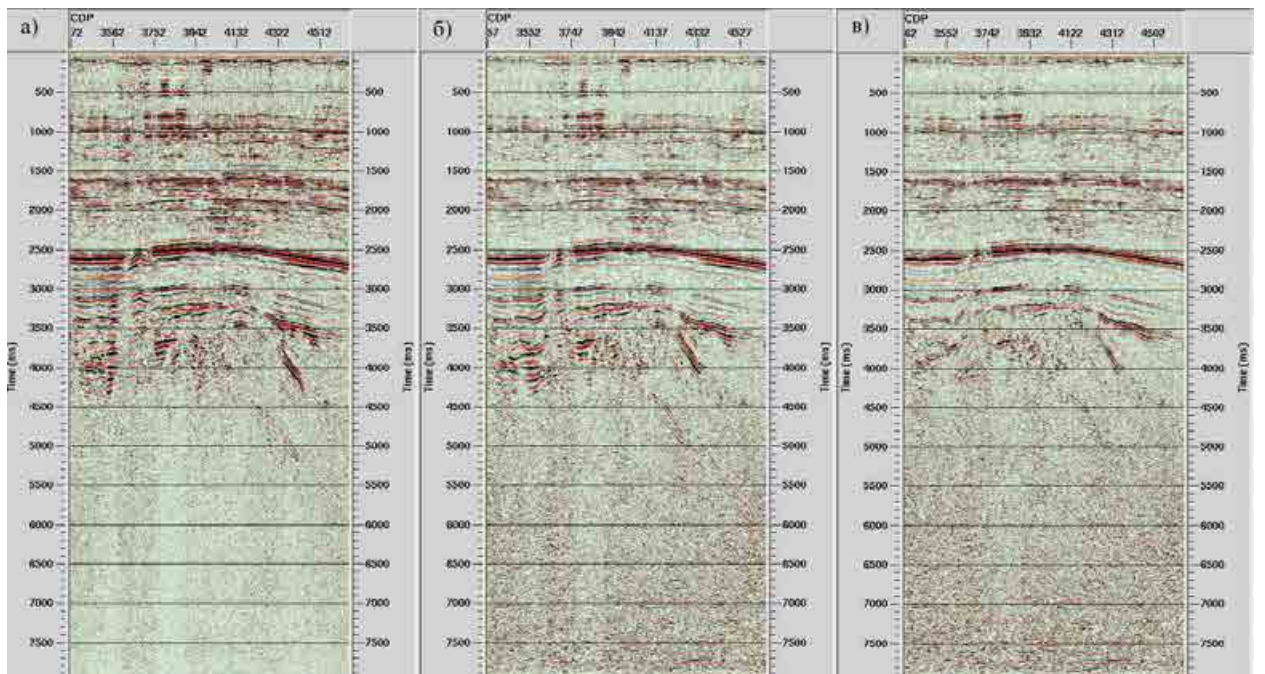


Рисунок 2.23. Фрагмент суммированного разреза наземного профиля: а) полученного в результате суммирования, без постобработки; б) после применения миграции Кирхгофа после суммирования; в) после применения процедуры адаптивной деконволюции.

2.2. Интерпретация результатов, полученных по отраженным продольным волнам

В пределах района исследований находится достаточно большое число ранее выполненных сейсмических профилей, пробурены десятки скважин. Однако, скважин, вскрывших полный разрез осадочного чехла практически нет. В опубликованных материалах можно найти информацию только о двух скважинах, которые можно использовать для проведения сейсмостратиграфической привязки отражающих горизонтов при проведении интерпретации сейсмических данных, – СГ-6 и Восточно-Бованенковская-11 [Богоявленский, 2010; Афанасенков и др., 2017]. Большинство других скважин имеют забой в меловых отложениях. Некоторые вскрывают юрские отложения в местах, где они находятся на достижимых глубинах.

Так как сухопутная часть профиль 07 начинается от скважины на Восточно-Бованенковском месторождении, интерпретация и сейсмостратиграфическая увязка отражающих горизонтов была начата именно с этого профиля.

Сравнительный анализ данных бурения в скважинах на Байдарацкой, Харасавейской, Восточно-Бованенковской, Ленинградской, Белоостровской структурах показал погружение основных комплексов в направлении с юга на север и с юго-востока на северо-запад. Положение скважин показано на Рисунке 2.24, а результат межскважинной корреляции приведен на Рисунках 2.25 и 2.26.

Используя информацию по скважинам, а также материалы из «Схемы расчленения мезозойских и палеогеновых отложений полуострова Ямал и прилегающей акватории Карского моря», составленной в ФГБУ «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», была актуализирована модель сейсмостратиграфической привязки горизонтов, которые могут быть представлены в разрезе кайнозойско-мезозойского осадочного чехла при региональных работах в пределах исследуемой площади (Рисунок 2.27) [Жолондз, Павленкин, 2015; Жолондз, 2015].

Таким образом, была принята единая система индексации горизонтов при интерпретации на всей исследуемой площади.

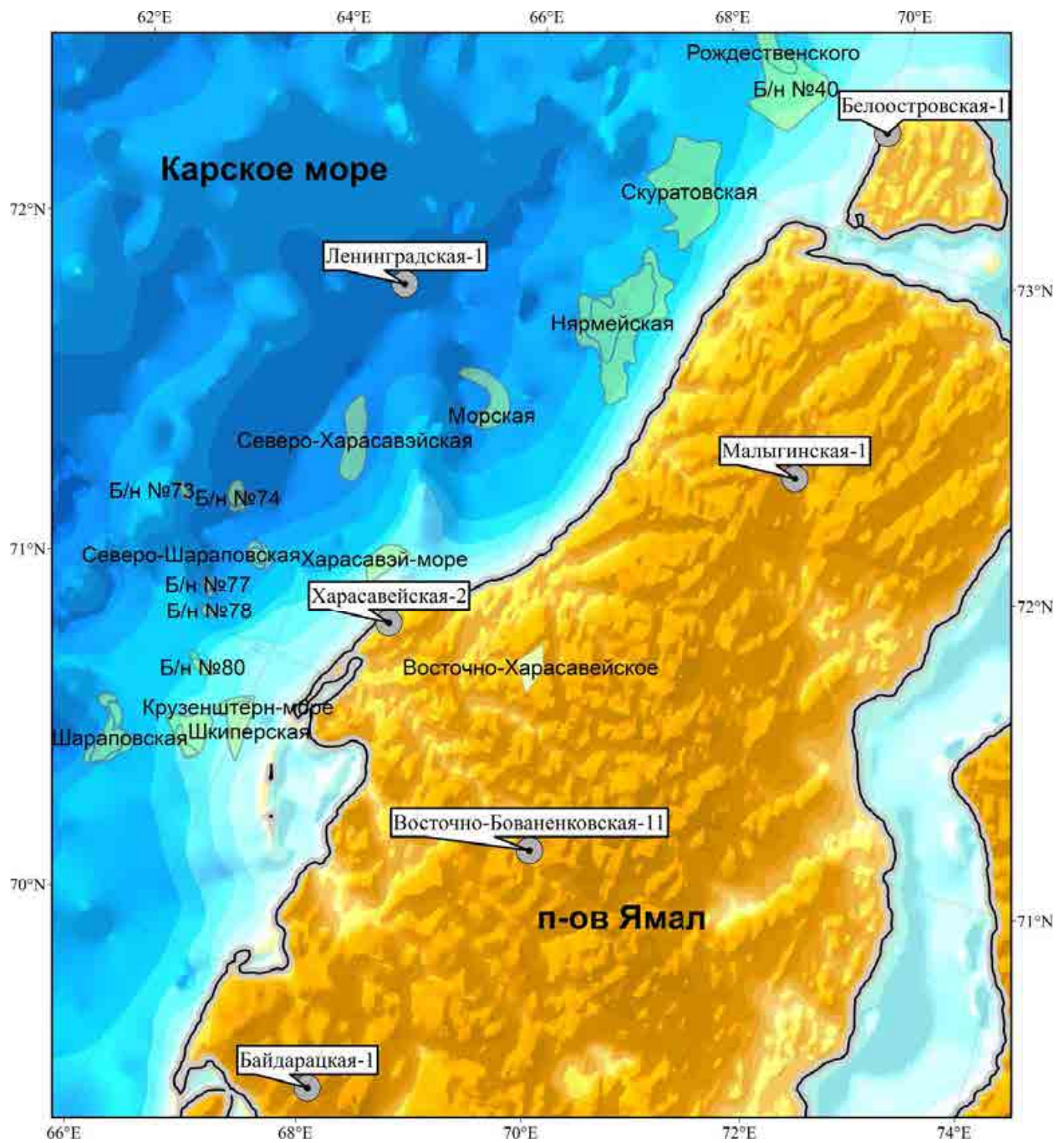
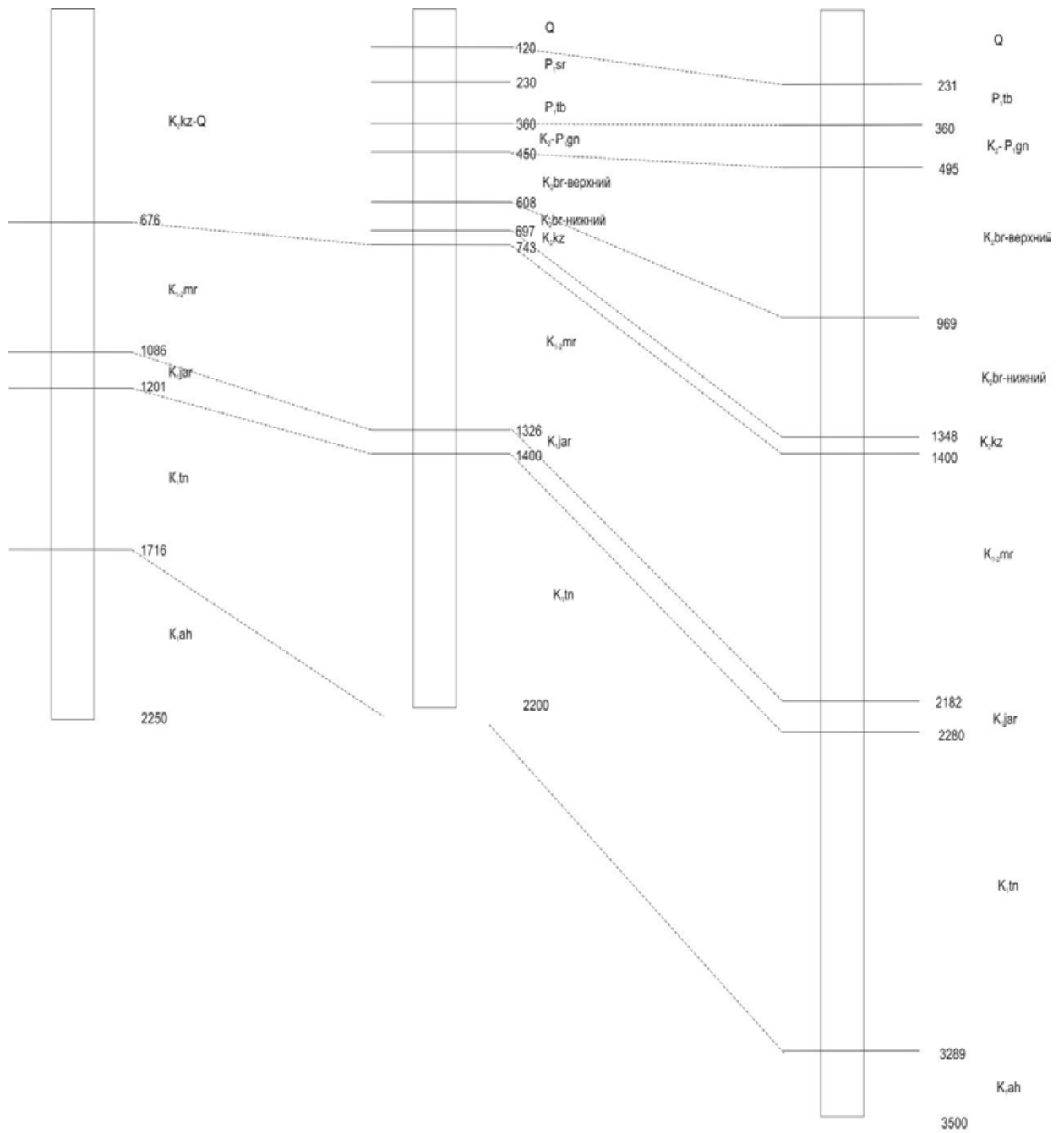


Рисунок 2.24. Положение скважин, использованных при проведении межскважинной корреляции, месторождений и локальных структур по состоянию на 2012 г.

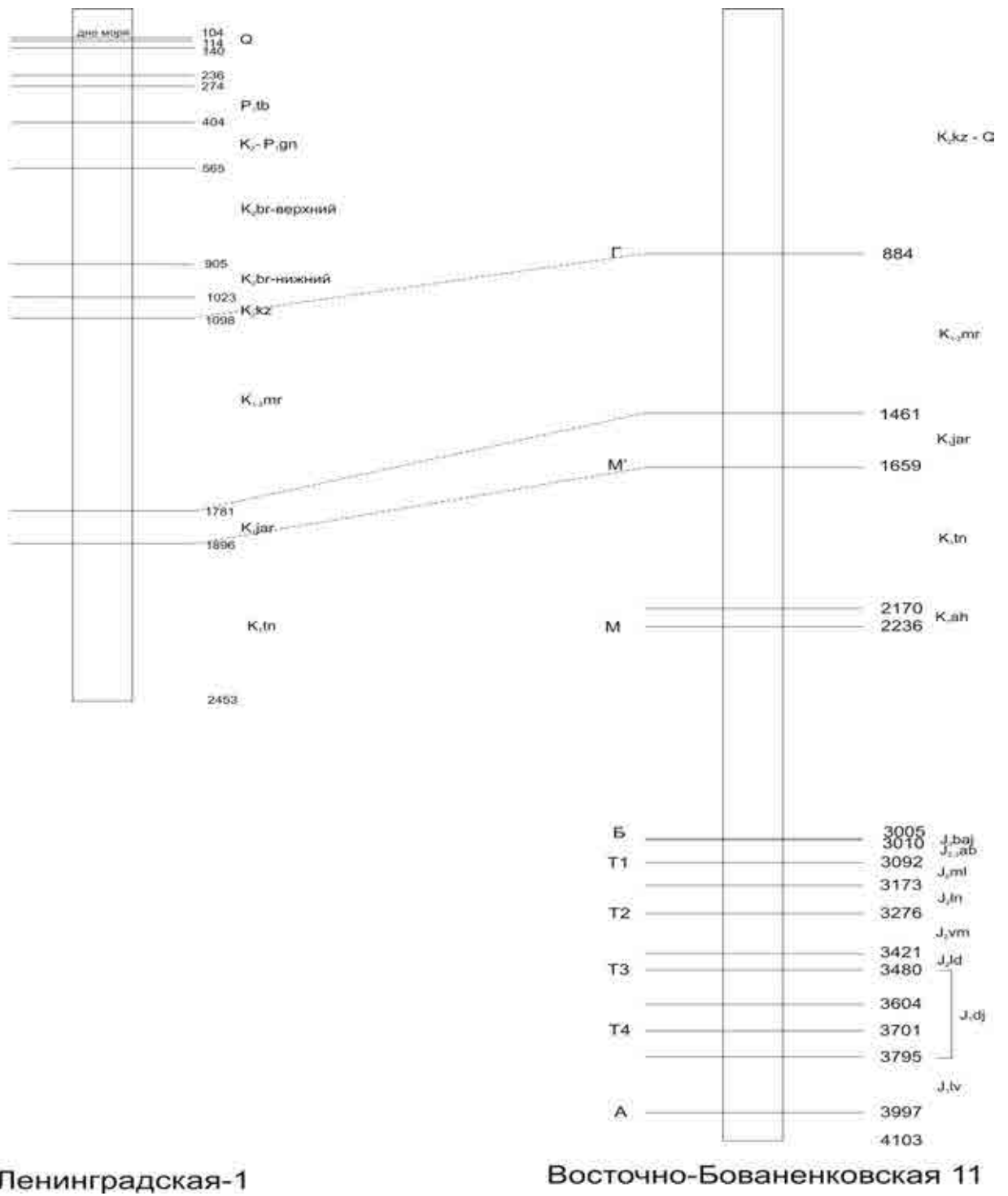


Байдарацкая 1

Харасавейская 2

Белоостровская 1

Рисунок 2.25. Схема корреляции осадочных комплексов в скважинах вдоль береговой линии п-ова Ямал



Ленинградская-1

Восточно-Бованенковская 11

Рис. 2.26. Схема корреляции осадочных комплексов в скважинах в Карском море и на полуострове Ямал

Граница	Цвет	Возраст	Свита
Дно	Желтый	KZ	
С	Оранжевый	K ₂ br ₁	березовская
Г	Зеленый	K _{1,2} mr	марресалинская
Г2	Зеленый	K ₁ jar	яронгская
М1	Зеленый	K ₁ tn	танопчинская
М	Зеленый	K ₁ ah	ахская
Б	Синий	J ₃ baj	баженовская+абалакская
Т1	Синий	J ₂ ml	малышевская+леонтьевская
Т2	Синий	J ₂ vm	вымская+лайдинская
Т3	Синий	J ₁ dz ₃	джангодская (надояхинская+тогурская)
Т4	Синий	J ₁ dz ₁	джангодская (шараповская)+левинская
Т5	Синий	J ₁ zm	зимняя
la	Фиолетовый	T ₃ r	тампейская серия
А	Синий	MZ-PZ	

Рисунок 2.27. Сейсмостратиграфическая модель, мезозойско-кайнозойской части осадочного чехла

Используя данные по скважине на Восточно-Бованенковском месторождении, проведена интерпретация наземной части профиля 07. Профиль проходит в северо-западном направлении, пересекает Восточно-Харасавейское поднятие и подходит к ямальскому берегу Карского моря в районе 71,6° с.ш.

По результатам интерпретации профилей в пределах исследуемого региона установлено, что полный разрез опорных сейсмостратиграфических горизонтов представлен на профилях 01, 06 и 07.

Сейсмические отражающие границы имеют свои особенности, которые помогли при проведении интерпретации. Ниже приведено описание выявленных особенностей волнового поля.

Опорные отражающие горизонты.

Опорный верхнемеловой сейсмостратиграфический горизонт С выделяется в волновом поле как одно- или двухфазный рефлектор, прослеживается в центральной части исследуемого района (профили 01, 09, 12, 13, 15). На других профилях либо динамически выражен очень слабо, либо не выделяется совсем.

Горизонты Г и Г2 распространены по площади более широко. Горизонт Г2 является динамически более выраженным. Горизонт Г не выделяется на профилях в створе Байдарацкой губы (профили 14, 16, 17, 18). Необходимо отметить, что динамическая выраженность

горизонта Г уменьшается с севера на юг, в то время как динамические характеристики горизонта Г2 одинаковы на всей площади работ. Горизонт Г выделяется как одно- или двухфазный рефlector. Горизонт Г2 выделяется как двух- или трехфазный рефlector (Рисунок 2.28).

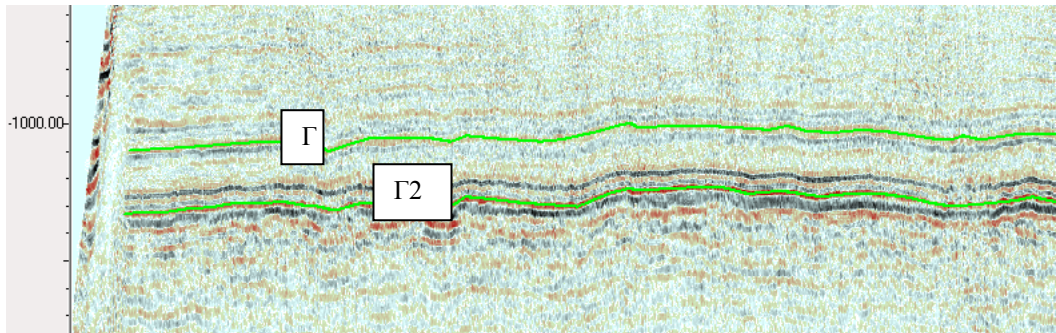


Рисунок 2.28. Горизонты Г и Г2 в волновом поле. Фрагмент профиля 08.

Нижнемеловые горизонты М и М¹ (в опубликованных материалах также обозначается М[?] или М1) представлены в волновом поле многофазными рефлекторами. Горизонт М¹ является подошвой акустически прозрачного слоя, который хорошо выделяется в поле разрезов (Рисунок 2.29).

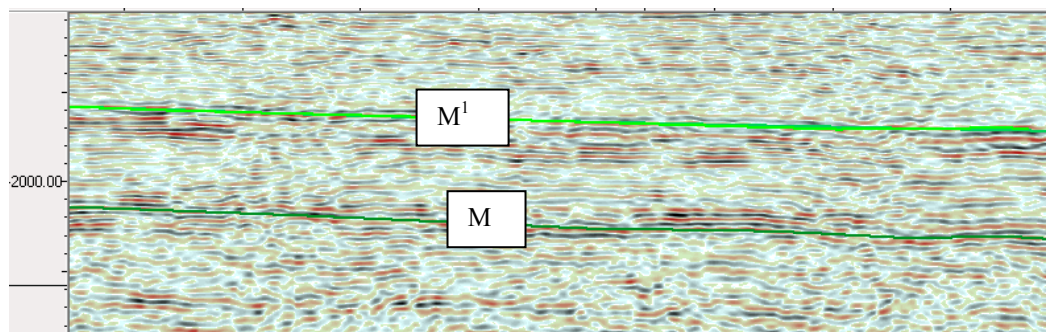


Рисунок 2.29. Горизонты М¹ и М в волновом поле. Фрагмент профиля 13.

Под горизонтами М¹ и М находятся слои с большим количеством разнородных по динамическим и частотным характеристикам рефлекторов.

Горизонт М является кровлей ахской свиты, которая в Западной Сибири представлена темно-серыми, серыми аргиллитами [Стратиграфический..., 1978].

Горизонт М¹ является кровлей танопчинской свиты, представляющей собой толщу из чередующихся песчаных и алевроитовых пород с редкими прослоями глин и известняков. [Стратиграфический..., 1978]. На севере и в центре полуострова Ямал с этой свитой связаны основные открытые залежи газа и газоконденсата.

Горизонт Б – верхний отражающий горизонт юрских отложений – выделяется практически на всей изучаемой площади, кроме ее южной части в створе Байдарацкой губы. Выклинивание горизонта Б отмечается в волновом поле профилей 13, 14 и 16. Динамическая и фазовая характеристики рефлектора являются легко отличимыми от остальных отражающих горизонтов. Выражен одно- и двухфазным рефлектором (Рисунок 2.30).

Горизонты Т1-5, выделяемые в юрской части разреза, прослеживаются на профилях в северной и центральной части. Динамическая выраженность различается. В южной части последовательно выклиниваются в южном и юго-западном направлениях. Интерпретируются на профилях по амплитудно-фазовым характеристикам и по корреляции в точках пересечения. Не обладают устойчивыми частотно-фазовой и динамической характеристиками.

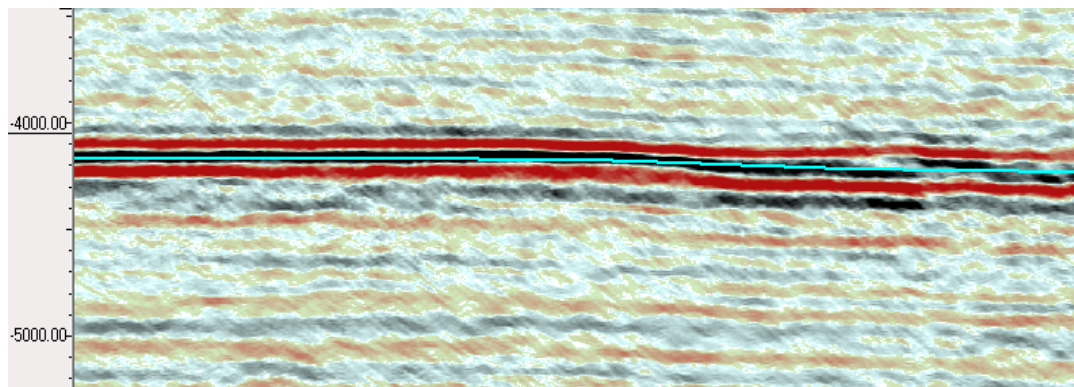


Рисунок 2.30. Горизонт Б в волновом поле. Фрагмент профиля 01.

Горизонт Ia выделяется на профилях в районе Сеяхинского прогиба и юго-восточного борта Южно-Карской впадины. На сухопутной части профиля 07 начинает прослеживаться от Восточно-Харасавейского локального поднятия в сторону моря, и далее прослеживается на профилях 07 (море), 06, 01, 08, 05, 04, 03, 02, 19.

Горизонт А является подошвой мезозойских отложений. На исследуемой площади имеет разные частотно-фазовые и динамические характеристики, что связано с увеличением глубины залегания рефлектора в северном направлении. С учетом параметров расстановки динамическая выраженность рефлектора понижается на глубинах более 6000 м. На глубинах более 9000 м коррелируется по косвенным признакам в волновом поле и прослеживается фрагментарно. На глубинах до 6000 м выражен двухфазным рефлектором, хорошо интерпретируемым в волновом поле разреза. Под горизонтом волновое поле не имеет упорядоченных рефлекторов (Рисунок 2.31).

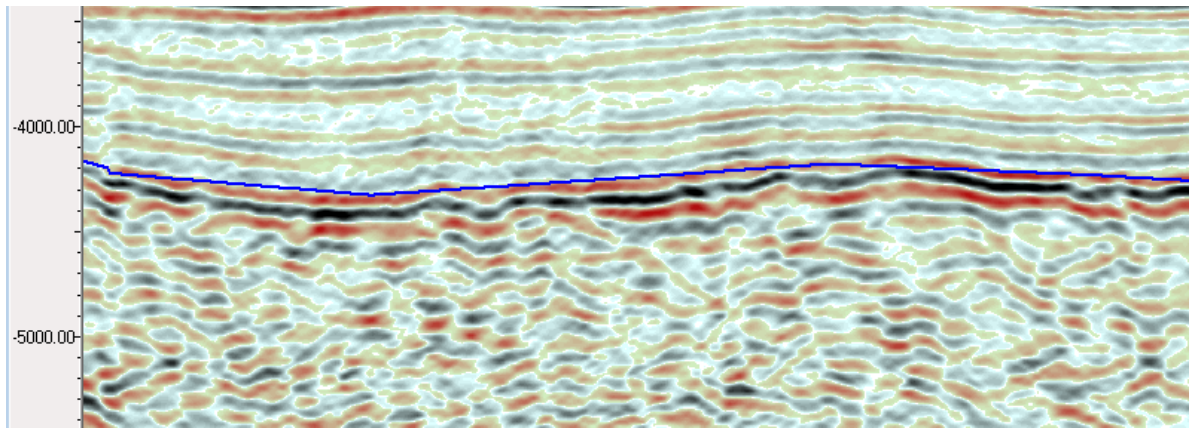


Рисунок 2.31. Горизонт А в волновом поле. Фрагмент профиля 09.

По результатам интерпретации опорных сейсмических горизонтов установлено, что верхнемезозойско-кайнозойские отложения распространены по площади исследований относительно равномерно. Их мощность постепенно сокращается в южном направлении в сторону Пай-Хоя.

Домеловые отложения имеют разную степень распространенности в пределах изучаемого района. Сейсмический комплекс отложений триаса, кровлей которого является горизонт Ia, распространен преимущественно в северной части исследуемой площади и выделяется в основном в наиболее глубоких местах.

Комплекс нижнеюрских отложений (сейсмические горизонты Т3 – Т5) распространен более широко, нежели отложения триасового возраста. Преимущественно выделяется на профилях в северной части района работ и выклинивается по направлению к Пай-Хою.

Отложения верхнеюрского периода (сейсмические горизонты Б, Т1-2) прослеживаются на еще большей площади, но также постепенно выклиниваются в южном направлении.

Итоговая схема распространения отложений триасовых и юрских частей осадочного чехла приямальной части Южно-Карского региона приведена на Рисунке 2.32.

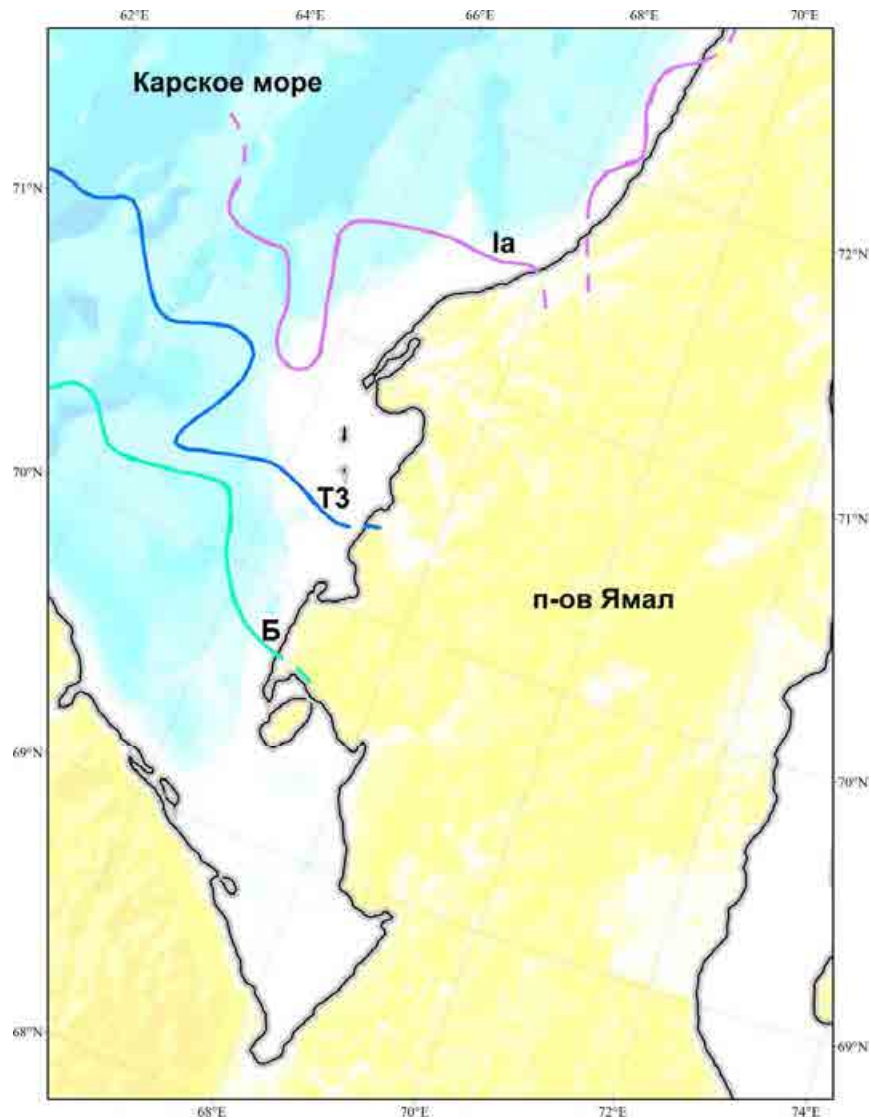


Рисунок 2.32. Южная граница области распространения отложений триасового (Ia), ниже- (Т3) и верхнеюрского (Б) возрастов [Жолондз, Поселов, 2016].

2.3. Обработка и интерпретация данных горизонтальных каналов донных станций в транзитной зоне.

При проведении сейсморазведочных работ МОВ обычно используют отраженные продольные волны (волны РР). Для их регистрации на суше используют вертикальные геофоны, а в акватории – преимущественно пьезоэлектрические гидрофоны. Связано это с тем, что продольные волны Р, в отличие от поперечных волн S, хорошо распространяются в жидкости, а следовательно, подходят для морских сейсморазведочных работ. За счет высоких

скоростей обеспечивают большую глубину исследований, не требуют специальной ориентации приемников, что необходимо при регистрации поперечных волн.

Поперечные волны характеризуются вихревыми смещениями, то есть распространение волны происходит без изменения объема. При этом поперечные волны имеют две поляризации – вертикальную (волны SV) и горизонтальную (волны SH). В случае контакта двух полупространств, когда при деформации невозможно скольжение частиц одного полупространства по границе другого, в точке отражения монотипной волны возникает отраженная поперечная волна SV (Рисунок 2.33,а). При этом для возникновения отраженной поперечной волны SH, поляризованной перпендикулярно к плоскости падения, необходимо падение монотипной волны SH (Рисунок 2.33,б) [Сейсморазведка, 1981].

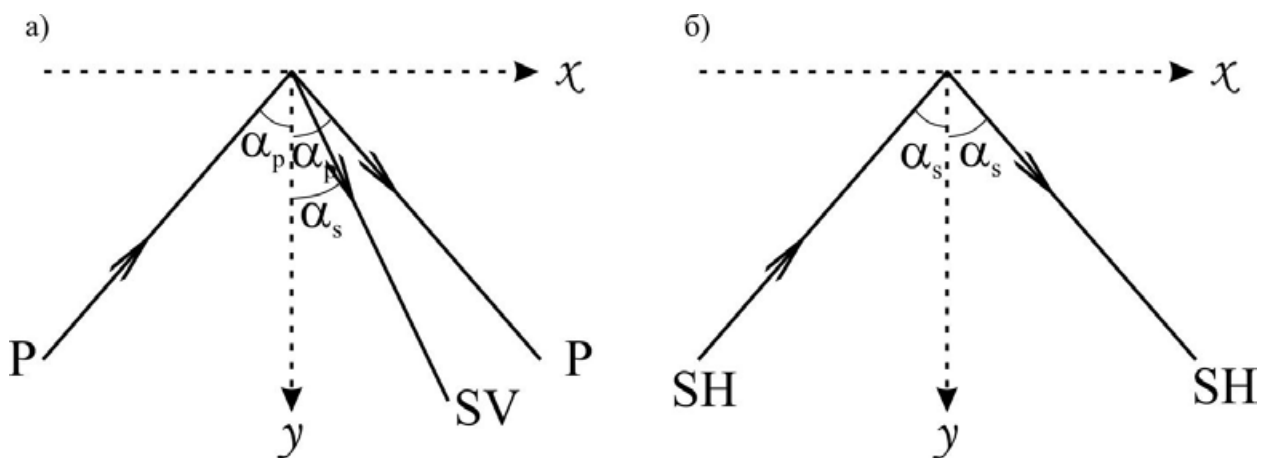


Рисунок 2.33. Схема отражения волн на свободной поверхности: а) падающая продольная волна порождает отраженные продольную P и поперечную SV волны, б) при падении поперечной волны SH отражается монотипная волна.

В случае, когда регистрируется отраженная волна SV, образованная при падении продольной волны P, такая поперечная волна называется обменной (PS).

Теоретические вычисления уравнения движения позволяют получить решение для поперечных волн, плоскость колебаний которых перпендикулярна направлению распространения, в жидкостях. Однако, такие волны быстро затухают при удалении от источника колебаний, так как их амплитуда затухает с экспоненциальной зависимостью [Физика волновых..., 2014]. Таким образом, можно считать, что поперечные волны в жидкости не распространяются.

При исследованиях в транзитных зонах распространены два подхода:

- 1) с применением автономных донных станций (обычно многокомпонентных);
- 2) с использованием донных сейсмических кос (как правило, однокомпонентных).

При исследованиях транзитной зоны на приямальском шельфе Карского моря использовались четырехкомпонентные донные станции. Гидрофоны регистрируют всестороннее сжатие, а геофоны – вертикальную и горизонтальные компоненты вектора перемещения поверхности (Рисунок 2.34) [Геофизические методы..., 2004].

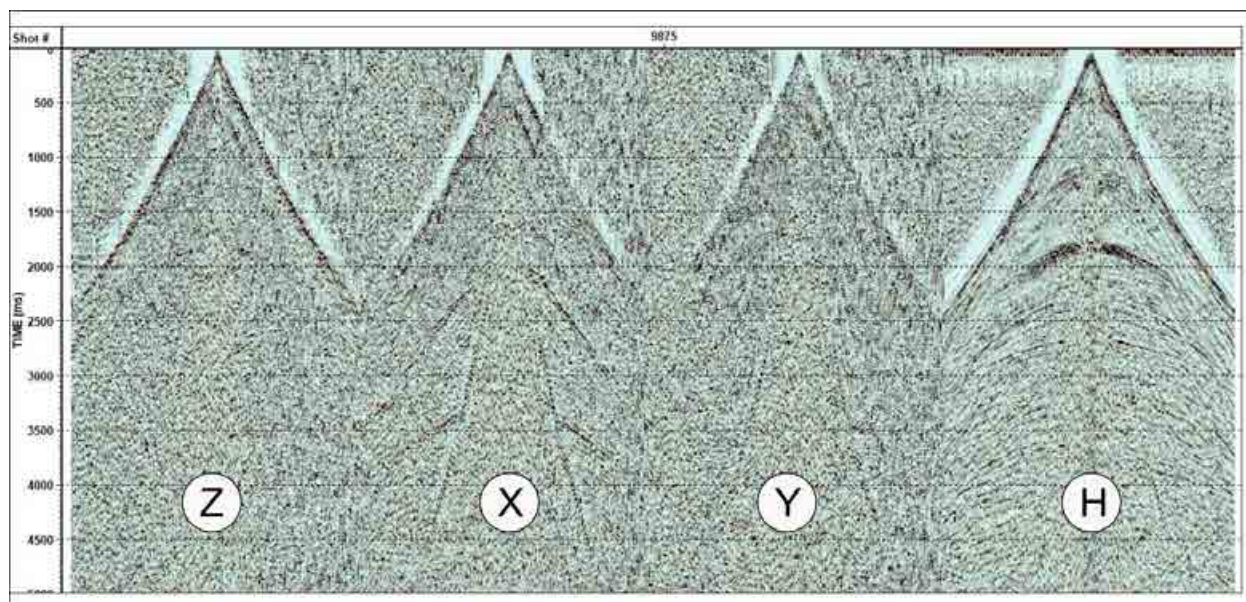


Рисунок 2.34. Характерная сейсмограмма в транзитной зоне: Z – вертикальный канал геофона, X,Y – продольная и поперечная ориентации горизонтальных геофонов соответственно, H – гидрофон.

Интенсивность записи на канале гидрофона выше, чем на геофонах. На Z-компоненте полезная запись (продольные отраженные волны) имеет амплитуды на уровне шумов. Связано это с несколькими факторами, действующими одновременно:

1. донные отложения представляют собой достаточно рыхлые породы (преимущественно пески), а для уверенной регистрации на вертикальной компоненте геофона требуется уверенный контакт с грунтом [Жгенти и др., 2008];
2. в мелководной зоне интенсивное влияние оказывают волноприбойные и приливно-отливные явления, а также течения вдоль береговой линии.

Горизонтальные компоненты геофона позволяют регистрировать поперечные волны. Особенностью методов, основанных на обработке и интерпретации поперечных и обменных волн, является то, что используемые волны распространяются как поперечные на части или на всем пути [Сейсморазведка, 1990]. Так как поперечные волны имеют меньшие скорости по сравнению с продольными, то повышается разрешающая способность. Использование наблюдений разных типов волн легло в основу геофизического метода исследований, известного как многоволновая сейсморазведка (МВС).

В методике исследований транзитной зоны на приамальском шельфе предусматривалось использование донных регистрирующих модулей и источник колебаний, буксируемым судном. Это значит, что на компоненте X возможна регистрация обменных волн SV и невозможна регистрация на Y компоненте волн SH , так как для их возникновения необходимо, чтобы они образовывались в источнике. Следовательно, исходя из используемой методики проведения работ и теории распространения сейсмических волн, на компоненте Y не может быть полезного сигнала.

Подводя промежуточный итог, можно сделать следующие выводы:

1. на вертикальной компоненте Z при использовании донных станций для исследований в мелководной части шельфа может наблюдаться высокий уровень шума;
2. для уверенной регистрации продольных волн на вертикальном геофоне требуется жесткое дно;
3. при использовании источника колебаний, находящегося в водном слое, невозможна регистрация поперечных волн;
4. при таком методе возбуждения на продольной компоненте геофона (компонента X) регистрируются обменные волны PS ;
5. на поперечной компоненте геофона (компонента Y) зарегистрировать волны SH невозможно, так необходимо, чтобы монотипная волны создавалась источником;
6. в обработку принимается сейсмическая информация, зарегистрированная на компонентах X и H .

Совместная интерпретация продольных и поперечных волн.

В процессе выполнения полевых работ в служебный канал каждой сборки сейсмограмм был записан импульс от источника. Это позволило на первом этапе обработки применить корректирующий фильтр, заключающийся в свертке сейсмических трасс с исходным сигналом. Таким образом, преобразовывается модулированный сейсмический сигнал, в общем случае представленный суперпозицией падающего сигнала и сейсмического шума, в сигнал заданной формы [Сейсморазведка, 1981]. Эта процедура применима не только к отраженным продольным волнам PP , но и к обменным волнам PS , так как при углах падения, не превышающих критического значения, импульсы обменных волн имеет ту же форму, что и импульсы падающих волн [Геофизические методы..., 2004]. Результат применения такого фильтра сводится к действию двух фильтров: обратного фильтра сжатия, преобразующего входные сигналы в единичные импульсы, и согласованного фильтра, форма оператора которого соответствует желаемой форме выходного сигнала [Сейсморазведка, 1981] (Рисунок 2.35).

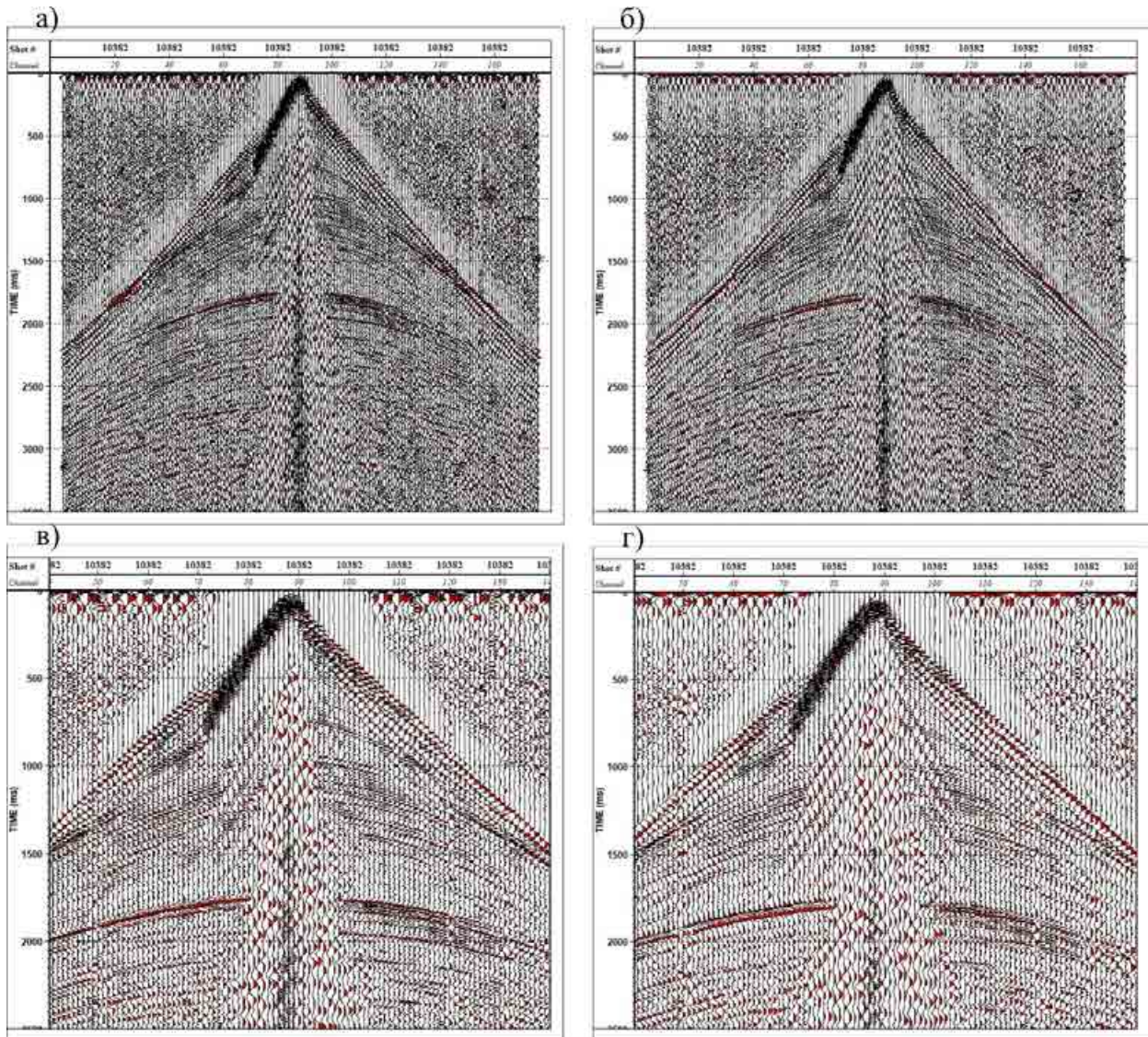


Рисунок 2.35. Применение корректирующего фильтра для записи на компоненте Н: а – результат действия фильтра, б – исходная сейсмограмма, в,г – увеличенные фрагменты соответственно после и до применения фильтра.

В результате фильтрации повышена разрешенность сейсмической записи, уменьшен уровень шума, улучшено качество сейсмограмм.

Действие такого фильтра при регуляризации сейсмограмм обменных волн позволило увеличить соотношение сигнал/шум, улучшить прослеживаемость и выделение вступлений целевых волн (Рисунок 2.36).

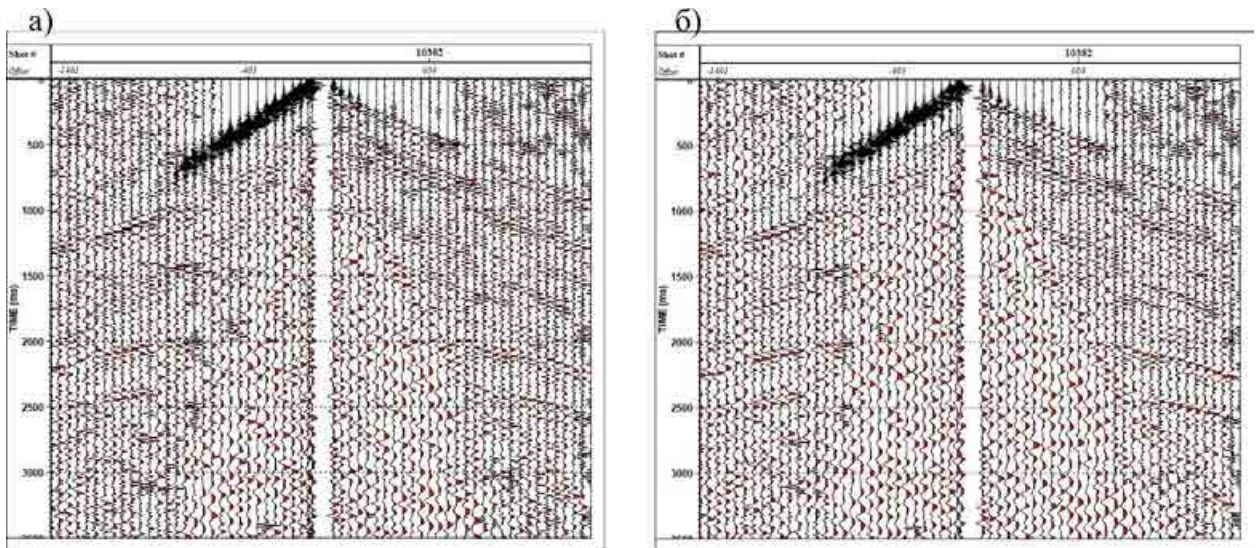


Рисунок 2.36. Применение корректирующего фильтра для записи на компоненте X: а – результат действия фильтра, б – исходная сейсмограмма.

Граф обработки продольных и обменных волн в общих чертах одинаковы и соответствуют описанному в разделе 2.1.2. Единственное различие заключается в подготовке скоростных спектров для проведения скоростного анализа. Годографы продольных отраженных волн описываются гиперболическими уравнениями, в то время как для обменных волн необходимо другое – негиперболическое – описание их годографов [Slotboom, 1990].

Рассматриваемый профиль 01 в транзитной зоне состоит из двух прямолинейных участков, которые далее будут описываться как Line 1 и Line 2 (Рисунок 2.37). Line 1 имеет длину около 37 км, Line 2 – около 34 км. На расстоянии примерно 20 км к северу от выхода профиля Line 2 на о. Белый расположена скважина Белоостровская-1.

Результат обработки компоненты Н профиля Line 1 приведен на Рисунке 2.38. Глубинность сейсмического разреза по обменным волнам значительно меньше, что объясняется тем, что скорости поперечных волн меньше скоростей продольных (Рисунок 2.39).

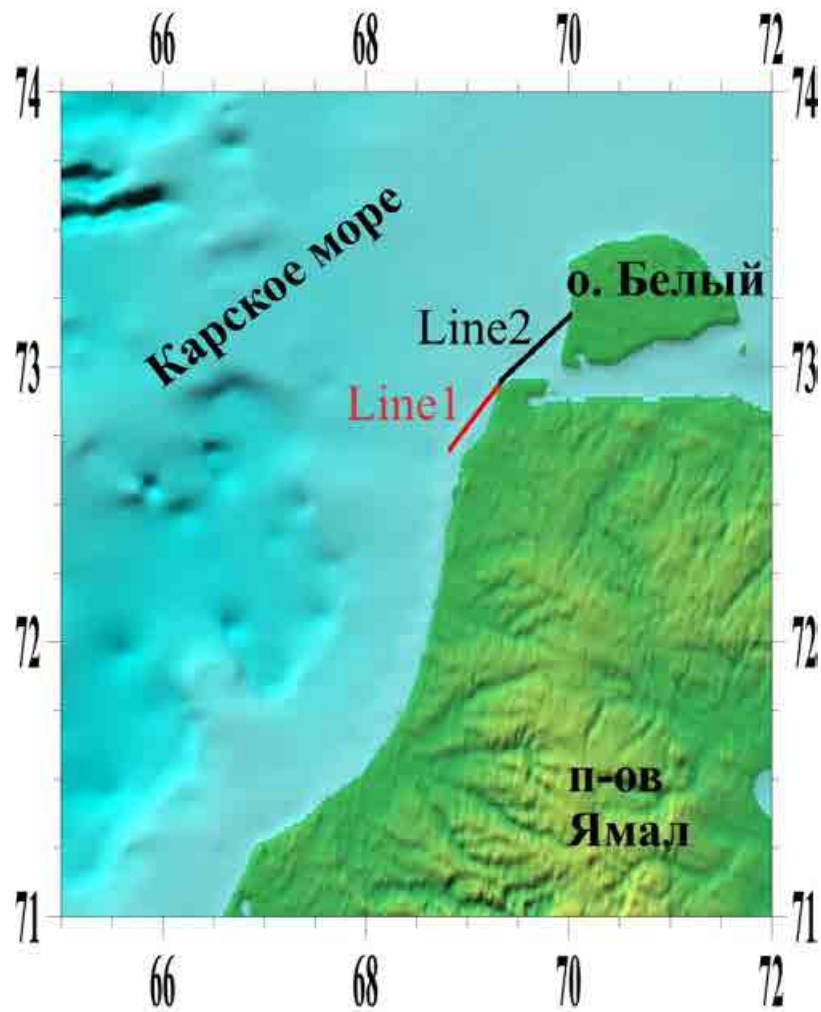


Рисунок 2.37. Положение обрабатываемых профилей в транзитной зоне.

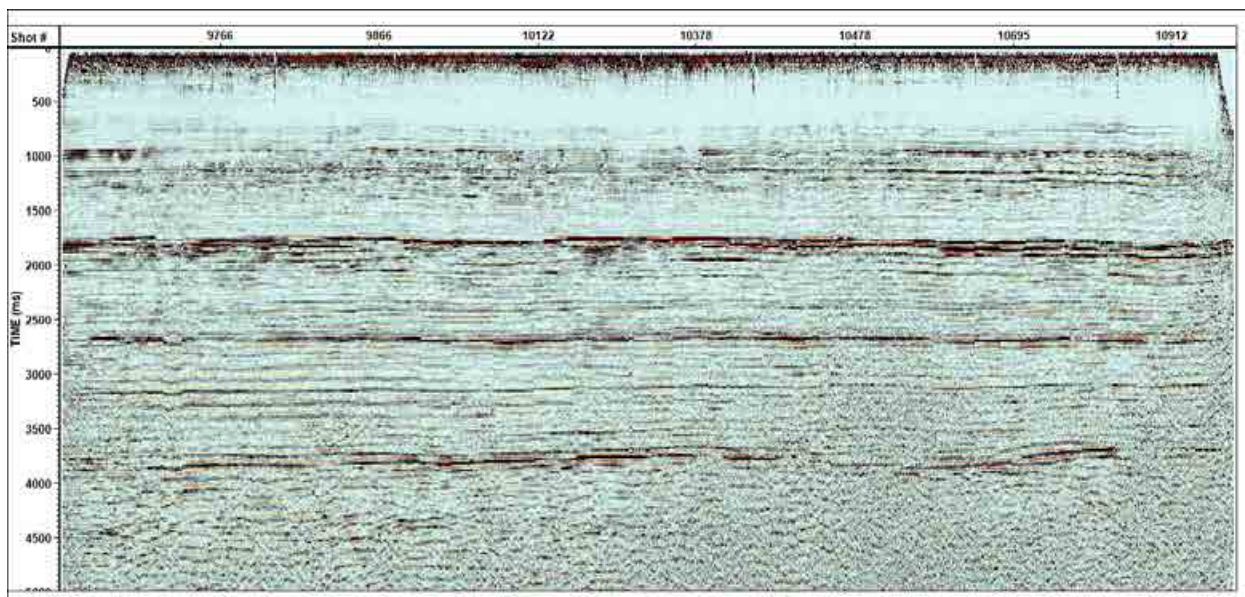


Рисунок 2.38. Суммированный временной разрез Line 1 (компонента Н).

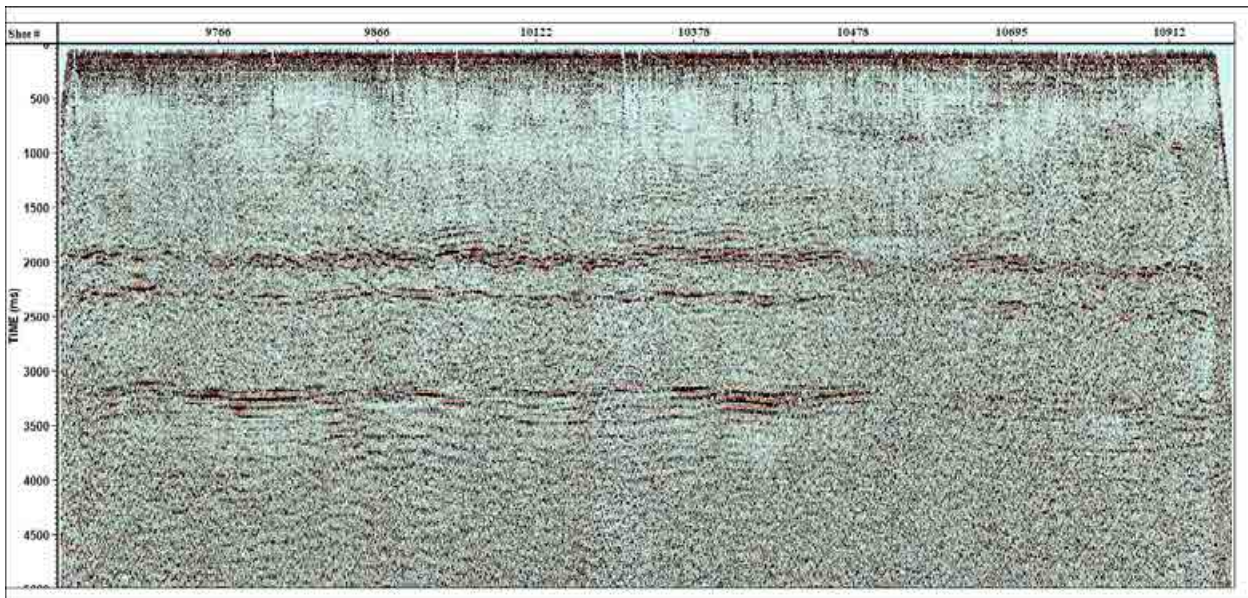


Рисунок 2.39. Суммированный временной разрез Line 1 (компонента X).

Результаты обработки сейсморазведочных данных по профилю Line2 для компонент Н и X представлены на Рисунках 2.40 и 2.41 соответственно. Вдоль профиля выделяется три крупных зоны повышенной мутности сейсмического поля, проявленные на обоих рассматриваемых компонентах.

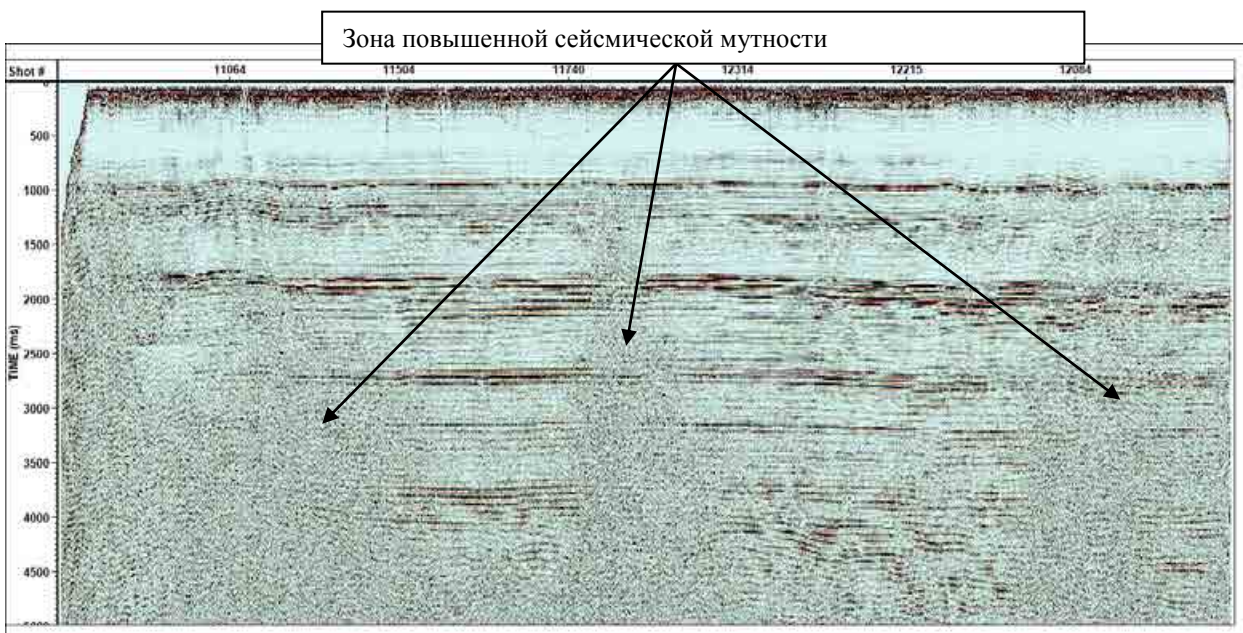


Рисунок 2.40. Суммированный временной разрез Line 2 (компонента Н).

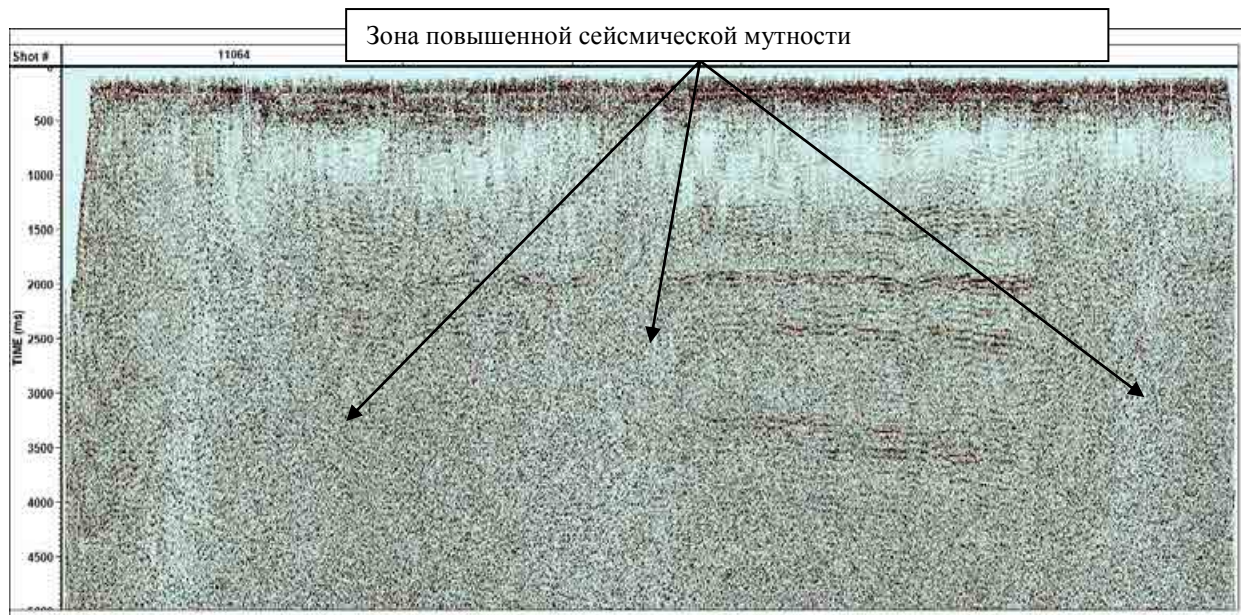


Рисунок 2.41. Суммированный временной разрез Line 2 (компонента X).

Для расчета значения отношения скоростей продольных и поперечных волн используется следующий математический подход.

Двойное время пробега отраженных продольных волн обозначим T_{pp} , а двойное время пробега обменных волн – T_{ps} . Время, за которое волна распространяется как продольная, обозначаем t_p , а время распространения обменной волны – t_s . Следовательно, $T_{pp} = t_p + t_p$, а $T_{ps} = t_p + t_s$.

Исходя из того, что времена двойного пробега волн нам известны, можно вычислить, сколько времени волна распространялась как поперечная со скоростью V_s :

$$t_s = T_{ps} - \frac{T_{pp}}{2} \quad (2.1)$$

Обозначим отношение скоростей V_p/V_s как γ , где V_p – скорость продольных волн. Тогда:

$$\gamma = \frac{V_p}{V_s} = \frac{t_s}{t_p} = 2 * \frac{T_{ps}}{T_{pp}} - 1 \quad (2.2)$$

С помощью этого выражения вычисляется γ для верхнего слоя или среднее значение γ до любого отражающего горизонта.

Если верхний слой двуслойной модели среды представлен плотными породами, его γ будет иметь достаточно высокое значение. Если под ним находятся менее плотные отложения – потенциальный углеводородный коллектор – среднее значение γ до подошвы нижнего комплекса будет завышено значениями вышележащего слоя. Следовательно, необходимо проводить вычисления интервальных значений γ . Для этого в приведенную выше формулу вместо T_{ps} и T_{pp} необходимо подставить ΔT_{ps} и ΔT_{pp} соответственно, где ΔT_{ps} – разность

двойных времен пробега до подошвы и кровли слоя для обменных волн, а ΔT_{pp} – соответствующая разность для продольных волн.

В волновых полях суммированных разрезов по обменным волнам выделяются три отражающих горизонта – Г, Г2 и М¹. Таким образом, расчет интервальных значений γ произведен для отложений березовской свиты и моложе, марресалинской свиты и яронгской свиты соответственно.

В таблице 2.1 приведены средние значения γ для каждого комплекса по линии профиля Line 1, в таблице 2.2 приведены предельные значения γ .

Таблица 2.1. Средние интервальные значения γ на профиле Line 1.

Комплекс	Среднее интервальное значение γ
Отложения березовской свиты и моложе	3,10
Отложения марресалинской свиты	2,82
Отложения яронгской свиты	1,83

Таблица 2.2. Предельные значения γ на профиле Line 1.

Комплекс	Значение γ	
	Минимальное	Максимальное
Отложения березовской свиты и моложе	2,8	3,4
Отложения марресалинской свиты	1,8	10,4
Отложения яронгской свиты	1,5	2,0

Вдоль профиля отложения березовской свиты и моложе характеризуются высокими значениями отношения скоростей V_p/V_s . Важность знания распределения величины γ для решения задач нефтегазоносности заключается в том, что эта величина связана напрямую с литологией разреза, и, следовательно, может использоваться для решения задач о

нефтегазоносности региона [Воскресенский, 2001]. Изменение распределение интервальных значений γ вдоль профиля Line 1 приведено на Рисунке 2.42.

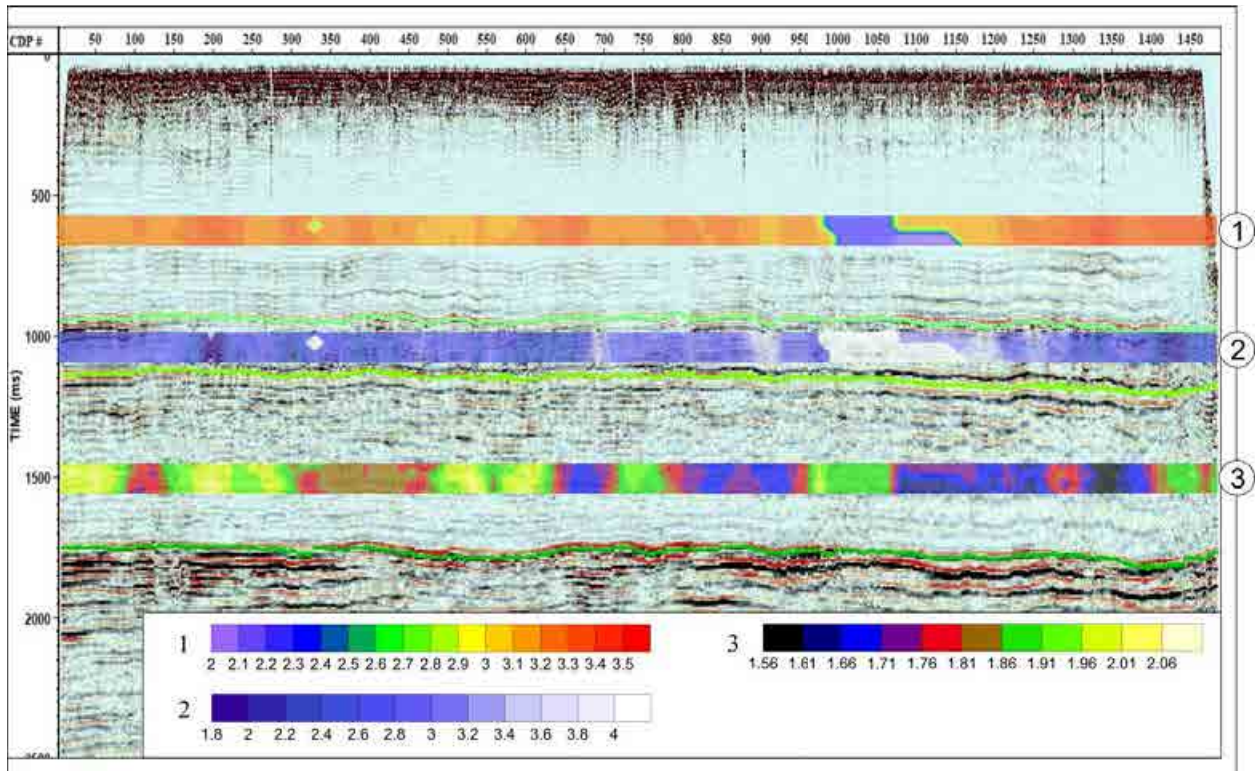


Рисунок 2.42. Распределение интервальных значений γ вдоль профиля Line 1 (компонента Н).

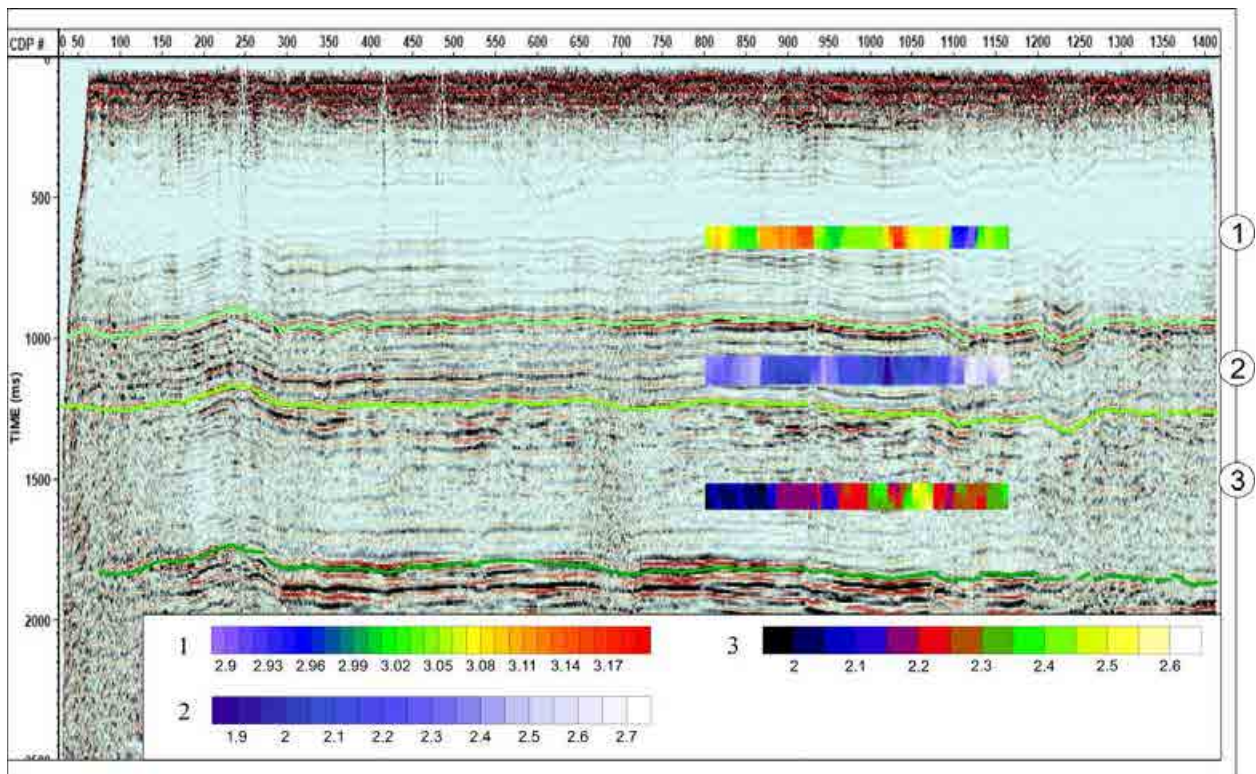
Наибольший разброс значений существует в комплексе отложений марресалинской свиты. Максимальные значения от 6,0 до 10,0 зарегистрированы на небольших участках профиля. В работах о влиянии обводненности грунтов указано, что высокая водонасыщенность пород повышает значения γ . Например, для водонасыщенного состояния галечников значения γ достигают 10,0, для песков и супесей – 14,0, для суглинков и глин – 20,0 [Алешин и др., 2015].

Низкие значения γ , напротив, могут свидетельствовать о газонаполненных ловушках, так как газонасыщенность понижает значения V_p/V_s , и эффект тем больше, чем выше давление газа в этой ловушке [Rojas et al., 2005].

На профиле Line 2 область уверенной корреляции всех горизонтов на компоненте Х имеет протяженность около 9 км. Изменение интервальных значений γ приведено на Рисунке 2.43. Средние значения приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Средние интервальные значения γ на профиле Line 1.

Комплекс	Среднее интервальное значение γ
Отложения березовской свиты и моложе	3,06
Отложения марресалинской свиты	2,26
Отложения яронгской свиты	2,20

Рисунок 2.43. Распределение интервальных значений γ вдоль профиля Line 2 (компонента Н).

Минимальные и максимальные значения величины γ по комплексам осадочных пород приведены в таблице 2.4. Разброс значений в пределах доступного для исследований интервала существенно меньший по сравнению с профилем Line 1. В отложениях яронгской свиты в рассматриваемой области потенциально перспективных коллекторов не выявлено.

Таблица 2.4. Предельные значения γ на профиле Line 2.

Комплекс	Значение γ	
	Минимальное	Максимальное
Отложения березовской свиты и моложе	2,9	3,2
Отложения марресалинской свиты	1,9	2,7
Отложения яронгской свиты	1,9	2,6

Чем еще важно отношение γ , так это тем, что через него выражается коэффициент Пуассона. Коэффициент Пуассона является отношением модуля сжатия к модулю сдвига, различен для разных веществ и может рассматриваться как особое свойство среды [Манштейн, 2002].

Так как

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{1}{\gamma} = \sqrt{\frac{1-2\sigma}{2(1-\sigma)}} \quad (2.3)$$

то коэффициент Пуассона σ может быть выражен через отношение скоростей V_p/V_s :

$$\sigma = \frac{2 - \gamma^2}{2(1 - \gamma^2)} \quad (2.4)$$

Таким образом, знание величины γ дает возможность получить коэффициент Пуассона.

По данным скважины Белоостровская-1 первый комплекс представлен переслаиванием песчаников, аргиллитов, алевролитов, местами кремнистость в породах, второй – песчаники и глины, аргиллиты, третий – в основном алевролиты и аргиллиты. Повышенная флюидонасыщенность повышает значения коэффициента Пуассона. Средние значения в диапазоне 0.40-0.45 соответствуют обводненным глинам, 0.28-0.33 – песчаники, 0.35-0.37 – суглинки. Полученные результаты соответствуют обобщенным данным по разрезу скважины. Таким образом, в слабоизученных районах и в транзитных зонах, где возможно применение многокомпонентных сейсмоприемников, возможно использование расчетных значений коэффициента Пуассона для получения обобщенных литологических характеристик разреза.

Таблица 2.5. Вычисленные значения коэффициента Пуассона.

Комплекс	γ			σ		
	мин	ср	макс	мин	ср	макс
Line 1						
Отложения березовской свиты и моложе	2.8	3.1	3.4	0.43	0.44	0.45
Отложения марресалинской свиты	1.8	2.82	6.2	0.28	0.43	0.49
Отложения яронгской свиты	1.5	1.83	2	0.10	0.29	0.33
Line 2						
Отложения березовской свиты и моложе	2.9	3.06	3.2	0.43	0.44	0.45
Отложения марресалинской свиты	1.9	2.26	2.7	0.31	0.38	0.42
Отложения яронгской свиты	1.9	2.2	2.6	0.31	0.37	0.41

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. при работах в транзитной зоне с четырехкомпонентными донными станциями на вертикальной компоненте геофона будет наблюдаться высокий уровень шума;
2. при работах с четырехкомпонентными донными станциями и источником, буксируемым за судном в водной толще, на компоненте Y не будут зарегистрированы поперечные волны с горизонтальной поляризацией (волны SH), при этом на компоненте X будут регистрироваться обменные волны;
3. понизить уровень шума и повысить разрешенность сейсмической записи можно за счет применения корректирующего фильтра, учитывающего форму импульса источника, и при этом применять его можно к сейсмограммам и продольных и обменных волн;
4. Значения коэффициента Пуассона являются более универсальными характеристиками горных пород по сравнению с величиной γ .

2.4. Выводы

Совместный анализ полученных сейсмических данных, результатов обработки, опубликованных материалов по изучаемому району и исследований по теории распространения волн, создал базу для разработки научно-методического подхода, позволяющего получать обобщенные литолого-физические характеристики осадочных пород в транзитных зонах. Также этот подход может быть распространен на другие слабоизученные области, где возможно применение многокомпонентных донных станций. Данный подход проверен на примере двух участков на профиле 01 и получены хорошие результаты. Вычислены средние значения коэффициента Пуассона для трех верхних осадочных комплексов, которые согласуются с данными по скважине на острове Белый. Эти значения коэффициента Пуассона являются усредненными в комплексе и соответствуют тем осадочным породам, содержание которых в комплексе больше. Таким образом, полученные результаты следует рассматривать как литолого-физические характеристики осадочных комплексов, по которым может быть составлено обобщенное литологическое описание исследуемых комплексов.

Проведенные исследования позволили выявить особенности применяемого метода сейсморазведки и подготовить научно-методические рекомендации по улучшению качества получаемых данных в транзитных зонах при использовании четырехкомпонентных донных станций. Учет этих рекомендаций не требует существенного изменения методики проведения работ или разработки дополнительного оборудования, что не влечет значительного увеличения финансовой части.

В заключении можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Апробирована методика обработки непрерывных сейсмических профилей суша-транзитная зона-море и транзитная зона-море, позволяющая получать сопоставимые по качеству волновые поля.
2. Разработаны научно-методические рекомендации по проведению полевых и камеральных работ при исследовании слабоизученных областей и транзитных зон с применением четырехкомпонентных донных станций.
3. Получены новые данные о строении зоны перехода суша-море на приямальском шельфе Карского моря и вычислены такие физические параметры, как соотношение скоростей продольных и поперечных волн ($\gamma = V_p/V_s$) и коэффициент Пуассона (σ), которые возможно использовать при анализе литологического строения осадочного чехла, в том числе и для целей оценки нефтегазовой перспективности района исследований.

4. Составлена сейсмостратиграфическая привязка отражающих горизонтов, основанная на непрерывной корреляции сейсмических горизонтов от скважины на суше в акваторию.

Таким образом, можно сформулировать первое защищаемое положение:

Разработанный научно-методический подход, включающий использование четырехкомпонентных донных станций и комплексную обработку отраженных продольных и поперечных волн, обеспечивает создание непрерывной сейсмостратиграфической модели суша-море и получение обобщенных литологических характеристик, увязанных с данными по скважине.

ГЛАВА 3: Региональное строение мезозойско-кайнозойского осадочного чехла в пределах области исследований.

3.1. Анализ сейсмических данных по профилям.

Профиль 07

При проведении интерпретации сейсмических данных вдоль линии профилей, профиль 07 принят за опорный. Он состоит из трех частей – сухопутной, в транзитной зоне и морской.

Общая длина профиля составляет примерно 160 пог. км с учетом перекрытий на флангах (Рисунок 3.1). Из них 100 км – это сухопутный участок, начинающийся от скважины на Восточно-Бованенковском месторождении и идущий в северо-западном направлении в сторону берега Карского моря. Участок профиля в транзитной зоне имеет длину около 11 км. Длина морского участка составила примерно 50 пог. км.

Сухопутная часть профиля проходит по полуострову Ямал с юго-востока на северо-запад.

Меловые горизонты залегают согласно, трассируются четко. На профиле выделяется локальное поднятие (л.п.) между пунктами возбуждения (ПВ) 1890-2420, отмеченное на картах как Восточно-Харасавейское. Юрские отложения, соответствующие горизонтам Б, Т1-4 залегают согласно, выражены достаточно интенсивно. Горизонты Т5 и Ia выделяются северо-западнее Восточно-Харасавейского л.п. и выклиниваются на его северо-западном борту.

Горизонт А прослеживается кусочно-непрерывно с тенденцией к погружению. Восточно-Харасавейское л.п. выражено отчетливее всего мощным поднятием с амплитудой почти 3 км при линейном размере около 25 км.

Объединенный профиль морской и транзитной частей с учетом перекрытий на флангах имеет протяженность около 60 км и проходит с юго-востока на северо-запад. В волновом поле в северо-западной части в районе пересечения с профилем 01 выделяется небольшое по амплитуде л.п., хорошо выраженное по горизонтам Б (амплитуда около 200 м), Т3 (амплитуда также около 200 м) и М¹ (амплитуда не более 100 м). На горизонтах более молодых отложений поднятие не выделяется. По горизонту А волновая картина неустойчивая, поверхность горизонта прослеживается отрывочно, но, вероятно, поднятие по горизонту Б может быть связано с вертикальными движениями в палеозое.

Сейсмостратиграфические комплексы выше горизонта Б залегают согласно, прослеживаются отчетливо. В их волновом поле выделяются несколько разломов в юго-восточной части.

Юрские горизонты Б и Т1-3 хорошо трассируются и имеют параллельное залегание с повторением форм рельефа нижележащих горизонтов. Горизонты Т4-5 и Ia прослеживаются несколько хуже, но могут быть достаточно уверенно проинтерпретированы. Горизонт А коррелируется на отдельных участках, разделен широкими зонами «мутности» волнового поля.

Сводный глубинный сейсмический разрез вдоль профиля, положение скважины и корреляция горизонтов на Восточно-Бованенковском месторождении приведены на Рисунке 3.1.

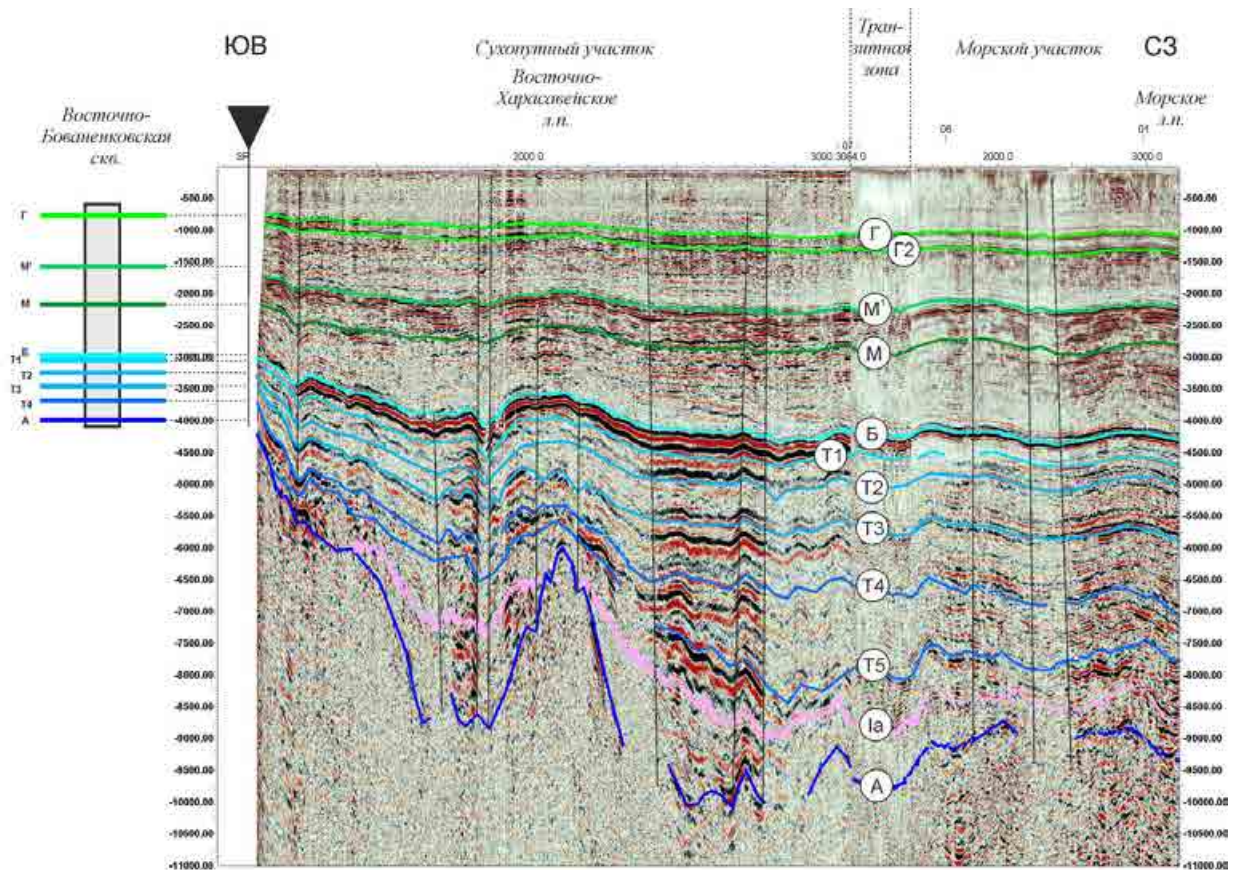


Рисунок 3.1. Сводный глубинный сейсмический разрез МОВ-ОГТ по профилю 07, привязанный к данным по скважине на Восточно-Бованенковском месторождении [Жолондз, Павленкин, 2015].

Профиль 06

Общая длина профиля составляет почти 109 км. Профиль проходит в северо-восточной части исследуемого региона (Рисунок 3.2).

На профиле выделяются несколько крупных разломов. В области между 40000 и 60000 м горизонт А погружается и происходит изменение характера волнового поля. Эта «впадина» существенно выполаживается к поверхности горизонта Б и на горизонте М¹ отмечается небольшим (около 20 км в длину и около 200 м в глубину) прогибом, на юго-западном борту которого выделен самый крупный разлом в исследуемой области.

На расстоянии 55-85 км от начала профиля находится поднятие, выделяющееся на всех горизонтах юрского возраста, но сглаживающееся к поверхности горизонта М.

Выше горизонта Б осадочные отложения залегают согласно с небольшим углублением в середине профиля.

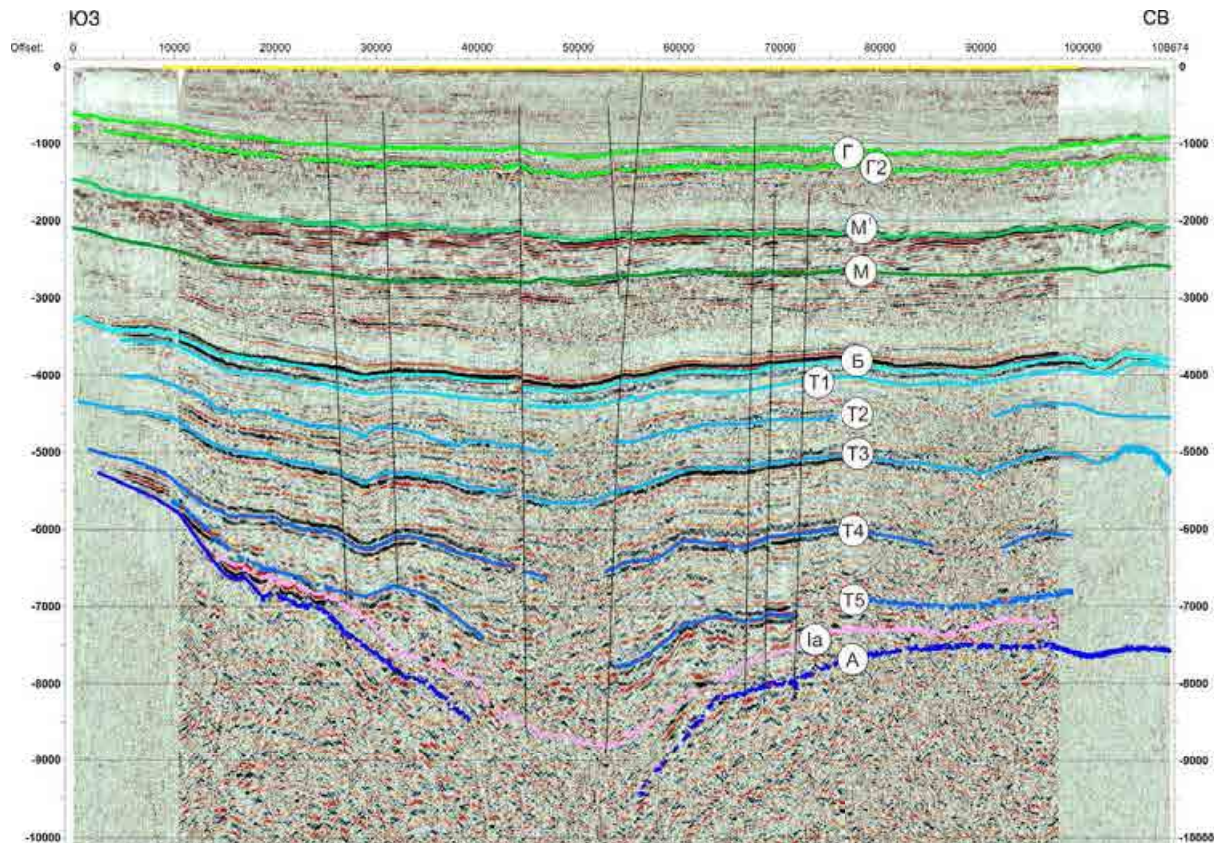


Рисунок 3.2. Глубинный сейсмический разрез по профилю 06. По горизонтальной оси – расстояние вдоль профиля, м.

Профиль 01

Профиль проходит в северо-восточном направлении от Шараповых Кошек до острова Белый общей протяженностью около 293 км из которых чуть более 60 км – выполнено в мелководной части по методике работ в транзитной зоне (Рисунок 3.3). На профиле выделены все основные сейсмостратиграфические горизонты.

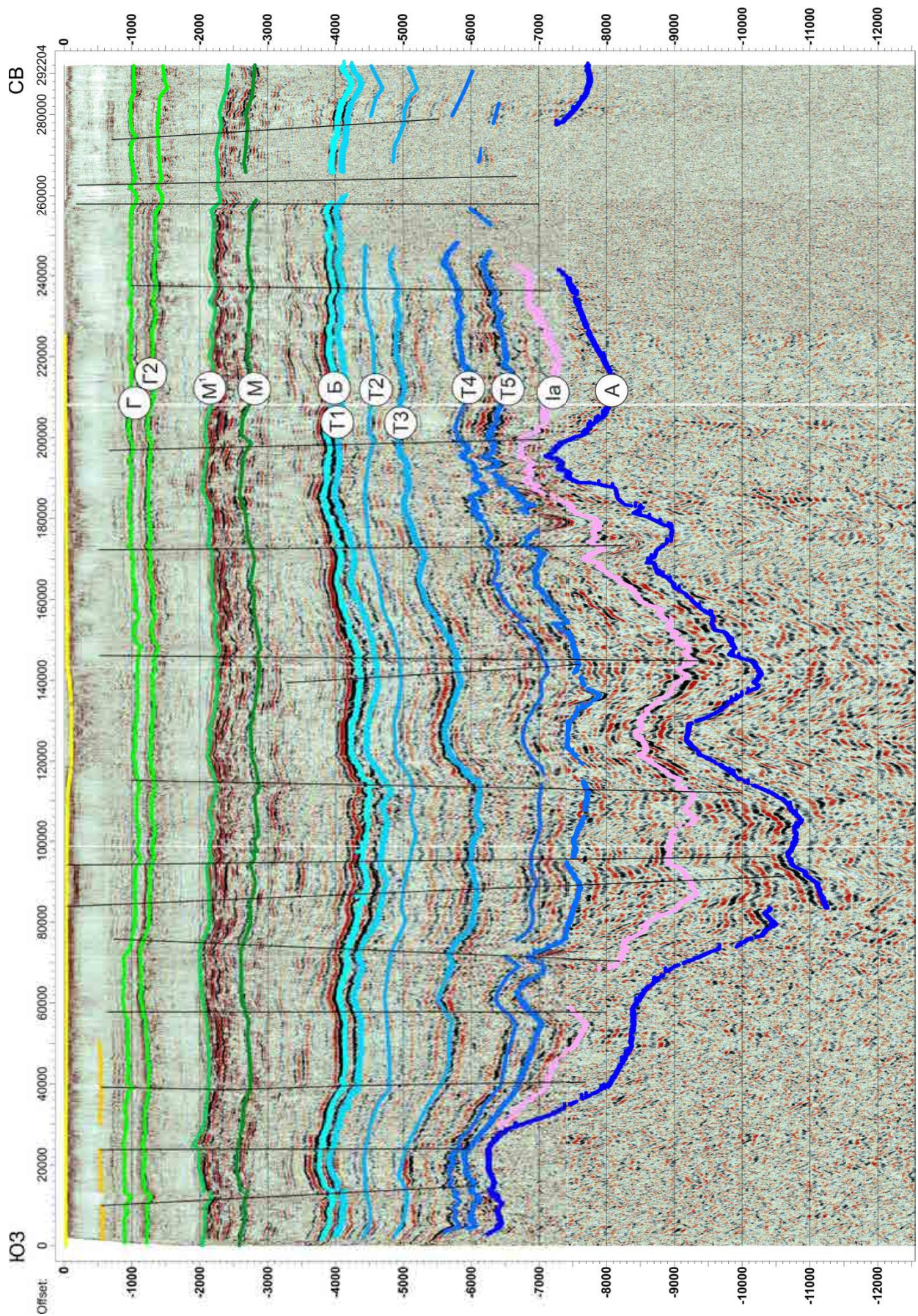


Рисунок 3.3. Глубинный сейсмический разрез по профилю 01. По горизонтальной оси – расстояние вдоль профиля, м.

Наибольшей глубины горизонт А достигает на расстоянии 100 км от начала профиля в районе прогиба, осложненного разломами, часть из которых прослеживаются от горизонта А до поверхности.

Верхнемезозойско-кайнозойские отложения залегают с небольшой тенденцией к погружению в направлении на северо-восток. В толще меловых отложений прослеживаются несколько разломов, сопровождающиеся смещением фазы или увеличением «мутности» волнового поля (на расстояниях 70, 150, 230 и 260 км).

Поверхность горизонта Б осложнена разломами, на которых выделяются как вертикальные смещения фазы, так и образование участков записи с динамически слабо выраженной амплитудой сигнала. Вдоль профиля по горизонту Б наблюдается несколько локальных поднятий и впадин. Перепад глубин достигает 800 м.

Опорный горизонт А имеет разную степень динамической выраженности, осложнен большим количеством разломов, контролирующих систему впадин и поднятий.

Горизонты Ia и T5 повторяют контуры горизонта А внутри главного прогиба. Поверхность горизонта T4 уже существенно сглажена. Горизонты T1-T3 залегают согласно с небольшим перепадом глубин.

Профиль 04

Профиль проходит с юга на север и имеет протяженность около 59 км (Рисунок 3.4).

Отражающие горизонты, отвечающие границам в кайнозойских и меловых отложениях, залегают согласно. Горизонт Б выделяется на глубине около 4000 м с небольшими вариациями глубины вдоль профиля.

Горизонты T1-T4 залегают согласно. Горизонт T5, немного более сглажено, наследует рельеф горизонта А. Горизонт Ia прослеживается на северном фланге профиля и подклинивается под горизонт T5 на северном склоне поднятия, выделяемого по горизонту А.

В середине профиля на горизонте А выделяется поднятие с амплитудой около 2000 м. Корреляция на этом участке существенно затруднена из-за сильной фрагментированности волнового поля и слабой динамической выраженности рефлекторов, что может означать наличие крупной разломной зоны в этом месте.

Профиль 09

Профиль длиной 114 км проходит с юго-запада на северо-восток, пересекает Шкиперское и Крузенштернское (море) л. п. (Рисунок 3.5). Северо-восточный фланг профиля выходит на борт Харасавейского л. п.

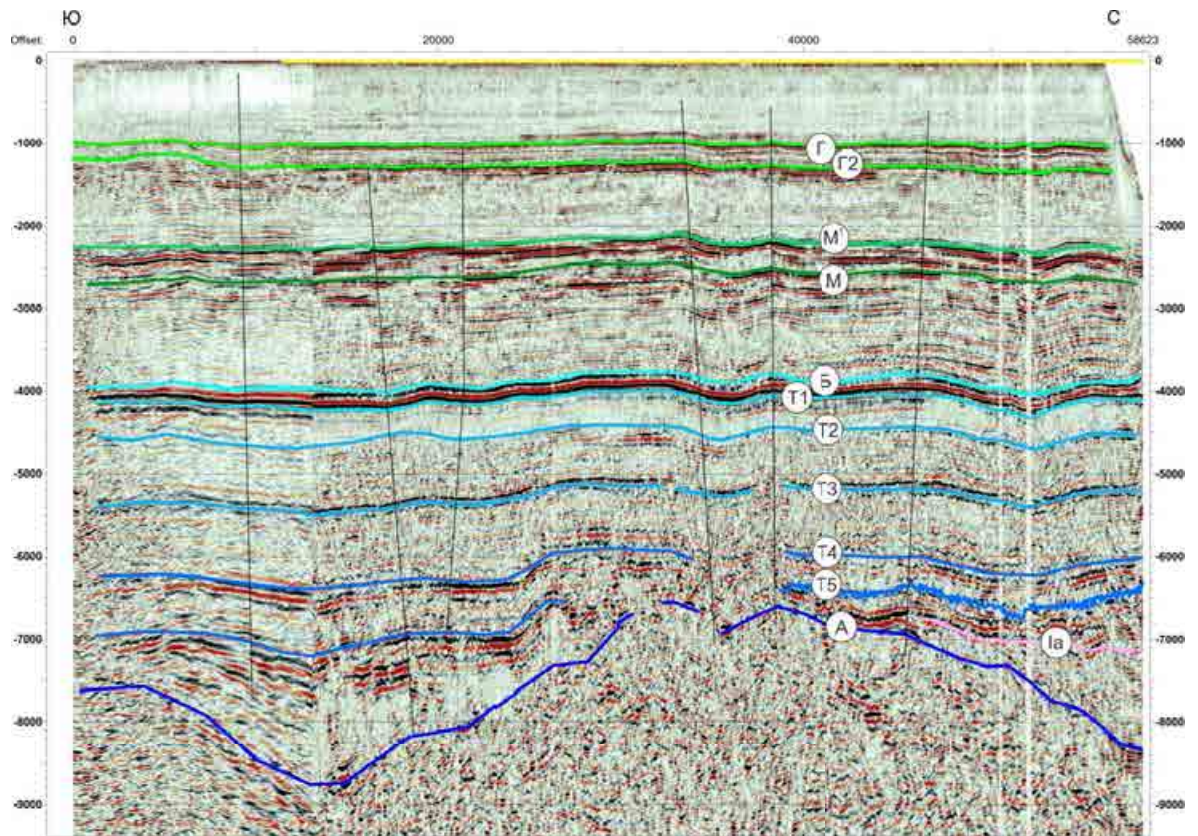


Рисунок 3.4. Глубинный сейсмический разрез по профилю 04. По горизонтальной оси – расстояние вдоль профиля, м.

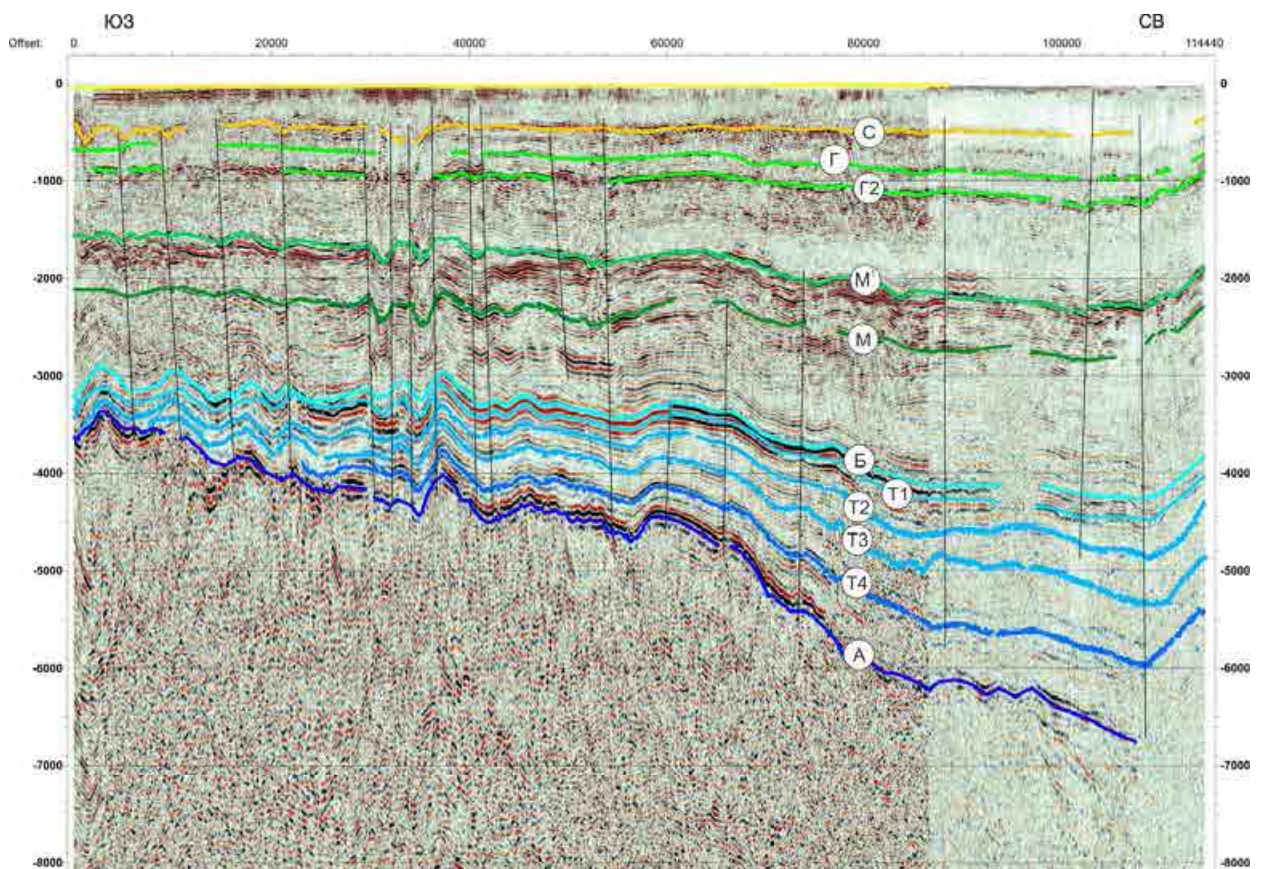


Рисунок 3.5. Глубинный сейсмический разрез по профилю 09. По горизонтальной оси – расстояние вдоль профиля, м.

Разрез вдоль профиля характеризуется постепенным утонением осадочного чехла в юго-западном направлении в среднем с 6 до 3,5 км с поэтапным выклиниванием нижнеюрских отложений, с которыми ассоциируются горизонты Т3-Т4.

Опорные сейсмостратиграфические горизонты М, М¹, Г, Г2, С залегают согласно. В волновом поле выделяется большое количество разломов, выраженных как в вертикальном смещении фаз, так и в повышении «мутности» с ухудшением корреляции горизонтов вплоть до полной потери корреляции.

Профиль 12

Общая длина профиля составляет 73,5 км (Рисунок 3.6). Он проходит в южной части исследуемой площади с северо-запада на юго-восток. В северо-западной части между отметкой 60000 м и концом профиля выделяется л. п. на всех опорных горизонтах – вероятнее всего, южный борт Шкиперской структуры.

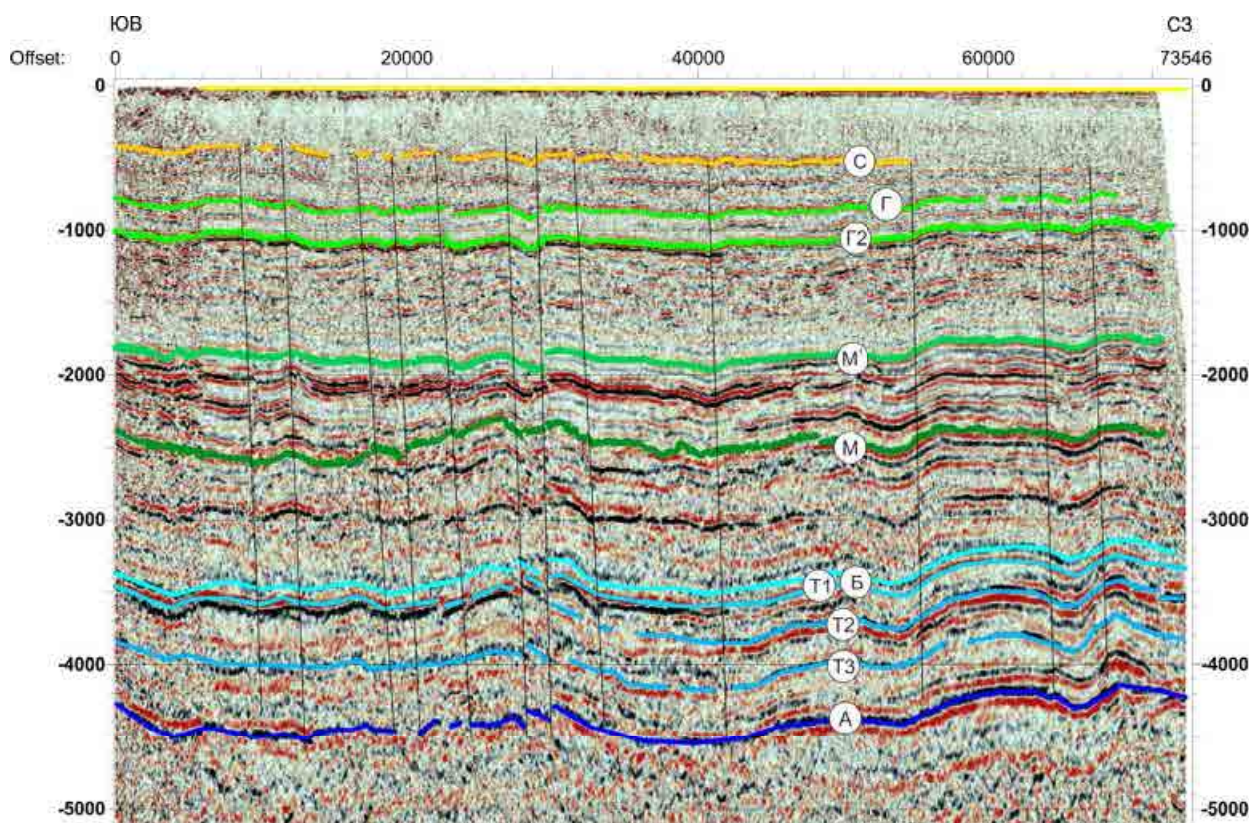


Рисунок 3.6. Глубинный сейсмический разрез по профилю 12. По горизонтальной оси – расстояние вдоль профиля, м.

Все горизонты залегают согласно, хорошо прослеживаются вдоль профиля (за исключением кайнозойского горизонта С, который на северо-западном фланге теряет свою динамическую выраженность).

Борта Шкиперской структуры ограничены разломами. Также на профиле выделяются еще несколько крупных разломов, трассирующихся сквозь все отражающие горизонты.

Профиль 13

Профиль длиной 101 км проходит с юго-запада на северо-восток и оканчивается у Шараповых Кошек (Рисунок 3.7). На профиле наблюдается:

- 1) выклинивание юрских отложений, ассоциируемых с горизонтами Б, Т1-3;
- 2) сокращение мощности осадочного чехла с 4,7 до 1,8 км в юго-западном направлении;
- 3) горизонты, ассоциированные с отложениями мелового возраста, залегают согласно, динамически хорошо выражены;

4) выделяются три широкие зоны повышенной сейсмической «мутности» с частичной потерей корреляции по нескольким горизонтам.

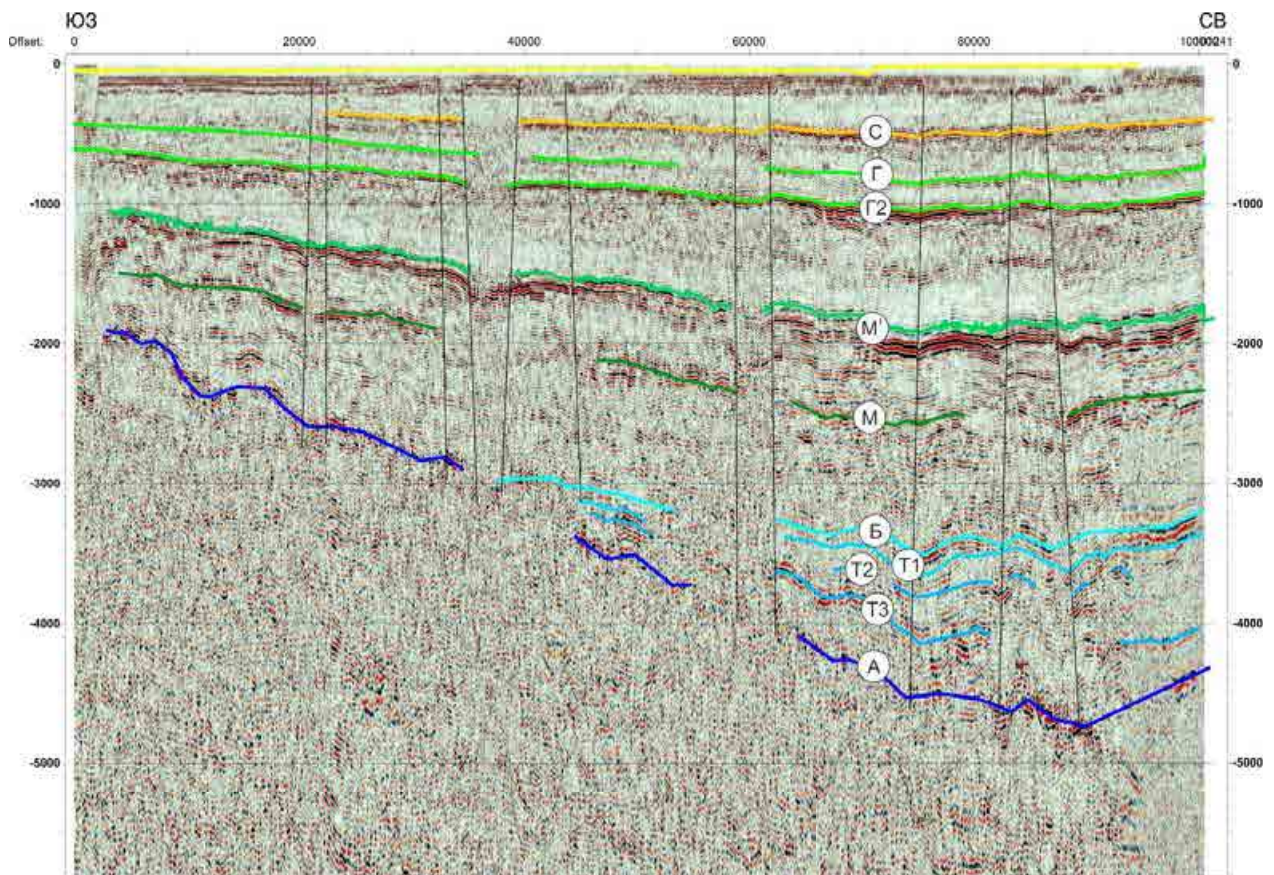


Рисунок 3.7. Глубинный сейсмический разрез по профилю 13. По горизонтальной оси – расстояние вдоль профиля, м.

Профиль 15

Почти 100-км профиль проходит с северо-запада на юго-восток до береговой линии полуострова Ямал (Рисунок 3.8).

В районе 40 км от начала профиля проходит крупный разлом, по которому произошло смещение горизонта А. В этом месте начинается разломная зона, хорошо выраженная в волновом поле (около 35 км протяженностью), с двух сторон ограниченная разломами. Внутри этой зоны по кровле юрских отложений сформирован антиклинальный перегиб. На северо-западном фланге (левая часть профиля на Рисунке 3.8) выделяется широкая, около 7 км, зона крупных разломов, проходящих через весь осадочный чехол.

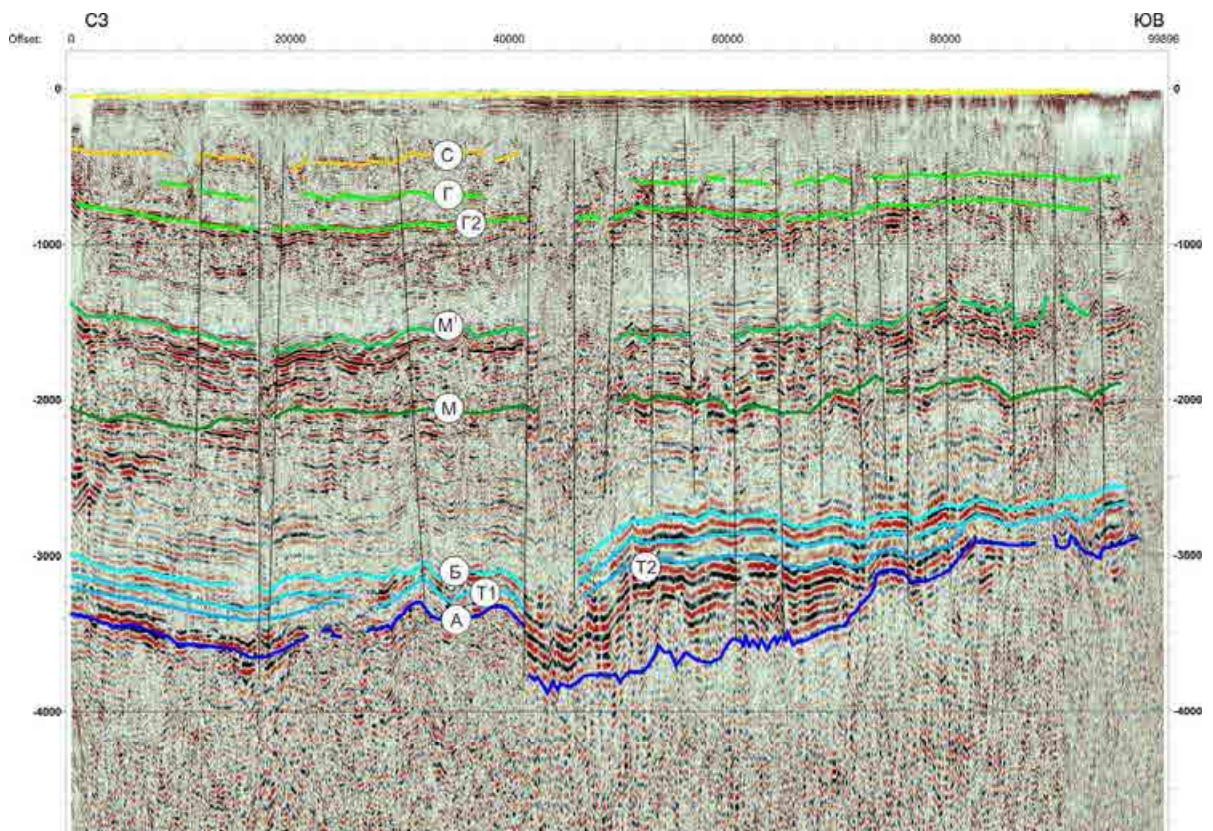


Рисунок 3.8. Глубинный сейсмический разрез по профилю 15. По горизонтальной оси – расстояние вдоль профиля, м.

Горизонты С, Г, Г₂, М и М¹ выделяются четко. Под горизонтом Б интерпретируются горизонт Т₁ и частично горизонт Т₂, выклинивающийся в юго-восточной части профиля.

Профиль 14

Общая длина профиля, который проходит с юго-запада на северо-восток перпендикулярно оси Байдарацкой губы, составляет около 85 км (Рисунок 3.9).

Все сейсмостратиграфические горизонты погружаются в северо-восточном направлении. Изменение мощности осадков по отношению к концам профиля по горизонту А составляет около 2500 м.

На профиле выделяется выклинивание горизонтов Б, Т1-2 на расстоянии около 25 км от начала профиля. Отражающие горизонты, соответствующие отложениям мелового периода, залегают согласно. Динамическая выраженность горизонтов уменьшается по мере удаления от берега.

На первых 20 км профиля происходит потеря корреляции по всем горизонтам, связанная, судя по волновому полю, с мощной разломной зоной.

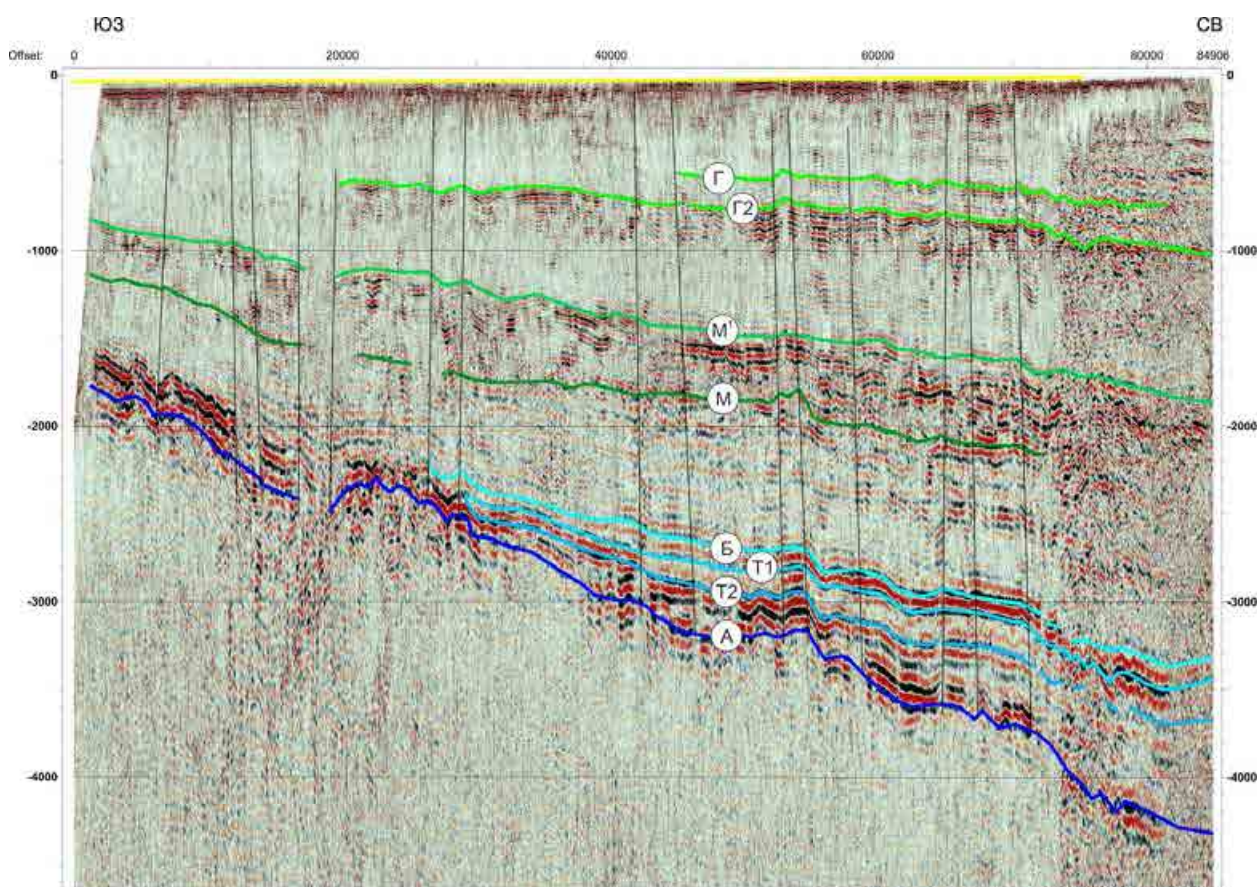


Рисунок 3.9. Глубинный сейсмический разрез по профилю 14. По горизонтальной оси — расстояние вдоль профиля, м.

Профиль 18

Профиль длиной 42 км проходит с юго-запада на северо-восток в Байдарацкой губе (Рисунок 3.10). В волновом поле выделяется резкое поднятие горизонта А с глубины около 2500 м у береговой линии до 800 м на противоположном фланге. Горизонт А является наиболее динамически выраженным, поле фрагментировано большим количеством разломов, выраженных в вертикальном смещении фаз в волновом поле.

Горизонты М, М¹ и Г2 динамически выражены слабо и прослеживаются фрагментарно.

Длина участка профиля, выполненного в транзитной зоне, составляет около 19 км.

Слабая выраженность всех сейсмических горизонтов, кроме А, является характерной особенностью волновой картины сейсмического поля в Байдарацкой губе.

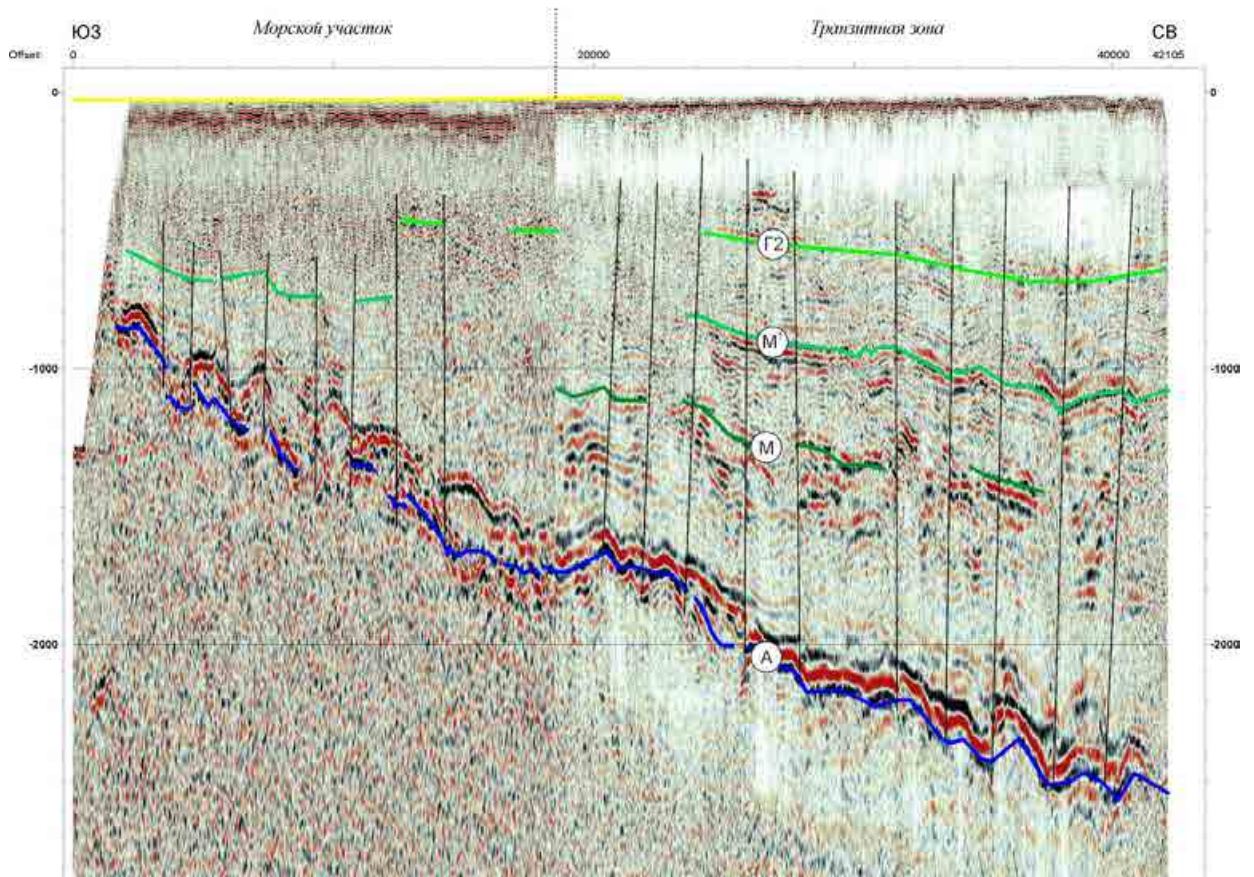


Рисунок 3.10. Глубинный сейсмический разрез по профилю 18. По горизонтальной оси – расстояние вдоль профиля, м.

3.2. Элементы структурного строения

Как уже отмечалось ранее, на предварительном этапе анализа полученных материалов строились корреляционные схемы между скважинами вдоль береговой линии ямальского берега Карского моря и между наземной и морской скважинами (Рисунок 2.24 и 2.25). В результате установлено, что основные опорные горизонты в пределах исследуемого региона имеют тенденцию к погружению в направлении с юга на север, а также с суши в море [Жолондз, 2014].

Для выполнения структурных построений область исследований была расширена путем привлечения дополнительных сейсморазведочных данных. Кроме 21-ого профиля ФГБУ «ВНИИОкеангеология», выполненных в 2012 – 2014 гг., в исследование были включены:

- 1) 8 региональных профилей МАГЭ в Карском море, отработанных в период с 1979 по 1988 годы (79401, 80408, 82401, 86430, 86431, 86432, 86433, 88434);
- 2) 8 профилей, выполненных МАГЭ в 2004 году на Обручевском валу (401, 409, 414, 428, 429, 449, 450, 453);
- 3) 4 профиля СМНГ 1988 г., расположенные в районе Обручевского вала (118811, 118847, 118848, 118849).

Все сейсмические данные увязаны между собой, приведены к единой сейсмостратиграфической системе опорных сейсмических горизонтов. Положение всех профилей и выбранный район для проведения структурных построений приведены на Рисунке 3.11.

Построение структурных схем проводилось в программном интерпретационном пакете IHS Kingdom 8.5 с использованием алгоритма Flex Gridding. Ячейки грида имеют размер 5000x5000 м с высокой степенью сглаживания. Выбор этого алгоритма обусловлен тем, что он основан на методе дифференциальных уравнений, решения которых являются узлами поверхности и соответствуют двум условиям:

1. интерполированная поверхность должна пройти максимально близко к исходным данным;
2. в максимально возможной степени не нарушая критерий 1, поверхность должна соответствовать математическому критерию, указанному пользователем.

Также такой выбор метода и параметров построения грида обеспечивает построение максимально детальной поверхности исследуемых горизонтов при условии минимального уровня появления «артефактных» структур.

При региональных структурных построениях обычно хорошо выделяются протяженные поднятия и прогибы. Основными опорными горизонтами для рассматриваемой области автором выбраны M^1 , Б и А, между которыми вычислены мощности осадочных комплексов, с тем, чтобы выявить значения мощностей осадков, накопленных за период с начала мезозоя до конца юрского времени и с конца юры до апта соответственно. В виду небольших глубин моря (не превышающих 150 м) по сравнению с глубиной до горизонта M^1 , можно считать, что поверхность данного горизонта отражает мощность осадков от альбского яруса до настоящего времени.

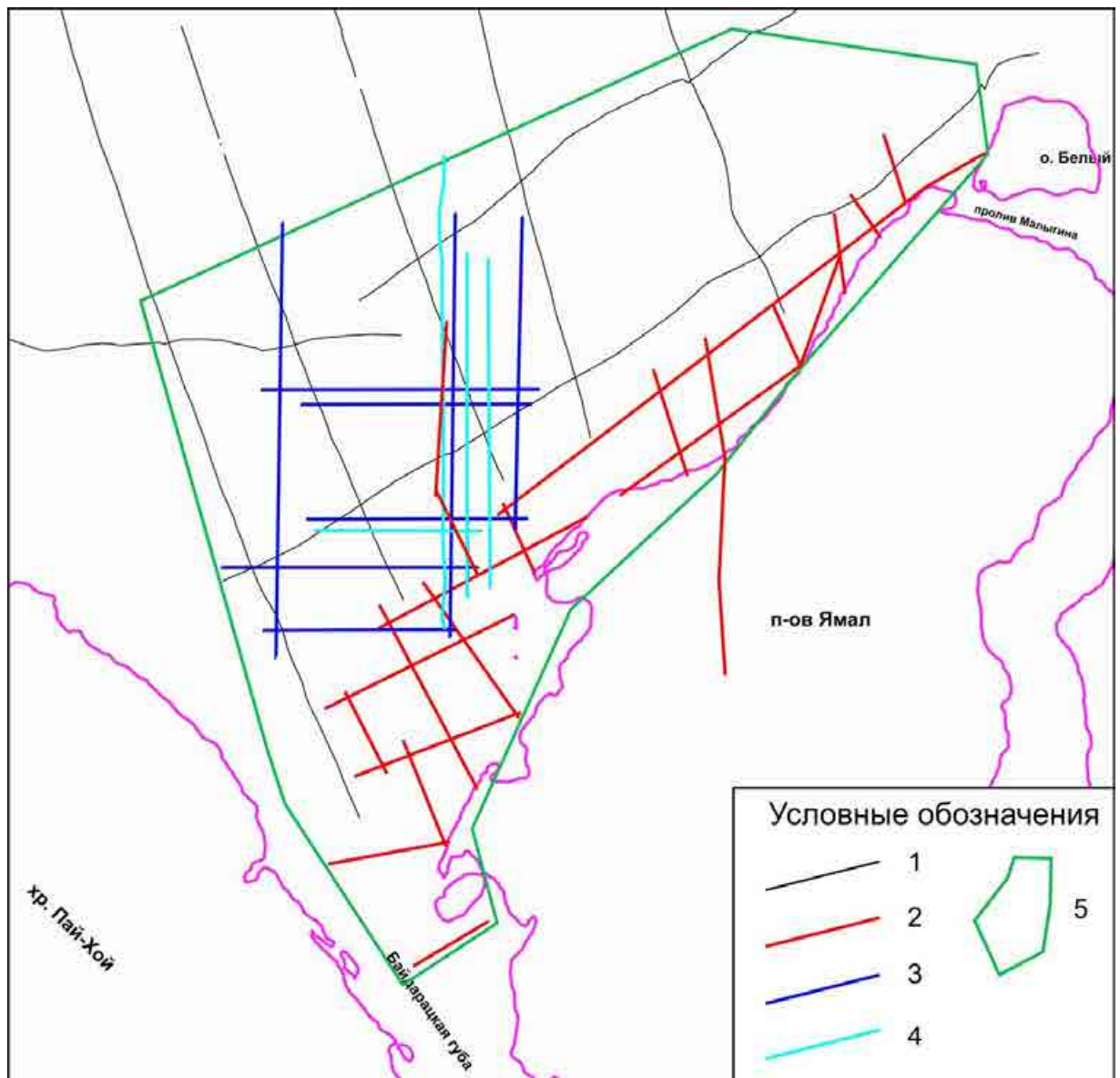


Рисунок 3.11. Область проведения построений.

Условные обозначения: 1) региональные морские работы (1979-1988); 2) профили ВНИИОкеангеология (2012–2014); 3) профили МАГЭ (2004); 4) профили СМНГ (1988); 5) границы выбранной области построений.

В структуре поверхности горизонта А (Рисунок 3.12) выделяются следующие особенности:

- большой перепад значений глубины (от 500 до 11000 м);
- сверхглубокая впадина (глубины более 9000 м) в центральной части исследуемой области;
- протяженное поднятие в северной части области;
- моноклираль вдоль южной границы района исследований.

Схема основных структурных элементов фундамента исследуемой области составлена с опорой на структурную схему горизонта А (Рисунок 3.13).

На данной схеме надпорядковым элементом является Южно-Карская впадина. В исследуемой области выделяется ряд структурных элементов, таких как сверхглубокая часть и пять валов, которые разделены прогибами.

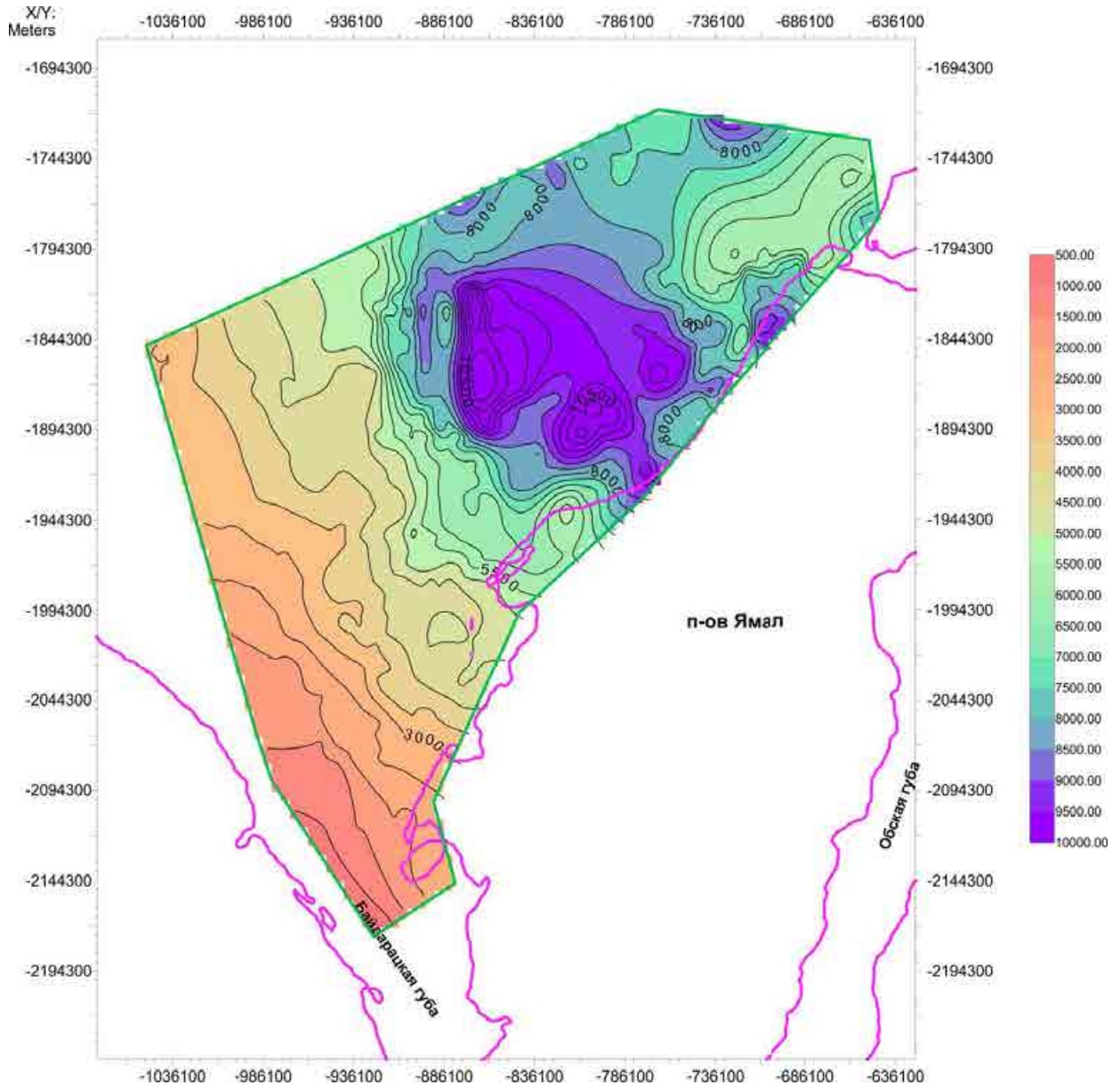


Рисунок 3.12. Структурная схема поверхности горизонта А. Шкала – глубина до поверхности горизонта, м.

Сеяхинский прогиб (1г, Рисунок 3.13) представляет собой зону разломов, центральная часть которой наиболее погружена. Его природа является наиболее спорным вопросом. По мнению Астафьева с соавторами [2006, 2008] прогиб имеет грабен-рифтовую природу, что объясняет большую глубину погружения домезозойского фундамента.

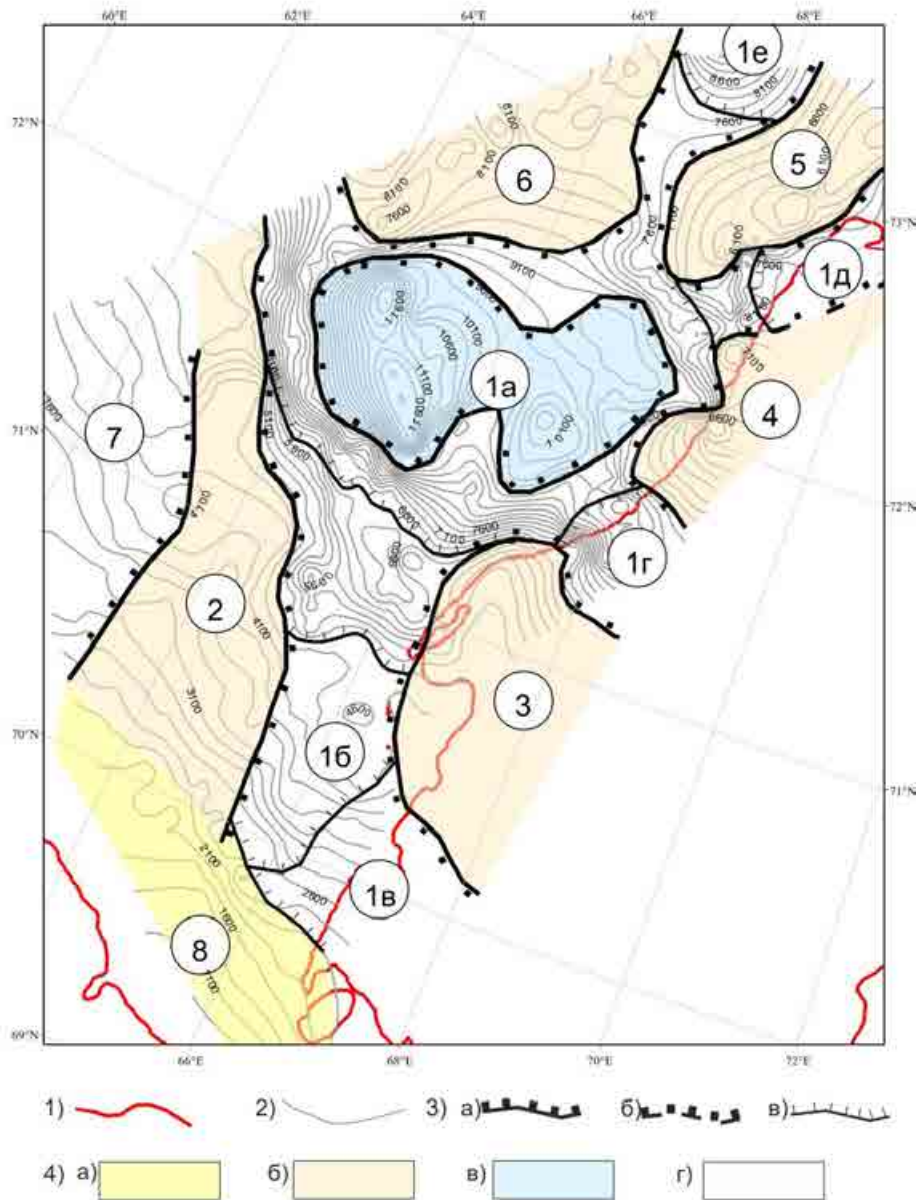


Рисунок 3.13. Схема структурных элементов приямальской части Южно-Карской впадины [Жолондз, Поселов, 2016]. Условные обозначения: 1) береговая линия; 2) изолинии глубин до горизонта А; 3) а) границы структур 1-ого порядка; б) предполагаемые границы структур 1-ого порядка; в) границы структур второго порядка; 4) а) моноклираль; б) вал или поднятие; в) сверхглубокая часть Южно-Карской впадины; г) прогибы. Номера на схеме отмечены: 1а – центральная депрессионная часть Южно-Карской впадины (ЦДЧ ЮКВ) [Шипилов, Шкарубо, 2012], 1б – Пухучанская впадина, 1в – Восточно-Байдарацкий прогиб, 1г – Сеяхинский прогиб, 1д – Белоостровский прогиб, 1е – прогиб Благополучия, 2 – Обручевский вал, 3 – Нурминский вал, 4 – Малыгинский вал, 5 – Скуратовский вал, 6 – Русановско-Ленинградское поднятие, 7 – Табьюнский прогиб, 8 – Преднайхойская моноклираль.

Согласно другой точке зрения, эта область определяется более осторожно, как зона «сбросов и сдвигов неопределенных» [Верниковский, 2013].

Из-за недостаточности данных для идентификации этапов формирования рифта, в данной работе предполагается, что прогиб образован сбросами.

В рельефе поверхности, построенной по опорному горизонту Б (Рисунок 3.14), можно отметить, что прогиб в центральной части исследуемой области имеет меньшую амплитуду, но распространяется на большую площадь. Протяженное поднятие в северной части области не выражено. Более четко выделяется поднятие в районе Харасавея.

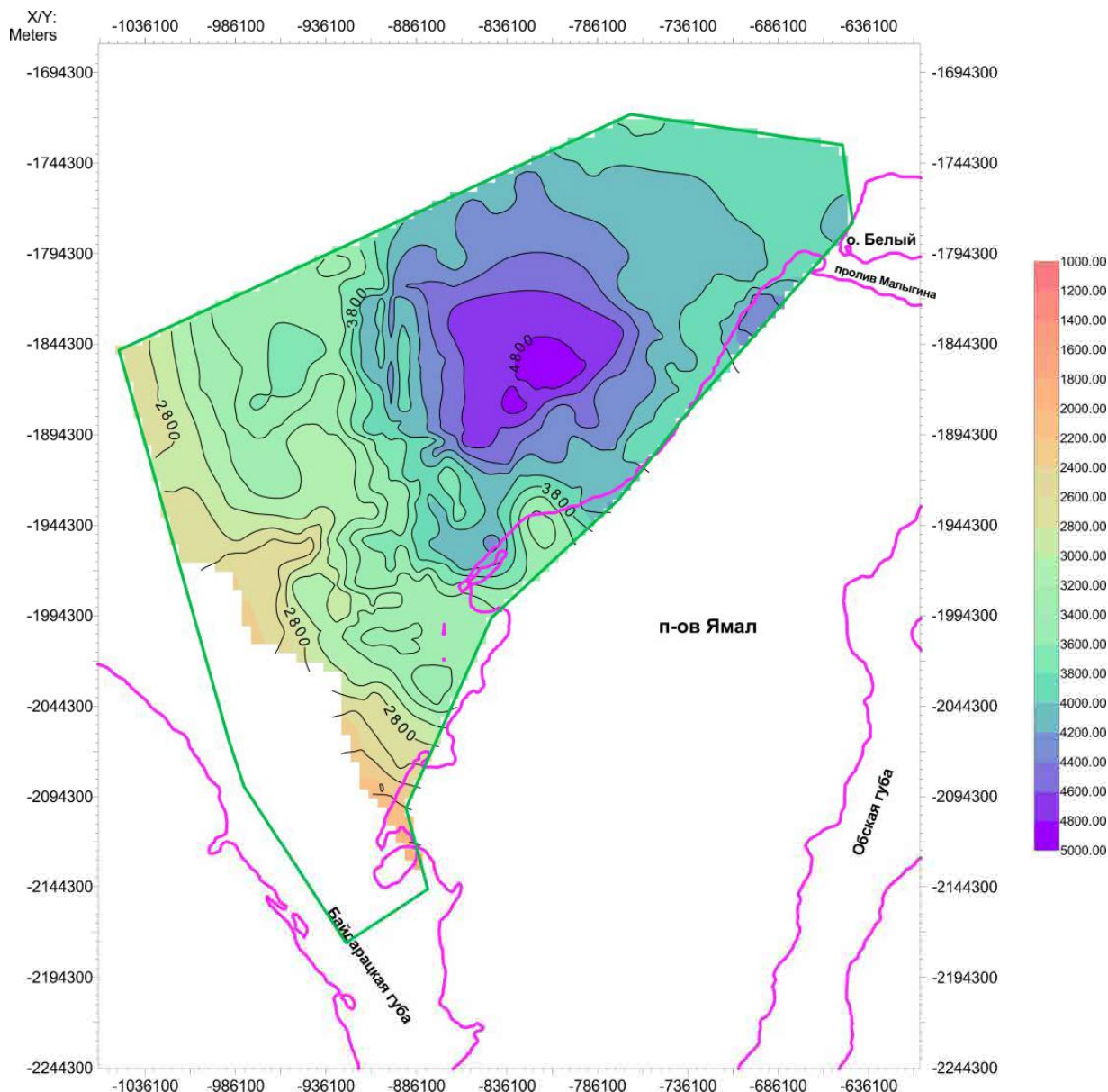


Рисунок 3.14. Структурная схема поверхности горизонта Б. Шкала – глубина до поверхности горизонта, м.

В рельефе горизонта М¹ (Рисунок 3.15) выделяются две положительные структуры – Обручевский вал и край Нурминского вала. Сверхглубокая часть Южно-Карской впадины практически не проявляется. Очертания Скуратовского вала также не различимы. Перепад

глубин, на которых интерпретируется отражающий горизонт, изменяется от 1000 м на юге исследуемой области до 2400 м на севере.

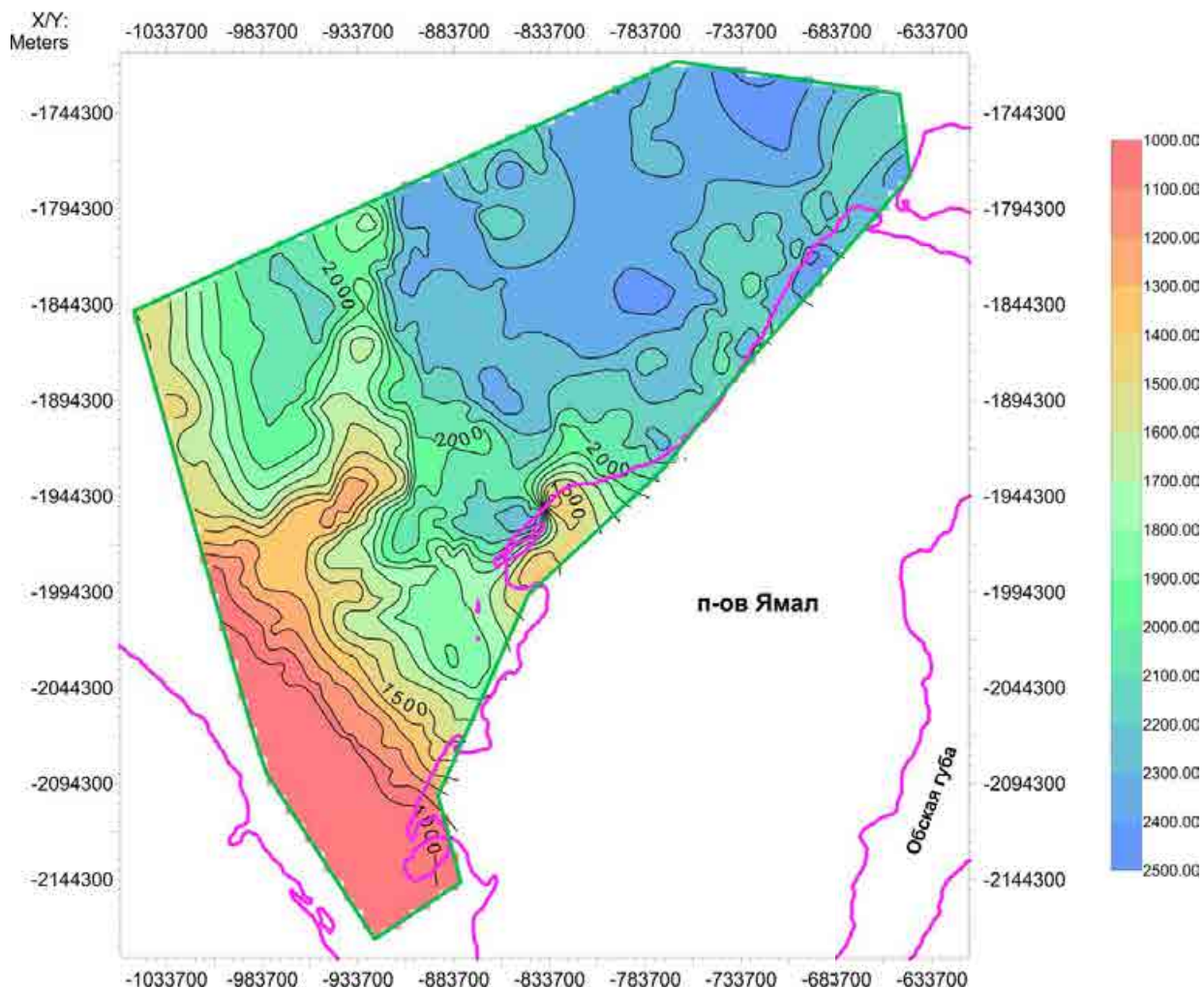


Рисунок 3.15. Структурная схема поверхности горизонта M^1 . Шкала – глубина до поверхности горизонта, м.

3.3. Распределение мощности осадочных комплексов в пределах исследуемой области

Определение мощности осадочного чехла способствует решению задач как геологической истории региона, так и нефтегазоносности. В работе изучается строение мезозойско-кайнозойской части чехла, по этой причине далее под полной мощностью будет подразумеваться накопление осадков в мезозое и кайнозое. На рисунке 3.16 приведена схема мощности мезозойско-кайнозойского чехла.

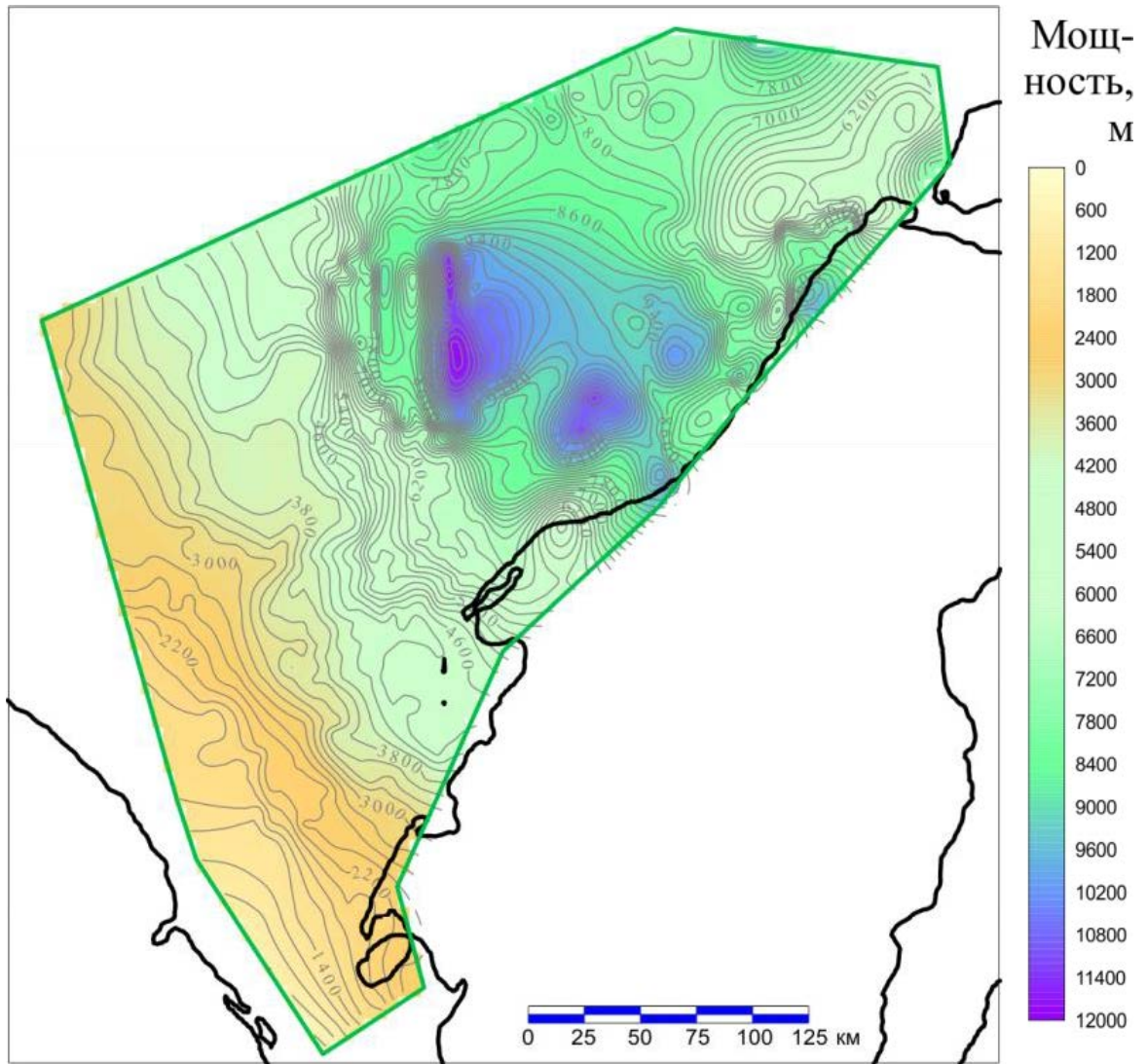


Рисунок 3.16. Мощность мезозойско-кайнозойского осадочного чехла.

На отдельных участках изучаемой площади мощность чехла превышает 11 км, что может свидетельствовать о периодах некомпенсированного осадконакопления. Более того, эти участки образуют линейные структуры, что может означать существенное влияние тектонического фактора в образовании сверхглубоких структур.

Изучение мощности комплексов осадочного чехла помогает определить этапы формирования исследуемой области. С этой целью выделены следующие комплексы:

- 1) триасовый (между отражающими горизонтами (ОГ) А и Ia);
- 2) юрский (ОГ Ia - Б);
- 3) нижнемеловой (ОГ Б - М);
- 4) аптский (ОГ М - М¹);
- 5) альб-сеноманский (ОГ М¹ - Г2);
- 6) верхнемеловой-современный (между ОГ Г2 и дном).

За рельеф дна принята поверхность генерализованной батиметрической карты Северного Ледовитого океана (ИВСАО) [Jakobsson et al., 2012].

Мощность комплекса отложений между ОГ А и Ia определяется с наибольшей погрешностью, так как невозможно достоверно разделить осадочные комплексы, относящиеся к нижнему и среднему триасу (Рисунок 3.17, а). По опубликованным данным вероятно наличие среднетриасовых отложений [Маргулис, 2014]. По этой причине время накопления этих осадков стоит под вопросом. Четко прослеживаются две линейные отрицательные структуры (области растяжения?) северо-западной ориентации, в которых происходило некомпенсированное осадконакопление. Также намечаются несколько замкнутых участков с повышенными значениями мощности осадков, с которыми связаны формирование линейных структур в юрское время (Рисунке 3.17, б). При этом в юрское время образуются две пересекающиеся системы грабеноподобных структур, разделенных горстом. Осадконакопление в отрицательных структурах некомпенсированное.

В южной части на Предпайхойской моноклинали мощность отложений юрского возраста меняется от околонулевых на юге до первых сотен метров в северной части исследуемого региона.

Вероятно, это может свидетельствовать о погружении этой области и сносом в нее осадков с окружающих территорий по аналогии с Гьданом [Афанасенков и др, 2017]. Однако имеющихся на текущий момент материалов не достаточно для достоверного подтверждения данного предположения.

Стоит также отметить, что значения мощности юрских отложений, расположенных в пределах Сеяхинского прогиба, рассчитаны исходя из того, что в прогибе выделяется горизонт А. Однако по данным наземного профиля 58, приведенного в работе Ершова [2003], на полуострове Ямал внутри Сеяхинского прогиба указанный горизонт А не выделяется. Последним рефлектором предложено считать горизонт Ia. В этом случае мощность рассматриваемого комплекса в данном месте может быть увеличена. Таким образом, различие в интерпретации сейсмических данных приводит к неоднозначности представлений о геологической истории региона.

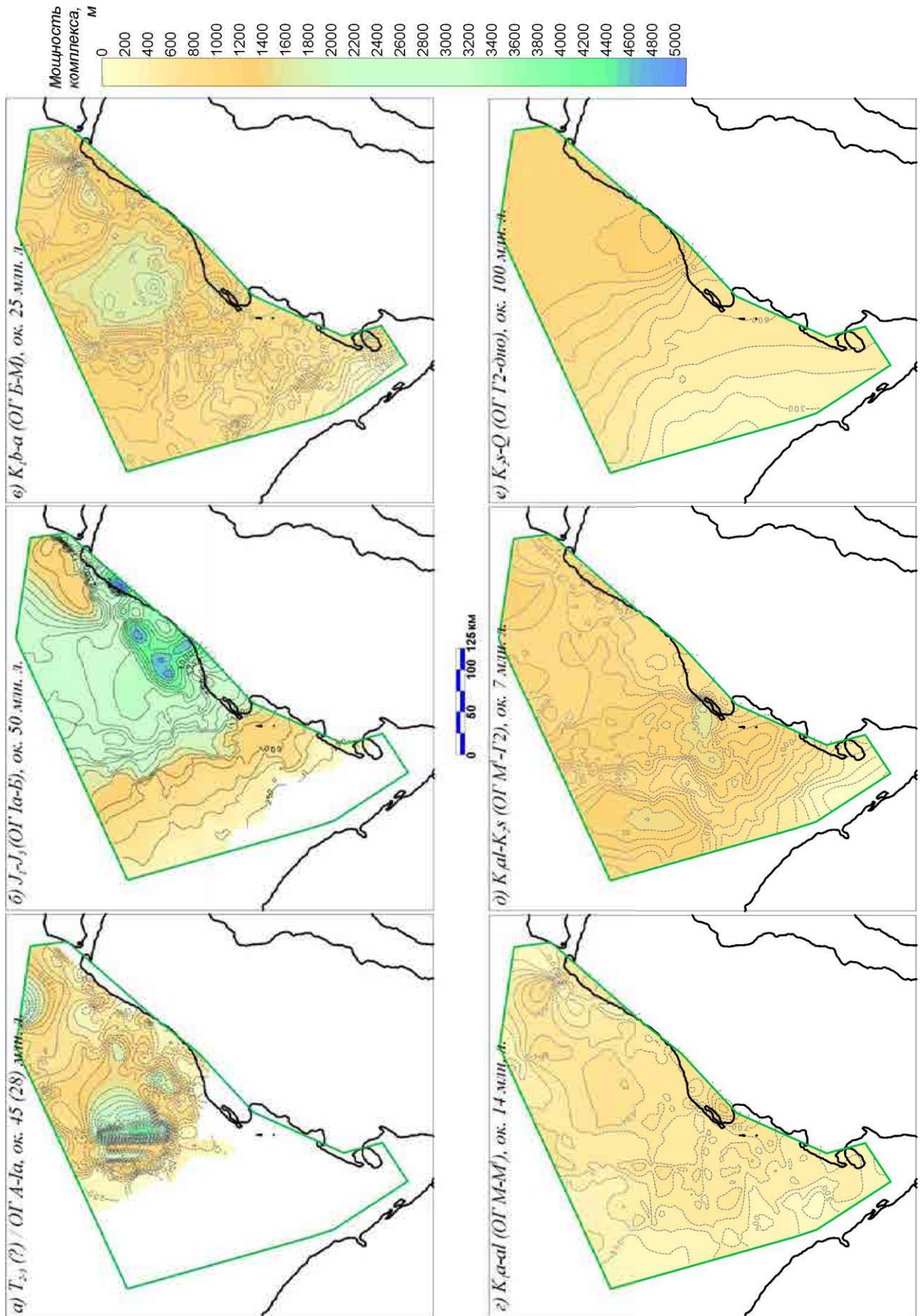


Рисунок 3.17. Мощность отложений осадочных комплексов между опорными отражающими горизонтами.

В берриас-аптское время максимальная мощность осадочного комплекса составляет около 2000 м в небольшой области в центральной части Южно-Карской впадины (Рисунок 3.17, в). Необходимо отметить, что область максимальных значений мощности находится в современных координатах западнее области максимальных значений в юре, но восточнее их в триасе. Это может свидетельствовать в пользу того, что в центральной части впадины еще могли продолжаться отдельные процессы погружения, в частности, опускался «мыс» на южном борту, разделяющий грабены. Минимальные значения находятся в южной части области. Возможно, это связано с тем, что в это время активизировались горообразовательные процессы на Урале и эта территория стала подниматься, что могло повлечь снос осадков в более низкие районы.

В апт-альбское время в целом условия осадконакопления были спокойные и достаточно равномерные (Рисунок 3.17, г). Однако, начинают проявляться отдельные области увеличенной мощности вдоль северо-восточного борта будущего Обручевского вала, который отчетливо проявился на схеме мощности между ОГ М¹ и Г2 (Рисунок 3.17, д). В целом же по площади происходило компенсированное осадконакопление. Около 100 млн. лет накопление осадков шло достаточно равномерно с постепенным увеличением мощности в северо-восточном направлении (Рисунок 3.17, е). Максимальное значение составляет примерно 1300 м, что с учетом периода накопления дает среднее значение скорости, около 1,3 см/тыс. лет.

3.4. Элементы тектонического районирования (дизъюнктивы)

Следуя определению, дизъюнктивные нарушения (ДН) – это разрывы сплошности геологических тел, являющиеся общим термином для трещин, разрывов и разломов. По происхождению ДН подразделяются на нетектонические, возникающие при сокращении объема породы, выветривании, оползнях, и тектонические. Последние подразделяются на разрывы без смещения (трещины) и разрывы со смещением (сбросы, взбросы, сдвиги, надвиги, шарьяжи и раздвиги); по глубине проявления – приповерхностные или глубинные [Горная энциклопедия, 1985].

На исследуемой площади выделяются ДН различных типов. Наибольшее количество нарушений интерпретируется на профилях в Байдарацкой губе и в районе пересечения с Сеяхинским прогибом [Жолондз, 2016; Жолондз, Поселов, 2016]. В этих районах ДН можно интерпретировать как разрывы с вертикальными смещениями. В некоторых случаях эти

элементы прослеживаются через весь осадочный чехол, что может свидетельствовать об относительно недавней активизации в пределах указанных районов.

Для выявления систем ДН проводилась интерпретация волновых полей, состоящая в поиске и трассировании нарушений структуры сейсмической записи. Наилучшие результаты выделения ДН были получены в центральной части района работ, так как в этой области имеются дополнительные сейсмические данные, полученные ОАО «МАГЭ» в 2004 году с аналогичным качеством. В остальных частях района исследований использовались данные 1980-х гг.

На профилях 200428 и 200429, выполненных ОАО МАГЭ в 2004 г. на Обручевском валу, в основании мезозойско-кайнозойского осадочного чехла выделяются грабенообразные структуры различных ориентаций (Рисунок 3.18).

По результатам анализа сейсмокомплексов установлено трехэтапное формирование депоцентра Южно-Карской впадины – центральной депрессионной части Южно-Карской впадины (ЦДЧ ЮКВ) [Шипилов, Шкарубо, 2012]. Для определения возможной кинематической модели формирования рассматриваемой области построены сводные сейсмостратиграфические разрезы (Рисунок 3.19).

Анализ данных по разрезам позволяет увидеть, что южный борт ЦДЧ ЮКВ представляет собой сбросы блоков палеозойских отложений. Морфологически ЦДЧ ЮКВ может быть представлена как асимметричный грабен с погруженным южным бортом.

В результате анализа мощностей установлено, что в развитии центральной части Южно-Карской впадины было три этапа: средне (?) - поздне триасовый (ограниченный сверху горизонтом Ia), юрский и беррис-аптский (между ОГ Б и М) (Рисунок 3.17, а-в). В результате первых двух этапов образовались прогибы, в которых достигалась максимальная скорость осадконакопления; в последнем – четко выразились практически современные границы центральной части впадины, то есть продолжилось общее прогибание в пределах границ современной впадины. Ряд авторов определяет подобные линейные структуры понятием «рифт», но протягивают их по-разному [Верба, 2007; Маргулис, 2014; Шипилов, Шкарубо, 2012]. При этом все авторы сходятся в том, что процесс рифтогенеза происходил в пермское – раннетриасовое время. И ко времени, с которого начинаются исследования в данной работе, процесс был завершен.

Материалы, полученные в ходе исследований, не дают возможности изучить строение домезозойского основания в районе работ. Средне-поздне триасовый подкомплекс отложений в опубликованных материалах предлагается рассматривать как переходный от собственно рифтовых к плитным осадочным образованиям [Шипилов, Шкарубо, 2012].

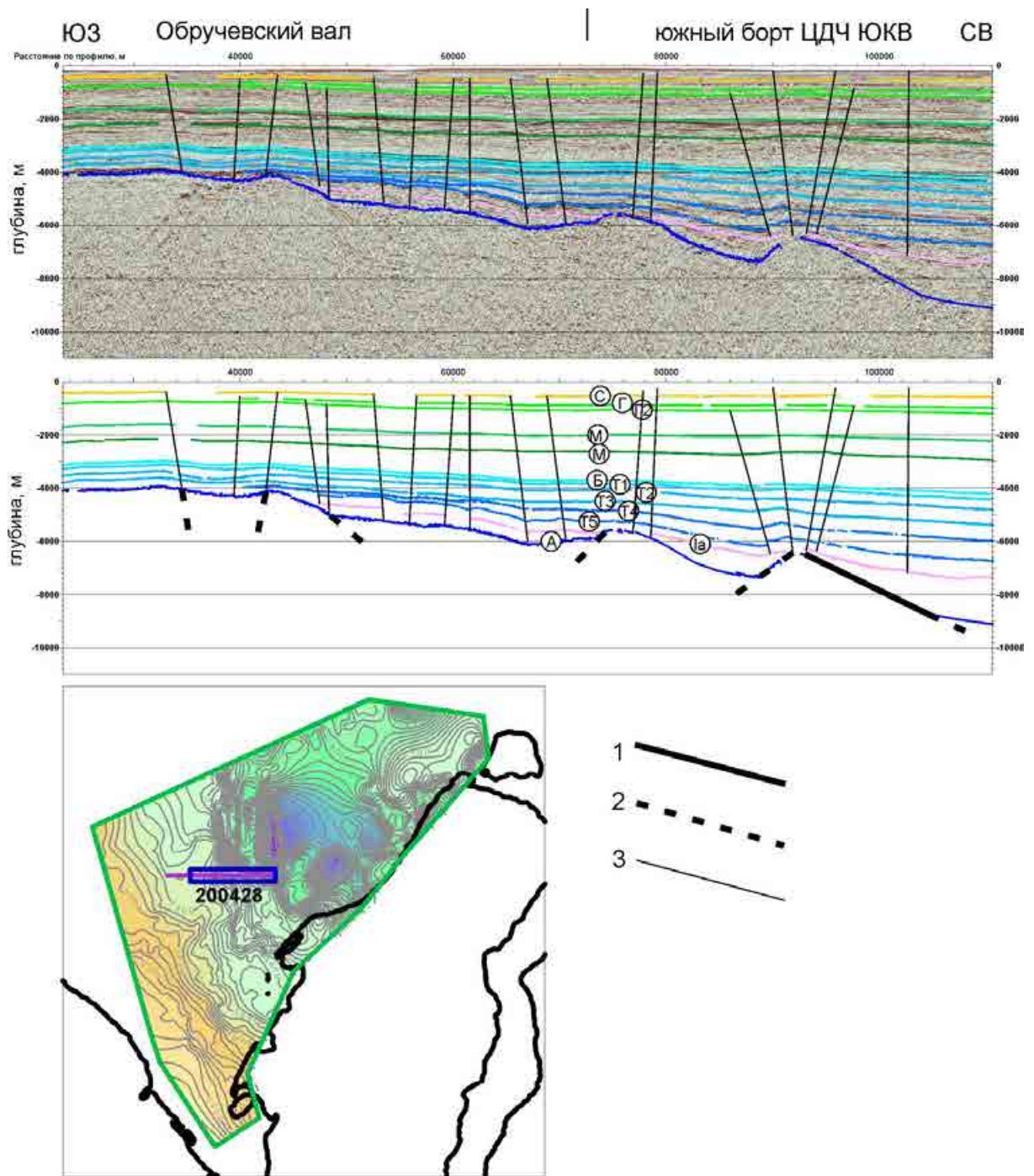


Рисунок 3.18. Фрагмент профиля 200428 (МАГЭ) (сверху) и схематический разрез (снизу),
Условные обозначения: 1, 2 – сброс уверенно интерпретируемый (1) и предполагаемый (2), 3 –
разломы в осадочном чехле.

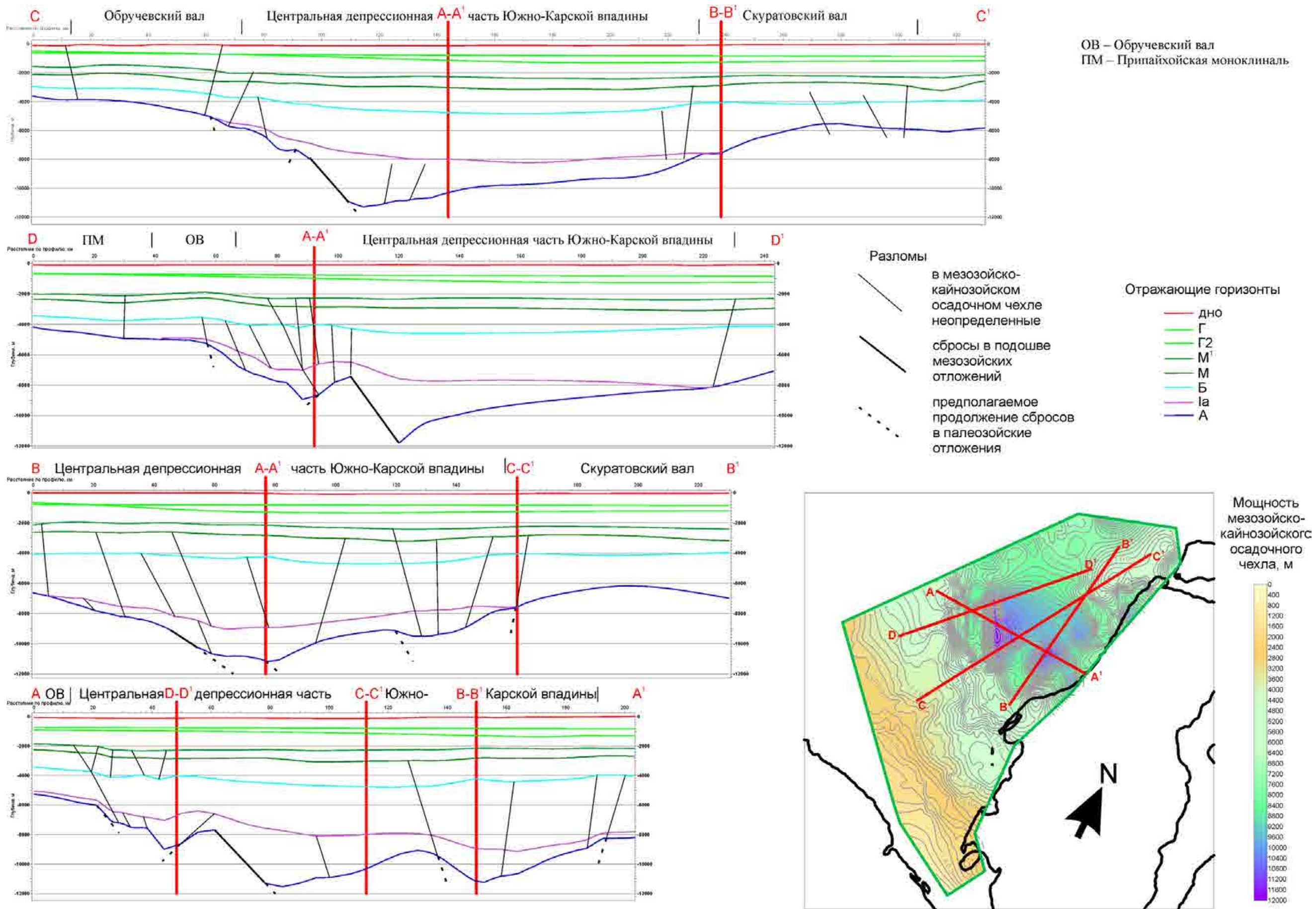


Рисунок 3.19. Сводные сейсмостратиграфические разрезы через центральную депрессионную часть Южно-Карской впадины.

Конформное залегание юрских отложений на верхнетриасовых в депрессионной части синеклизы может свидетельствовать о том, что внутренняя область Южно-Карской синеклизы практически не была затронута раннекиммерийскими дислокациями [Шипилов, Шкарубо, 2012].

Совместная интерпретация структурных схем по горизонтам, анализ мощностей как по комплексам, так и по суммарной мощности мезозойско-кайнозойского чехла, позволили составить схему морфологических и дизъюнктивных элементов [Жолондз, 2016 (а)] (Рисунок 3.20).

Есть предположение, что пермотриасовые рифты, выделяемые в центральных районах Западной Сибири, не имеют шельфового продолжения [Дараган-Сущева и др., 2014]. Структуры Южно-Карской синеклизы в пермское и ниже-среднетриасовое время являлись межгорными впадинами и прогибами. Позднетриасовые и более молодые отложения накапливались в условиях плитного режима осадконакопления.

Полученные результаты свидетельствуют, что, вероятно, среднетриасовые(?) отложения в глубинной части ЦДЧ ЮКВ и в основании грабен на южном и юго-западном ее бортах заполнялись во время активных тектонических движений. По волновому полю на разрезах 200428 и 200429, выполненных ОАО МАГЭ, позднетриасовые отложения сформированы на заключительном этапе этих движений. Однако не исключено, что некоторые подвижки могли иметь место и в нижней юре. Это подтверждается некоторыми разломами выше по разрезу.

Сложность в идентификации структур заключается в том, что под горизонтом А на разрезах в волновом поле не видно регулярных отражений. Определить имеющиеся рефлексоры и соотнести их с какими-либо элементами не представляется возможным.

По результатам комплексной интерпретации структурных построений, распределению мощностей комплексов осадочного чехла и общей мощности мезозойско-кайнозойских отложений, схемы структурных элементов, имеющих сейсмических разрезов и созданным сводным разрезам составлена итоговая схема морфологических и дизъюнктивных элементов, выявленных внутри области исследований (Рисунок 3.20). Байдарацкий разлом нанесен на схему в соответствии с его положением на Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1: 1 000 000 (издание второе) лист R-(40), 41, 42 [Астапов А.П., 2000].

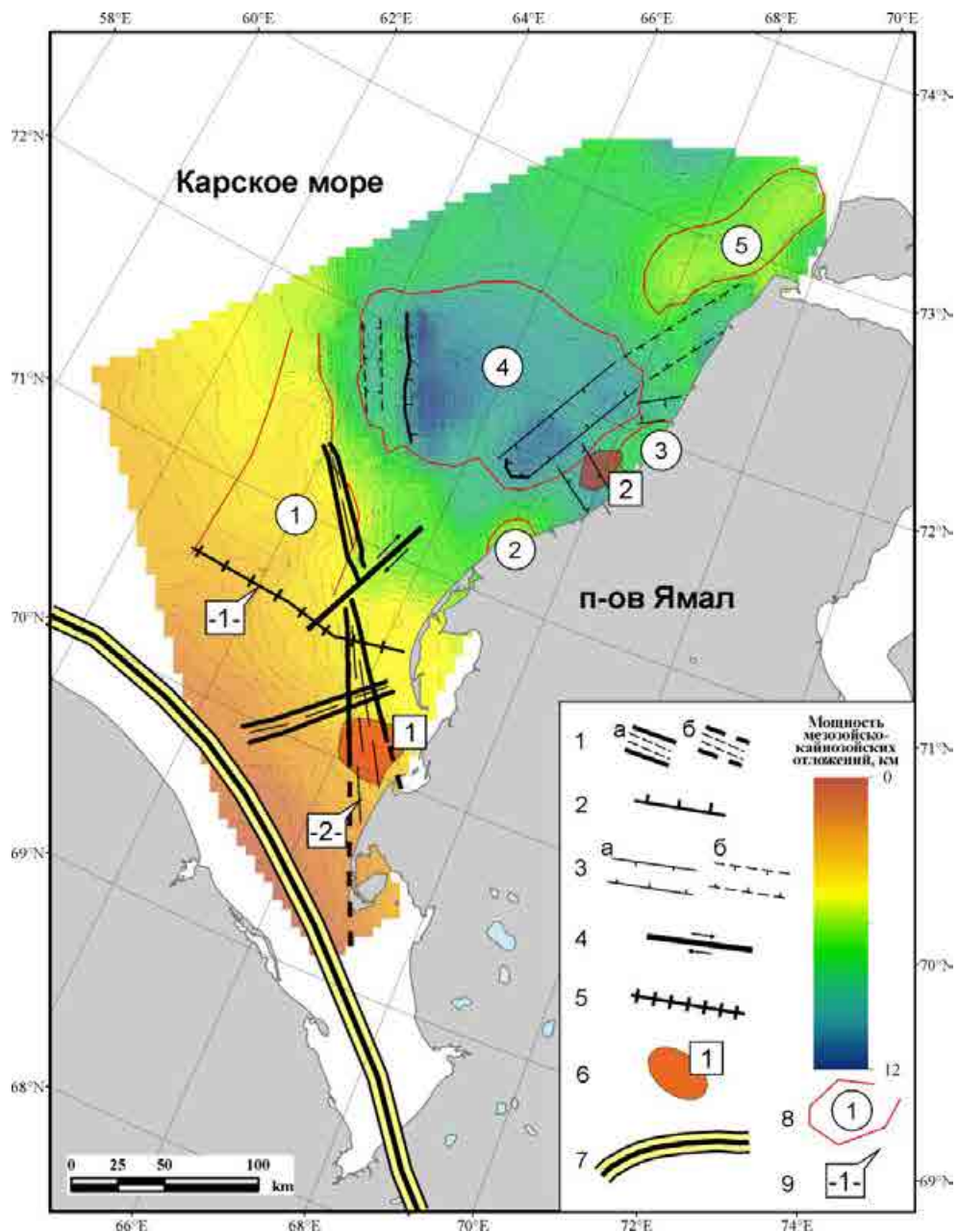


Рисунок. 3.20. Схема морфологических и дизъюнктивных элементов.

Условные обозначения: 1 – зоны повышенной концентрации разновозрастных разломов: а) уверенно прослеживаемых, б) предполагаемые; 2 – сбросы; 3 – осевые части линейных грабенообразных структур: а) уверенно прослеживаемых, б) предполагаемые; 4 – сдвиг; 5 – вал неустановленного типа; 6 – Впервые выявленные локальные структуры: 1) ВНИИОкеангеология, 2) Морская (транзитная зона); 7 – Байдарацкий разлом [Астапов А.П., 2000]; 8 – границы главных структур (в кружках): 1) Обручевский вал, 2) Нурминский вал (Харасавейское поднятие), 3) Малыгинский вал, 4) Центральная депрессионная часть Южно-Карской впадины (ЦДЧ ЮКВ), 5) Скуратовский вал; 9 – Местоположение врезок с примерами в волновых полях (см. текст ниже). Цветом обозначена мощность мезозойско-кайнозойского осадочного чехла с изолиниями через 100 м.

Структура -1- на рисунке 3.20 выражена на профилях неодинаково, но остается узнаваемой (Рисунок 3.21). Морфологически она также проявлена как вал в домезозойских комплексах. Так как ниже горизонта А нет устойчивой волновой картины, то определить природу появления указанной структуры является невозможно.

Зоны концентрации разломов отмечены на схеме в виде черных линий, предполагаемое их продолжение показаны пунктиром. Предположительно, эти две зоны повышенной концентрации разновозрастных разломов являются, возможно, опережающими проникающего в мезозойско-кайнозойский осадочный чехол глубинного Байдарацкого разлома, который на полуострове Ямал и на акватории обновлялся в мезозое и кайнозое [Астапов А.П., 2000].

Выделение элементов тектоники служит как для решения задач по геологической истории региона, так и для обоснования нефтегазоносности. Залежи нефти и/или газа находятся в коллекторах – зонах с повышенной пористостью и проницаемостью. На сейсмических разрезах такие зоны проявляются областями повышенной «мутности» и сегментированности отражающих поверхностей.

В ранее неисследованном районе приямальского шельфа на профиле 14 (Структура -2-, Рисунок 3.22) выделена зона повышенной концентрации разломов. Большая часть разломов пересекает осадочный чехол от горизонта А до поверхности дна. Некоторые трассируются только в меловых отложениях. Характерное группирование большого количества разломов на небольшом расстоянии внутри профилей позволило проследить зоны и на других профилях, что в конечном итоге, нашло отображение на схеме морфологических и дизъюнктивных элементов (рисунок 3.20).

Ранее уже отмечалось, что в развитии центральной депрессионной части Южно-Карской впадины было три этапа: средне (?) - поздне триасовый (ограниченный сверху горизонтом Ia), юрский и беррис-аптский (между ОГ Б и М). Как это согласуется с ранее опубликованными материалами?

В 2002 – 2005 гг. проведены комплексные исследования по профилю 3-AP, пересекающему Карское море в направлении с юго-запада на северо-восток. На профиле выполнены сейсморазведочные исследования с применением отраженных и рефрагированных волн. Результаты проведенных работ МОВ-ОГТ 2D позволили получить информацию о строении осадочного чехла.

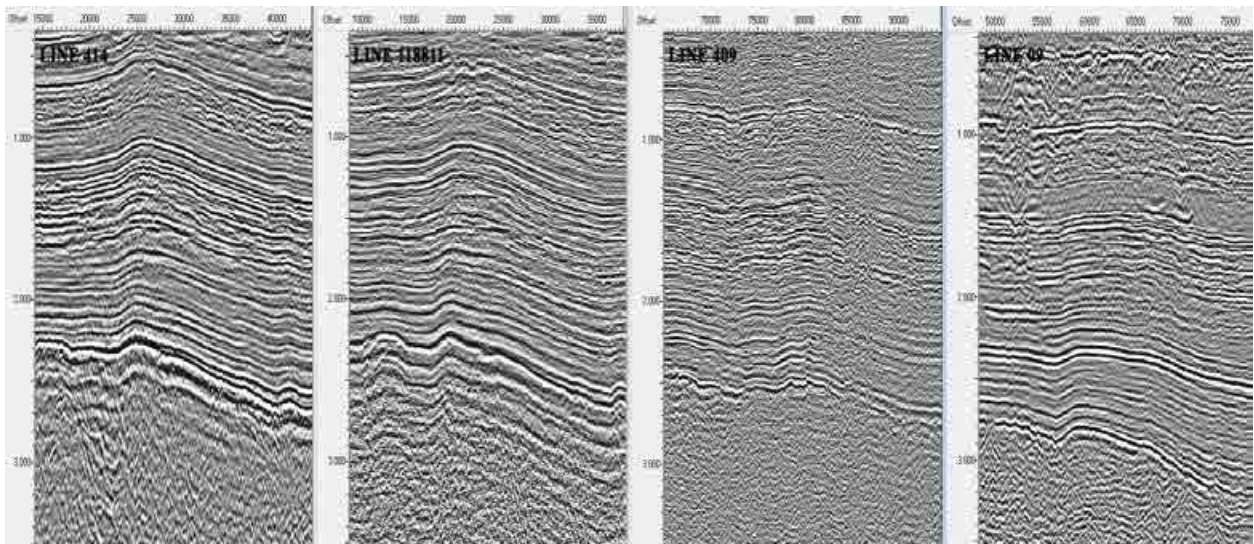


Рисунок 3.21. Фрагменты временных сейсмических разрезов 414 (МАГЭ), 118811 (СМНГ), 409 (МАГЭ) и 09 (ВНИИОкеангеология) в одном масштабе, на которых выделяется вал.

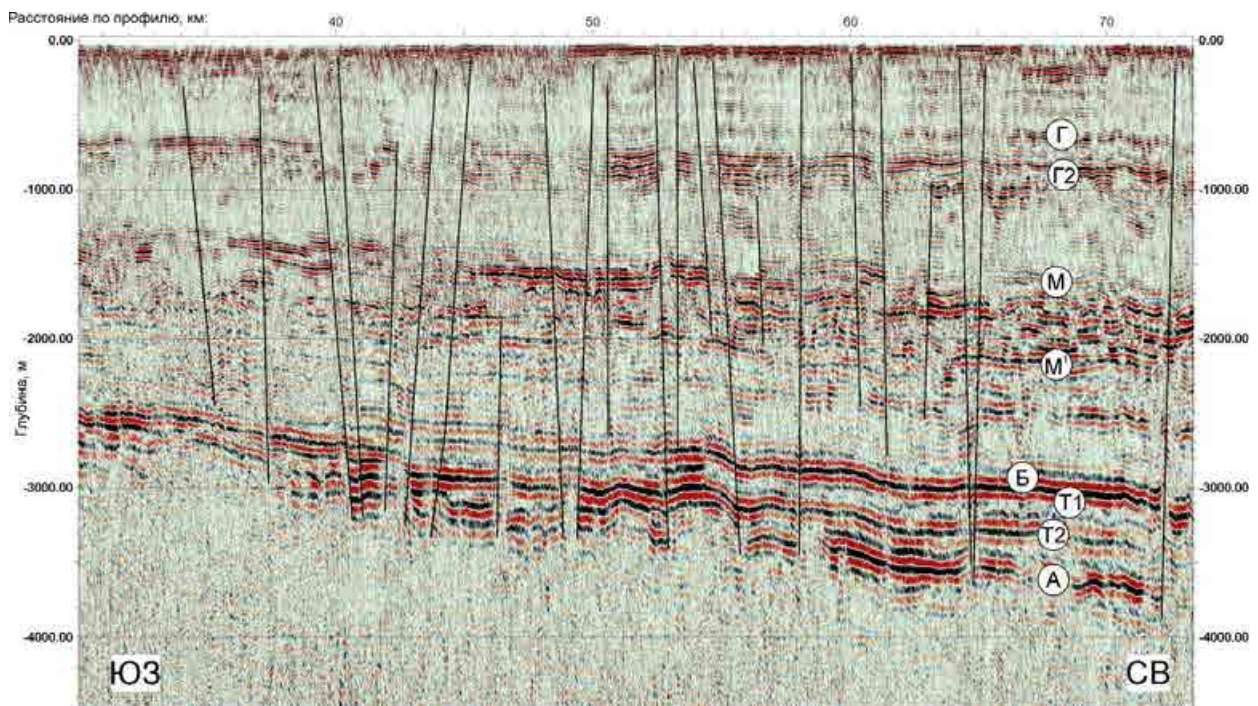


Рисунок 3.22. Фрагмент профиля 14, пересекающего зону повышенной концентрации разновозрастных разломов (на рисунке 3.18 место обозначено -2-).

По данным ГСЗ и потенциальным полям выявлены особенности строения нижней части разреза – в частности, получена информация о рельефе и глубине залегания границы Мохоровичича (Рисунок 3.23).

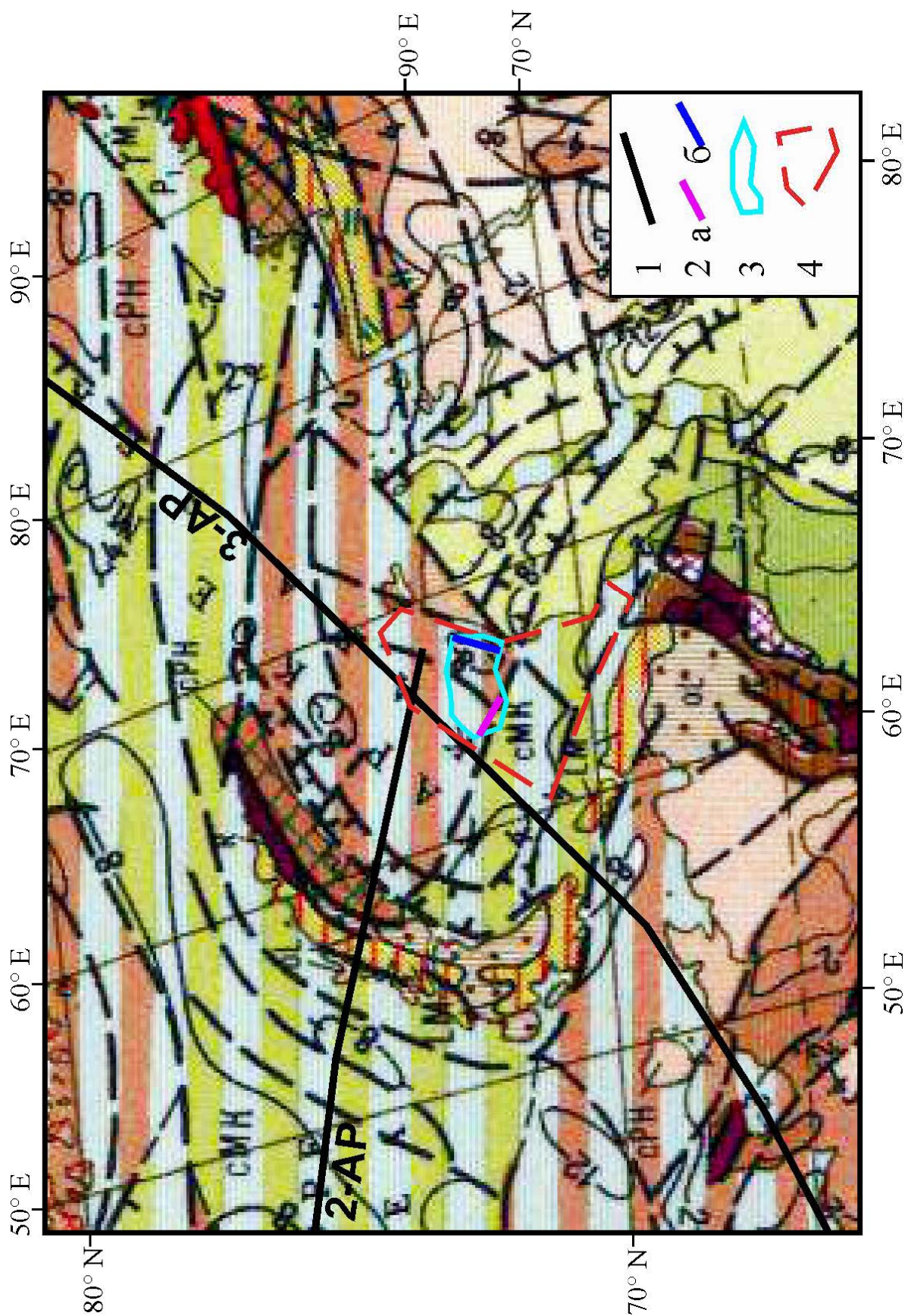


Рисунок 3.24. Фрагмент тектонической карты мира [Тектоническая..., 1982]. Условные обозначения: 1 – профили ГСЗ; 2 – осевые части выделенных грабенообразных структур: а $T_{2(?)}$, б – J_{1-3} ; 3 – ЦДЧ ЮКВ; 4 – границы района исследований.

Исследуемая область расположена в пределах распространения шельфовой части фанерозойского чехла древних платформ [Тектоническая..., 1982] (Рисунок 3.24). На полуострове Ямал выделен линейный грабен, в настоящее время обозначаемый как Ямальский рифт [Астафьев, Скоробогатов, 2006; Коробов и др., 2011; Медведев, 2014].

Появляющиеся новые данные позволяют сделать и противоположный вывод – Ямальский рифт может отсутствовать [Подурушин, 2011]. Границей между северной и южной частями Ямала является серия крупноамплитудных сбросов северо-западного и широтного простирания. В описании Байдарацкого разлома сочетаются характеристики правого сдвига и приповерхностного надвига [Подурушин, 2011].

На более поздней тектонической карте Европы приводится иное расположение рифтов в акватории и не показан Ямальский грабен-рифт. В приямальской части выделяются области с редуцированным гранитным слоем с широким распространением траппов, ограниченные зонами разломов на границах платформ и других крупных блоков [Международная..., 1996] (Рисунок 3.25).

С учетом того, что обе карты были построены до появления данных по профилю 3-AP, является логичным провести сопоставление данных разреза и карт. Программное обеспечение GeoСАР позволяет сделать это в трехмерном пространстве. В результате установлены следующие аспекты:

1. На тектонической карте мира [Тектоническая..., 1982] выявлено хорошее соответствие разлома, разделяющего области с фанерозойским чехлом древних платформ и верхнепалеозойским и мезозойско-кайнозойским чехлом молодых платформ в акватории Карского моря. Указанный разлом также хорошо коррелирует с выявленными в области исследований и на профиле 3-AP сбросами, ограниченными сверху сейсмостратиграфическим горизонтом Ia, интерпретируемым как кровля триасовых отложений.
2. Выделенный вблизи береговой линии Ямала грабен юрского возраста на тектонической карте мира [Тектоническая..., 1982] коррелирует с локальным прогибом с изопахитой 8 км. На тектонической карте Европы [Международная..., 1996] этот грабен расположен внутри выделяемой В.Е. Хаином и Ю.Г. Леоновым Белоостровской впадины.

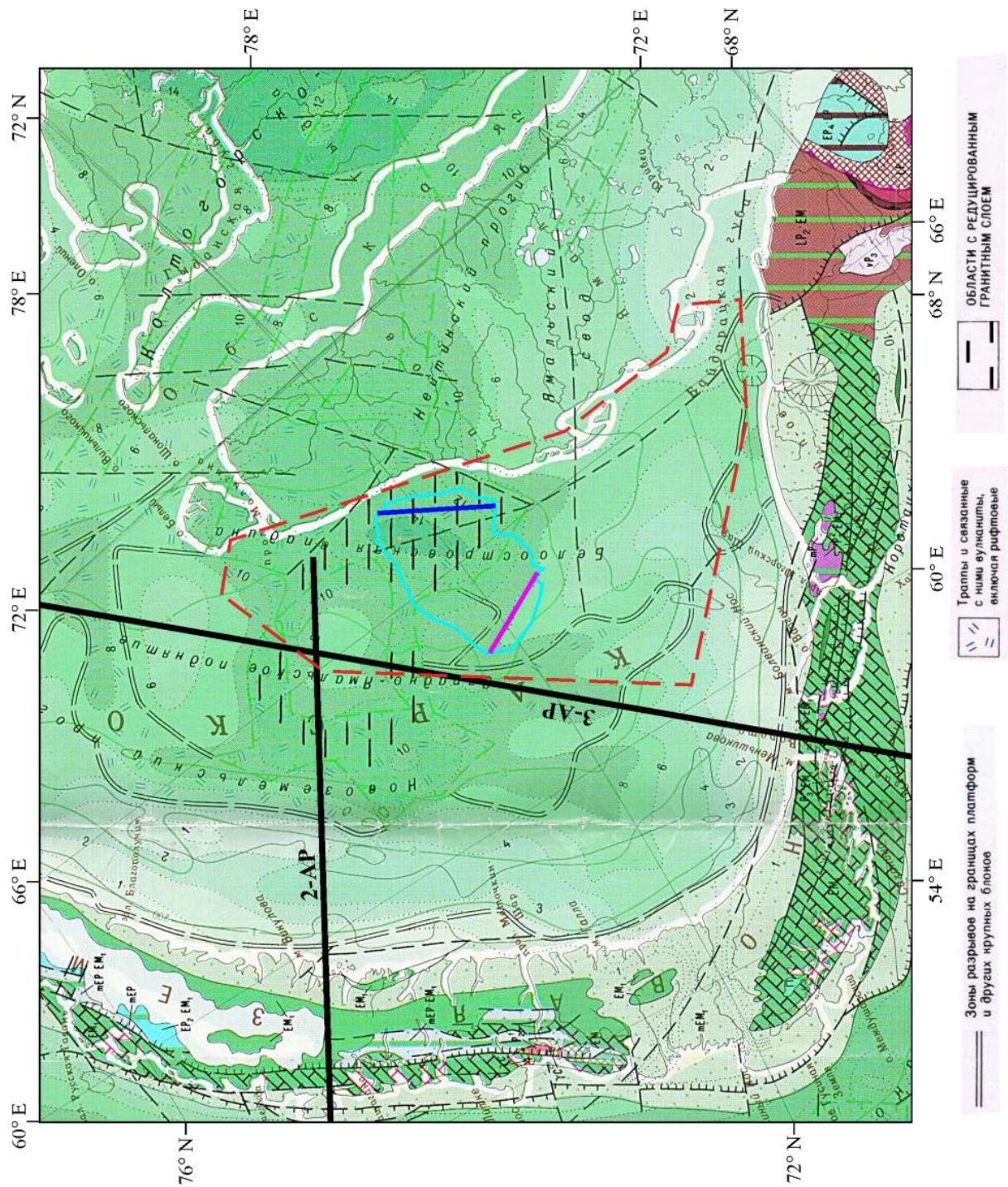


Рисунок 3.25. Фрагмент международной тектонической карты Европы [Международная..., 1996]. Условные обозначения на Рисунке 2.34.

Проведенные исследования В.А. Никишина, посвященные изучению внутриплитных деформаций в Южно-Карском осадочном бассейне, позволили установить, что прогибы и впадины представлены в морфологическом отношении в основном полуграбенами и реже грабенами, группирующимися в рифтовую зону [Никишин, 2013].

По мнению В.А. Никишина, в пределах Южно-Карского бассейна выделяются грабенообразные впадины, ограниченные сбросами и выполненные позднепермско-среднетриасовыми отложениями. Они образовались в условиях сдвига-растяжения [Никишин, 2013].

В рамках выполненных исследований в данной работе рассматривались сейсмические данные по мезозойско-кайнозойскому осадочному чехлу. Данных о глубинном строении этой области в настоящий момент нет. По этой причине использованы данные по модели строения литосферы CRUST1.0 [Laske et al., 2013]. Глубина до границы Мохоровичича проверена по имеющимся данным по профилям ГСЗ 3-АР [Изучить глубинное..., 2006], 2-АР [Комплексные морские..., 2004] в акватории и на суше – РИФТ-1, ГОРИЗОНТ-1 и 1а [Атлас..., 2013]. В результате установлено, что модель CRUST1.0 в части определения глубины границы Мохоровичича (граница Мохо) имеет хорошую сходимость с данными ГСЗ. Это позволило использовать данную модель для проведения комплексного анализа с данными МОВ-ОГТ.

По двум пересекающимся линиям построены сводные разрезы до границы Мохо (Рисунок 3.26).

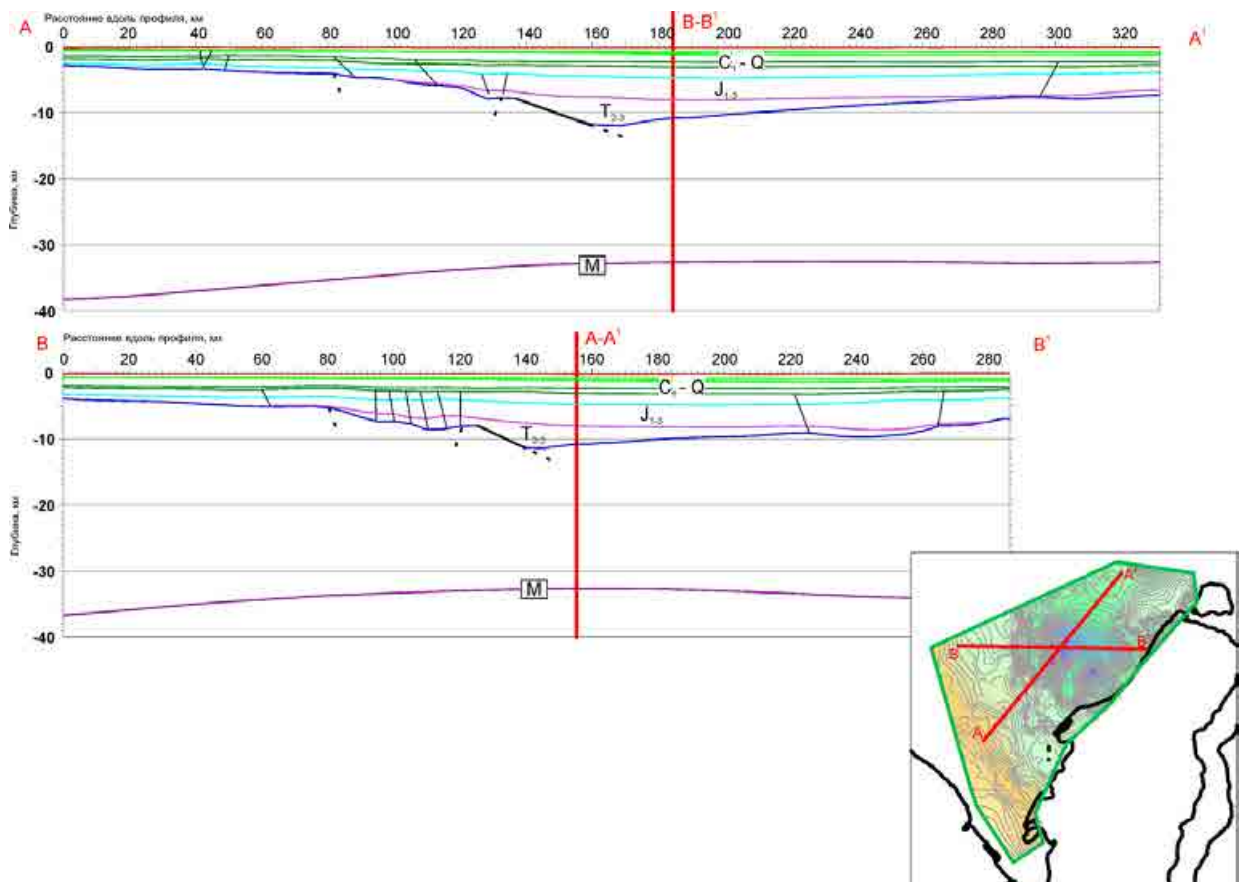


Рисунок 3.26. Сводные разрезы через область исследований до границы Мохоровичича (на рисунке – граница М).

Такой подход позволил установить качественную корреляцию между современной формой ЦДЧ ЮКВ и рельефом границы Мохо. Подъем границы Мохо соответствует углубленной части, выделенной по горизонту А.

На профиле южнее выделенных в данной работе сбросов на юго-западном борту ЦДЧ ЮКВ нарушения сбросового типа выражены слабее [Ступакова и др., 2017]. Профиль проходит в северо-западном направлении от полуострова Ямал в сторону Новой Земли. На нем выделен крупный сброс в приямальной части Карского моря, заполненный преимущественно ниже- и среднетриасовыми отложениями. Вышерасположенный сейсмостратиграфический горизонт, интерпретируемый как кровля верхнетриасовых отложений, не затронут разрывными нарушениями, из чего делаем вывод о времени формирования структуры – ранний - средний триас.

Дальнейшие исследования по поиску возможных механизмов образования депрессионной части Южно-Карской впадины основаны на изучении опубликованных моделей формирования подобных структур.

Рассмотрим модели образования грабенов при растяжении коры основываясь на современных представлениях о рифтогенезе в осадочных бассейнах (Рисунок 3.27).

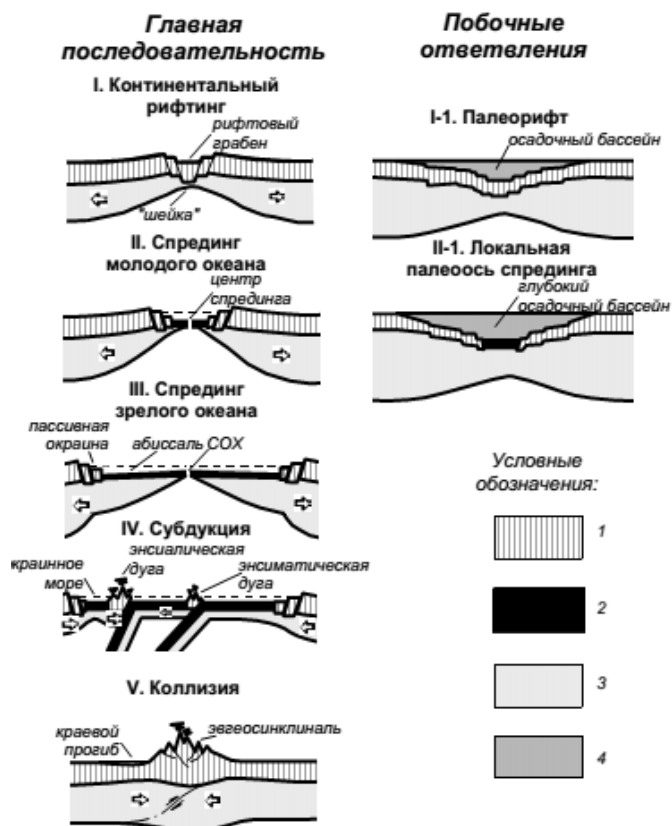


Рисунок 3.27. Полный цикл эволюции литосферы (цикл Вилсона).

Условные обозначения: 1 – континентальная кора, 2 – океаническая кора, 3 – подкоровая литосфера, 4 – осадки (по [Аглонов, 2000]).

Согласно приведенной выше классификации, осадочный бассейн южной части Карского моря относится к палеорифту. Из-за редуцированной мощности коры, сильно погруженной границе верхней коры и подъему границы Мохо Южно-Карский бассейн иногда называют «несостоявшимся океаном» или осадочным бассейном, в фундаменте которого залегают реликтовые блоки океанской коры [Апლოнов, 2001]. С.В. Аплонов провел сравнение характеристик двух таких «несостоявшихся океанов» – Восточно-Баренцевского и Южно-Карского. В обоих бассейнах отмечена аномально высокая плотность коры, которая, даже с учетом погрешностей расчетов, не может быть классифицирована как континентальная [Аплонов, 2001]. Кора испытывала растяжение, но так как не произошло образования океана, плотная и тяжелая литосфера испытала быстрое и интенсивное погружение отдельных участков, в результате чего в этих областях образовались обширные и глубокие осадочные бассейны.

Дальнейшие исследования в Северо-Баренцевской впадине позволили предположить, что образование настолько глубоких осадочных бассейнов (до 16 км) не возможно только под действием упругого изгиба литосферного слоя [Артюшков и др., 2014]. Авторами приведено обоснование предположению о формировании сверхглубоких впадин в результате образования эклогитов по габброидам и базальтам в нижней коре.

С учетом схожести Баренцевоморского и Южно-Карского регионов по морфологическим признакам и типизации коры [Аплонов, 2001], можно предположить, что одним из возможных механизмов образования Южно-Карской впадины с депоцентром в ЦДЧ ЮКВ является модель, предложенная Е.В. Артюшковым с соавторами. В ее основе лежит растяжение коры на начальном этапе и последующее погружение без растяжения под действием метаморфизма в породах основного состава в нижней коре [Артюшков и др., 2014]. При этом полагается, что кора является континентальной, но ее плотность повышена за счет образования эклогитов.

Исходя из предположения, что область исследований, которая рассматривается в данной работе, расположена на континентальной коре, что подтверждается данными по профилю 3-AP, формирование полуграбенов возможно при континентальном рифтогенезе.

Принципиальные типы структур, которые могут образовываться при континентальном рифтогенезе приведены в [Милановский, 1999] (Рисунок 3.28). Так как на сейсмических и сводных разрезах мы видим полуграбены только по поверхности сейсмостратиграфического горизонта А, то по морфологическим параметрам – асимметричные полуграбены – наблюдаемые структуры могут быть описаны моделями с индексами γ – ϵ на рисунке 3.28.

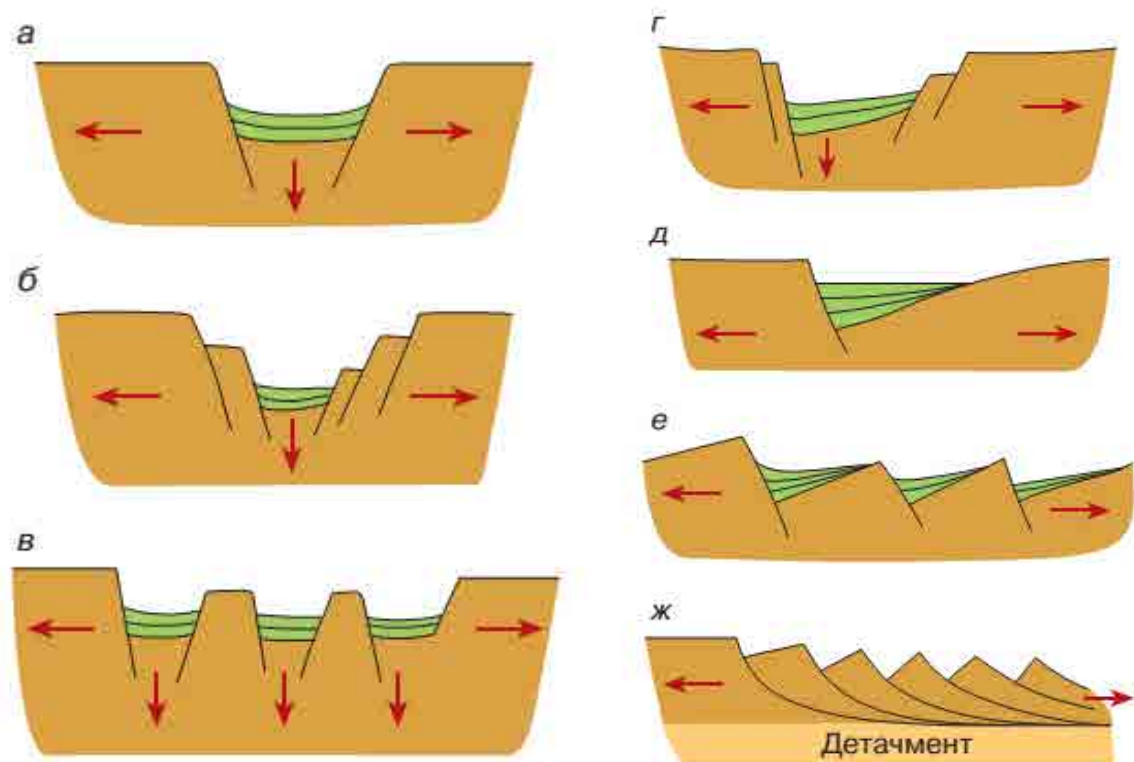


Рисунок 3.28. Типы структуры континентальных рифтовых зон в поперечном разрезе. а – грабен; б – ступенчатый грабен; в – клавиатура блоков; г – асимметричный грабен; д – полуграбен; е – система из нескольких односторонне наклоненных блоков; ж – система из односторонне наклоненных блоков, относительно смещенных по листрическим сбросам и “опирающихся” на субгоризонтальную поверхность срыва растяжения (детachment). В пределах рифтовых впадин показаны заполняющие их отложения [Милановский, 1999].

Детальное рассмотрение фрагментов профилей 200428 и 200429 и их сравнение с опубликованными примерами анализа седиментационных процессов при рифтогенезе, позволило установить, что область перехода от Обручевского вала к ЦДЧ ЮКВ осложнено несколькими этапами тектонической деятельности. В результате первого – наиболее древнего – этапа образован Карский депрессионный полуграбен (Рисунок 3.29). По имеющимся сейсмическим данным его возраст можно оценить как раннетриасовый, что в целом совпадает с опубликованными данными [Никишин, 2013]. Его положение совпадает с подъемом границы Мохо [Laske et al., 2013]. Таким образом, он может являться признаком горизонтального растяжения, характерного для зон, находящихся на начальных стадиях рифтогенеза [Геологический..., 2010].

Позднее, на фоне продолжающегося растяжения коры, образовались Обручевский полуграбен, а позднее и сброс на северном склоне Обручевского вала.

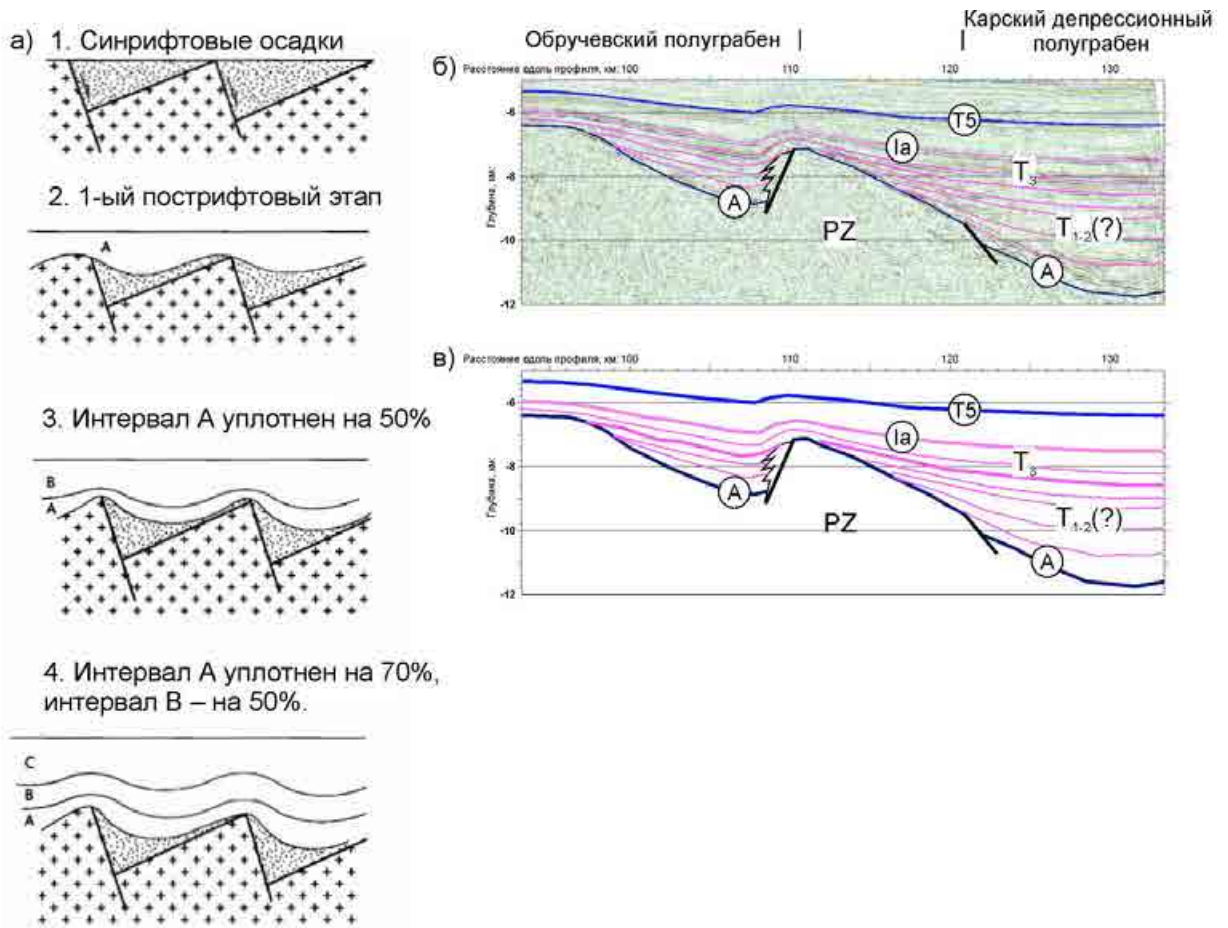
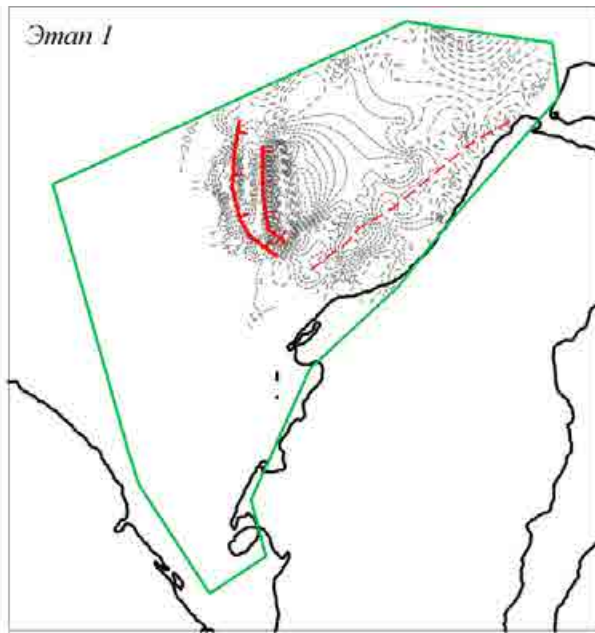


Рисунок 3.29. Главные тектонические элементы южного борта ЦДЧ ЮКВ: а) седиментация по [Allen & Allen, 2005], б) фрагмент профиля 400429 (ОАО МАГЭ) в области перехода в ЦДЧ ЮКВ, в) тот же фрагмент, без волнового поля.

Отложения поздне триасового возраста (кровля комплекса соответствует сейсмостратиграфическому горизонту Ia) являются первым пострифтовым комплексом по [Allen & Allen, 2005] (Рисунок 3.29).

Следующий этап тектонической активизации состоялся, вероятно, в юрское время в восточной части области исследований вдоль современной береговой линии полуострова Ямал с образованием линейного грабена – Белоостровской впадины [Международная..., 1996]. Обе области характеризуются редуцированной мощностью гранитного слоя [Международная..., 1996] (Рисунок 3.30).

Третий этап образования ЦДЧ ЮКВ на сейсмических разрезах связывается с образованием разломов в юрско-меловой части осадочного чехла и наиболее четко прослеживается по мощности берриас-аптских отложений (Рисунок 3.17, в). В это время происходит погружение ЦДЧ ЮКВ (Рисунок 3.30).



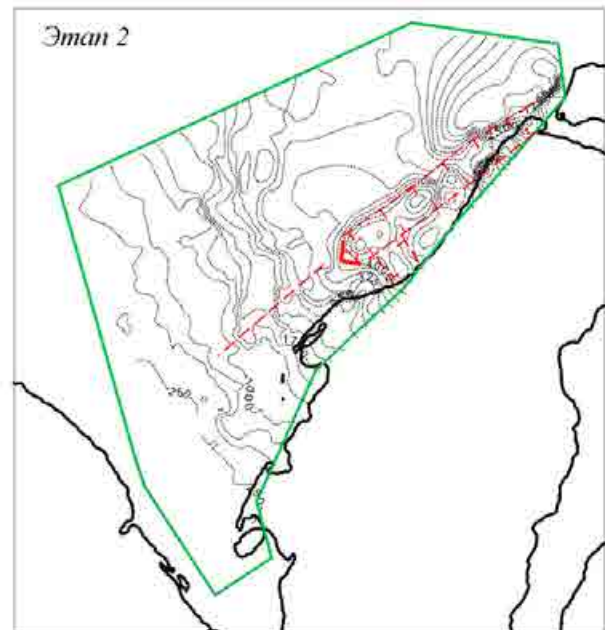
Этап 1: T_{20-3} (ОГ А-А, длительность ок. 36 (46?) млн. л.)

Образованы два полуграбена на юго-западной границе (в современных координатах) центральной депрессионной части Южно-Карской впадины.

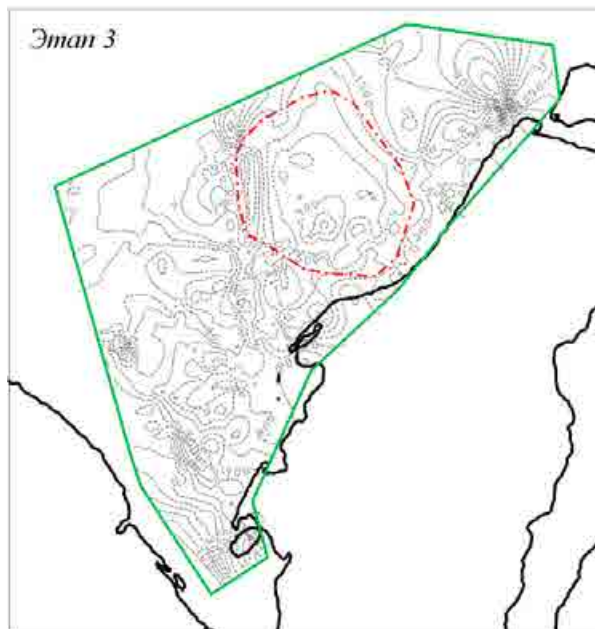
Вдоль западного берега Ямала (в современных координатах) предположительно образовался сдвиг.

Этап 2: J_7-J_3 (ОГ А-Б, длительность ок. 55 млн. л.)

Горизонтальные движения привели к образованию широкой грабенообразной структуры, в пределах которой выделяется современный Белоостровский прогиб.



Этап 2



Этап 3

Этап 3: K_b-a (ОГ Б-М, длительность ок. 30 млн. л.)

На завершающем этапе под действием накопленных отложений и эндогенных процессов просходит уплотнение нижних осадочных комплексов, в результате чего образуется отрицательная некомпенсированная структура.

Рисунок 3.30. Схематическое изображение в современных координатах трех этапов образования центральной депрессионной части Южно-Карской впадины.

3.5. Выводы

Анализ материалов, собранных в процессе исследовательской работы, позволяет сделать следующие выводы:

1. Дана характеристика отражающих горизонтов, включающая в себя идентификационные признаки в волновых полях сейсмических разрезов, прослеживаемость и характер залегания их на площади.

2. Составлены структурные схемы отражающих горизонтов, проведен их морфологический анализ.

3. Рассчитаны мощности комплексов между основными отражающими горизонтами, что дало основание для изучения особенностей осадконакопления в пределах исследуемой территории.

4. По идентичным признакам прослежены на площади дизъюнктивные нарушения, интерпретируемые в волновых полях сейсмических разрезов.

5. Составлены схема структурных элементов, выделяемых в основании мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, и схема морфологических и дизъюнктивных элементов.

6. Установлено, что центральная депрессионная часть Южно-Карской впадины образована тремя этапами тектонических движений. Сначала на юго-западе (в современных координатах) в позднепермское(?)–раннетриасовое время образовался полуграбен над поднятием границы Мохоровичича. Затем в юрское время образовался линейный грабен – Белоостровская впадина – на восточной границе области. И на заключительном этапе в нижнемеловое время произошло общее погружение современной ЦДЧ ЮКВ.

В результате проведенного анализа сформулировано **второе защищаемое положение**:

Многофакторный анализ морфоструктурных и тектонических особенностей в пределах области исследований позволил установить трехэтапное погружение центральной депрессионной части Южно-Карской впадины с некомпенсированным режимом осадконакопления в течение позднепермского - раннемелового времени.

ГЛАВА 4: Новые локальные структуры, перспективные на углеводороды

4.1. Результаты геохимического опробования

Определение геохимических признаков нефтегазоносности является одним из способов выявления участков, перспективных для обнаружения углеводородных залежей. При этом разный фазовый состав отвечает разным типам залежей [Черепанов, 2016]. Соответственно, необходимо выделять разные информативные критерии. При работах по выявлению газовых залежей таким информативным критерием может служить сумма углеводородов (УВ) C_1 - C_4 . При поисках газоконденсатных залежей можно использовать сумму УВ C_1 - C_{10} , а критерием при выполнении работ газогеохимических исследований на нефтяных месторождениях являются УВ C_{10} и выше.

К прямым признакам нефтегазоносности можно отнести повышенные концентрации нормальных алканов C_2 - C_{10} и их изомеров, повышенные концентрации ароматических УВ и некоторые другие признаки [Геохимические..., 2012].

Пробоотбор образцов для проведения газогеохимического анализа производился вдоль сейсмических профилей. Положение точек взятия проб определялось по данным сейсмоакустического профилирования, сопровождавшего работы по газогеохимии. Плотность положения точек также определялась в процессе выполнения работ и зависела от результатов анализа данных профилографа. Схема расположения станций пробоотбора для газогеохимического анализа показана на Рисунке 4.1.

Описание образцов донных осадков, определение концентраций метана и неуглеводородных газов проводилось непосредственно в судовой лаборатории. Также в судовой лаборатории выполнялись аналитические измерения ароматических углеводородов, объёмной активности радона в придонно-пограничном слое водной толщи.

На основании литературных источников при построении схем распределения газогеохимических признаков выбраны следующие критерии:

- 1) концентрация метана в придонно-пограничном водном слое;
- 2) концентрация метана в поверхностных донных отложениях;

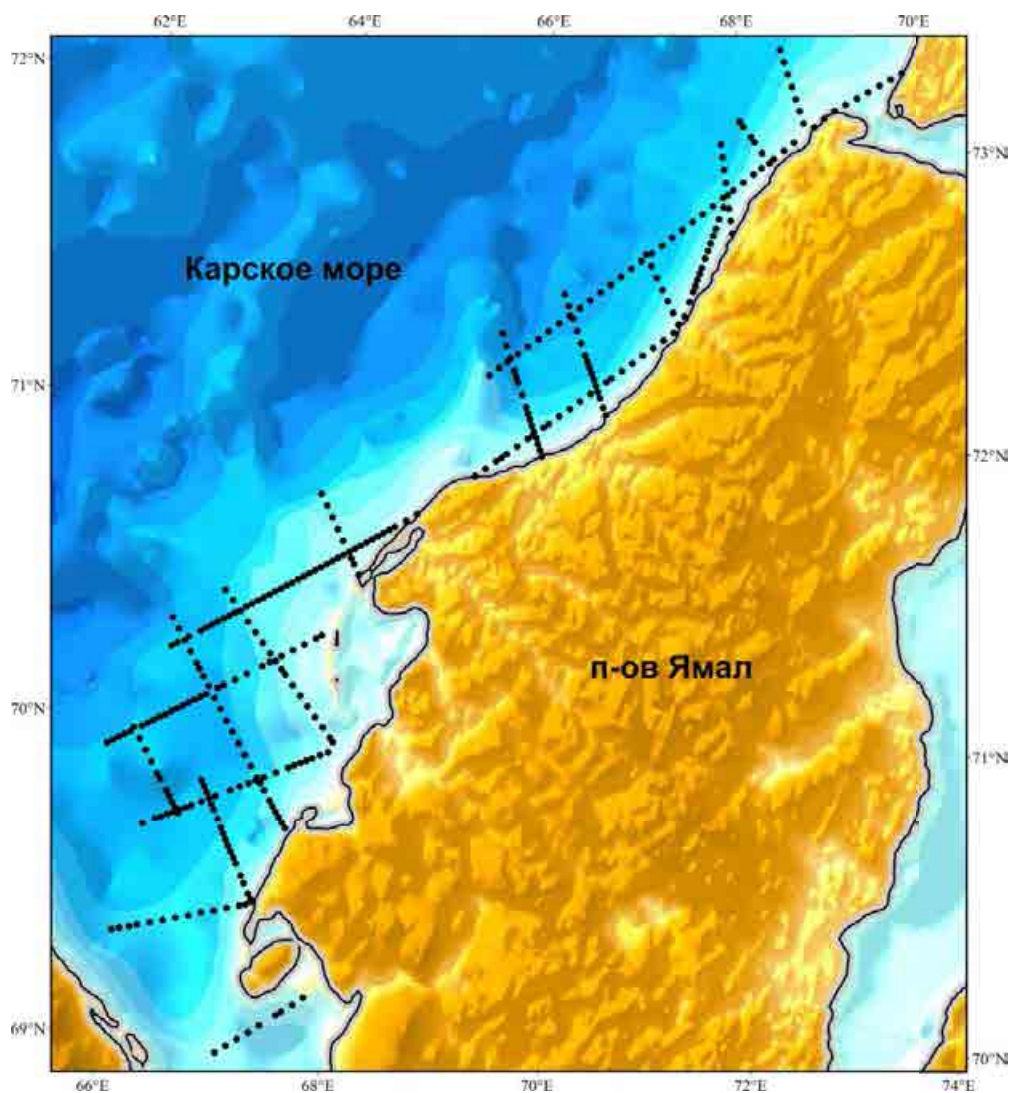


Рисунок 4.1. Схема расположения станций пробоотбора, использованных в работе.

- 3) концентрация ароматических УВ в придонно-пограничном слое водной толщи;
- 4) концентрация жидких УВ в донных осадках;
- 5) концентрация парафина в донных осадках.

Литологическая характеристика поверхностных донных отложений

Результаты полевого описания донных осадков и анализ их гранулометрического состава позволил построить схему распространения типов поверхностных донных отложений (Рисунок 4.2).

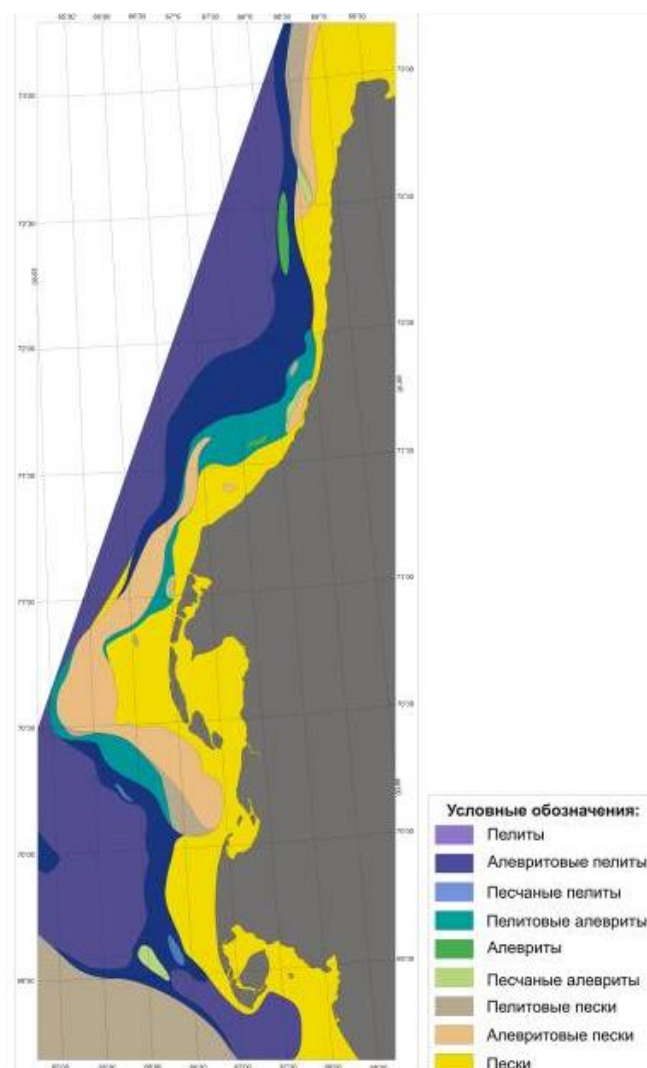


Рис. 4.2. Схема распространения гранулометрических типов поверхностных донных осадков [Региональные..., 2014].

Мелководная область (глубин моря 15-18 м) покрыта разнозернистыми песками различной степени сортированности. Чистые отмытые пески встречаются очень редко, преобладают глинистые и алевритистые разновидности.

Мощность вскрытой толщи песчаных отложений изменяется от 5 см до 15 см в зависимости от их состава, плотности и наличия включений гальки или крупного раковинного детрита [Региональные..., 2014]. Верхняя часть (3-7 см) разреза представлена буровато-коричневыми и светло-коричневыми глинистыми песками окисленной приповерхностной зоны. Зависимости мощности окисленного слоя от гранулометрического состава отмечено не было. Под окисленными осадками лежат аналогичные по гранулометрическому составу глинистые пески светло-серого, серого или зеленовато-серого цвета. Контакт с вышележащим окисленным слоем неровный, нечеткий, нарушен биотурбацией. В некоторых разрезах в интервале 10-15 см

встречались примазки гидротроилита. Повсеместно в песках встречаются неокатанные фрагменты раковинного детрита и небольшие гальки, сложенные аргиллитом.

В более глубоководной части района работ (глубины моря 15-22 м) лежит относительно узкая протянутая вдоль берега область развития алевритовых осадков. Чистые алевриты встречаются редко. Наиболее характерны пелитовые и песчанистые алевриты. Разрез алевритов аналогичен разрезу алевритовых песков: окисленный слой сменяется восстановленным без изменения гранулометрического состава и консистенции осадков. На глубине 12-17 см в разрезе начинают проявляться единичные примазки гидротроилита. Зачастую гидротроилитом выполнены раковины двустворчатых моллюсков или ходы илоедов.

На глубинах моря 20-23 метра алевритовые осадки сменяются глинистыми илами. Как и в случае песчаных и алевритовых осадков, чистые глинистые илы встречаются редко, преобладают алеврито-глинистые илы или глинистые илы с примесью песка. Вскрытая мощность илов достигала 45 см и в среднем составляла 30 см (Рисунок 4.3).



Рисунок 4.3. Разрезы глинистых илов [Региональные..., 2014].

Отложения Байдарацкой губы, несмотря на ее мелководность (большая часть находится в интервале глубин 10-15 м) представлены в основном глинистыми илами. Пески и алевриты узкими полосами окаймляют берег и распространены до изобаты 6 и 8 м соответственно.

Разрез глинистых илов Байдарацкой губы также несколько отличается от разрезов приповерхностных отложений центральной и северной частей приамальского шельфа. В отличие от других профилей, здесь наиболее характерны тонкие пелитовые осадки без примесей песка и алеврита.

Еще одной отличительной особенностью глинистых илов на профиле через Байдарацкую губу является наличие ямок на поверхности осадка и полостей в глубине разреза (Рисунок 4.4).

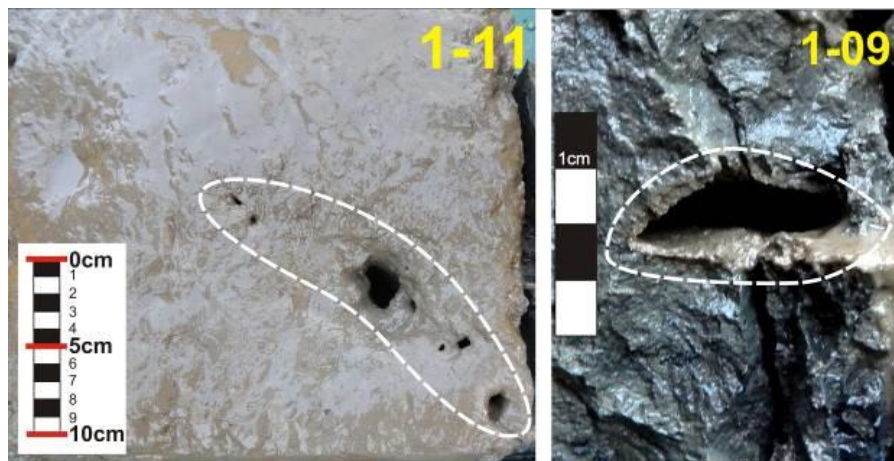


Рисунок 4.4. Ямки на поверхности осадка (слева) и полость в толще илов (справа)
[Региональные..., 2014].

Причину появления подобных ямок и полостей однозначно определить не представляется возможным. Их происхождение может быть объяснено как деятельностью живых организмов, так и выходом газов.

Результаты литологического исследования современных осадков позволяют сделать следующие выводы:

- мелководная область (до глубин моря 15-18 м) покрыта разномерными песками различной степени сортированности с преобладанием глинистых и алевритистых разностей;
- на глубинах моря 15-22 м наблюдается относительно узкая протянутая вдоль берега область развития алевритовых осадков, которые в диапазоне глубин 20-23 метра сменяются глинистыми илами. Как и в случае песчаных и алевритовых осадков, чистые глинистые илы встречаются редко, преобладают алеврито-глинистые илы или глинистые илы с примесью песка. Вскрытая мощность илов достигала 45 см и в среднем составляла 30 см;
- донные осадки на профилях в центральной части Байдарацкой губы представлены в основном глинистыми илами. Пески и алевриты узкими полосами окаймляют берег и распространены до изобаты 6 и 8 м соответственно.

Пространственное распределение выбранных геохимических признаков

Так как к прямым поисковым признакам в водной толще относятся распределения концентраций общей газонасыщенности (в частности, суммы C1-C5 или отдельно метана и суммы C2-C5), углекислого газа, ароматических углеводородов, а в донном слое – анализ состава жидких и газообразных углеводородов, концентрации метана и суммы C2-C5 и

углекислого газа, на основе этих признаков проведен анализ результатов геохимического опробования.

Метан в придонном водном слое.

Статистическое распределение метана в придонной части водного слоя приведено на Рисунке 4.5.

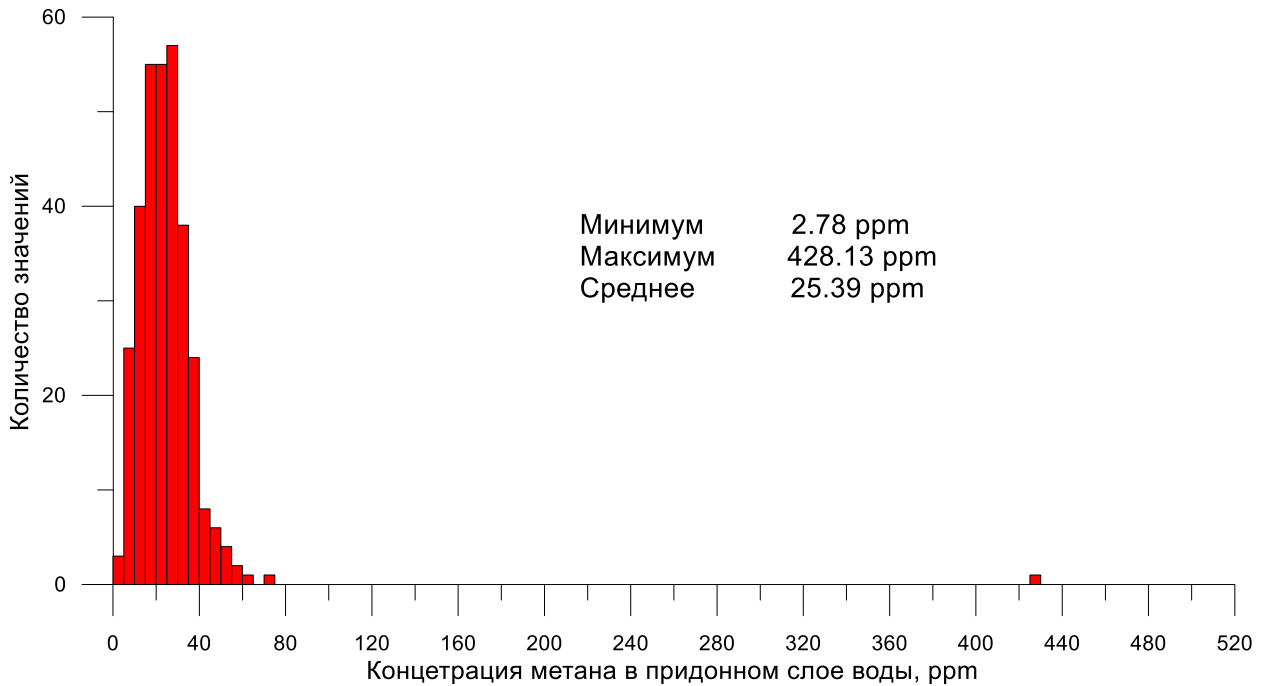


Рисунок 4.5. Статистическое распределение значений концентрации метана в придонном слое воды.

Средний фон содержания метана в водном слое находится в пределах до 30 ppm. Слабо аномальными являются области с концентрацией метана от 40 до 60 ppm, аномальные зоны – от 60 до 100 ppm и сильно аномальные – 100 ppm и выше (Рисунок 4.6).

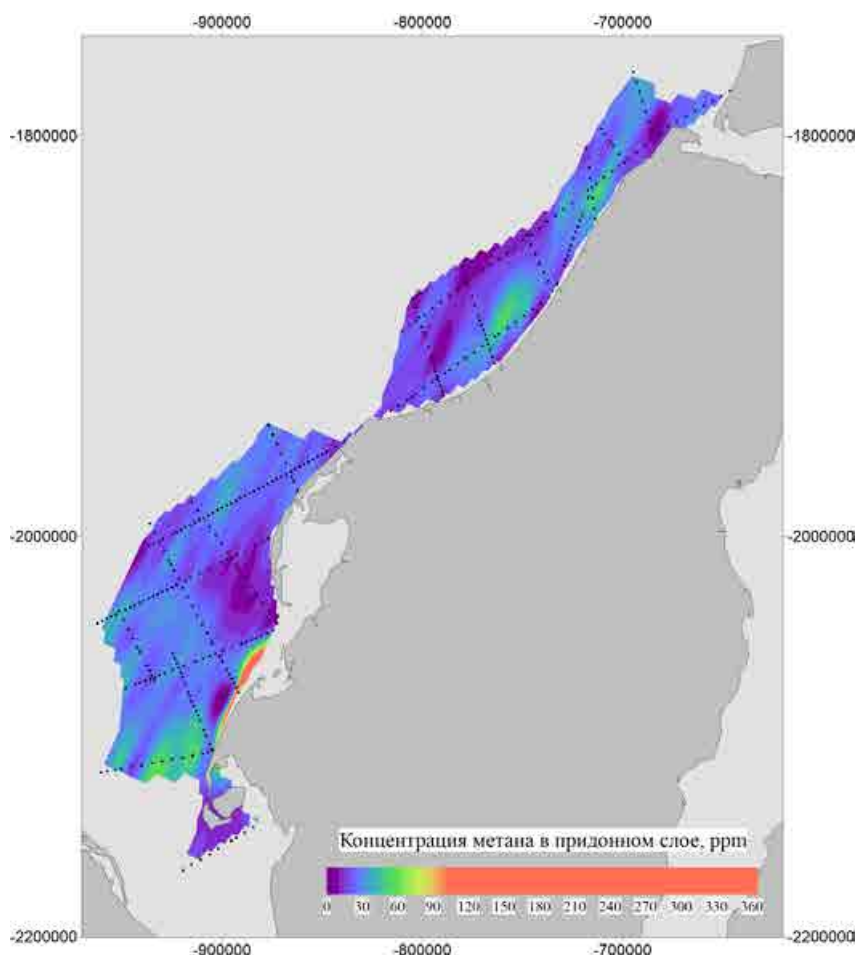


Рисунок. 4.6. Концентрация метана в придонно-пограничном водном слое.

Координатная система: эллипсоид WGS84, проекция Полярная стереографическая, центральный меридиан 90°.

На схеме отчетливо выделяются области с повышенным содержанием метана. Две в северной части находятся в транзитной зоне. На южном участке в одной области выделяются предельно аномальные значения содержания метана (более 400 ppm). Положение станций отбора проб показывают, что в этой области проб недостаточно для составления однозначного вывода о причинах таких значений, однако, есть предположение, что это может быть влияние Крузенштернского месторождения, расположенного севернее.

Превышение фоновых значений зарегистрировано на участках профилей 09, 16 и 17. Выделяющееся на профиле 09 повышенное значение метана, скорее всего, связано с флангом перспективной для разработки Шкиперской газовой структуры [Астафьев, 2015]. Повышенные значения концентрации метана в придонном слое на профилях 16 и 17 являются свидетельствами тому факту, что исследования в Байдарацкой губе необходимо продолжать. 7 сейсмических профилей и небольшое количество станций геохимического анализа на всю площадь Байдарацкой губы недостаточно.

Метан в донных осадках

Определение содержания метана в донных отложениях также может помочь выявить степень углеводородной перспективности областей. Статистическое распределение концентрации метана в пределах исследуемой области приведено на Рисунке 4.7.

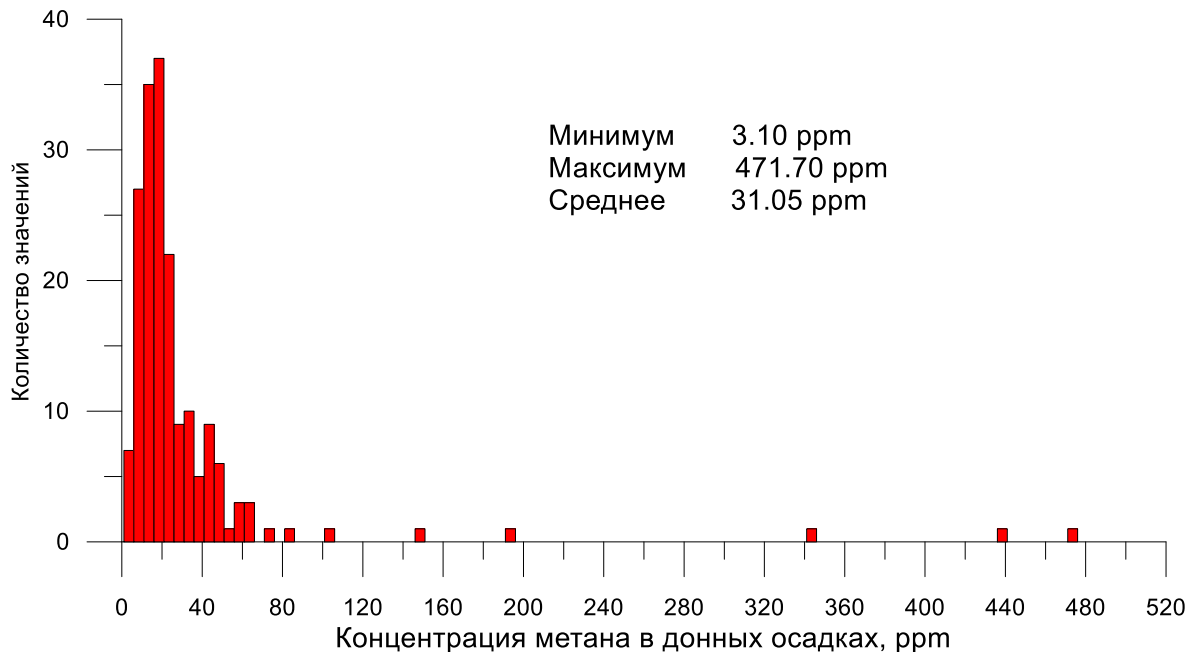


Рисунок 4.7. Статистическое распределение значений концентрации метана в донных осадках.

Результаты определения данного геохимического параметра свидетельствуют о количестве метана в донных отложениях (Рисунок 4.8). Однако здесь не может быть разделен метан, мигрирующий к поверхности из более глубоких слоев, и метан, относимый к газовым гидратам. Но с учетом данного обстоятельства, можно сказать, что в придонный водный слой высвобождение метана происходит в меньшем количестве областей по сравнению с общим количеством мест высокого содержания газа в донных отложениях. Повышенные показатели концентрации метана в донных отложениях выделяются на более широких областях северной и центральной части района исследований, чем аномальными значениями метана в придонном слое водной толщи. В южной части района работ показатели содержания метана в донных отложениях менее выражены по сравнению с аналогичными показателями в придонном слое воды. Связано это, предположительно, с литологическими характеристиками донных отложений. Как уже описывалось выше – в Байдарацкой губе более глинистые отложения, а значит менее пористые. То есть и коллекторские свойства у них хуже, однако улучшаются экранирующие свойства.

На профилях 16 и 17 выделяются повышенные значения содержания метана в донных отложениях, также как и при анализе придонной толщи воды. Таким образом, можно сказать,

что в створе Байдарацкой губы наблюдаются аномалии содержания метана, как в донных отложениях, так и в придонном слое водной толщи. Данное обстоятельство может свидетельствовать с одной стороны о перспективности данного района для поисково-разведочных работ по выявлению газовых месторождений. Но с другой – выражает неопределенность природы таких аномалий, так как на данном этапе не является возможным выделить газ, высвобождающийся из газосодержащих ловушек в слое вечномерзлых пород, и мигрирующий из глубоких слоев осадочного чехла. А это значит, что створ Байдарацкой губы требует дальнейшего изучения современными методами геофизических и геохимических исследований.

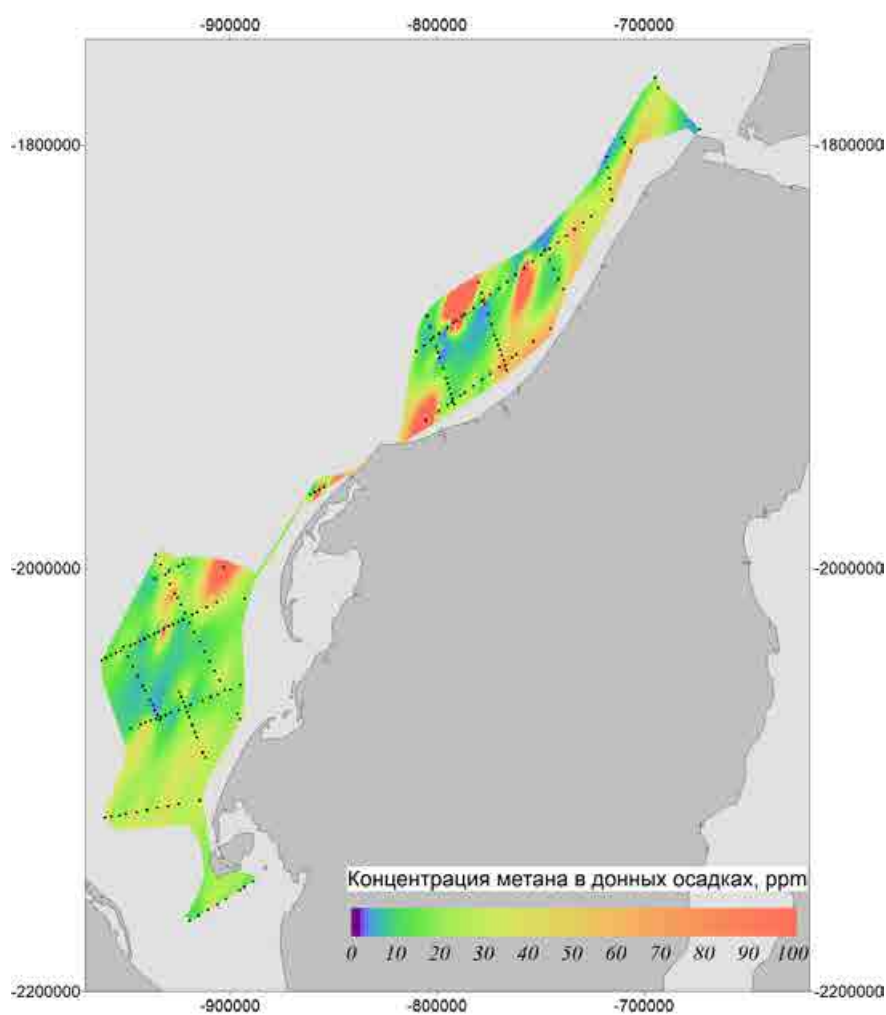


Рисунок 4.8. Концентрация метана в донных осадках.

Координатная система: эллипсоид WGS84, проекция Полярная стереографическая, центральный меридиан 90°.

Жидкие углеводороды в донных осадках.

Присутствие жидких углеводородов (УВЖ) в первую очередь обусловлено миграционными процессами из скоплений углеводородов в разрезе осадочного чехла. В тоже

время их групповой состав, в частности содержание масел более 70%, а также присутствие парафинов, может указывать на наличие нефтяных залежей.

Статистическое распределение концентрации УВЖ в пределах исследуемой площади приведено на Рисунке 4.9. За фоновые значения принимается концентрация не выше 0.01 % вес. До значений 0.02 % вес. концентрация считается слабо аномальной. Таким образом, аномальные значения – выше 0.02 % вес.

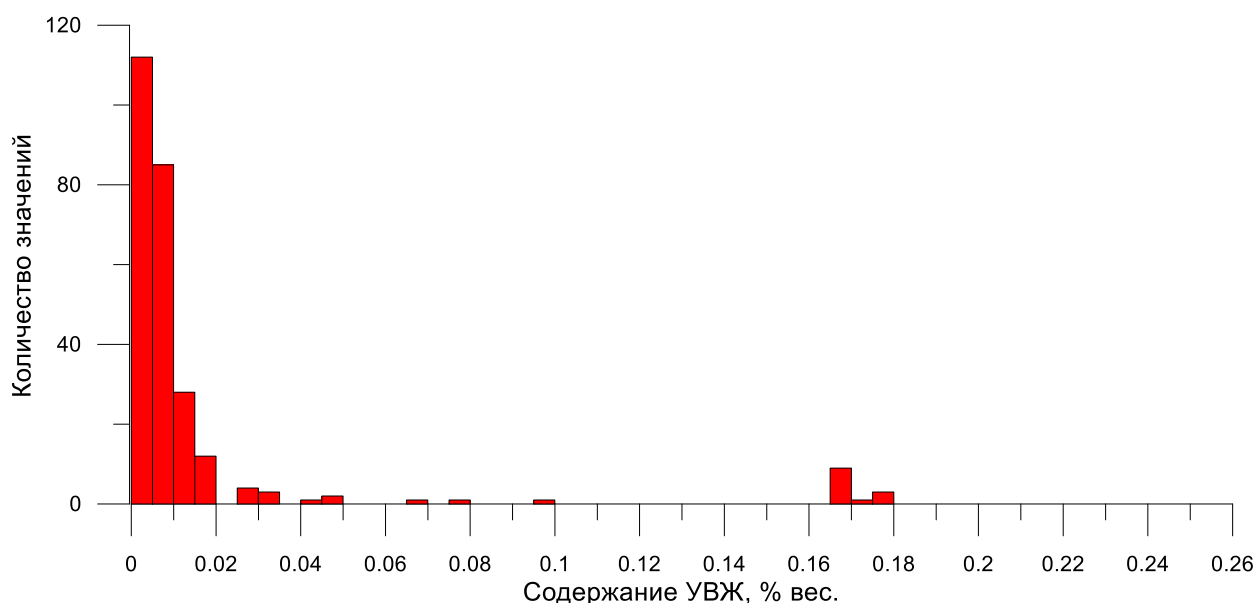


Рисунок 4.9. Статистическое распределение значений концентрации УВЖ в донных осадках.

Концентрация УВЖ в донных осадках на большей части исследуемого региона находится в области минимальных значений (Рисунок 4.10). Наиболее аномальные зоны выделяются в южной части, где максимальные значения достигаются в створе Байдарацкой губы.

Небольшая аномальная зона выделяется на северном участке площади, проявленная также в концентрации метана в донных осадках. По данным концентрации метана в придонном водном слое, аномалия выделяется в районе пересечения профилей 07 и 06, где по сейсмическим данным видно малоамплитудное локальное поднятие, ранее не нанесенное на карты изученности, так как находится оно в транзитной зоне. О перспективности данной области свидетельствует и тот факт, что тут зарегистрированы высокие показатели содержания парафина в донных отложениях. Это является дополнительным свидетельством нефтяной перспективности выявленной локальной структуры.

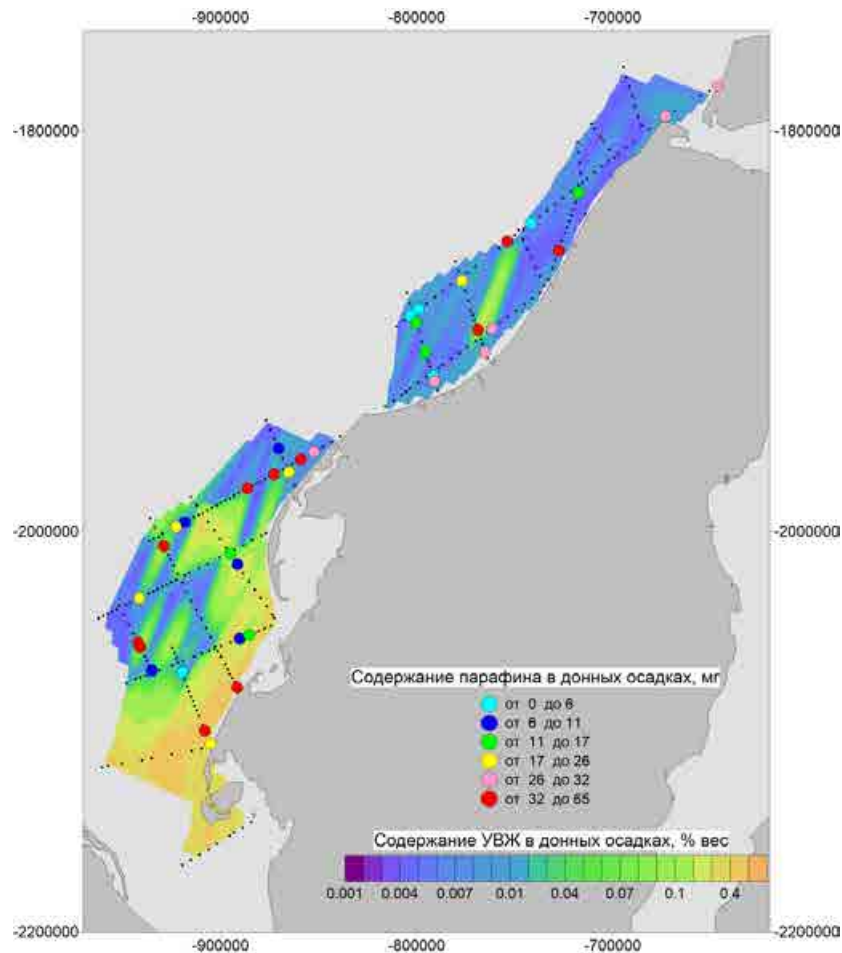


Рисунок 4.10. Содержание жидких углеводородов и парафина в донных осадках
Координатная система: эллипсоид WGS84, проекция Полярная стереографическая,
центральный меридиан 90°.

Ароматические углеводороды в придонно-пограничном слое воды

Как уже говорилось в начале главы, повышенная концентрация ароматических углеводородов входит в число прямых признаков нефтегазоносности. Распределение значений ароматических УВ приведено на Рисунке 4.11.

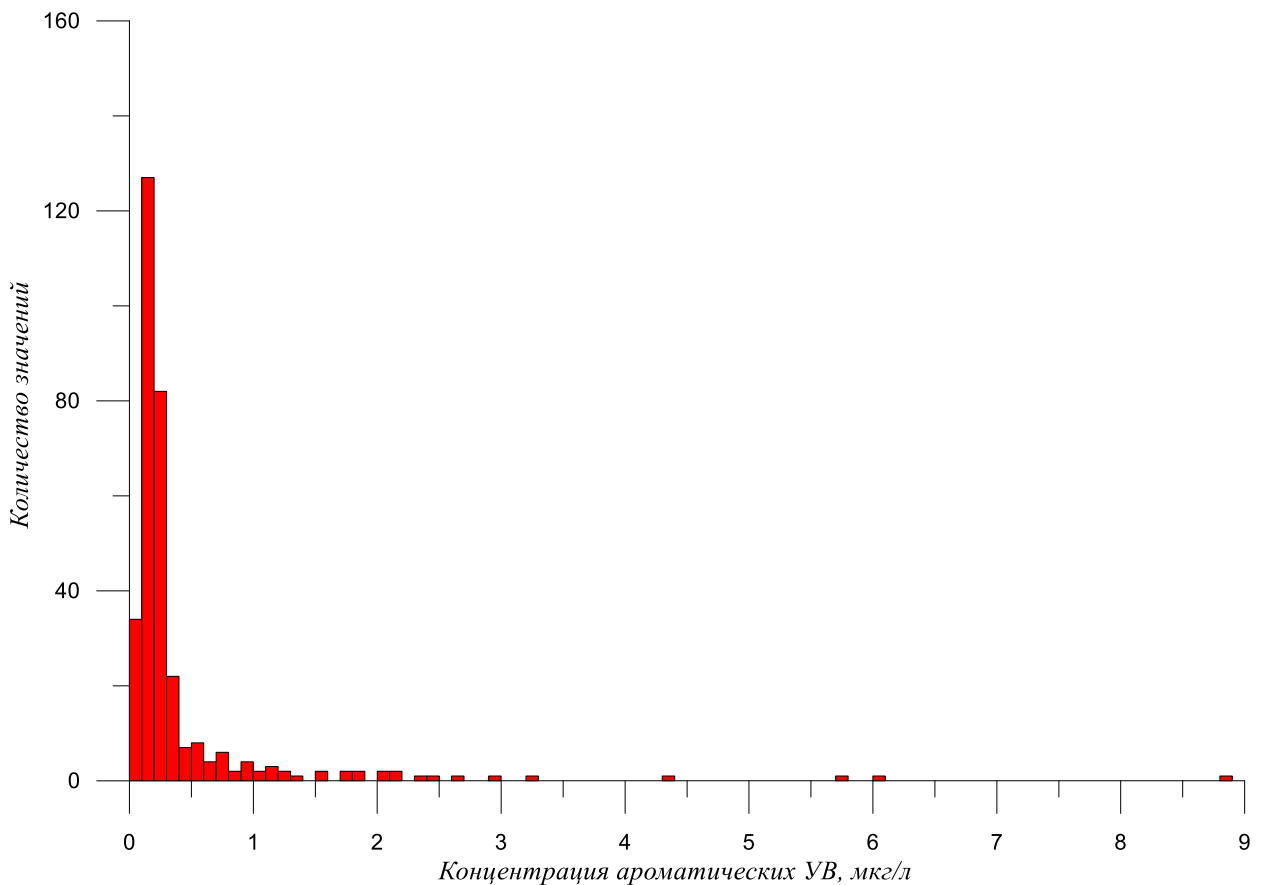


Рисунок 4.11. Распределение значений концентрации ароматических УВ в пробах из придонно-пограничного слоя воды.

Из распределения значений концентрации ароматических УВ следует, что среднее значение концентрации в пределах исследуемой площади будет находиться в интервале от 0,1 до 0,3 мкг/л. Аномальными можно считать значения более 1 мкг/л для изучаемого региона.

Построение пространственного распределения значений концентрации ароматических УВ позволило увидеть, что аномальные значения концентрации достигаются в створе Байдарацкой губы (Рисунок 4.12). В этом районе фиксируются значения около 3 мкг/л, а в отдельных точках опробования на профиле 17 – более 5 мкг/л.

Повышенные значения концентрации ароматических УВ фиксируются в придонном слое воды на профилях 12, 14 и 19. Положение профилей приведено на Рисунке 2.1.

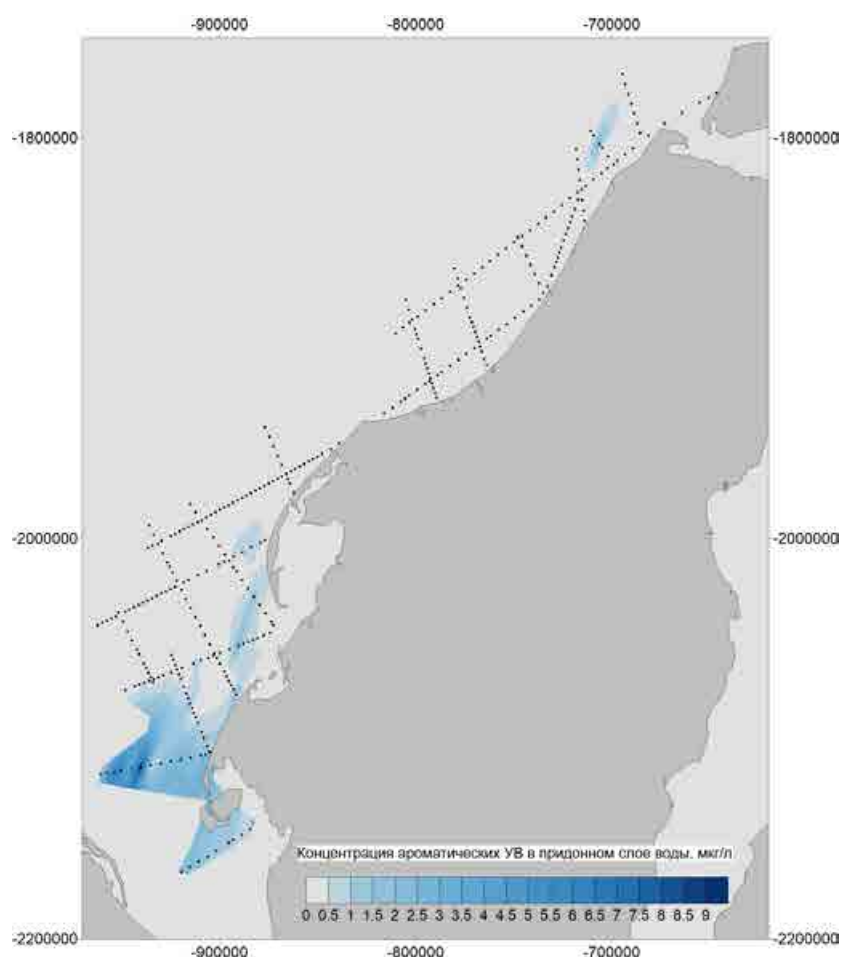


Рисунок 4.12. Концентрация ароматических УВ в придонно-пограничном слое воды. Координатная система: эллипсоид WGS84, проекция Полярная стереографическая, центральный меридиан 90°.

Таким образом, результаты исследований по содержанию углеводородных газов в донных осадках и придонно-пограничном слое водной толщи, а также группового состава УВЖ в пробах воды позволяют сделать следующие выводы:

1) содержание метана в газовой фазе придонно-пограничного слоя водной толщи по отношению к донным осадкам различается в пределах исследуемой площади, что связано с особенностями литологического состава осадков, в которых существенную роль играет песчаная фракция, которая обладает большей пористостью;

2) результаты совместного анализа геохимических данных свидетельствуют о вероятном наличии скоплений нефтяных углеводородов в разрезе осадочного чехла исследуемой акватории.

4.2. Комплексная интерпретация сейсмических и газогеохимических данных

В предыдущем разделе показаны результаты площадного распределения метана, жидких и ароматических УВ в придонном слое воды и в донных осадках. Выявлены области с аномальными значениями концентрации УВ. Однако без данных сейсморазведки невозможно выделить границы и глубину до ловушки УВ. Выявленные по сейсмическим данным две новые локальные структуры коррелируются с аномалиями геохимических показателей при площадном анализе [Жолондз, 2016 (б)]. Перспективность новых структур на УВ будет проверена результатами геохимических исследований вдоль профилей, пересекающих их (Рисунок 4.13).

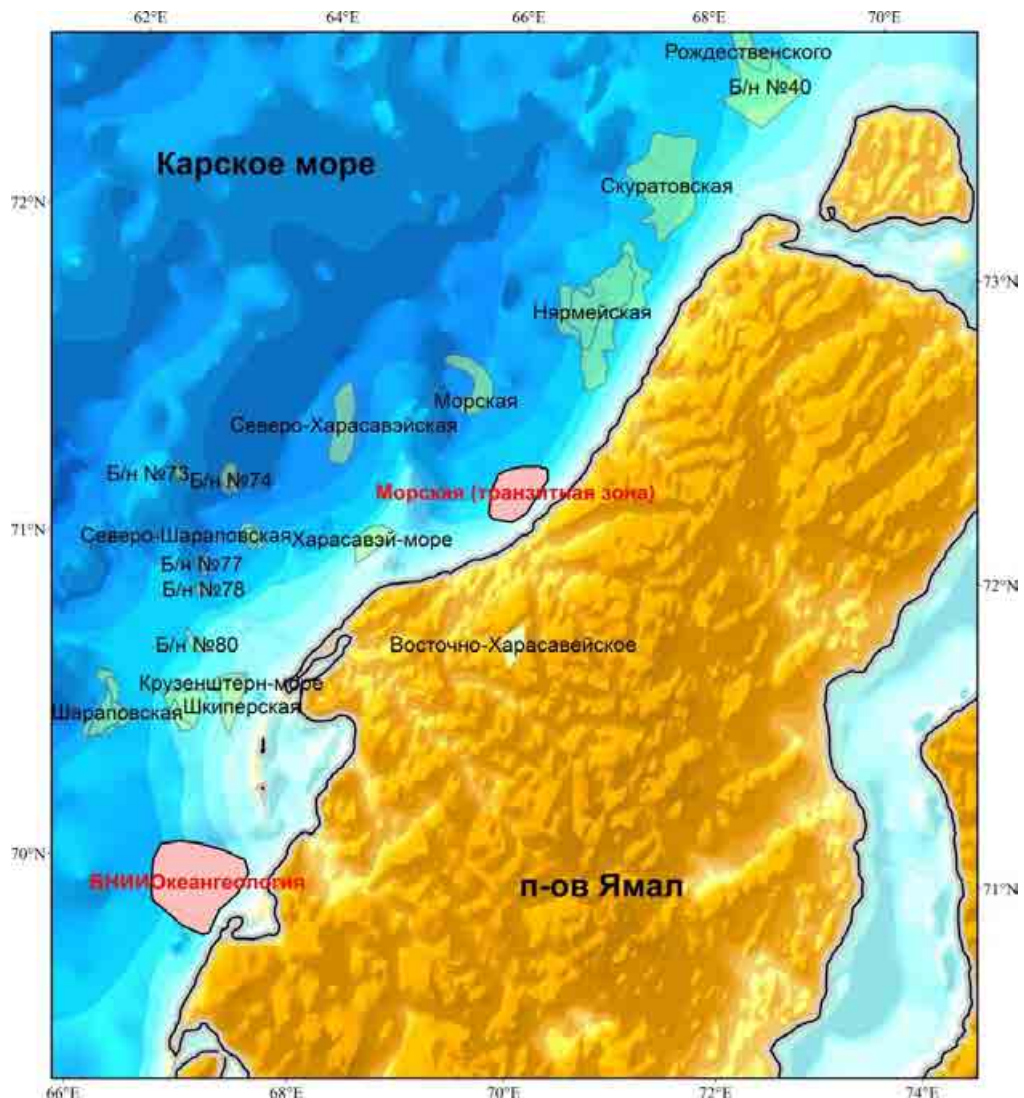


Рисунок 4.13. Положение новых локальных структур.

Координатная система: эллипсоид WGS84, проекция Полярная стереографическая, центральный меридиан 90°.

Структура Морская (транзитная зона) пересекается профилями 06 и 07, а структура ВНИИОкеангеология выделена по данным сейсмических профилей 14 и 15. Положение сейсмических профилей приведено на Рисунке 2.1.

Комплексный сейсмо-геохимический анализ на структуре Морская (транзитная зона)

Сводный сейсмо-геохимический профиль 06 (Рисунок 4.14). Профиль проходит на небольшом расстоянии от береговой линии, юго-западным флангом выходит на Харасавейское поднятие. Вдоль линии профиля проведено 23 станции пробоотбора.

Пересечение с сейсмическим профилем 07 находится в районе станции (ст.) 06-14. Новая выявленная структура Морская (транзитная зона) находится между ст. 06-13 и 06-19, представлена антиклинальным перегибом в юрских и меловых отложениях размером структуры около 23 км. На этом участке профиля в результатах геохимического анализа выявлены повышенные значения суммы C_1-C_5 , метана, УВЖ и появление парафина в донных осадках. В водном слое отмечено резкое повышение концентрации суммы C_1-C_5 и метана, а также CO_2 .

Между ст. 6-06 и 6-20 в донных осадках присутствует пелитовая фракция. Наблюдаемые аномальные концентрации метана на участке между ст. 6-06 и 6-09 возрастают с приближением к Харасавейской структуре. Здесь же выявлены аномалии суммы гомологов метана и пропана.

В характере распределения метана, суммы его гомологов, пропана в придонно-пограничном слое водной толщи повышенные концентрации отмечаются на отдельных отрезках профиля между ст. 6-03 и 6-07, 6-16 и 6-21, коррелируясь с антиклинальными перегибами в нижнемеловых и юрских отложениях. На ст. 6-17 отмечается однократный всплеск всех показателей газообразных и жидких углеводородов с парафином.

Сводный сейсмо-геохимический профиль 07 (Рисунок 4.15). Морской участок профиля проходит в северо-западном направлении от береговой линии, пересекает профили 01 и 06. На профиле выполнено 15 станций пробоотбора донных осадков и воды из придонно-пограничного слоя водной толщи. Рельеф дна ровный с плавным погружением между ст. 07-05 и 07-15. Между ст. 07-01 и 07-05 наблюдается обрывистое погружение дна.

Пересечение с профилем 06 находится в районе ст. 07-13. Локальная структура Морская (транзитная зона) выделяется на участке между ст. 07-07 и 07-15. Её размер по профилю составляет примерно 23 км.

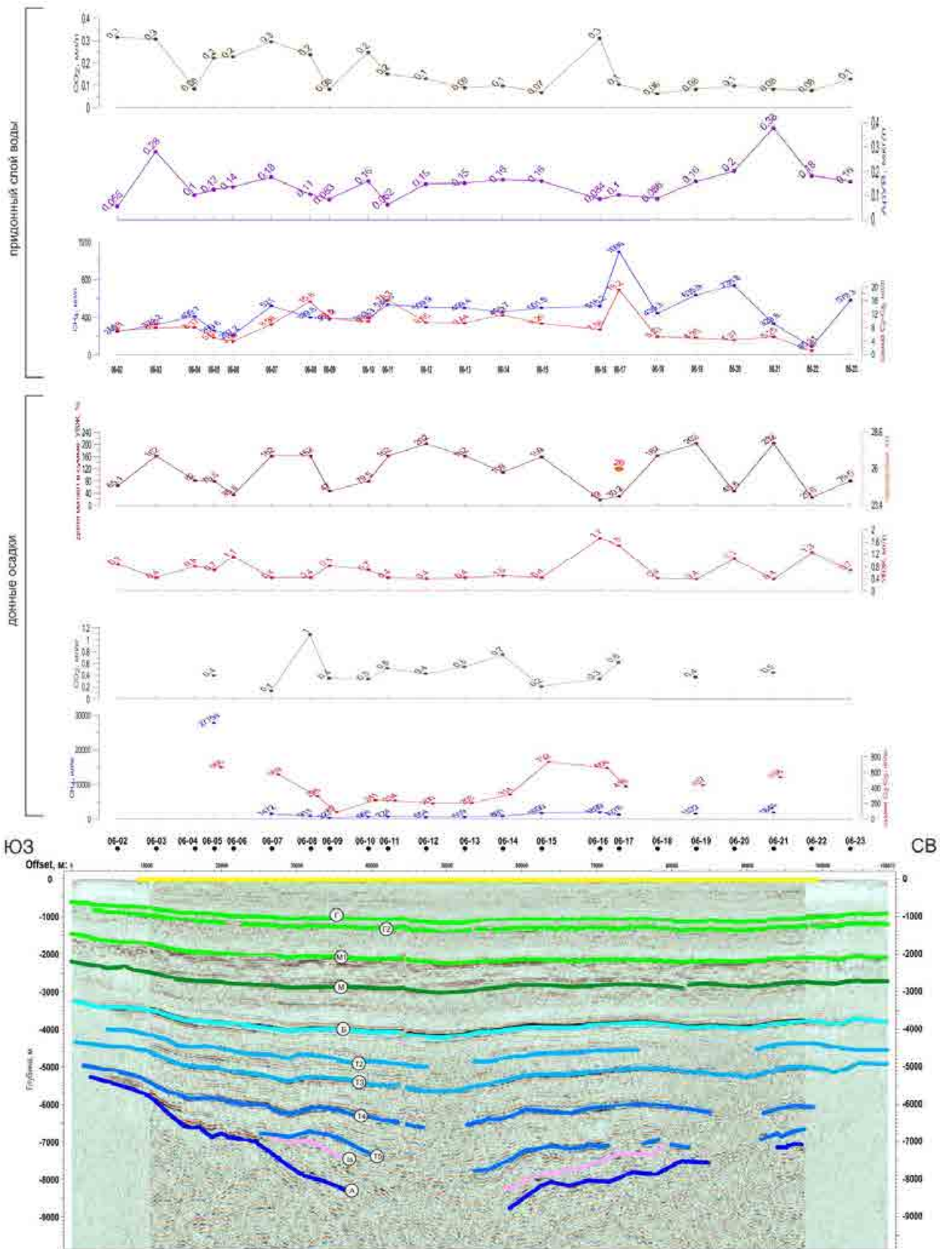


Рисунок 4.14. Сводный сейсмо-геохимический профиль 06.

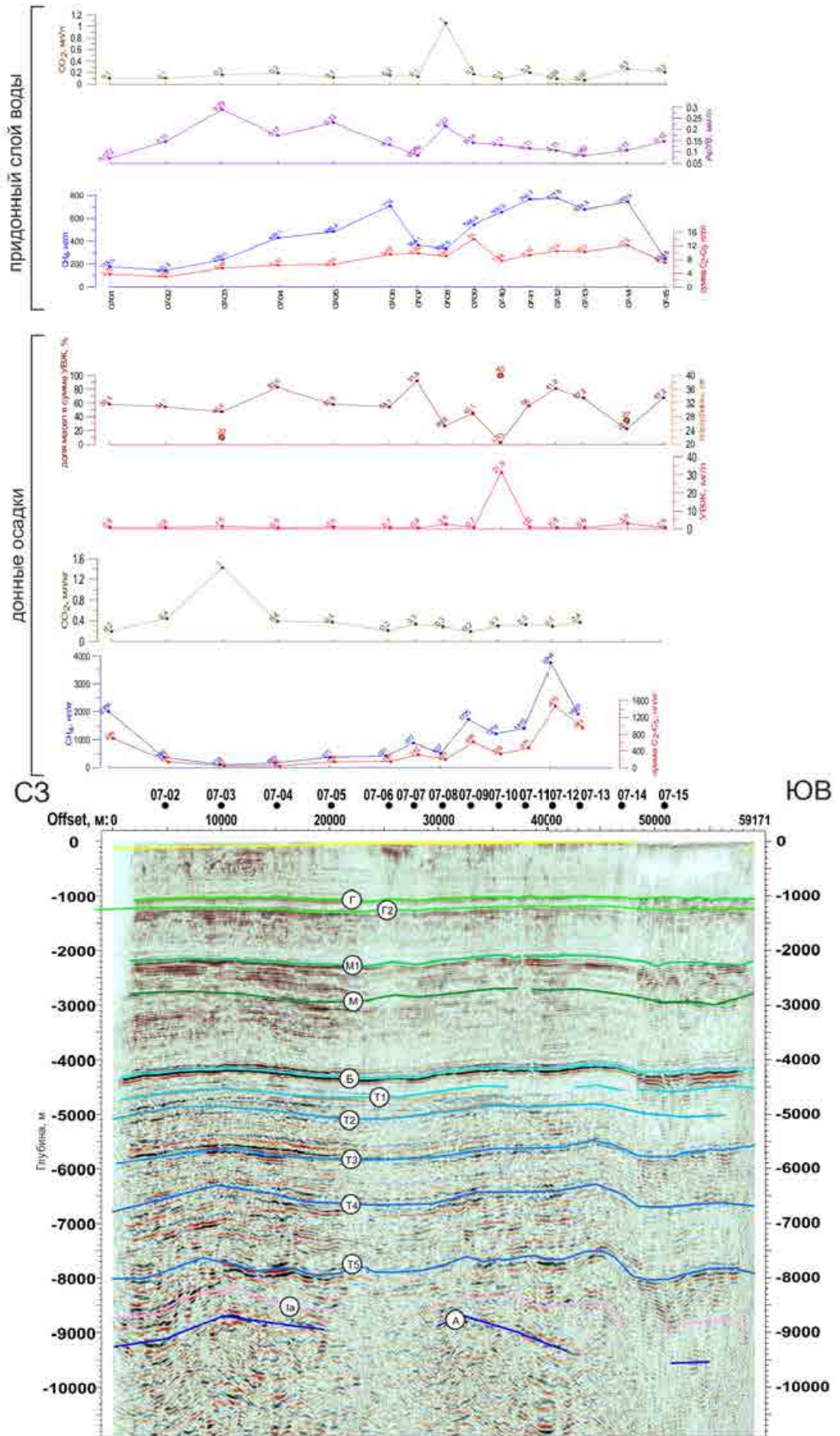


Рисунок 4.15. Сводный сейсмо-геохимический профиль 07 (морская часть).

На северо-западном окончании профиля между ст. 07-01 и 07-05 на сейсмическом разрезе выделен антиклинальный перегиб, охватывающий весь разрез осадочного чехла от палеозоя до нижнего мела – фланг Морской локальной структуры. В геохимических данных выражена одноточечная аномалия по сумме гомологов метана C_2-C_5 с слабо повышенной концентрацией жидких углеводородов с преобладающей долей масел и наличием парафинов.

Ароматические углеводороды на ст. 07-03 слабо повышены. В характере сейсмической записи в районе ст. 07-03 в меловой части разреза интерпретируется разрывное нарушение. Начиная со ст. 07-05 и до ст. 07-14 включительно отмечаются повышенные содержания метана в донных осадках и придонной воде, а также появляются повышенные концентрации пропана. Анализ группового состава жидких углеводородов показал наличие аномалий на участке ст. 07-08 и 07-15 с высокой долей масел и парафинами. На сейсмическом разрезе этот аномальный участок коррелируется с антиклинальным перегибом, соотносимым с новой локальной структурой. Описанная аномалия может быть связана с проявлениями нефти, газа и газоконденсата в разрезе осадочного чехла.

Таким образом, новая локальная структура, выделяемая на пересечении профилей 07 и 06, представляет собой антиклиналь с размерами около 20 на 20 км в горизонтальной плоскости и амплитудой, изменяющейся от 300 м по кровле юрских отложений до 50 м по поверхности верхнемеловых отложений.

Так как на северо-западном фланге профиль 07 подходит к локальной структуре Морская, а новое локальное поднятие выделяется в ранее неисследованной транзитной зоне, то возможно, что новая структура может быть частью уже известной, более крупной. По этой причине название новой структуре дано Морская (транзитная зона).

На Рисунке 4.16 приводится объемный вид новой структуры в интерпретированном волновом поле.

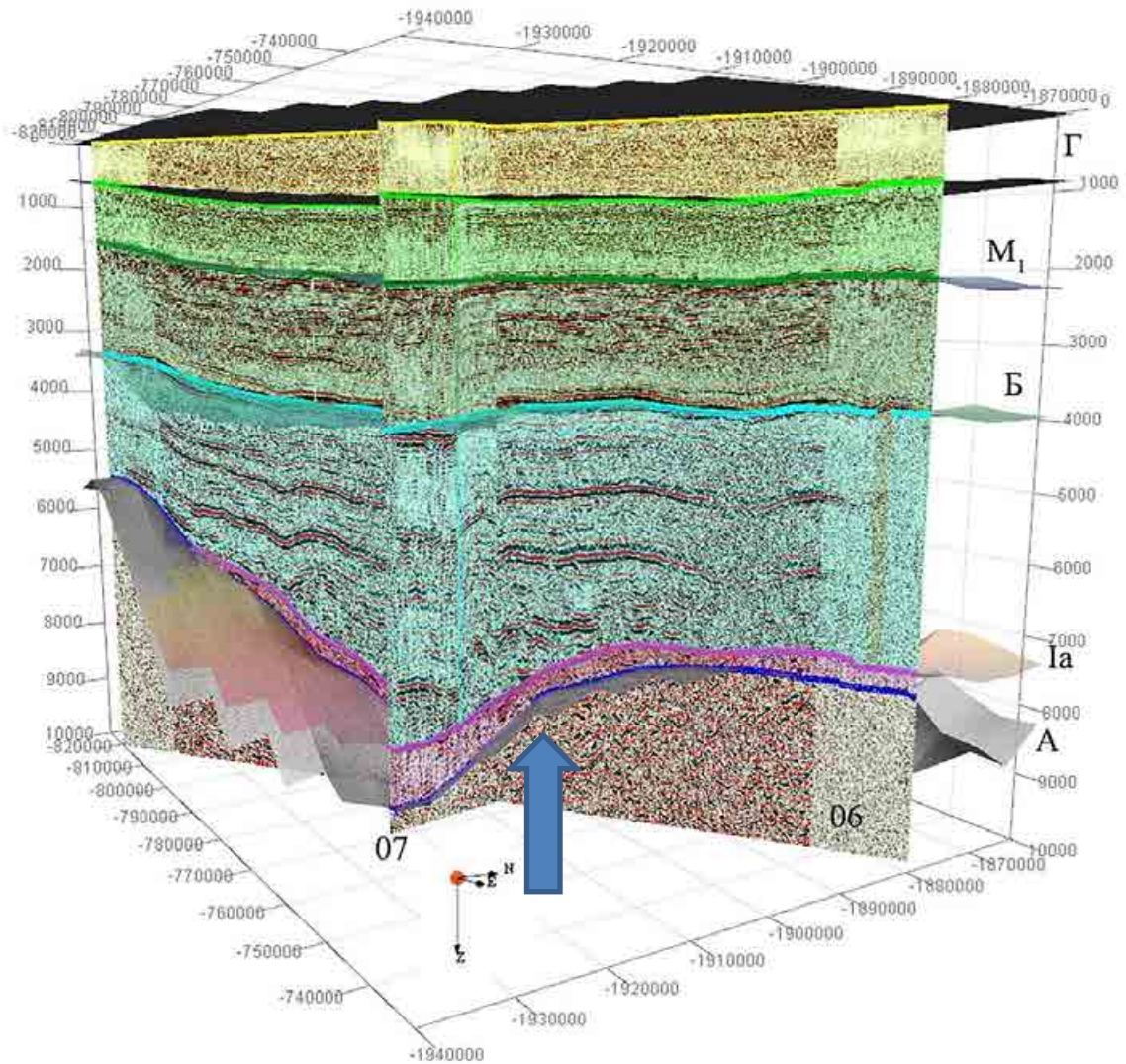


Рисунок 4.16. Проявление локальной структуры Морская (в транзитной зоне) в интерпретированном волновом поле.

Полезным с точки зрения выделения и анализа аномальных участков может быть динамический анализ сейсмических записей [Степанов, 2013]. В основе этого анализа лежит оценка динамических параметров импульсов или интервалов сейсмотрасс. В области времен можно измерить ряд параметров сейсмических волн, таких как максимальная амплитуда импульса, амплитуды фаз импульсов, видимый период импульса, время вступления первого импульса, длительность импульса. С помощью преобразования Фурье можно перевести сейсмотрассу в область частот и определить параметры, описывающие форму амплитудного спектра. Существует более 50 различных динамических параметров, которые можно разделить на несколько групп:

- 1) амплитудные;
- 2) частотные;

- 3) энергетические спектральные;
- 4) характеризующие изменение формы импульса или амплитудного спектра.

Динамические параметры в сейсморазведке называют сейсмическими атрибутами – локальными особенностями записи колебаний, которые измеряют и анализируют с целью детальной геологической интерпретации волной картины.

С помощью преобразования Гильберта вычисляется мнимая часть сейсмической трассы по ее действительной части, в результате чего спектр комплексной трассы оказывается отличным от нуля только в области положительных частот [Боганик, 2006].

Используя данный метод, находят производные трассы исходной сейсмической трассы – мгновенную амплитуду, мгновенную частоту и мгновенную фазу.

Временной разрез мгновенной амплитуды показывает акустическую контрастность слоев, несет в себе информацию о распределении локальных неоднородностей в пространстве.

Временной разрез мгновенной фазы отображает гладкость сейсмических границ, но при этом значения амплитуд игнорируются и вся сейсмическая запись приводится с одинаковыми значениями амплитуд. Этот тип сейсмических атрибутов помогает выделять в волновом поле зоны смещения фаз, которые могут быть связаны, например, с разломами или рифогенными образованиями.

Временные разрезы мгновенной частоты показывают одновременное влияние таких факторов, как частотно-зависимое поглощение энергии волн, изменения спектральных характеристик волн, отраженных от тонких слоев. Это позволяет лучше увидеть области с пониженными значениями частот и некоторые локальные аномалии геологической среды по повышенным значениям частот.

На Рисунке 4.17 приведен временной сейсмический разрез в мгновенных частотах.

На рисунке отчетливо видно, что в диапазоне 55 – 80 км по линии профиля на временах между 3 и 3,5 с выделяется локальное поднятие с пониженными значениями частоты.

При увеличении видно, что под рефлексором Б, являющегося кровлей структуры, находится горизонтальная граница, формирующая линзовидное тело, которое особенно хорошо заметно на сейсмическом разрезе мгновенной фазы (Рисунок 4.18).

Таким образом, можно примерно предположить, какая площадь и на какой глубине может быть целью для детального изучения данной локальной структуры.

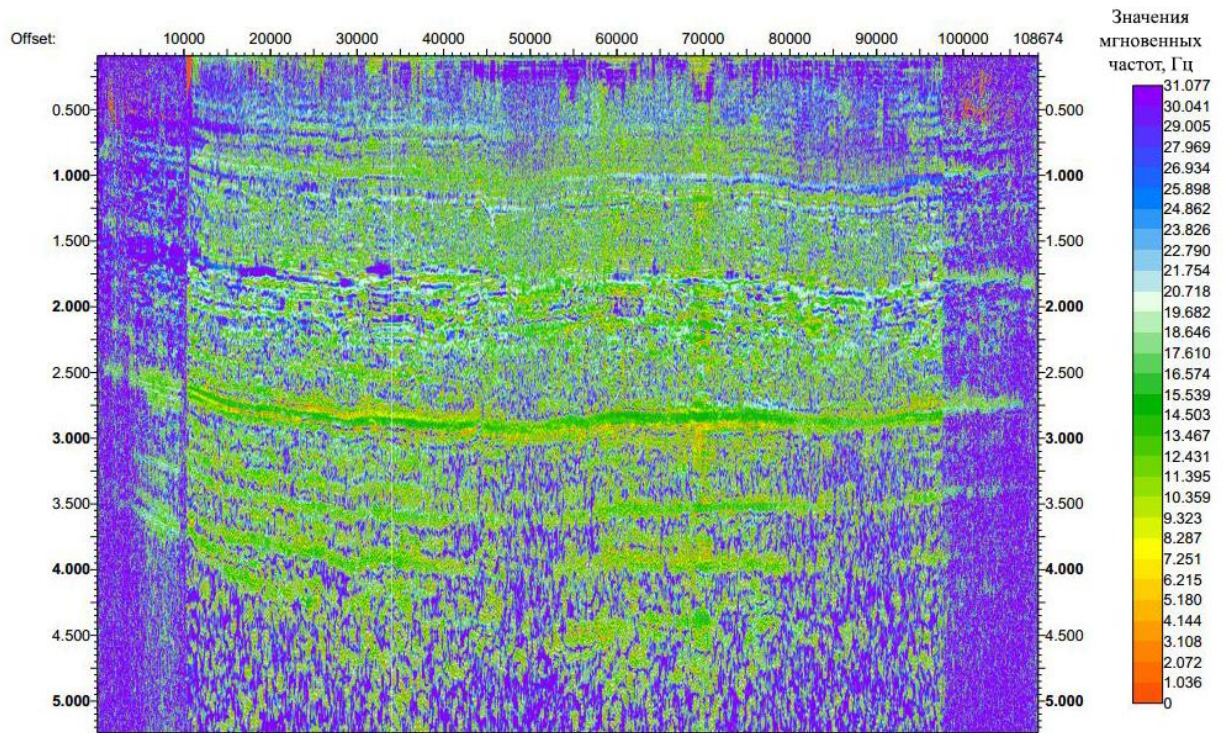


Рисунок 4.17. Временной сейсмический разрез в мгновенных частотах по профилю 06.
Горизонтальная ось – расстояние вдоль профиля (м).

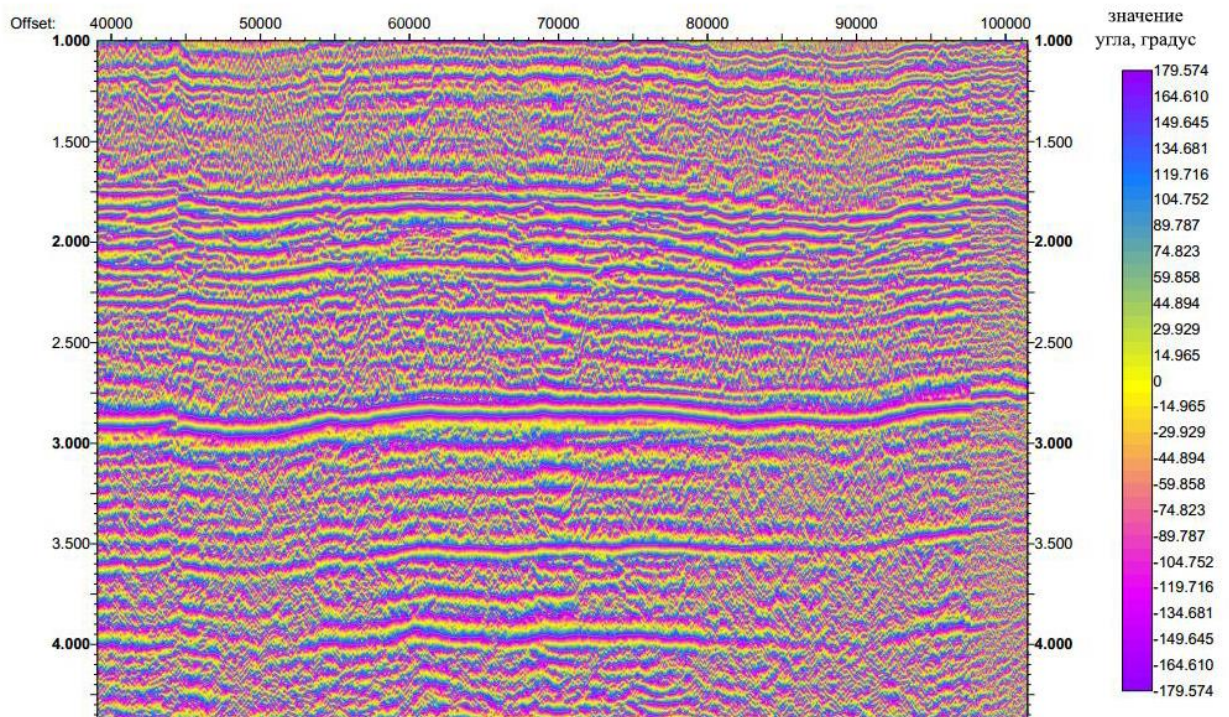


Рисунок 4.18. Фрагмент временного сейсмического разреза в мгновенных фазах вдоль профиля 06.

Комплексный сейсмо-геохимический анализ на структуре ВНИИОкеангеология

Сводный сейсмо-геохимический профиль 14. (Рисунок 4.19). Профиль ориентирован в северо-восточном направлении от берега Ямала, пересекает профили 12, 15, 16, 10.

На профиле выполнено 23 станции пробоотбора. Рельеф дна ровный. Донные осадки представлены мелкозернистыми и алевритистыми песками, алевритами слабо илистыми и глинистыми илами. Газообразные углеводороды и двуокись углерода в интервале ст. 14-01 – 14-05, где донные отложения представлены глинистыми илами. Далее до конца профиля распространены только пески и алевриты без глинистой фракции.

Донные осадки слабо аномальны и изменчивы по газообразным углеводородам – метану, сумме его гомологов и пропану в интервале между ст. 14-02 и 14-07. Они совпадают с зоной выклинивания отложений юрского возраста на сейсмическом разрезе, ограниченной крупным разломом в районе ст. 14-07.

В интервале между ст. 14-02 и 14-10 присутствует изменчивая аномальная концентрация суммы битумоидов с 70-80% долей масел с единичным аномальным и небольшим общим повышением содержанием ароматических углеводородов.

На пересечении с профилем 15 (между ст. 14-14 и 14-15) по сейсмическим данным выявлена локальная структура. Она проявляется на протяжении примерно 27 км между ст. 14-10 и 14-16. С юго-западной стороны появление потенциально перспективного участка связано со стратиграфическим выклиниваем горизонта Б. На северо-восточном фланге потенциальная ловушка тектонически экранируется крупным разломом, который хорошо виден в волновом поле на сейсмическом разрезе.

В донных осадках внутри новой перспективной области отмечено повышение концентрации суммы гомологов метана C_2-C_5 и самого метана в донных отложениях и в придонном слое воды. Также в осадках наблюдаются высокие значения концентрации CO_2 и масел. На северо-восточном фланге структуры выявлен резкий подъем значений УВЖ. Все эти признаки указывают на высокую перспективность данного участка для поиска УВ.

По данным геохимического анализа поисковый интерес можно расширить на участок от ст. 14-16 и до ст. 14-21, как аномальный по сумме гомологов метана, пропану, битумоидов и с наиболее высокой долей масел в пределах 95-98%, с парафинами и ароматическими углеводородами. Эта аномалия может быть связана с проявлением нефти и газоконденсата в нижнемеловых и юрских отложениях.

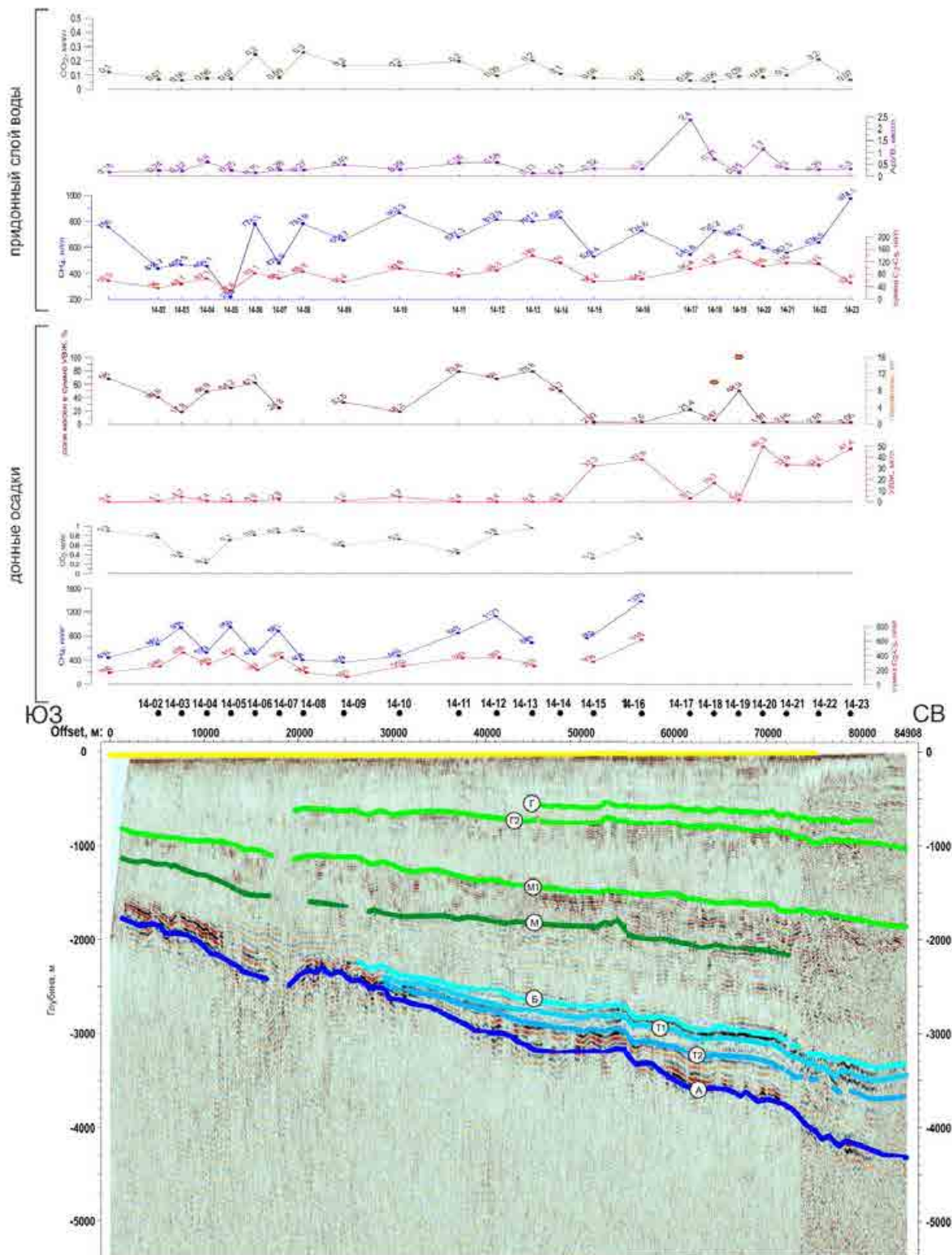


Рисунок 4.19. Сводный сейсмо-геохимический профиль 14.

Сводный сейсмо-геохимический профиль 15. (Рисунок 4.20). Профиль ориентирован в северо-западном направлении, начинается от береговой линии. На профиле выполнено 24 станции пробоотбора. Рельеф дна с пологим наклоном в мористую сторону, с небольшим уступом в районе ст. 15-02. Донные осадки в прибрежной зоне в интервале ст. 15-17 – 15-24

представлены песками. В основном это илестые пески и глинистые илы от голубовато-серой до черной окраски.

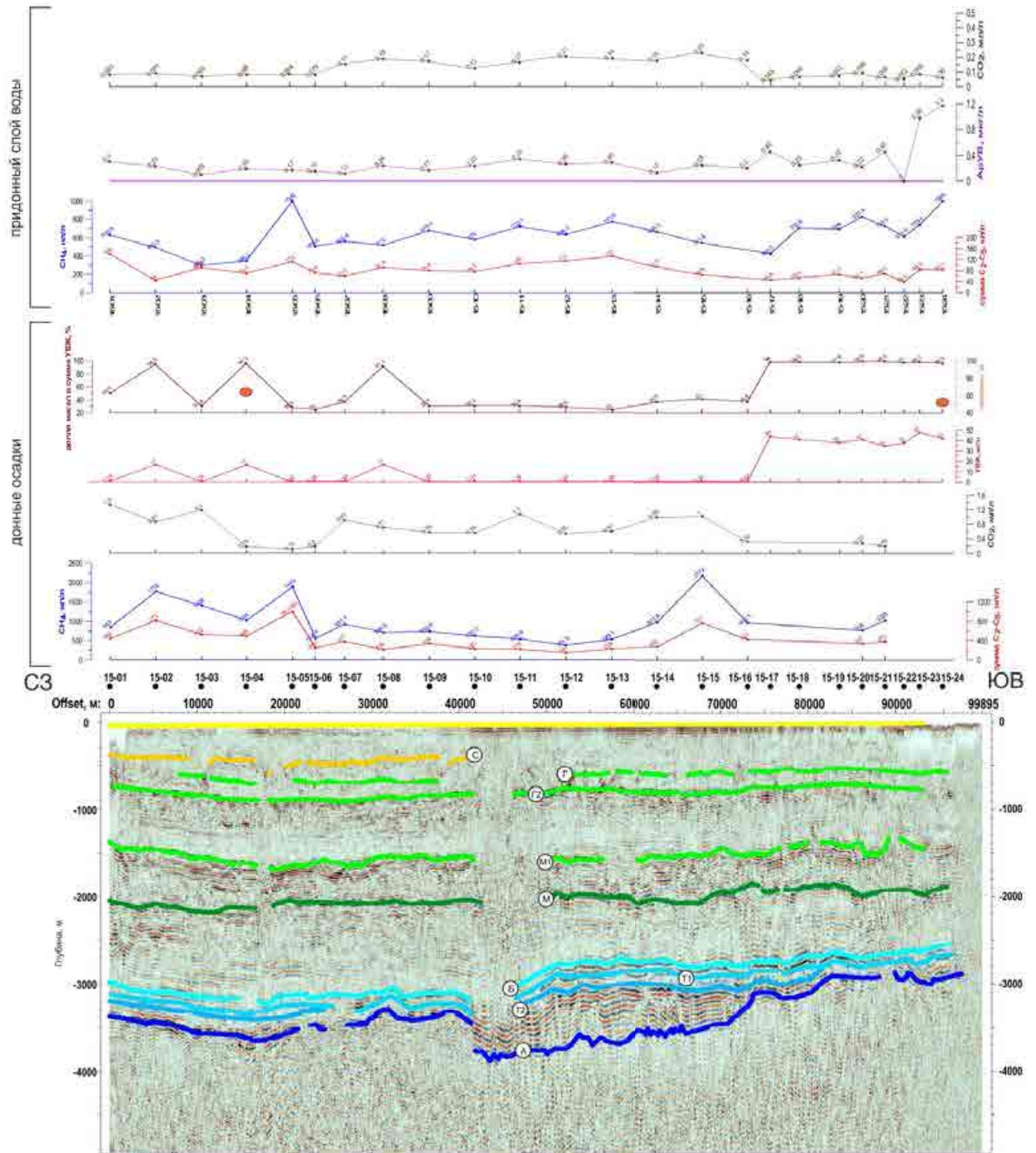


Рисунок 4.20. Сводный сейсмо-геохимический профиль 15.

Пересечение с профилем 14 находится около ст. 15-16.

Описываемая локальная структура находится в интервале между ст. 15-10 и 15-19. В сейсмическом поле она выглядит тектонически экранированной с обеих сторон, внутри которой

выделен прогиб горизонта А, а в юрских и ниже-меловых отложениях – антиклинальный перегиб. Длина структуры вдоль профиля составляет приблизительно 43 км.

По результатам геохимического анализа аномальный интервал газообразных углеводородов по метану, сумме его гомологов и пропану, проявившийся между ст. 15-01 и 15-06 по донным отложениям и в интервале ст. 15-01 и 15-08 в придонном слое воды, дополнен битумоидами с долей масел 91-96%, фиксируется содержанием парафина.

В связи с близостью Шараповской структуры к первым пунктам опробования на линии профиля не исключена возможная связь флюидных субмаринных разгрузок с контуром проявления нефти и газоконденсата со стороны указанной структуры, что фиксируется на описываемом профиле.

Другая аномальная область, связанная с проявлениями разгрузок нефтяного и газоконденсатного типа углеводородов, выявлена на конце профиля между ст. 15-16 – 15-24. Указанная область коррелируется с контрастным антиклинальным перегибом на сейсмогеологическом разрезе по нижнемеловым и юрским отложениям с относительно повышенными содержаниями метана, суммы его гомологов и пропана при высоких концентрациях суммы битумоидов с долей масел 96-98% с парафином. Здесь же отмечаются и повышенные концентрации ароматических углеводородов и аномальные на двух станциях – 15-23 и 15-24. В районе последней станции выделена сильно аномальная концентрация метана. Этот аномальный участок согласуется с аналогичными аномалиями на профиле 14. Такие значения связаны с вероятными проявлениями нефти и, возможно, газоконденсата в нижнемеловом и юрском разрезе осадочного чехла.

По сейсмическим данным, структура ВНИИОкеангеология, названная так по предложению Г.Г. Ткаченко, представляет собой объект, который с одного фланга ограничен стратиграфическим прилеганием горизонта Б к горизонту А, а на противоположном фланге проявляется как тектонически ограниченная структура (Рисунок 4.21).

В динамических сейсмических атрибутах изображение данной структуры выделяется несколькими особенностями волнового поля. В поле мгновенных частот структура ВНИИОкеангеология четко обозначается понижением частот сейсмического сигнала (Рисунок 4.22). Это может свидетельствовать о наличии внутри структуры области, сильно меняющей частотный спектр сигнала. В данном случае это может быть, например, флюид или флюидонасыщенный пласт. Другими словами, появление в разрезе мгновенных частот низкочастотных аномалий говорит о том, что область является перспективным объектом для изучения на предмет нефтегазоносности.

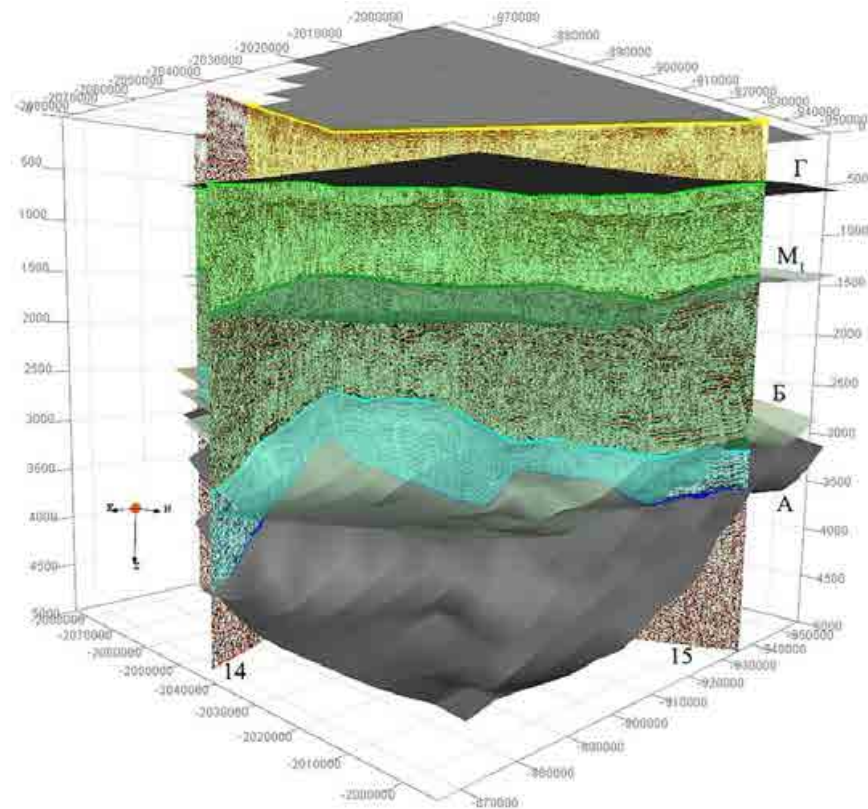


Рисунок 4.21. Объемное изображение локальной структуры ВНИИОкеангеология

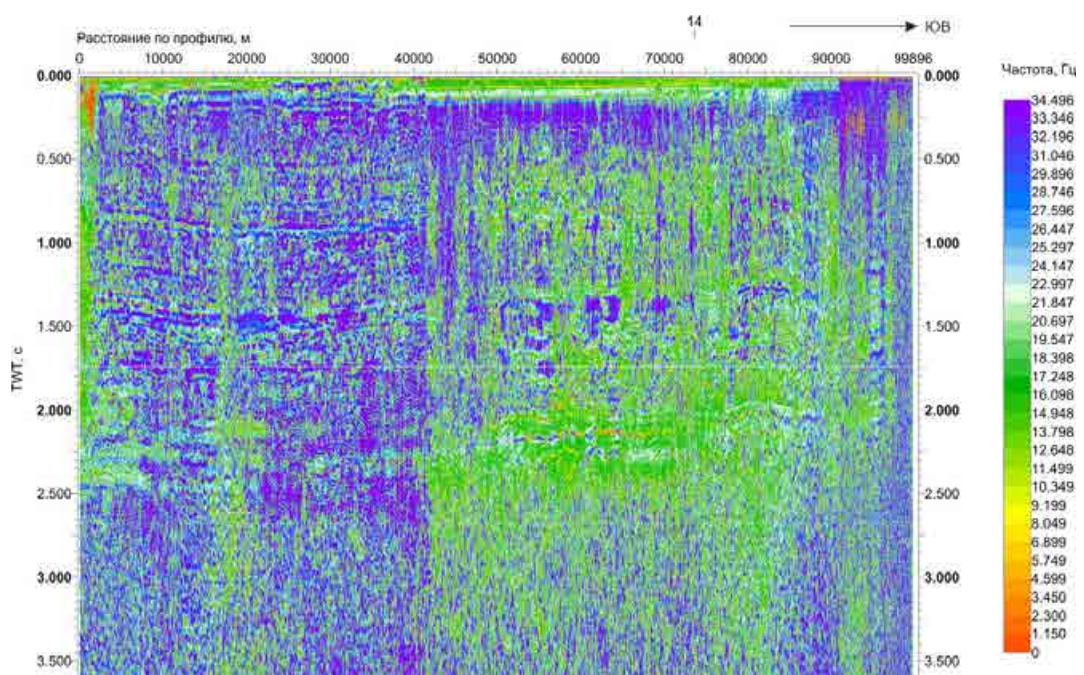


Рисунок 4.22. Временной разрез в мгновенных частотах по профилю 15.

На Рисунке 4.23 приведено объемное изображение структуры ВНИИОкеангеология, на котором лучше видно выклинивание комплекса А-Б на профиле 14.

При этом необходимо отметить частотное различие сейсмической записи вдоль линии профиля. На первых сорока километрах отмечается относительно повышенная частотная характеристика волнового поля в мгновенных частотах. Затем на временах до 2 с выделяются три зоны пониженных частот, в основании которых находится область низких частот.

Вероятно, что такое выражение в волновом поле имеет разломная зона шириной около 8 км. Затем на протяжении почти 40 км на временах от 2 до 2.5 с выделяется область низких частот, соответствующая выделяемой структуре ВНИИОкеангеология.

В разрезе мгновенных частот по профилю 14 блокового деления среды вдоль профиля, как это было показано ранее на профиле 15, не выделяется (Рисунок 4.24). То есть профиль 14 проходит вдоль блока, а профиль 15 – в поперечном направлении.

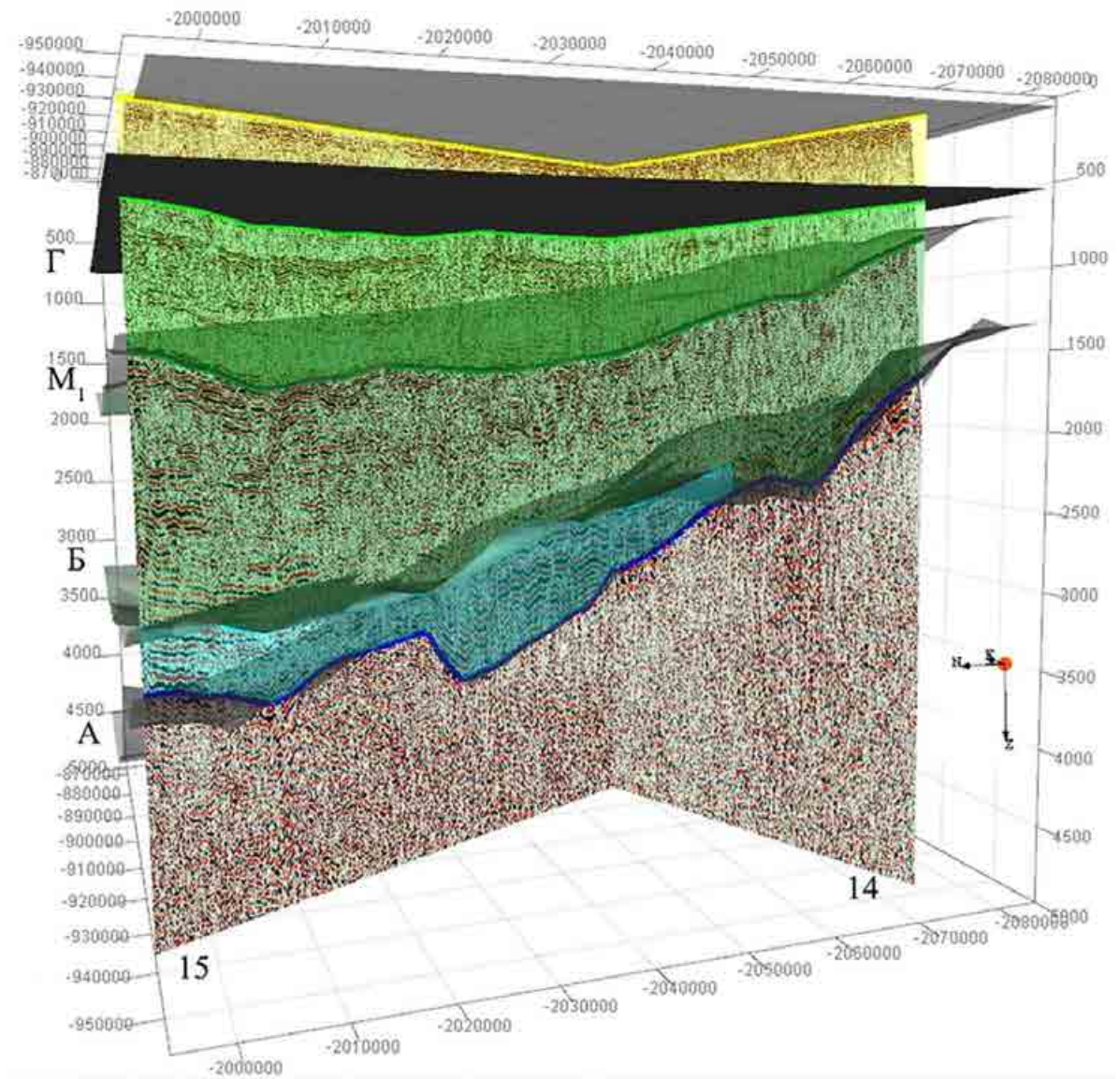


Рисунок 4.23. Объемное изображение локальной структуры ВНИИОкеангеология

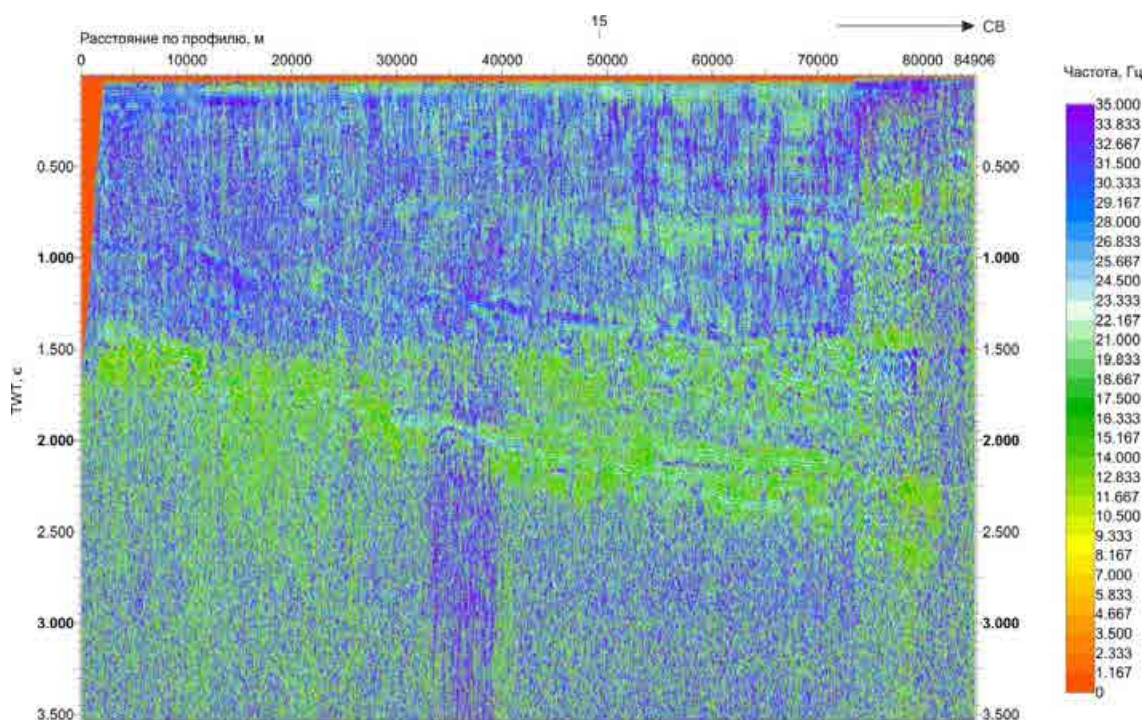


Рисунок 4.24. Временной разрез в мгновенных частотах по профилю 14.

4.3. Выводы

В результате совместного анализа данных сейсморазведки и газогеохимического анализа были подтверждены две новые локальные структуры – Морская (в транзитной зоне) и ВНИИОкеангеология, положение которых показано на Рисунке 4.13.

По предварительным оценкам, площадь локальной структуры Морская в транзитной зоне составляет около 550 кв. км. Оценка площади по локальной структуре ВНИИОкеангеология дает значение около 940 кв. км. Естественно, эти оценки очень приблизительны и получены по пересечению двух профилей в каждом случае.

Результаты газогеохимического анализа показывают, что указанные площади имеют большую вероятность обнаружения месторождений углеводородов. При этом на локальной структуре ВНИИОкеангеология возможно обнаружение углеводородов в жидкой фазе, в том числе нефти.

Таким образом, можно сформулировать третье защищаемое положение:

Корреляция сейсмического атрибутивного анализа и геохимических признаков нефтегазоносности (повышенные концентрации метана и его гомологов, ароматических и жидких углеводородов) позволяет выявить локальные перспективные участки в транзитной зоне приамальского шельфа Карского моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что полученные результаты имеют высокую практическую ценность:

1. Предложенная и апробированная методика наблюдений в транзитной зоне позволила получить сейсмическую запись, сопоставимую по качеству с данными морских и сухопутных наблюдений.
2. Подготовлены методические рекомендации по проведению сейсморазведочных работ в транзитной зоне с применением четырехкомпонентных донных станций и обоснованы преимущества использования такой системы регистрации сейсмических волн.
3. Разработан и проверен научно-методический подход, применяя который удается получать физические характеристики осадочных пород в транзитных зонах. Подход основан на использовании отраженных и обменных волн, зарегистрированных четырехкомпонентными донными станциями, и может быть использован при работах в слабоизученных районах. Он позволяет вычислять соотношения скоростей продольных и поперечных волн и, как следствие, коэффициент Пуассона. Практическое применение показало хорошую сходимость результатов вычисленных литологических характеристик слоев с данными по скважинам.
4. Проведена непрерывная корреляция горизонтов от скважины на суше в море через транзитную зону. Потери кратности при этом не было, глубинность и четкость выражения сейсмокомплексов оставалось одинаковой. В результате составлена единая сеймостратиграфическая модель горизонтов на основе данных скважин. Апробированная методика проведения сейсморазведочных работ в транзитной зоне внедрена в практику работ в ОАО МАГЭ.
5. Переинтерпретация сейсмических данных по профилям в южной части Карского моря в соответствии с составленной сводной сеймостратиграфической колонкой позволила актуализировать данные о структурах региона и их границах. Анализ волнового поля сейсмических разрезов дал возможность выявить дизъюнктивные нарушения, которые находят выражение на площади, что позволяет проследить выявленные дизъюнктивы в латеральном направлении. В результате проведенного исследования составлена сводная схема дизъюнктивных нарушений. Это важно для понимания закономерности размещения месторождений, так как главный критерий нефтегазоносности недр Ямала – это структурно-тектонический фактор [Астафьев, 2006].

6. Установлено, что центральная депрессионная часть Южно-Карской впадины в мезозойское время испытала три этапа погружения. Первый этап имел место в ранне(?)-среднетриасовое время и затронул южный борт структуры, что проявилось в образовании крупного сброса. Второй этап – в юрское время с образованием линейной грабеновой структуры – Белоостровского прогиба – на восточном борту структуры. И третий этап – в раннемеловое время, выразившийся в общем погружении площади.
7. Проведенные впервые в транзитной зоне сейсмические исследования позволили выявить две новые локальные структуры, которые находятся на пересечении профилей, что позволяет примерно оценить их размеры.

Одна локальная структура представляет собой антиклинальный перегиб. Амплитуда меняется с глубиной от 100 до 300 м. Горизонтальные размеры поднятия около 20 км. Выраженная в поле мгновенных фаз горизонтальная граница в куполе новой структуры позволяет сделать предположение о ее перспективности для обнаружения углеводородных залежей. Результаты геохимических исследований подтверждают, что выявленная структура может быть перспективной для постановки детальных работ, направленных на поиски углеводородов. В связи с близостью ранее разведанной структуры Морская новой структуре дали название Морская (транзитная зона).

Вторая структура – ВНИИОкеангеология – ограничена сверху выклинивающимся горизонтом Б, а на флангах – разломами. Волновое поле внутри структуры имеет пониженные частоты, а в поле мгновенных амплитуд имеет пониженные значения отражающей способности. Вместе с данными геохимического анализа, показывающими в донных осадках следы парафинов, повышенное содержание масел и суммы гомологов метана, можно сделать предположение о перспективности данной структуры для выполнения поисково-разведочных работ на нефть и газ.

Список литературы

ОПУБЛИКОВАННАЯ

1. Алешин, А.С., Пиоро, Е.В. О влиянии обводненности грунтов на результаты сейсмического микрорайонирования // Инженерные изыскания. – № 4. – 2015. – С. 34-40.
2. Ананьев, В.В., Винокуров, И.Ю. Некоторые методические аспекты нефтегеологического районирования Баренцево-Карского региона // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – № 2. – 2007. – С. 1-10.
3. Аглонов, С.В. Геодинамика глубоких осадочных бассейнов. // СПб: ЦГИ ТЕТИС. – 2000. – 212 с.
4. Аглонов, С.В. Геодинамика: Учебник. // СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. – 2001. – 360 с.
5. Арктические и дальневосточные моря. Т. 5 "Арктические моря", книга 1. Редакторы Грамберг И.С., Иванов В.Л., Погребницкий Ю.Е. СПб: ВСЕГЕИ. – 2004. – С. 252 - 274.
6. Артюшков, Е.В., Беляев, И.В., Казанин, Г.С., Павлов, С.П., Чехович, П.А., Шкарубо, С.И. Механизмы образования сверхглубоких прогибов: Северо-Баренцевская впадина. Перспективы нефтегазоносности // Геология и геофизика. – № 5–6. – Т. 55. – 2014. – С. 821 – 846.
7. Астапов, А.П., Генералов, П.П., Митюшева, В.С. и др. Объяснительная записка к Государственной геологической карте. М-б 1:1 000 000 (второе поколение). Лист R-(40), R-41, R-42 // ЗапСибГеоНАЦ, ВСЕГЕИ, ВНИИОкеангеология. – 2000.
8. Астафьев Д.А., Толстиков А.В., Шеин В.А., Кабалин М.Ю. Возможности оптимизации и повышения геолого-экономической эффективности газонефтепоисковых работ в акваториях Баренцева и Карского морей. // Вести газовой науки: Современные подходы и перспективные технологии в проектах освоения нефтегазовых месторождений российского шельфа. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. – No 2 (22). – С. 36–47.
9. Астафьев, Д.А., Скоробогатов, В.А. Тектонический контроль газонефтеносности полуострова Ямал. // Геология нефти и газа. – №2. – 2006. – С. 20 – 29.
10. Астафьев, Д.А., Скоробогатов, В.А., Радчикова, А.М. Грабен-рифтовая система и размещение зон нефтегазонакопления на севере Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 2008 – №4. – С. 3-9.

11. Атлас «Опорные геолого-геофизические профили России»ю Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 год. Электронное издание. // СПб.: ВСЕГЕИ. – 2013. – 94 с.
12. Афанасенков А.П., Никишин А.М., Унгер А.В. Мезо-кайнозойская история развития севера Западной и Восточной Сибири на основе анализа сейсмических данных (Гыдан, Усть-Енисейский район) // Геология нефти и газа. – 2017. – № 1. – С. 34 – 40.
13. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка: Учебник для вузов. Тверь: Изд-во АИС, 2006. – 744 с.
14. Богоявленский В.И., Будагова Т.А., Беженцев А.В. Термобарические условия Баренцево-Карского региона. // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика. [Электронный ресурс]. – 2010. – № 1. – 12 с. – Режим доступа: <http://oilgasjournal.ru/2009-1/1-rubric/bogoyavlensky.html>
15. Богоявленский В.И., Полякова И.Д. Перспективы нефтегазоносности больших глубин Южно-Карского региона. // Арктика: экология и экономика. – № 3(7). – 2012. – С.92 – 103.
16. Верба М.Л. Современное билатеральное растяжение земной коры в Баренцево-Карском регионе и его роль при оценке перспектив нефтегазоносности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – № 2– 2007–С. 1-37
17. Верба М.Л., Будагов А.Г., Келлер М.Б., Грязнов Н.Н., Григоренко Ю.Н. Проблемы изучения нефтегазоносности транзитных зон арктического шельфа России. // Геология нефти и газа. – №6. – 2000.
18. Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю. Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54.– № 8. – С. 1083-1107.
19. Винокуров И.Ю., Каленич А.П., Егоров А.С., Атаков А.И., Кузнецова И.Ф. Глубинное строение Баренцево-Карского региона. // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 10. – С. 23 – 30.
20. Воскресенский Ю.Н. Изучение изменений амплитуд сейсмических отражений для поисков и разведки залежей углеводородов. Учебное пособие для вузов. – М.: РГУ нефти и газа. – 2001 – 68 с.
21. Геологический словарь. В трех томах. Издание третье, перераб. и доп. / Гл. ред. О.В. Петров. Т. 1. А–Й. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 2010. – 432 с.
22. Геофизические методы исследований. В.К. Хмелевской, Ю.И. Горбачев, А.В. Калинин, М.Г. Попов, Н.И. Селиверстов, В.А. Шевнин. // Учебное пособие для

- геологических специальностей вузов. Под редакцией доктора геол.-мин. наук Н.И. Селиверстова. – Петропавловск-Камчатский: изд-во КГПУ. – 2004. – 232 с.
23. Геохимические методы поисков месторождений углеводородов. // М.: ЗАО «НПЦ Геохимия». – 2012. – 30 с.
24. Герман Е.В., Кисляков В.Н., Рейнин И.В. Геология и геоморфология п-ва Ямал - нового района перспективного для поисков нефти и газа. // Геология и нефтегазоносность севера Западной Сибири. Труды ВНИГРИ. 1963. Выпуск 225, с. 311 - 329.
25. Горная энциклопедия. // Гл. ред. Е.А. Козловский; Ред. кол.: М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдырев и др. – М.: Сов. энциклопедия. – Т.2 Геосферы - Кенай. – 1985. – 575 с.
26. Дараган-Сущева Л.А., Петров Е.О., Дараган-Сущев Ю.И. К вопросу о возрасте фундамента Баренцево-Карского региона. // Региональная геология и металлогения. – № 55. – 2013. – С. 21 – 27.
27. Дараган-Сущева Л.А., Петров О.В., Соболев Н.Н., Дараган-Сущев Ю.И. Сейсмогеологический анализ доюрских осадочных комплексов Южно-карской синеклизы в связи с тектоническим районированием осадочного чехла // Геология и геофизика. – Т. 55. – № 12. – 2014. – С. 1787 – 1801.
28. Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Карякин Ю.В., Кораго Е.А., Симонов В.А. Мезозойско-кайнозойский вулканизм и этапы геодинамической эволюции центральной и восточной Арктики. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1126 – 1144.
29. Ершов, С.С. Новые данные о строении осадочного чехла Западно-Сибирской плиты в районе полуострова Ямал // Доклады молодых ученых на XXXVI тектоническом совещании. – Москва. – 2003.
30. Жгенти С.А., Запорожец Б.В., Лещенко Д.П. Использование синхронного PZ-приёма колебаний при сейсморазведке в транзитных зонах для подавления интерференции волн в ближней зоне приемника. // Технологии сейсморазведки. – № 3. – 2008. – С. 46-56.
31. Жолондз А.С. Региональные исследования в мелководной зоне приямальской части Южно-Карского шельфа. // Геофизические методы исследования Земли и ее недр. Материалы X международной научно-практической конкурс-конференции молодых специалистов «Геофизика-2015». Под редакцией С.В. Аплонова, В.Н. Трояна, В.П. Кальварской. – 2016. – С. 39-46.

32. Жолондз А.С. Результаты регионального этапа изучения приямальской части Карского моря / А.С. Жолондз, В.А. Поселов [Электронный ресурс] // Матер. конф. EAGE «Геомодель 2016», 12–15 сентября 2016 года, Геленджик. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=86812>. (б)
33. Жолондз А.С., Павленкин А.Д. Новые данные к оценке перспектив нефтегазоносности Приямальской части южнокарского шельфа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т.10. – №3. – http://www.ngtp.ru/rub/5/26_2015.pdf
34. Жолондз А.С., Поселов В.А. Дизъюнктивные нарушения на шельфе приямальской части Карского моря // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2016. – Т.11. – №2. – http://www.ngtp.ru/rub/4/13_2016.pdf
35. Жолондз, А.С. Дизъюнктивные нарушения на приямальском шельфе Карского моря. // Материалы V Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов "Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана. – 2016. – С. 25. (а)
36. Жолондз, А.С. Новые данные о строении шельфа приямальской части Карского моря. // X Международная научно-практическая конкурс-конференция молодых специалистов «Геофизика-2015». Тезисы докладов. – 2015. – С. 47-48.
37. Жолондз, А.С. Предварительные результаты обработки сейсмических данных, полученных на приямальском шельфе Карского моря (на примере двух участков). // Материалы IV Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов "Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана". Отв. ред.: О.Е.Смирнов, А.Г.Редько, И.П.Моргунова. – 2014. – С.24-26.
38. Западная Сибирь // Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т.2. / Гл. ред. В.П. Орлов. Ред. 2-ого тома: А.Э. Конторович, В.С. Сурков – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 477 с. (МПР РФ; РАН, СНИИГГиМС, ВСЕГЕИ).
39. Запивалов Н.П., Исаев Г.Д. Критерии оценки нефтегазоносности палеозойских отложений Западной Сибири // Вестник Томского гос. ун-та. – 2010. – № 341. – С. 226-232.
40. Иванова Н.М., Беляев И.В., Дружинина Е.А., Нечхаев С.А., Стеблянка А.В., Куликов Т.Д. Геофизические исследования на мелководье Обской и Тазовской губ. // Разведка и охрана недр. – № 10. – 2011. – С.31-34.
41. Иванова Н.М., Беляев И.В., Сахань Ю.В., Левчук О.В. Геологическая модель и перспективы нефтегазоносности территории Гыданской, Юрацкой губ и южной части Карского шельфа // Разведка и охрана недр. – № 10. – 2011. – С.34-38.

42. Ивашин В.В., Иванников Н.А., Узбеков К.Х. К вопросу создания переносных импульсных невзрывных сейсмоисточников с индукционно-динамическим приводом. // Известия самарского научного центра Российской Академии Наук. – № 4. – Т. 15. – 2013. – С. 75 – 81.
43. Каминский В.Д., Супруненко О.И., Сулова В.В. Континентальный шельф российской Арктики: состояние изучения и освоения нефтегазовых ресурсов // Геология и геофизика. – № 8 (52) – 2011. – С. 977 – 985.
44. Кириллова-Покровская Т.А., Дьяченко А.Б. Дочехольное основание прибрежных зон Западно-Арктических морей // Разведка и охрана недр. – № 4. – 2014. – С. 13-18.
45. Колесов С.В., Кузин А.М., Зимовский А.В., Щедров В.А. Особенности результатов морских сейсмических работ в Карском море. // Технологии сейсморазведки. – № 4. – 2010. – С. 77-85
46. Колотухин А.Т., Логинова М.П. Нефтегазоносные бассейны России и СНГ: учебно-методическое пособие для студентов геологического факультета. // Саратовский госуниверситет им. Н.Г.Чернышевского. – Саратов, 2008. – 426 с.
47. Коробов А.Д., Коробова Л.А., Колотухин А.Т., Мухин В.М., Елисеева Л.В. Рифтогенно-осадочный нефтегазоносный комплекс платформ как порождение гидротермально-метасоматических процессов в породах переходного комплекса и чехла. // Ученые записки казанского университета. – Кн. 4. – Т. 153. – 2011. – С. 183 – 198.
48. Куницын А.В., Пийп В.Б. Строение коры Баренцево-Карского региона по данным детальных исследований методом глубинного сейсмического зондирования. //Вестн. моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – № 3 – 2008. – С. 55 - 63.
49. Куницын А.В., Пийп В.Б. Строение коры Баренцево-Карского региона по данным детальных исследований методом глубинного сейсмического зондирования. Статья 2. //Вестн. моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – № 6 – 2008. – С. 40 – 48.
50. Курасов И.А. Условия формирования и перспективы нефтегазоносности юрских отложений северной части Западной Сибири и прилегающей акватории Карского моря: дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.12 / Ступакова Антонина Васильевна. – М., 2015. – 136 с.
51. Манштейн А.К. Малоглубинная геофизика: Пособие по спецкурсу / Новосибирский государственный университет. – 2002. – 136 с.

52. Маргулис Е.А. История формирования осадочного чехла Баренцево-Карского региона. // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т.9. – № 4. – С. 25. – http://www.ngtp.ru/rub/2/52_2014.pdf
53. Медведев А.Я. Щелочные породы мезозойско-кайнозойского вулканогенно-осадочного комплекса Западно-Сибирской плиты, вещественный состав. // Геология и геофизика. – №10. – Т. 55. – 2014. – С. 1457 – 1465.
54. Международная тектоническая карта Европы. 1: 5 000 000. Третье изд. // Гл. ред. В.Е. Хаин, Ю.Г. Леонов. Геологический институт РАН. – 1996.
55. Милановский Е.Е. Рифтогенез и его роль в развитии Земли. // Соросовский образовательный журнал. – № 8. – 1999. – С. 60 – 70.
56. Никишин В.А. Внутриплитные и окраинноплитные деформации осадочных бассейнов Карского моря // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – М.: МГУ. – 2013. – 22 с.
57. Никульшина Е.А., Яковлев И.В., Барков А.Ю., Федчук Н.А. Тектонические предпосылки, обосновывающие наличие коллекторов в юрских отложения Обручевского выступа Южно-Карской синеклизы. // Вести Газовой науки. – № 3 (14). – 2013. – С. 44 – 49.
58. Осыка, А.В. геологические модели строения титон-берриасс-валанжинских отложений («аномальных разрезов баженовской свиты») в связи с подготовкой нетрадиционных объектов для поиска залежей нефти на территории деятельности предприятия «КОГАЛЫМНЕФТЕГАЗ» автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.12 / Мясникова Г.П. – Тюмень, 2006. – 21 с.
59. Подурушин В.Ф. Тектоника фундамента и ее влияние на формирование газового потенциала полуострова Ямал // Вести газовой науки. – № 3(8). – 2011. – С. 65-72.
60. 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.
61. Самойлович Ю.Г., Р.Р.Мурзин, Н.В.Павленкова, Т.Я.Федухина. Новые данные о глубинном строении акваториальной части Южно-Карской синеклизы. – В кн. Геолого-геофизические исследования на Баренцево-Карском шельфе. Л.: НИИГА, 1980, с. 78 – 85.
62. Сейсморазведка. Справочник геофизика /Под ред. И.И Гурвича, В.П. Номоконова. – М.: Недра, 1981. – 464 с.
63. Сейсморазведка: Справочник геофизика. В двух книгах/ Под ред. В.П. Номоконова. Книга первая. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 336с.: ил.

64. Скоробогатов В.А., Строганов Л.В., Копеев В.Д.. Геологическое строение и газонефтеносность Ямала. // М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 352 с.: ил.
65. Степанов А.В. Обработка сейсмических данных: Учебно-методическое пособие к курсам повышения квалификации «Петрофизика и геофизика в нефтяной геологии». – Казань: Казанский университет, 2013. – 24 с.
66. Стратиграфический словарь мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской низменности. // под ред. Н.Н. Ростовцева. – Л.: НЕДРА, 1978. – 183 с.
67. Ступакова А. В., Сауткин Р. С., Суслова А. А., Санникова И.А., Большакова М.А. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Южно-Карской впадины / // Материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 45-летию МАГЭ "Современный этап геологического изучения Арктики и континентального шельфа России - проблемы и перспективы освоения минеральных ресурсов". — МАГЭ Мурманск, 2017.
68. Ступакова А.В., Казанин Г.С., Иванов Г.И., Кирюхина Т.А., Курасов И.А., Мальцев В.В., Павлов С.П., Ульянов Г.В. Моделирование процессов образования углеводородов на территории Южно-Карской впадины. // Разведка и охрана недр. – № 4. – 2014. – С. 47-51.
69. Сурков В.С., Смирнов Л.В., Гурари Ф.Г., Девятов В.П., Еханин А.Е. Нижнесреднеюрский комплекс Западно-Сибирской плиты – особенности его строения и нефтегазоносность. // Геология и геофизика, 2004, т. 45, №1, с. 55 – 58.
70. Тектоническая карта мира масштаба 1: 45 000 000. Отв. ред. Ю.Г. Леонов, В.Е. Хаин. – ВСЕГЕИ. – 1982 г.
71. Ульянов, Г.В. Геолого-геохимические предпосылки газонефтеносности юрских отложений Южно-Карской впадины: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.12 / Кирюхина Тамара Алексеевна. – М., 2011. – 15 с.
72. Физика волновых процессов. Учебно-методическое пособие / Г.Е. Корчагин, А.А. Журавлев, Ю.М. Стенин. Казань: Изд-во КФУ. – 2014. – 77 с.
73. Фомичев В.А., Волкова Н.К. Литология разрезов Ямальской и Гыданской нефтегазоносных областей.// Литология разрезов Западной Сибири по геофизическим исследованиям. Сб. н. тр. ЗапСибНИГНИ, Тюмень, 1989, с. 51-59.
74. Черепанов, В.В., Меньшиков, С. Н., Варягов, С.А., Нерсесов, С.В., Мясников, И.Ф., Миротворский, М.Ю., Зверева, В.Б. Комплексные геохимические исследования на некоторых объектах Западной Сибири. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – № 7. – 2016. – С. 43 – 54.

75. Шипилов Э.В. Месторождения углеводородного сырья российского шельфа Арктики: геология и закономерности размещения // Вестник МГТУ. – Т. 3. – № 2. – 2000 – С. 339 – 350.
76. Шипилов Э.В., Мурзин Р.Р. Месторождения углеводородного сырья западной части российского шельфа Арктики: геология и закономерности размещения // Геология нефти и газа. – № 4. – 2001. – С. 6 – 19.
77. Шипилов Э.В., Шкарубо С.И. Строение домезозойского основания Южно-Карского сегмента Западно-Сибирской плиты // Разведка и охрана недр. – № 1. – 2012. – С. 38 – 43.
78. Allen A.Ph., Allen J.R. Basin Analysis: Principles and Applications. // 2nd edition. — Wiley-Blackwell – 2005. – 562 p.
79. Eugenia Rojas, Thomas L. Davis, Michael Batzle, Manika Prasad, and Reinaldo J. Michelena (2005) V p - V s ratio sensitivity to pressure, fluid, and lithology changes in tight gas sandstones. SEG Technical Program Expanded Abstracts 2005: pp. 1401-1404. <https://doi.org/10.1190/1.2147950>
80. Jakobsson, M., L. A. Mayer, B. Coakley, J. A. Dowdeswell, S. Forbes, B. Fridman, H. Hodnesdal, R. Noormets, R. Pedersen, M. Rebesco, H.-W. Schenke, Y. Zarayskaya A, D. Accettella, A. Armstrong, R. M. Anderson, P. Bienhoff, A. Camerlenghi, I. Church, M. Edwards, J. V. Gardner, J. K. Hall, B. Hell, O. B. Hestvik, Y. Kristoffersen, C. Marcussen, R. Mohammad, D. Mosher, S. V. Nghiem, M. T. Pedrosa, P. G. Travaglini, and P. Weatherall, The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0. – Geophysical Research Letters. – 2012. – P. 1-6. doi: 10.1029/2012GL052219.
81. Laske, G., Masters., G., Ma, Z. and Pasyanos, M., Update on CRUST1.0 - A 1-degree Global Model of Earth's Crust, Geophys. Res. Abstracts, 15, Abstract EGU2013-2658, 2013.
82. Slotboom, R.T., 1990, Converted-wave (P-SV) moveout estimation: 60th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1104-1106.

ФОНДОВАЯ

83. Изучить геологическое строение и выполнить оценку перспектив нефтегазоносности Обручевского вала в Карском море. Госконтракт № ПС-02-06/1612: Геологический отчет / Кириллова Т.А. – Мурманск, 2005. – 356 л. – Инв. № 485112.

84. Региональные геолого-геофизические работы на приямальской части южнокарского шельфа. Государственный контракт № 32/07/70-113 от 27.04.2012 г.: Геологический отчет / Поселов В.А. – Санкт-Петербург, 2014. – 524 л. – Инв. № 515496.
85. Комплексные морские работы с целью получения новой информации о структуре осадочного чехла Баренцева и Карского морей. Договор №91-1/2002 от 16.10.2002 г.: Геологический отчет / Рослов Ю.В. – Санкт-Петербург, 2004. – 538 л. – Инв. № 481378.
86. Изучить глубинное строение Баренцево-Карской плиты на основе результатов комплексных геофизических (сейсморазведочных МОВ-ОГТ, КМПВ-ГСЗ, гравиметрических, магнитометрических) исследований на опорных профилях. Государственный контракт № ПС-02-06/1619 от 11.09.2003 г.: Геологический отчет / Рослов Ю.В., Сакулина Т.С., Иванова Н.М., и др. – Санкт-Петербург, 2006. – 1345 л. – Инв. № 486089.