

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ  
ИНСТИТУТ МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИМГИГ ДВО РАН)

*На правах рукописи*

ЛЕКСИН ВАСИЛИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ

**КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ  
ВЫЯВЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ СООРУЖЕНИЙ  
НА ШЕЛЬФЕ ОСТРОВА САХАЛИН**

25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:  
Веселов Олег Васильевич  
кандидат геолого-минералогических наук

Южно-Сахалинск – 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРЕДЕЛАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА ОСТРОВА САХАЛИН И ЕГО ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА .....	9
1.1. Сейсмоакустические исследования на осваиваемых месторождениях....	10
1.2. Геологическое строение Южно-Кириинского нефтегазоконденсатного месторождения .....	15
1.5. Выводы к главе 1 .....	21
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ДАНЫМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ .....	22
2.1. Ледовые экзарации морского дна.....	22
2.2. Палеоврезы и локальные газовые аномалии плиоцен-четвертичных отложений .....	31
2.3. Выводы к главе 2 .....	36
ГЛАВА 3. ЕДИНЫЙ ГРАФ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПЛОЩАДОК ЮЖНО-КИРИИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ .....	37
3.1. Метод общей глубинной точки .....	38
3.2. Обработка данных сейсморазведки высокого разрешения с сохранением амплитуд.....	39
3.3. Выводы к главе 3 .....	48
ГЛАВА 4. ВЫДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ДАНЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ. ....	49
4.1. Интерпретация сейсмических разрезов. ....	50
4.2. Анализ наличия опасностей по проектным скважинам.....	52
4.3. Комплексование данных сейсморазведки высокого разрешения и газового каротажа.....	64
4.4. Выводы к главе 4 .....	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	72
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	74
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	89
Приложение А. Сводная таблица обнаруженных потенциально опасных объектов на Южно-Кириинском НГКМ .....	90

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность работы**

Сокращение запасов полезных ископаемых на суше, в особенности нефти и газа, ведет к расширению их разведки и добычи в акваториях морей и океанов. Для добычи в акваториях сооружаются крупные, в то же время аварийно-опасные объекты: буровые платформы, подводно-добычные комплексы. Проекты по строительству морских сооружений, нефтяных и газовых скважин требуют серьезного инженерно-геологического исследования, и не последнюю роль в этом играет метод сейсморазведки высокого разрешения, который позволяет изучать геологический разрез на требуемую для этих целей глубину с достаточно высокой детальностью.

В практике нефтегазодобычи известны случаи аварий на буровых платформах в морских акваториях, причиной которых стало отсутствие достаточных инженерно-геологических изысканий на месторождениях. Наиболее опасным с точки зрения возможного выброса газа является проходка верхней части разреза (до установки кондуктора). Для выделения и оценки степени опасностей, связанных с проявлениями газа в изучаемой части разреза, принято исходить из следующих положений: газ проникает в вышележащие породы по нарушениям или ослабленным зонам и на сейсмических разрезах эти участки проявляются в виде аномалии высоких амплитуд либо резким ослаблением сигнала. Резкое затухание сейсмической записи чаще всего происходит при заполнении газом значительной по мощности части разреза. В этом случае на сейсмических разрезах наблюдается понижение скоростей продольных волн (прогибание отражающих границ под такой зоной). Обозначенные явления являются противоположными и зависят от характеристик разреза (наличие покрышек, коэффициент пористости, литологический состав и т.д.) и степени заполнения межгранулярного пространства газом.

По результатам морских геофизических исследований и батиметрической съёмки составляются карты опасных геологических процессов, выявленных на поверхности морского дна и в грунтовой толще.

### **Объект исследований**

Северо-восточный шельф острова Сахалин.

### **Цель работы**

Выявление и оценка опасных геологических процессов при проектировании скважин и строительстве подводно-добычного комплекса на основе интерпретации и анализа геофизических данных и разработки карт опасных геологических процессов.

### **Основные задачи исследований**

Провести анализ опасных геологических процессов по данным геофизических исследований и батиметрической съёмки на северо-восточном шельфе острова Сахалин.

Выполнить исследования ледовой экзарации в прибрежной части площадки Одопту-море северо-восточного шельфа острова Сахалин.

Разработать единый граф обработки данных сейсморазведки высокого разрешения для всех площадей исследований в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения и апробировать его на сейсмических данных, полученных в полевой сезон с 2010 по 2017 годы.

Исследовать природу аномалий на сейсмических разрезах.

### **Научная новизна**

Выделены зоны ледовой экзарации в прибрежной части площадки Одопту-море северо-восточного шельфа острова Сахалин, обусловленные выпахиванием стамухами морского дна.

Установлено, что на исследуемой площадке Северо-Венинского газоконденсатного месторождения аномалии магнитного поля имеют геологическое происхождение.



Впервые разработан единый граф обработки данных сейсморазведки высокого разрешения для всех площадей исследований в пределах Южно-Кириинского нефтегазоконденсатного месторождения.

Выделены аномальные зоны газопроявлений и впервые разработана сводная карта опасных геологических процессов Южно-Кириинского нефтегазоконденсатного месторождения.

Определена связь между аномалиями на сейсмических разрезах и данными газового каротажа Южно-Кириинского нефтегазоконденсатного месторождения.

### **Защищаемые положения**

1. В результате анализа батиметрических данных прибрежной площадки Одопту-море северо-восточного шельфа острова Сахалин выявлены зоны ледовой экзарации и определены максимальные глубины выпаживания стамухами морского дна.

2. Аномалии магнитного поля на исследуемой площадке Северо-Вениинского газоконденсатного месторождения обусловлены палеоуступами дочетвертичных отложений.

3. Комплексная интерпретация данных сейсморазведки высокого разрешения с данными газового каротажа Южно-Кириинского нефтегазоконденсатного месторождения подтверждает природу аномалий на сейсмических разрезах, связанных с газонасыщением.

### **Исходные материалы и личный вклад автора**

Материалы для исследования получены в геофизическом отделе АО «Тихоокеанская инжиниринговая компания» и управлении инженерных изысканий ООО «СахалинНИПИ нефти и газа».

Исходными данными для работы послужили результаты, полученные в ходе ежегодных исследований в течение 8 лет методом сейсморазведки высокого разрешения с 2010 по 2017 годы в пределах Южно-Кириинского нефтегазоконденсатного месторождения и результаты комплексных морских

инженерных изысканий в пределах различных месторождений шельфа острова Сахалин.

Автор участвовал в 12 морских экспедициях в период с 2012 по 2019 гг. в Охотском море, Татарском проливе, заливе Пильтун, бухте Суходол и Южно-Китайском море. Автор выполнял сбор, обработку, интерпретацию и контроль качества геофизических данных (гидромагнитная съёмка, непрерывное сейсмоакустическое профилирование, сейсморазведка высокого разрешения) при проведении инженерных изысканий под строительство различных нефтегазопромысловых и гидротехнических сооружений. Автором выполнен комплексный анализ магнитных аномалий и аномалий на сейсмических разрезах. Самостоятельно и вместе с соавторами участвовал в подготовке публикаций по теме работы.

#### **Степень достоверности результатов**

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается представительной базой геофизических данных, полученных на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современной аппаратуры и программных средств. Полученные данные сейсморазведки высокого разрешения хорошо согласуются с данными на нескольких пересекающихся площадках, полученными в пределах Киринского перспективного участка недр другими исследователями.

#### **Теоретическая и практическая значимость результатов**

Выявленные опасные геологические процессы позволяют при обустройстве месторождения исключить риски, связанные с неблагоприятным воздействием на экосистему и нефтегазопромысловые сооружения.

Автором показано, что дополнение газового каротажа подтверждает аномалии на сейсмических разрезах, связанных с газонасыщением и может применяться для обоснования природы аномалий на соседних сейсмических профилях или участках.

На основе изложенного в диссертации подхода по изучению опасных геологических процессов успешно выполняется ежегодное глубоководное бурение на Южно-Кирином нефтегазоконденсатном месторождении.

### **Апробация результатов исследований**

Основные положения диссертации докладывались на следующих конференциях: V Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Науки о Земле. Современное состояние», геологический полигон «Шира», республика Хакасия, 2018; Научно-практическая конференция «Инженерная сейсморазведка», Москва, 2018; XX Уральская молодежная научная школа по геофизике, Пермь, 2019; III Всероссийская научная конференция с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы», Южно-Сахалинск, 2019.

### **Структура и объём диссертации**

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, содержит 107 страниц текста, включая 49 рисунков, 1 таблицу, список литературы из 125 наименований и 1 приложение.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК и 4 тезисов докладов на конференциях.

### **Благодарности**

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю – к.г.-м.н. О.В. Веселову и заведующей аспирантурой к.ф.-м.н. – М.Ю. Андреевой за помощь в подготовке диссертации, ценные советы и консультации. Автор выражает благодарность всему коллективу АО «Тихоокеанская инжиниринговая компания» за знания и опыт, полученные в период работы в компании (с 2013 по 2019 годы) и коллегам управления инженерных изысканий ООО «СахалинНИПИ нефти и газа». Автор выражает признательность Г.Н. Фетискину, В.И. Самарину, М.М. Чумакову за ценные советы по обработке и интерпретации сейсмических данных.

Автор благодарит свою супругу С.В. Лексину за бесконечное терпение и вдохновение к работе на протяжении всего времени подготовки диссертации.

## **ГЛАВА 1. СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРЕДЕЛАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА ОСТРОВА САХАЛИН И ЕГО ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

На северо-восточном шельфе острова Сахалин располагается большое количество месторождений нефти и газа. К значимым месторождениям, на которых уже ведётся добыча углеводородов (УВ) можно отнести Одопту, Пильтун-Астохское, Аркутун-Даги, Чайво, Лунское и Киринское. Месторождения расположены при глубинах моря от 18 до 90 м. Залежи УВ найдены в диапазоне от олигоцена до плиоцена, но большинство из них приурочены к породам дагинского горизонта. Коллекторы представлены песчано-алевритовыми пластами, сформировавшимися преимущественно в условиях дельты, авандельты, верхней сублиторали [Дзюбло и др., 2013; Никитин и др., 2015; Мустаев, Исмаилов, 2017].

Климат северо-восточной части острова Сахалин с прилегающей акваторией Охотского моря формируется под влиянием Азиатского континента и Тихого океана. Влияние континента проявляется главным образом зимой, когда сухой и сильно охлажденный на континенте воздух проникает на Дальний Восток в виде муссона, представляющего собой северо-западный и северный потоки континентального воздуха. Влияние Тихого океана проявляется в теплый период года, когда юго-восточные и южные муссонные потоки приносят на исследуемый регион прохладный и влажный воздух. Гидрологический режим определяется особенностями его географического положения, суровыми климатическими условиями, характером вертикальной, горизонтальной циркуляции, водообменом с Тихим океаном, а также рельефом дна. Совокупность этих факторов создает довольно сложную картину распределения гидрологических характеристик на поверхности и промежуточных горизонтах.

Автором в работе подробно рассматривается Южно-Киринское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ) на предмет выявления и оценки опасных геологических процессов ввиду нахождения месторождения на этапе подготовки к разработке.

### **1.1. Сейсмоакустические исследования на осваиваемых месторождениях**

Сейсмоакустические исследования в акваториях начались в конце 50-х годов XX века в США. Специалисты Колумбийского и Массачусетского университетов впервые использовали электроискровой источник колебаний, буксируемую пьезокосу и регистратор, подобный эхолоту [Sheriff, Geldart, 1982; Гайнанов, 2018]. Это были одноканальные наблюдения, и в такой одноканальной модификации они просуществовали в течение многих лет. Параллельно многие исследователи пытались усовершенствовать традиционный эхолот и приспособить его для решения геологических задач. Для возбуждения и приема упругих колебаний в воде ими использовался пьезоэлектрический или магнитострикционный излучатель-приемник, частота излучения которого – 5–10 кГц. Однако глубинность исследований в этом случае не превышала первых метров по грунту. Тем не менее, работы в этом направлении не прекращались и были созданы более низкочастотные системы, основанные на тех же принципах, для изучения свойств донных осадков, называемые профилографами.

В 60–70 гг. прошлого века были изобретены различные типы источников упругих волн для наблюдений в акваториях: электродинамические, электроискровые, пневматические и т.д. Большой вклад в развитие сейсмоакустических исследований в акваториях внесли российские ученые, например, [Калинин, 1965; Калинин и др., 1983; Пивоваров, 1970]. По мере совершенствования источников возбуждения упругих колебаний в воде, приемных систем и систем регистрации

произошло разделение сейсмических наблюдений в акваториях на три основные группы.

1. Исследования геологического разреза до глубин в несколько километров, прежде всего, для целей поисков и разведки месторождений углеводородов.

2. Исследования верхней части разреза до глубин в первые сотни метров для инженерно-геологических целей.

3. Акустические исследования свойств дна и донных осадков, поиски затонувших объектов, изучение состояния портовых сооружений и т.д.

Принятое в настоящее время деление сейсморазведки на разведочную, высокого разрешения, сверхвысокого разрешения связано с различием глубинности и разрешающей способности метода для решения поставленных задач.

В настоящее время сейсмоакустические исследования в морских акваториях, в том числе на северо-восточном шельфе острова Сахалин проводятся для поиска опасных геологических процессов, применяя методы непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП), сейсморазведки сверхвысокого разрешения (ССВР) и сейсморазведки высокого разрешения (СВР) [Безродных и др., 2011; Самсонов, Самсонова, 2012; Rybalko et al., 2015; Шматков и др., 2015; Иванов и др., 2016; Исмагилов и др., 2016; Лексин, 2019а].

В работе [Коболев и др., 2011; Запорожец и др., 2012; Казанин и др., 2016; Часников, 2018] приводится информация о применяемом оборудовании для сейсмоакустических исследований.

В работе [Thomas et al., 2012; Шматков и др., 2015] содержатся обобщенные сведения о частотном диапазоне и разрешающей способности всех видов сейсмических и сейсмоакустических съемок (таблица 1.1). Теоретические вопросы, связанные с вертикальной разрешающей способностью сейсмических методов, рассмотрены в большом количестве научных публикаций [например, Widess, 1973; Kallweit, Wood, 1982; Калинин

и др., 1992; Okaya, 1995; Vermeer, 1999]. Вопросы горизонтальной разрешающей способности рассматриваются в трудах [например, Sheriff, 1982; Пейтон, 1982; Lindsey, 1989; Cordsen et al., 2000; Yilmaz, 2001].

Надо заметить, что эти значения зависят не только от частотного диапазона, но и от конфигурации установки: глубин погружения источника и приемника, выноса, длины косы и т.д. [Missiaen, 2005].

Таблица 1.1 – Классификация методов геофизических исследований.

Исследование	Частотный диапазон	Горизонтальная разрешающая способность	Вертикальная разрешающая способность
Нефтегазовое	30–75 Гц	> 20 м	> 5 м
Высокого разрешения	80–375 Гц	19–4 м	4,5–1 м
Сверхвысокого разрешения	375–1500 Гц	< 4 м	< 1 м
Ультравысокого разрешения	1,5–13 кГц	< 1 м	< 25 см

Особое значение при этом имеет детальное изучение первых метров придонных отложений и собственно свойств морского дна. Сейсмоакустическими методами можно называть методы, основанные на использовании упругих волн в частотном диапазоне на стыке сейсморазведки и акустики. Это диапазон от первых десятков герц до первых килогерц. Сейсмоакустические исследования методом отраженных волн в акваториях могут проводиться в одноканальном и многоканальном вариантах. Данные многоканальных исследований обрабатываются по методике общей глубинной точки (ОГТ) или, как сейчас чаще называют – общей средней точкой (ОСТ). Одноканальный вариант сейсмоакустических наблюдений – метод непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП).

При изучении мелководных акваторий НСП применяется значительно шире, чем многоканальные наблюдения. В методе НСП измерительная



установка состоит из одного источника (группы источников) и одного приемника (группы приемников), расположенных так, чтобы расстоянием между ними можно было пренебречь по сравнению с глубиной исследований, иначе говоря, считать их совмещенными в пространстве. В сущности, метод НСП – модификация сейсмических наблюдений МОВ, называемая методом вертикального времени, методом  $t_0$ , или методом центрального луча. Возбуждение и регистрация упругих колебаний производятся через такие интервалы времени, чтобы получать практически непрерывную запись. При непрерывном движении по профилю НСП напоминает метод гидролокации, но в отличие от гидролокации в НСП изучается конфигурация не только дна, но и значительной части поддонных отложений, мощность которых может составлять как первые метры, так и сотни метров в зависимости от выбора источника. В отличие от многоканальных модификаций МОВ в НСП не регистрируются обменные, головные и рефрагированные волны.

Метод НСП в отличие от многоканальных методов не дает возможности определить скорость распространения упругих волн в среде и применяется, прежде всего, для изучения верхней части разреза на глубину до 100 м для выявления и картирования палеоврезов и газовых карманов.

Одной из важнейших проблем НСП является то, что полезный интервал записи зачастую ограничен временем прихода первой кратной волны в водном слое из-за интенсивных полнократных и неполнократных в водном слое волн, т.к. ослабление кратных волн за счет различия в кинематических характеристиках здесь невозможно.

При проведении морских исследований необходима идентификация всех возможных условий и потенциальных опасностей, обусловленных техногенными и геологическими объектами (рисунок 1.1), которые могут оказать влияние на надежность морских сооружений и причинить вред окружающей среде при осуществлении хозяйственной деятельности [Kvalstad, 2007; Guidelines, 2011; Calarco et al., 2014].

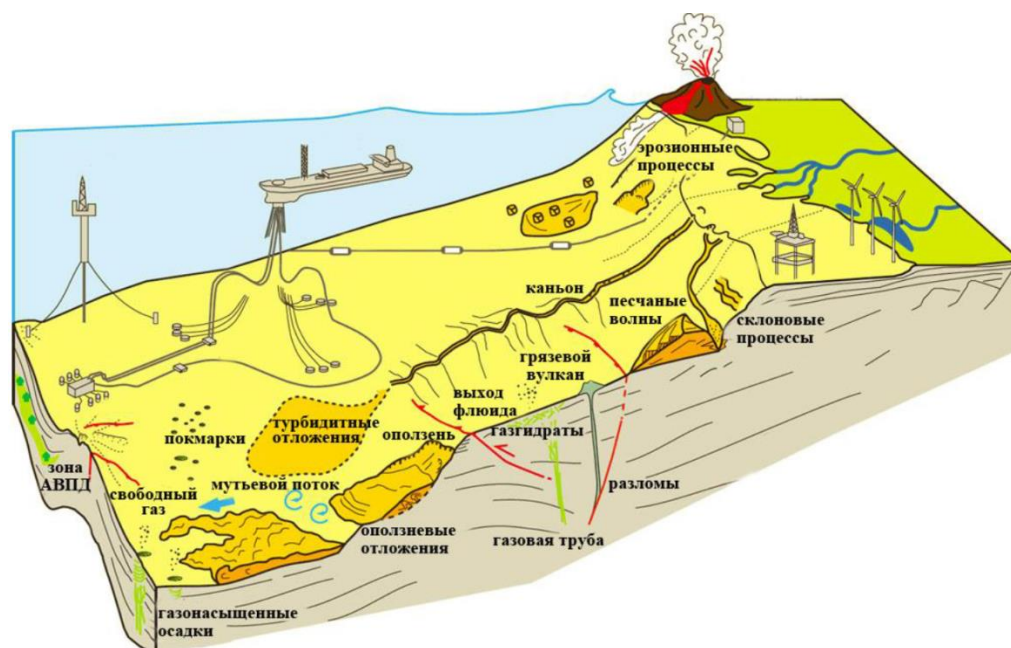


Рисунок 1 – Опасные инженерно-геологические процессы и явления [Chiocci и др., 2011].

Вопросы, связанные с опасными геологическими процессами, хорошо описаны в литературе [Рокос и др., 2001; Wood, Hamilton, 2002; Козлов, 2005; Judd, Novland, 2007; Kvalstad, 2007; Chiocci et al., 2011; Dyer, 2011].

Под опасными геологическими процессами стоит понимать – компоненты геологической среды, которые могут неблагоприятно воздействовать на экосистемы и инженерные сооружения или вызвать их разрушение [Миرونюк, 2013].

Помимо проведения сейсмоакустических исследований для постановки буровой платформы выполняются морские исследования, включающие батиметрическую съемку, гидролокацию бокового обзора (ГЛБО), гидромагнитную съемку (ГМС), отбор проб донных грунтов (глубина опробования до 4 м), гидрометеорологические наблюдения и экологические исследования (рисунок 1.2), при необходимости бурение инженерно-геологических скважин.

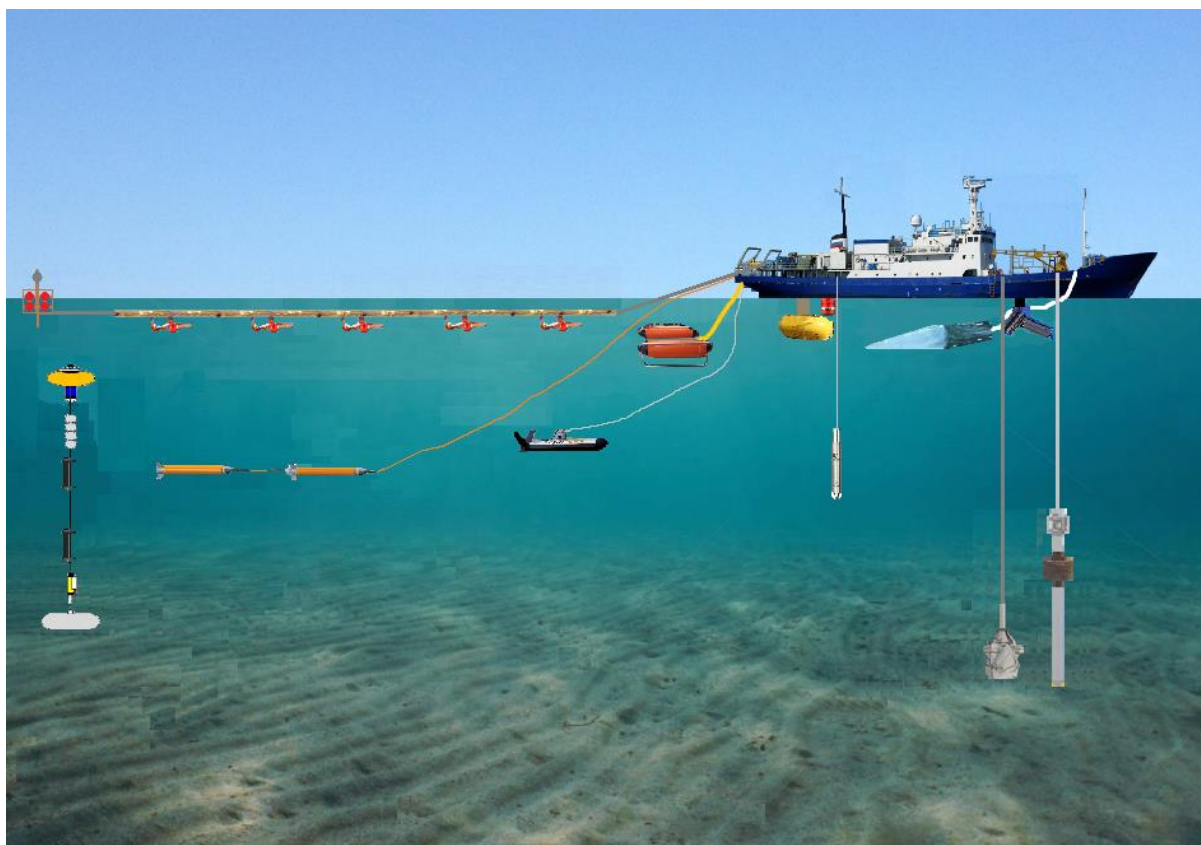


Рисунок 1.2 – Проведение комплексных морских инженерных изысканий.

Проведение морских инженерных изысканий регламентируется различными нормативными документами [British Standard 5930, 1999; Guidance, 2000; СП 11-114-2004; Guidance, 2004; СТО Газпром 2-3.7-050-2006; Guidelines, 2011; СП 47.13330.2012; Guidance, 2014].

## **1.2. Геологическое строение Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения**

Первые сведения о существовании Южно-Киринской антиклинальной складки получены в 1972 году в результате проведения сейсморазведочных работ методом отраженных волн [Пищальник, Бобков, 2000]. В дальнейшем, в результате проведения поисковых сейсмических исследований, было установлено положение периклиналей и крыльев Южно-Киринской

антиклинали, а также определены мощности потенциально продуктивных горизонтов [Кропп и др., 2012].

Южно-Кириинское нефтегазоконденсатное месторождение приурочено к Южно-Кириинскому внутрибассейновому поднятию, разделяющему Северо-Сахалинский и Мынгинский прогибы (рисунок 1.3).

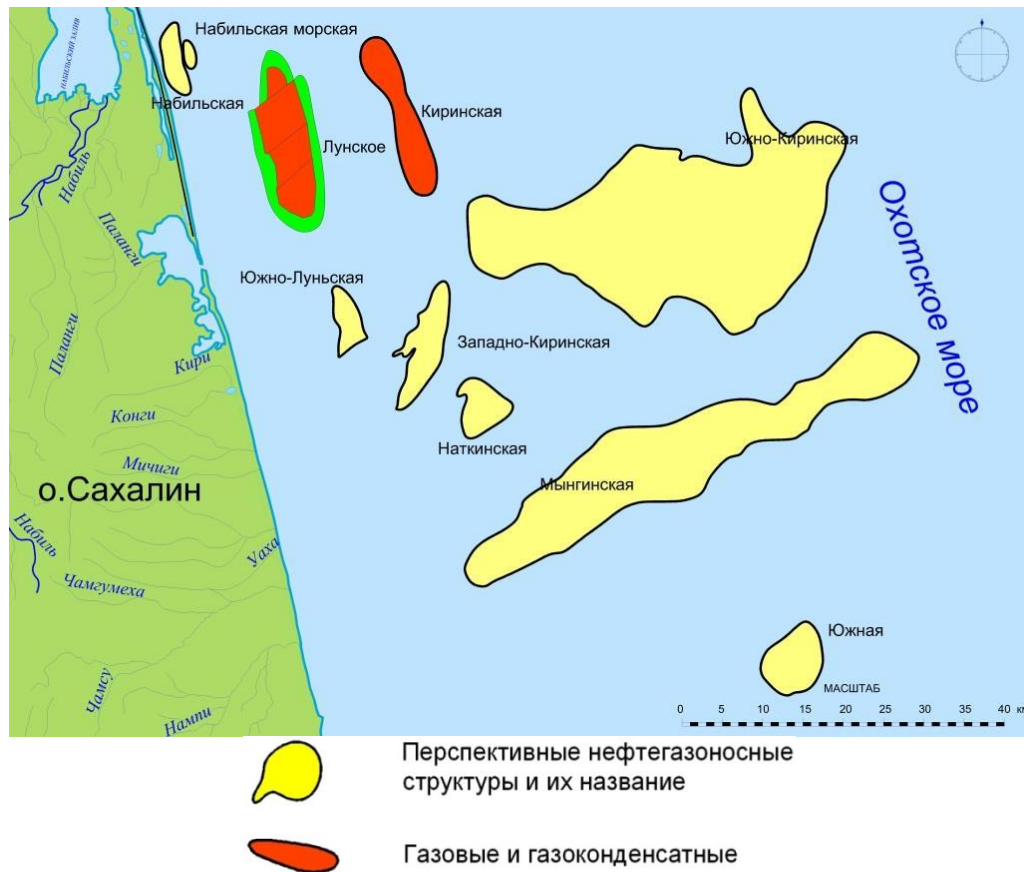


Рисунок 1.3 – Карта-схема расположения структур.

Поднятие является погребенным выступом акустического фундамента размером 65x15 км, в рельефе которого изогипсами -3600 м и -4800 м выделены восточный и западный купола [Горчакова, 2009; Рудницкая, 2013]. Асимметричное по форме поднятие протягивается в субширотном направлении. Его куполовидный свод смещен на восток. Восточная периклиналь свода короткая, западная – пологая удлиненная, осложненная субмеридиональным сбросом, развивающимся с плиоцена. Этот сброс разделяет Южно-Кириинскую и Кириинскую антиклинали, характеризующаясь

вертикальной амплитудой смещения по поверхности фундамента до 2 км. Северное крыло поднятия осложнено малоамплитудными сбросами длиной 4–10 км. Южное крыло более круто в сравнении с северным. Но в целом углы наклона северного и южного крыльев структуры на уровне несогласного залегания уйнинского и дагинского горизонтов составляет  $1,5^{\circ}$ – $2^{\circ}$ . Шарнир складки погружается в восточном направлении под углом  $1,5^{\circ}$ , в западном – под углом  $1^{\circ}$ . Свод складки, западная периклиналь, южное крыло структуры осложнены нарушениями сбросового типа субширотной и северо-западной ориентировки с амплитудами смещения 10–20 м. Относительно кровли палеогенового комплекса (кровли даехуриинского горизонта) наблюдается на сейсмических разрезах смещение сводов вышележащих горизонтов в северо-западном направлении. В течение среднего и позднего плиоцена продолжался рост Южно-Кириной структуры, ее свод непрерывно воздымался, сохраняя положение, аналогичное современному [Парасына и др., 2012; Рыбальченко и др., 2014].

К началу формирования нижненутовских отложений (позднему миоцену) вертикальные тектонические движения в пределах Южно-Кириной и Мынгинской структур прекратились. Это отличает упомянутые структуры от структур северо-восточного шельфа Сахалина, в котором главный этап формирования всех крупных структур и связанных с ними месторождений проходил в конце миоценового времени, главным образом в плиоцен. Таким образом, на фоне структур северо-восточного шельфа Сахалина Южно-Кириное и Мынгинское поднятия являются более древними образованиями, относящимися к ранним периодам тектонического развития бассейна [Рыбальченко и др., 2014]. Однако в плиоцене происходили меридиональные сдвиги и растяжения, обусловленные широтным сжатием. При этих движениях отдельные разрывы вспороли верхненутовские отложения.

В результате тектонические нарушения присутствуют по всей толще разреза – от фундамента до нутовских отложений.



Стратиграфическая схема мезокайнозойских отложений северо-восточного шельфа Сахалина, включая Южно-Кириновское месторождение углеводородов, дана согласно результатам глубокого бурения, в районе Лунской, Кириновской, Южно-Кириновской структур [Харахинов, 2010; Рудницкая, 2013; Черепанов и др., 2013; Крикунов и др., 2015; Хоштария и др., 2016; Грошев и др., 2017].

В строении Южно-Кириновской структуры выделен мезозойский акустический фундамент и кайнозойский осадочный чехол. Фундамент сложен вулканогенно-кремнистыми терригенными отложениями поздне мелового возраста, вскрытыми на Полярнинской и Нампинской площадях. Несогласное наложение раннекайнозойских отложений на поверхность акустического фундамента соответствует крупной структурной перестройке региона в период ларамийской фазы складчатости. Акустический фундамент на сейсмических разрезах выделяется по высокоамплитудному двухфазному отражению с налеганием на него вышележающих отражающих границ (рисунок 1.4).

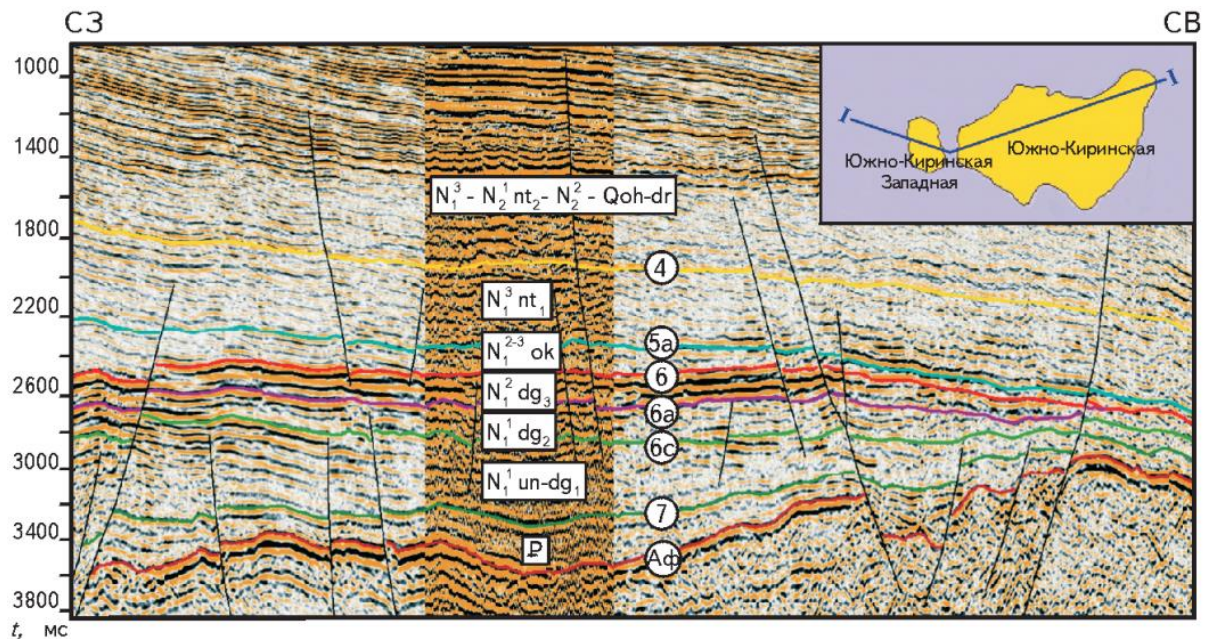
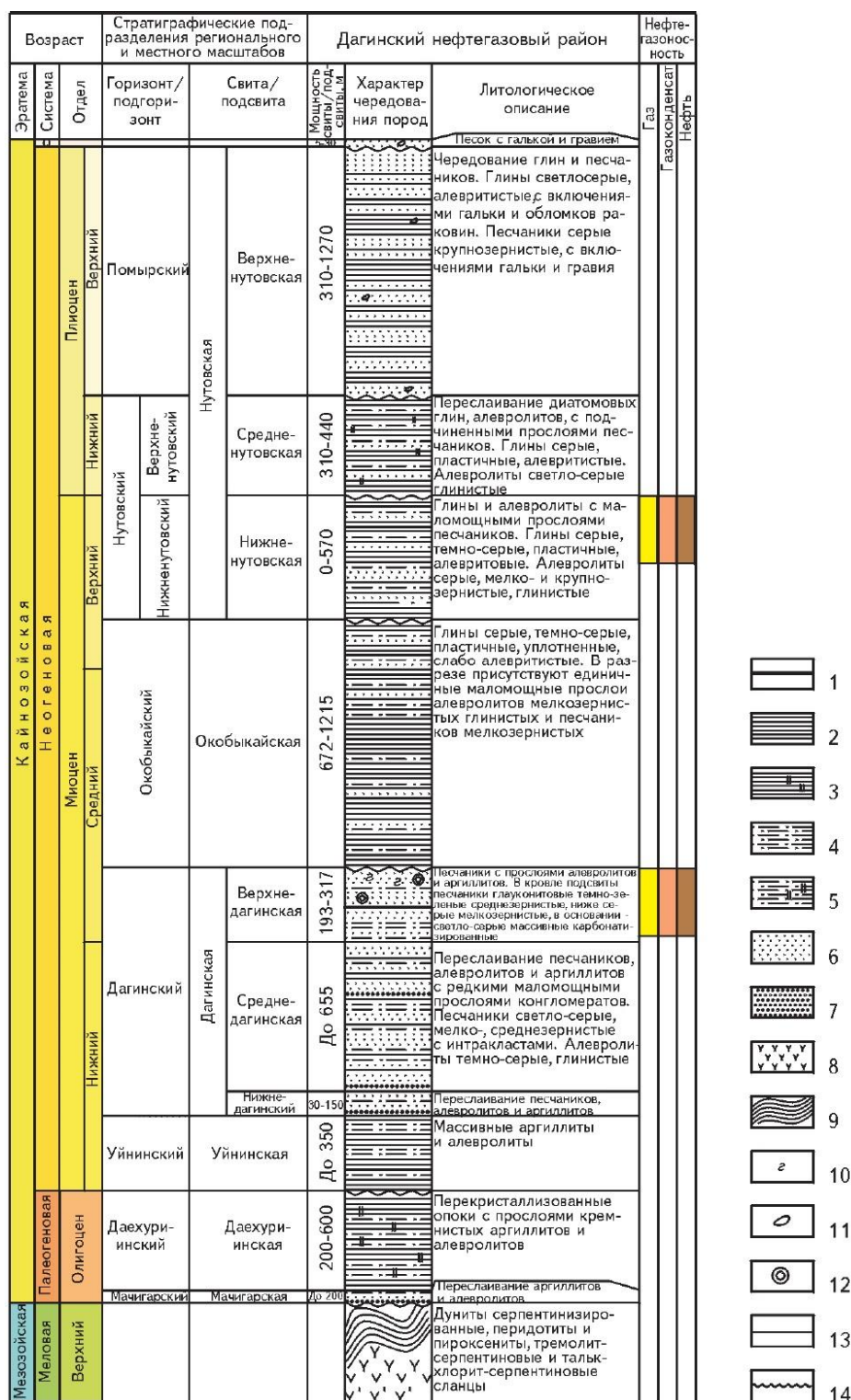


Рисунок 1.4 – Композитный профиль по линии I-I через западный и восточный купол Южно-Кириновского поднятия [Рудницкая, 2013].

В пределах Южно-Кириинской антиклинальной складки наиболее древними кайнозойскими отложениями является даехуриинская свита (эоцен-олигоцен), представленная кремнистыми аргиллитами и алевролитами с маломощными прослоями вулканогенных песчаников, и включениями гравия, гальки (следами ледового разноса) [Гладенков и др., 2002; Харахинов, 2010]. Верхней частью осадочного чехла месторождения являются охотско-дерюгинские отложения позднеплиоцен-четвертичного возраста, которые в скважине Южно-Кириинская-1 представлены пачкой алевроитопесчаных, типично шельфовых седиментов, состоящих из рыхлых песков с включениями гальки, гравия, диатомовых глин. Эти отложения формировались на глубоководном шельфе, переходящим в подводный склон в условиях новейшей тектонической активности, сопровождающейся позднеплиоцен-плейстоценовыми складчатыми движениями. Сводный стратиграфический разрез осадочного чехла Восточно-Сахалинского шельфа представлен на рисунке 1.5.



1 – угли; 2 – глины, аргиллиты; 3 – опоки, кремнистые глины; 4 – алевролиты; 5 – кремнистые алевролиты; 6 – пески, песчаники; 7 – гравелиты; породы: 8 – магматические, 9 – метаморфические; включения: 10 – глауконит, 11 – гравий и галька, 12 – интракласты; границы: 13 – согласные, 14 – несогласные

Рисунок 1.5 – Сводный стратиграфический разрез осадочного чехла Восточно-Сахалинского шельфа [Хоштария и др., 2016].

На рисунке 1.6 представлен сейсмический разрез МОГТ 3D через Южно-Лунское и Южно-Кириновское поднятия [Хоштария и др., 2016].



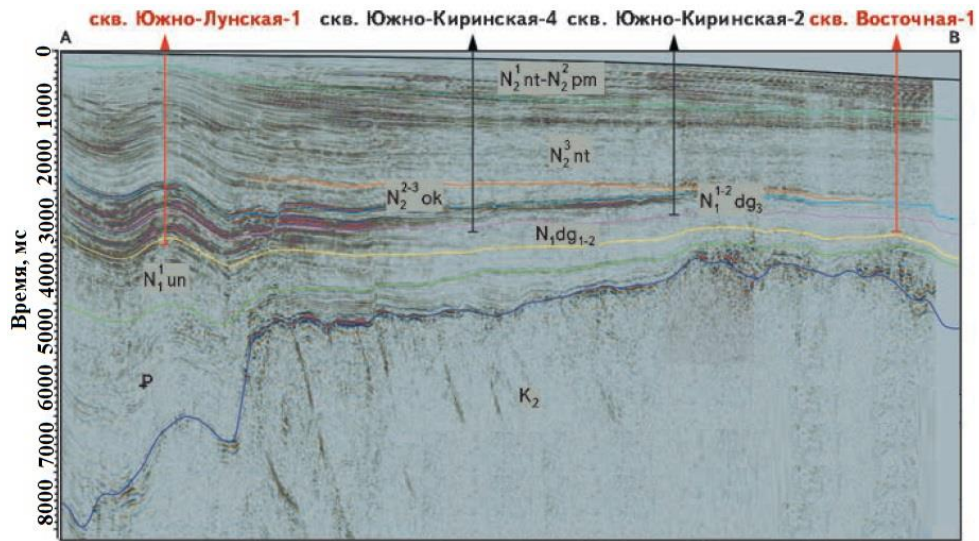


Рисунок 1.6 – Сейсмический разрез МОГТ 3D.

С 2013 по 2015 гг. успешно реализованы работы по строительству разведочных скважин на Южно-Киринском нефтегазоконденсатном месторождении, пробурено по две скважины в год.

В 2018, 2019 гг. пробурены по четыре эксплуатационные скважины до продуктивного пласта.

## 1.5. Выводы к главе 1

1. В главе 1 рассмотрены методы сейсмоакустических исследований для поисков опасных геологических процессов в морских акваториях, в том числе в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения, сделаны выводы об их применимости в составе инженерно-геологических изысканий.

2. Рассмотрено геологическое строение Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения. Выявлено, что тектонические нарушения присутствуют по всей толще разреза – от фундамента до нутовских отложений.

## ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ДАНЫМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ

Инженерно-геофизические исследования и батиметрическая съёмка в акваториях проводятся при строительстве нефтегазопромысловых и гидротехнических сооружений, при обследовании трубопроводов и подводно-добычных комплексов, а также при проведении научных исследований по изучению ледовых экзараций, газогидратов и палеоврезов.

### 2.1. Ледовые экзарации морского дна

Наличие ледяного покрова на шельфе морей способствует формированию опасных ледяных образований, которые негативно воздействуют на морское дно. Автором были выполнены исследования ледовой экзарации по данным батиметрической съёмки и спутниковым изображениям на площадке 1×14 км в районе газонефтяного месторождения Одопту-море в Охотском море (рисунок 2.1) [Лексин, Романюк, 2021].



Условные обозначения:


-  - изобата
-  - глубина моря

Рисунок 2.1 – Обзорная карта-схема района проведения исследований.

Изучению ледовой экзарации в различных акваториях посвящены, например, работы [Вершинин и др., 2007; Огородов и др., 2010; Наумов 2013; Либина, Никифоров, 2018; Непоменко, Попова, 2018; Мазнев, Огородов, 2020].

Батиметрическая съемка на площадке Одопту-море по изучению поверхности морского дна выполнялась в июле-сентябре 2019 г. методом эхолотирования по системе параллельных профилей, расположенных перпендикулярно к берегу. Для обеспечения требуемой точности было проложено несколько контрольных профилей, расположенных перпендикулярно основным съемочным профилям. Кроме того, проводилось измерение уровня моря гидрологическим комплексом, установленным на автономной буйковой станции, и отбирались пробы донных отложений для определения гранулометрического состава.

Основные ледовые фазы в акватории исследуемого участка определяли с использованием данных спутниковых микроволновых радиометров (Japan Meteorological Agency), архива ежедневных данных о площади льда мультиспектральной системы анализа спутниковых наблюдений MASIE (<http://nsidc.org/data/masie>), а также спутниковых (TERRA, AQUA, Suomi-NPP, Sentinel-2) снимков ледяного покрова в видимом диапазоне.

В районе исследований зимой 2018/19 г. по характерному сочетанию ледовых условий на северо-восточном Сахалине выделяются четыре фазы развития ледяного покрова:

фаза I – начало льдообразования от даты первого появления льда в прибрежной полосе до момента формирования полыньи (средние даты от 28 ноября до 30 декабря). Преобладающие формы – блинчатый лед толщиной 3–12 см;

фаза II – полынья, заполненная сплошными ниласовыми льдами толщиной 3–10 см (средние даты от 31 декабря до 4 марта);

фаза III – сплоченного и очень сплоченного однолетнего льда (средние даты с 5 марта по 29 апреля). Преобладающие формы – большие поля, обломки, битые льды, толщина от 30 до 130 см;

фаза IV – разрушения ледяного покрова (средние даты с 30 апреля до 8 июня). Преобладающие формы – обломки ледяных полей, битые и тертые льды толщиной от 30 до 130 см.

На всех перечисленных фазах развития ледяного покрова возможно кратковременное (от десятков часов до нескольких суток) как полное очищение, так и полное закрытие исследуемой акватории.

Образование гряд торосов на северо-восточном шельфе острова Сахалин происходит при сжатии ледяных полей однолетнего льда, дрейфующих из северо-западной части Охотского моря, между которыми находится молодой лед. В случае, когда пространство между ледяными полями заполнено молодыми льдами, создаются условия, при которых максимальная толщина ледяных образований может достигать 25–35 м [Астафьев и др., 1997; Поломошнов, Якунин, 1989]. Во время прохождения циклонов под воздействием восточных ветров массив пояса тяжелого льда прижимает к берегу. При этом часть мощных ледяных образований садится на грунт, образуя стамухи, и при смене направления ветра не позволяет льду отойти от берега, выполняя роль опорных свай. Далее происходит смерзание массива, и он существует определенное время в виде припая, пока под воздействием нескольких одновременно действующих динамических факторов (как правило, сочетания сизигийных приливов, высоких скоростей вдольбереговых приливных течений, ветровых нагрузок и т.д.) не произойдет его разрушение [Пищальник и др., 2009].

Первое появление ледяного покрова в акватории исследуемого района было зафиксировано 2 декабря. Фаза начала льдообразования длилась около месяца – со 2 декабря по 1 января. Формирование прибрежной полыньи под воздействием устойчивых северо-западных ветров началось 2 января 2019 г. В результате прохождения через южную часть Охотского моря глубокого

циклона произошло частичное закрытие полыньи с 16 по 22 января. На протяжении последующих 54 сут. (с 22 января по 16 марта) происходило развитие полыньи и увеличение ее площади (рисунок 2.2).

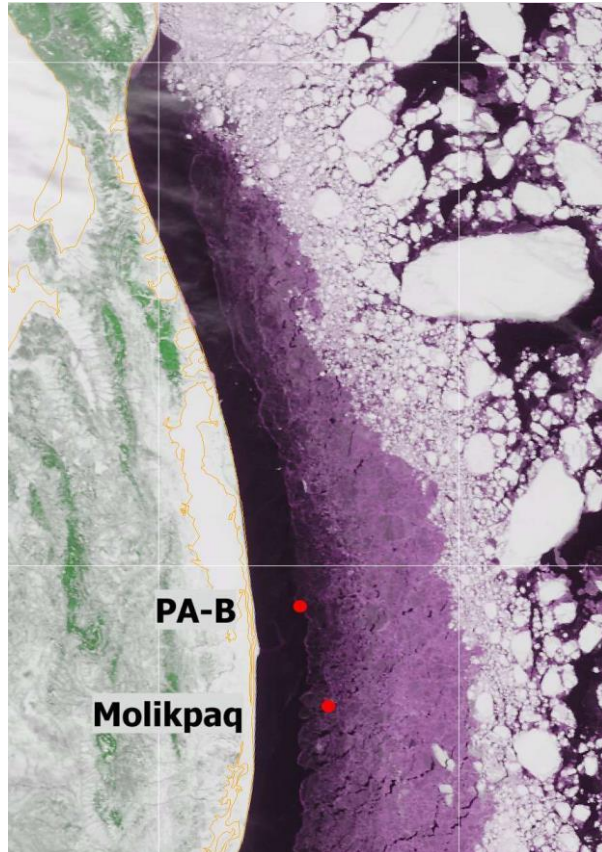


Рисунок 2.2 – Прибрежная полынья на северо-восточном шельфе острова Сахалин. Terra-MODIS, 11 марта 2019 г. Обозначения: красные кружки – места расположения стационарных буровых платформ.

В середине марта, под воздействием ветров восточных румбов, пояс тяжелого льда был прижат к берегу, в результате чего образовалась полоса припая шириной до 2 км (рисунок 2.3, а). Данные спутниковых наблюдений позволили определить, что разрушение припая начало происходить 26 апреля (рисунок 2.3, б), а к 29 апреля припай был полностью разрушен (рисунок 2.3, в).



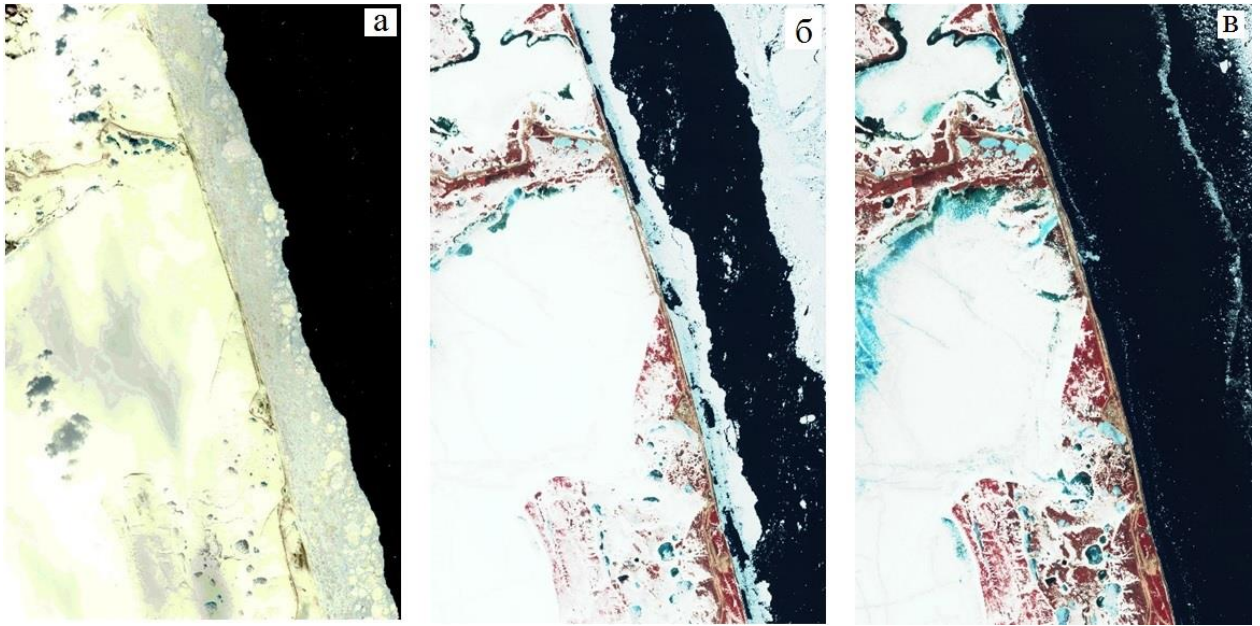


Рисунок 2.3 – Образование и разрушение припая на исследуемом участке: середина марта – а, 26 апреля – б, 29 апреля – в. Спутниковый снимок Sentinel-2.

Анализ изображений со спутника Sentinel-2 (комбинация каналов 12-11-4, рисунок 2.4) позволил идентифицировать в акватории исследуемого участка несколько ледяных образований, предположительно стамух. Размеры самого крупного из этих образований составляли  $1,5 \times 1,1$  км, площадь  $1,13$  км<sup>2</sup>.

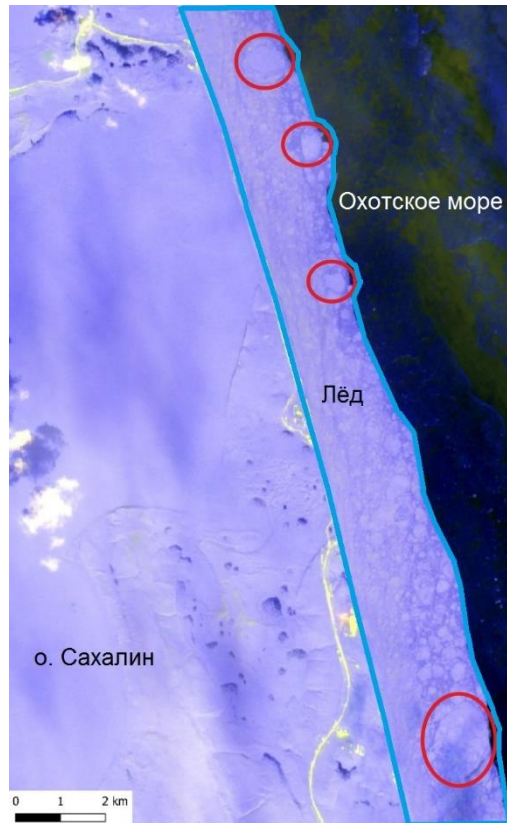


Рисунок 2.4 – Фрагмент изображения исследуемого участка со спутника Sentinel-2, 25 марта 2019. Красными овалами выделены предполагаемые стамухи.

По результатам обработанных батиметрических данных с учетом приливо-отливных явлений установлено, что глубины площадки Одопту-море изменяются от нулевой отметки (береговая линия) до изобаты 9 м, углубляясь в сторону моря.

В мелководной прибрежной части площадки Одопту-море, до изобаты 7 м, наблюдается выпаживание морского дна стамухами, на глубину до 4 м ниже его поверхности (рисунки 2.5, 2.6).

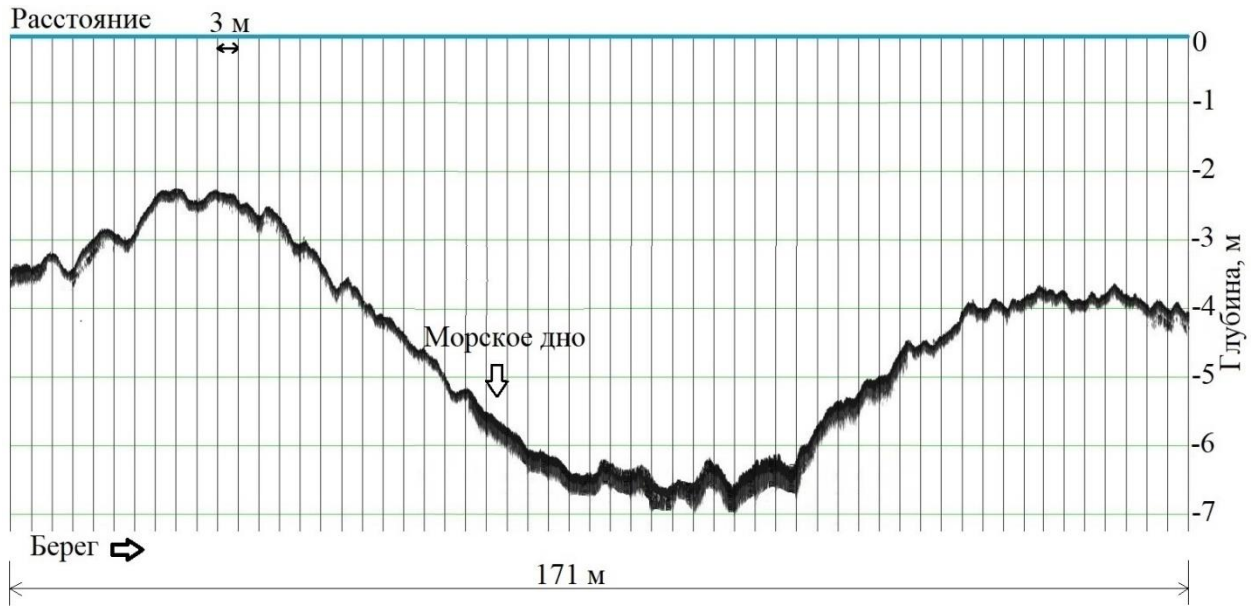


Рисунок 2.5 – Фрагмент записи батиметрической съемки в северной части площадки Одопту-море.

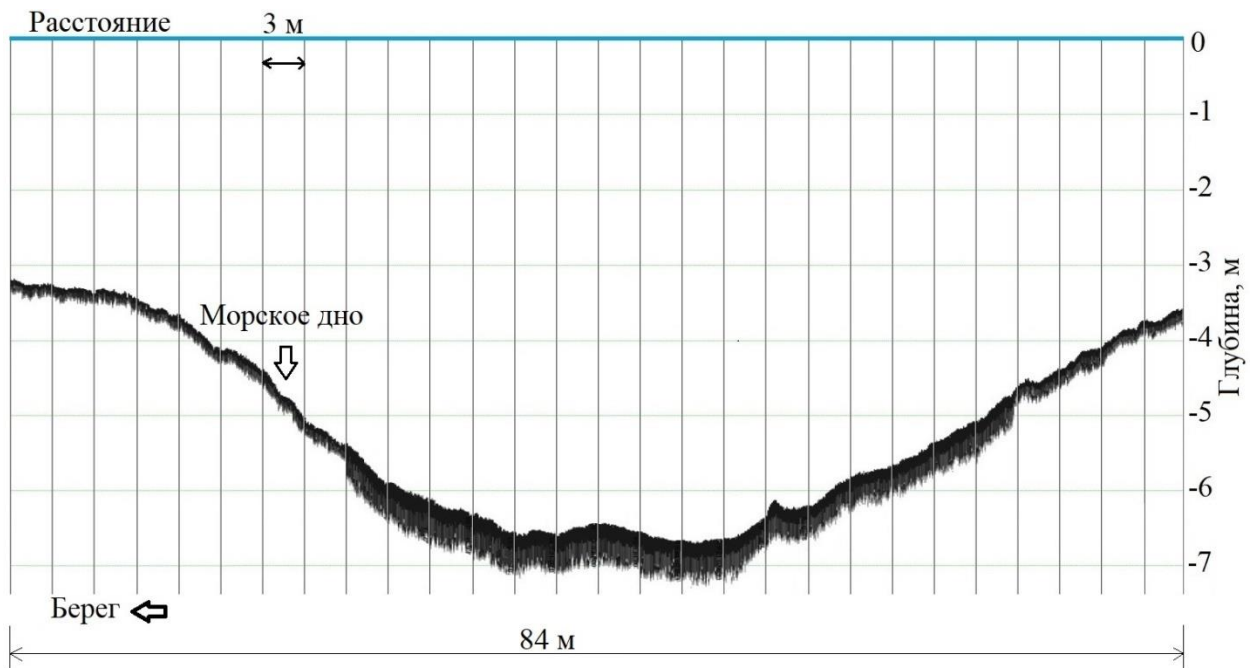


Рисунок 2.6 – Фрагмент записи батиметрической съемки в центральной части площадки Одопту-море.

Вдоль береговой линии на протяжении практически всего участка площадки простираются аккумулятивные валы и промоины, образующиеся в процессе намыва и размыва береговой зоны побережья (рисунки 2.7, 2.8).



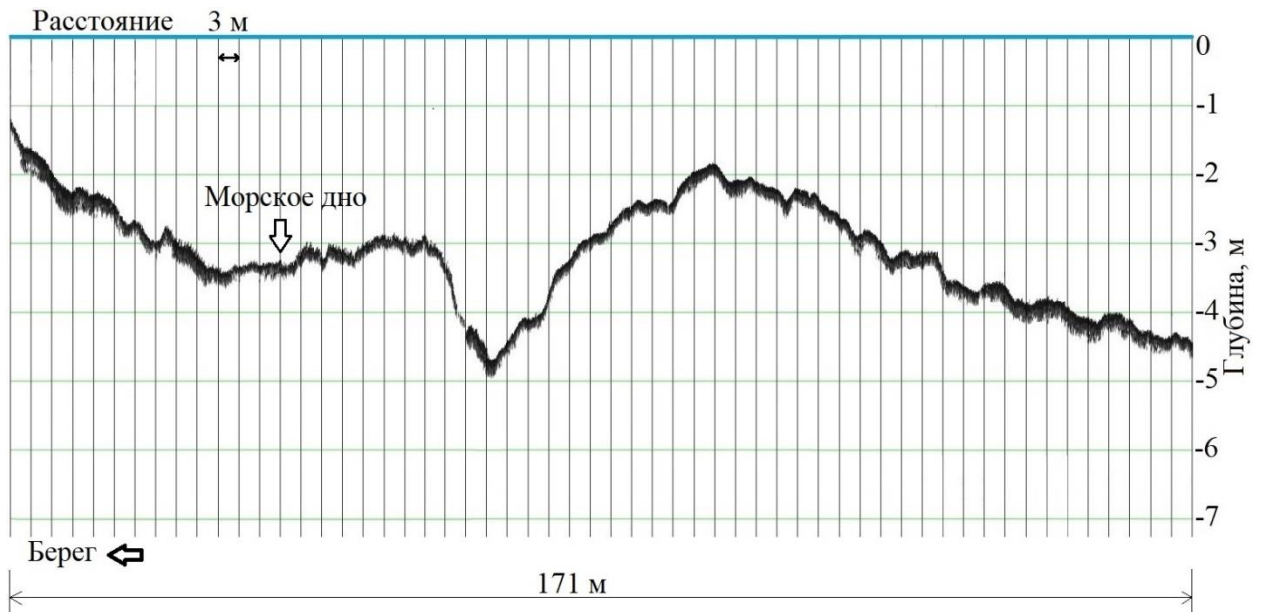


Рисунок 2.7 – Фрагмент записи батиметрической съемки, показывающий размыв в береговой зоне побережья.

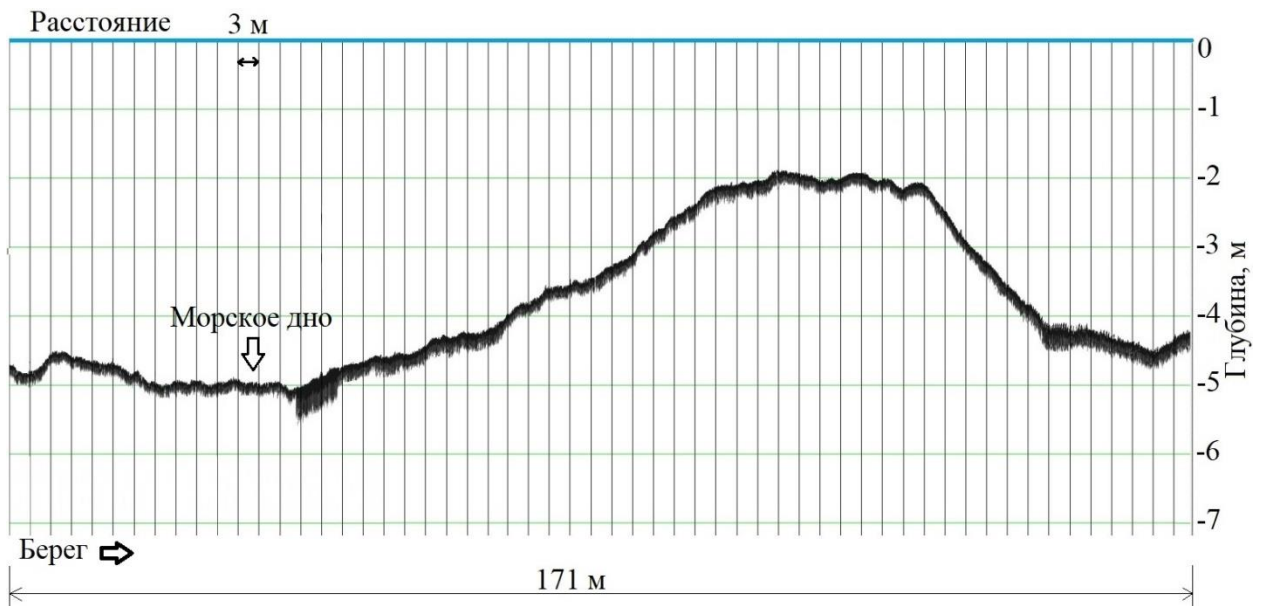


Рисунок 2.8 – Фрагмент записи батиметрической съемки, показывающий аккумулятивный вал в береговой зоне побережья.

На основе анализа построенной батиметрической карты площадки Одопту-море выделены участки зон ледовой экзарации (рисунок 2.9). Ввиду того, что батиметрическая съёмка выполнялась с помощью однолучевого эхолота, данные на карте представлены в виде изобат и поэтому батиметрическую карту или её фрагмент нецелесообразно отображать в

работе. Выделение зон ледовой экзарации выполнялось визуально на батиметрической карте в местах, где замечено резкое локальное изменение глубин моря.



Рисунок 2.9 – Карта-схема зон ледовой экзарации площадки Одопту-море.

Приповерхностные донные отложения состоят, главным образом, из голоценовых песков с единичными включениями гравия, перекрывающих неогеновые отложения, представленные переслаивающимися слаболитифицированными грунтами (супесями и суглинками). Наибольшая мощность голоценовых отложений отмечается в местах развития песчаных валов и песчаных волн. На некоторых участках между песчаными валами голоценовые отложения представлены прерывающимися отложениями песка и остаточным гравийным материалом.

Проведенный анализ батиметрических данных показывает, что вдоль прибрежной части острова Сахалин в районе газонефтяного месторождения Одопту-море простираются неровности морского дна, связанные с выпахиванием ледяных образований.

## **2.2. Палеоврезы и локальные газовые аномалии плиоцен-четвертичных отложений**

Палеоврезы представляет собой погребенную долину, заполненную неконсолированными грунтами с ослабленными несущими характеристиками. Форма палеовреза на временном разрезе выражается в виде выпуклой в сторону подошвы линзы с плоской субгоризонтальной кровлей. В случае, если палеоврез сложен тонкопереслаивающимися супесями и суглинками, то на временном разрезе видна слоистая структура. Часто грунты палеовреза обогащены биологическим газом. В этом случае внутренняя структура палеовреза не видна. Для поисков палеоврезов и придонных газовых аномалий в прибрежной части акватории оптимальным инженерно-геофизическим методом, по мнению автора, является непрерывное сейсмоакустическое профилирование, которое хорошо себя зарекомендовало при исследованиях в пределах Венинского лицензионного блока (шельф острова Сахалин) [Лексин, 2021].

Гидромагнитная съемка при проведении инженерно-геологических изысканий в основном применяется для поиска техногенных опасностей (исходя из требований технических заданий), связанных с магнитоактивными объектами и/или проводниками электрического тока (затонувшие суда, неразорвавшиеся боеприпасы, подводные кабели, трубопроводы и прочие). Именно поэтому проведено комплексирование данных гидромагнитной съемки и непрерывного сейсмоакустического профилирования.

По данным непрерывного сейсмоакустического профилирования в разрезе изучаемой площадки Северо-Венинская (глубина моря от 24,5 до 27 м) было выделено два сейсмоакустических комплекса, которые отличаются друг от друга по характеру волновой картины.

Первый сейсмоакустический комплекс (САК 1) залегает в верхней части разреза и своей верхней границей совпадает с дном моря (рисунок 2.10).

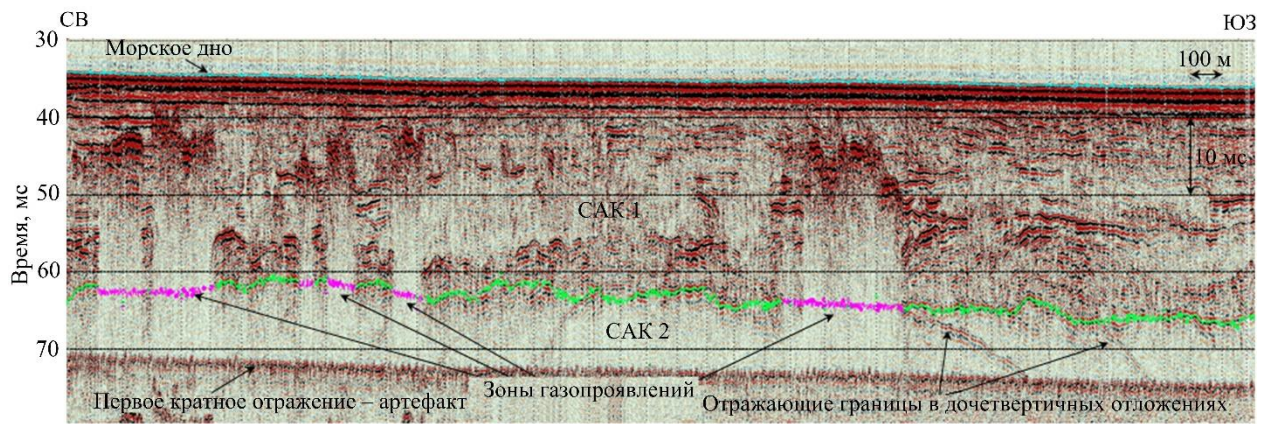


Рисунок 2.10 – Пример интерпретации сейсмоакустического разреза, показывающий зоны газопроявлений в верхней части разреза.

По значениям мощности отложений первого сейсмоакустического комплекса площадка делится на 2 зоны: северо-западную, где мощность САК 1 колеблется от 18 до 23 метров и юго-восточную, где она существенно меньше и колеблется от 3 до 8 метров. Зоны разделяются палеоуступом высотой около 10 метров. По характеру и очертаниям, он, вероятно, представляет собой погребенный абразионный берег палеозалива. В литологическом отношении комплекс представлен, в основном, песчано-супесчаными отложениями с прослоями суглинков, галечного и гравийного материала.

Ниже по разрезу, с угловым несогласием по отношению к вышележащим отложениям, картируется второй сейсмоакустический комплекс (САК 2) (рисунок 2.11).



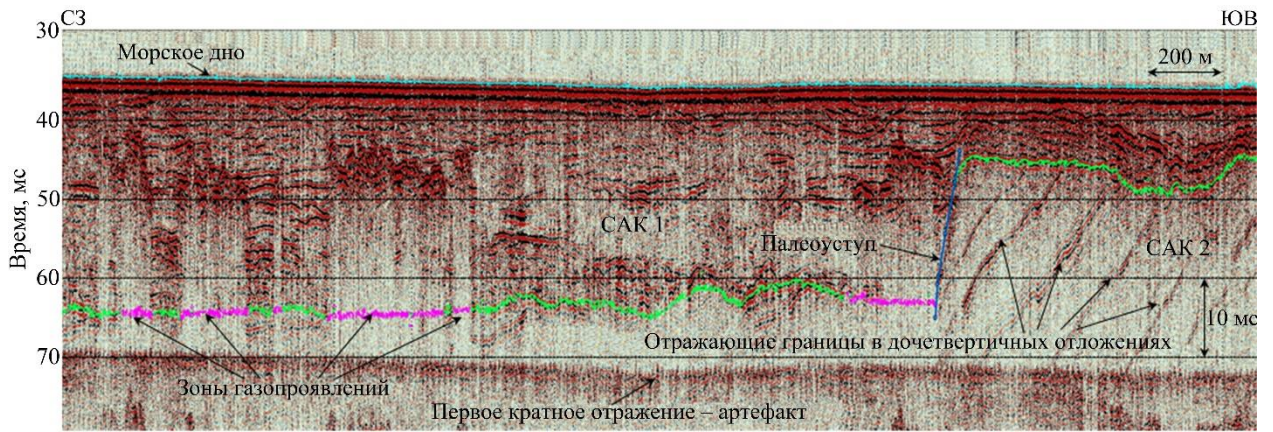


Рисунок 2.11 – Пример интерпретации сейсмоакустического разреза, показывающий зоны газопроявлений и палеоступ дочетвертичных отложений в верхней части разреза.

Мощность его по данным непрерывного сейсмоакустического профилирования не установлена. Во вскрытой скважиной части разреза он представлен слабо литифицированными суглинками и песчано-супесчаными отложениями.

В пределах изученной площадки было выявлено множество газопроявлений, приуроченных к зоне наибольших мощностей САК 1. По глубине газопроявления локализуются в интервале от 5 до 15 м ниже поверхности морского дна. Учитывая большую долю вероятности в том, что эта зона является территорией палеозалива, газопроявления возможно имеют биогенное происхождение.

В стратиграфическом отношении первый сейсмоакустический комплекс отнесен к морским четвертичным осадкам (mQ), второй сейсмоакустический комплекс отнесен к отложениям верхненутовской подсвиты ( $N_{2nt_2}$ ) нижнеплиоценового возраста.

Магнитное поле изученной площадки в пределах Венинского лицензионного блока изменяется от 54099 до 54270 нТл. По результатам сравнительного анализа временных сейсмоакустических разрезов и графиков магнитной индукции выявлено, что высокочастотные магнитные аномалии амплитудой от 10 до 40–50 нТл территориально совпадают с особенностями

волнового поля, что подтверждает их геологическое происхождение [Лексин, 2020б]. В данном случае локальные магнитные максимумы обусловлены палеоуступами дочетвертичных отложений (рисунки 2.12, 2.13).

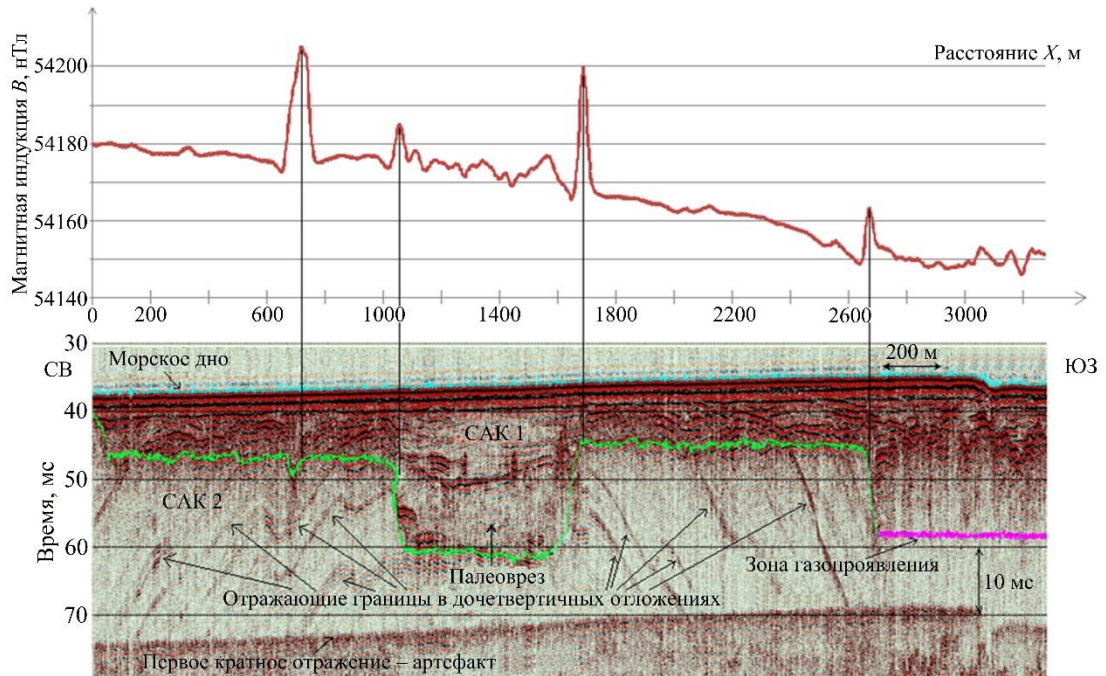


Рисунок 2.12 – Пример сопоставления графика магнитной индукции и временного сейсмоакустического разреза по профилю 1.

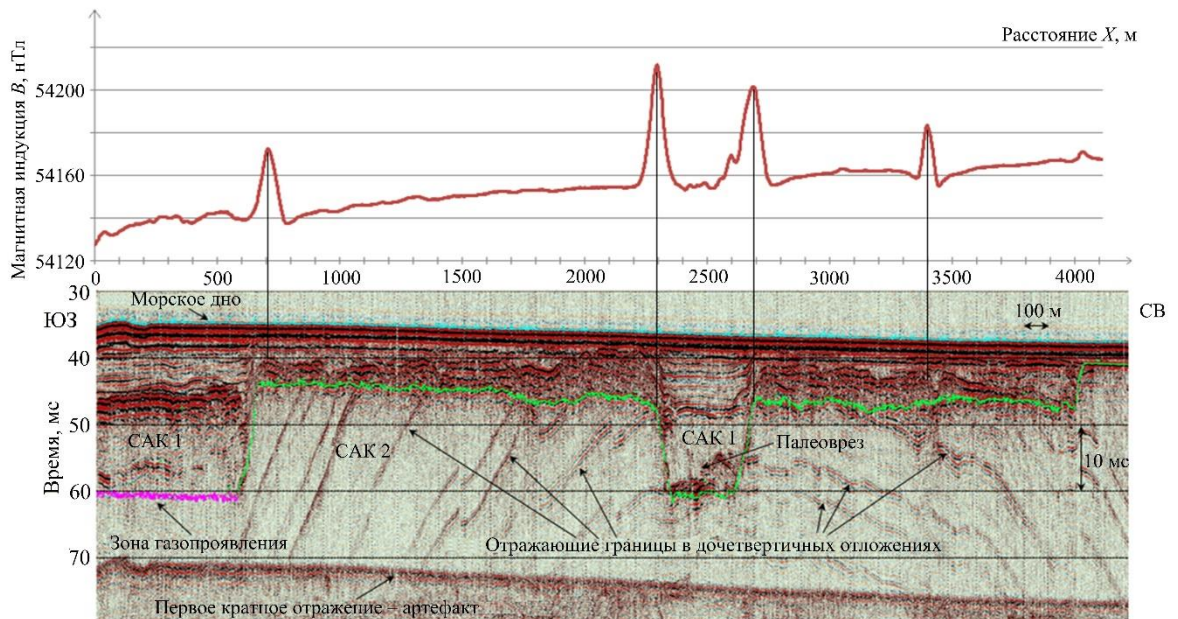


Рисунок 2.13 – Пример сопоставления графика магнитной индукции и временного сейсмоакустического разреза по профилю 2.

Расстояние между профилями 1 и 2 (перпендикулярные береговой линии) при проведении морских исследований на Венинской площадке (3×4 км) составляло 200 м, между основными – 100 м.

По результатам проведенных геофизических исследований на Венинской площадке была составлена карта опасных геологических процессов (рисунок 2.14).

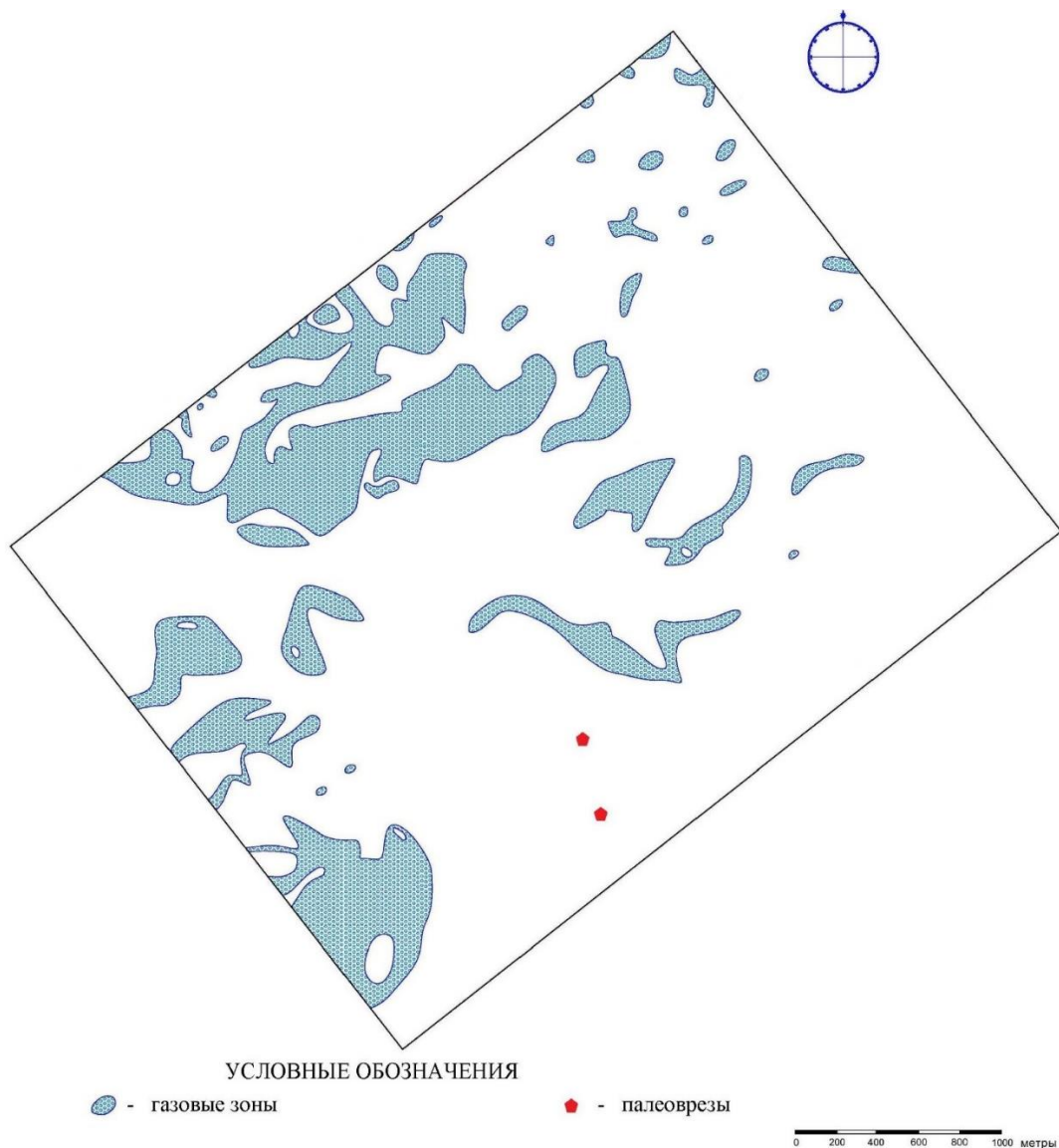


Рисунок 2.14 – Карта опасных геологических процессов Венинской площадки.

Обнаруженные палеоврезы могут оказать негативное влияние на строительство инженерных сооружений и постановку буровой платформы по двум причинам: во-первых, они заполнены неконсолированными грунтами



с ослабленными несущими характеристиками, а во-вторых, внутренняя структура палеоврезов по характеру сейсмической записи свидетельствует о наличии газа в грунтах. Обнаруженные придонные газовые зоны могут представлять опасность при проходке буровой колонны в верхней части геологического разреза ввиду возможного непроизвольного выброса углеводородов, что может причинить вред буровому оборудованию и водным биологическим ресурсам. Если даже не произошел взрывной выброс с непосредственной аварией буровой платформы, то постепенная утечка газа может привести к падению давления внутри пластов и, как следствие, к оседанию грунта. Если же здесь окажется одна из опор буровой платформы, то авария неизбежна.

### **2.3. Выводы к главе 2**

1. В результате анализа батиметрических данных прибрежной площадки Одопту-море северо-восточного шельфа острова Сахалин выявлены зоны ледовой экзарации и определены максимальные глубины выпахивания стамухами морского дна.
2. По результатам батиметрических исследований в районе газонефтяного месторождения Одопту-море можно предположить, что вся северо-восточная прибрежная часть острова Сахалин подвержена ледовой экзарации.
3. Аномалии магнитного поля в прибрежной части северо-восточного шельфа острова Сахалин обусловлены палеоуступами дочетвертичных отложений.
4. Комплексование непрерывного сейсмоакустического профилирования и гидромагнитной съемки повысило эффективность и однозначность локализации этих зон, что подтверждено полученными фактическими материалами.



### ГЛАВА 3. ЕДИНЫЙ ГРАФ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПЛОЩАДОК ЮЖНО-КИРИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Под цифровой обработкой сейсмической информации МОВ понимают преобразование исходных полевых сейсмограмм во временные разрезы, позволяющие извлекать наиболее полную геологическую информацию. В сейсморазведке считается, что регистрируемые колебания являются суммой сигналов и помех. В МОГТ полезным сигналом являются однократно отражённые волны, используемые для построения геологических границ, а также определения свойств: вся остальная информация относится к шуму. Поэтому при обработке главная цель – подавить помехи и извлечь сигнал с наименьшими искажениями.

Основой для разработки единого графа обработки сейсмических данных для всех площадей в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения послужили сейсмические данные, полученные в полевой сезон с 2010 по 2017 годы (рисунок 3.1) [Лексин и др., 2018].



Рисунок 3 – Обзорная карта исследований сейсморазведки высокого разрешения в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения.

Обработка сейсмических данных выполнялась по методу общей глубинной точки [Sheriff, Geldart, 1983; Yilmaz, 2001; Телегин, 2004]. Было обработано свыше 8000 погонных км. Кроме основных процедур обработки были применены такие процедуры как: детерминистическая нуль-фазовая деконволюция по сигнатуре в ближней зоне, компенсация аппаратурной задержки, ослабление когерентных помех до суммирования, устранение влияния углов наклона границ (частичная миграция), расчет нуль-фазового фильтра по найденному импульсу [Лексин, Фетискин, 2018].

### 3.1. Метод общей глубинной точки

В теоретической основе метода лежит введение кинематических поправок для спрямления годографов полезных отражений, что способствует их дальнейшему синфазному суммированию. Кратно-отраженные волны при вводе кинематической поправки для однократно-отраженных волн будут переспрямляться или не доспрямляться, в зависимости от выбора скоростного закона. Задача кинематической поправки заключается в том, чтобы привести все времена прихода отраженной волны к одному времени  $t_0$ , т.е. преобразовать годограф отраженной волны из гиперболы в горизонтальную линию (рисунок 3.2).

Формула годографа отражённой волны (1):

$$t_{\text{орт}}(l) = \sqrt{t_0^2 + \frac{l^2 \cdot \cos^2 \varphi}{v^2(t_0)}}, \quad (1)$$

где  $t_0$  – нулевое время прихода волны,  $l$  – удаление,  $\cos \varphi$  – угол наклона границы,  $v(t_0)$  – скорость в слое.

Тогда значение кинематической поправки может быть представлено выражением (2):

$$\Delta t_k = t_{\text{орт}}(l) - t_0 = \sqrt{t_0^2 + \frac{l^2 \cdot \cos^2 \varphi}{v^2(t_0)}} - t_0 \quad (2)$$

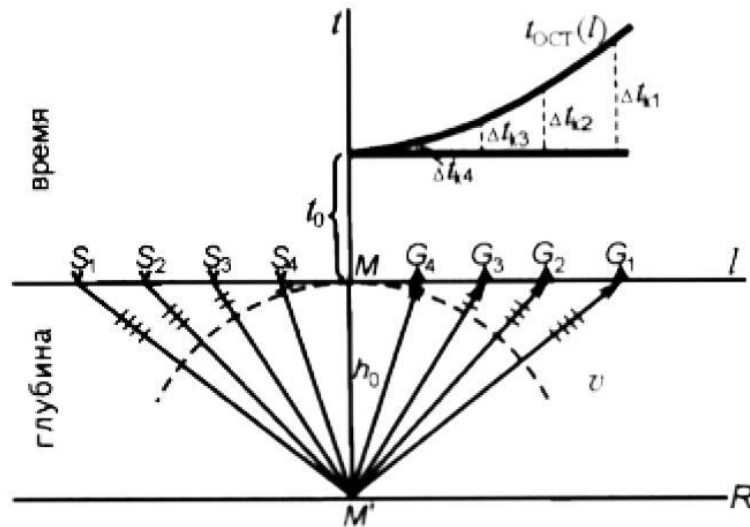


Рисунок 4 – Схема ввода кинематической поправки для годографа отраженной волны от горизонтальной границы R.

Таким образом, введя кинематические поправки, годограф однократно отраженной волны спрямится, и последующее суммирование всех трасс сейсмограммы ОГТ даст одну трассу ОГТ нулевого удаления, на которой отношение сигнал/шум должно увеличиться в  $N/2$  (где  $N$  это кратность точки ОГТ), а кратные волны будут подавлены, вследствие их несинфазного суммирования. Следует отметить, что увеличение в  $N/2$  раз достигается только при выполнении следующих условий:

- 1) амплитудные уровни всех трасс в одинаковых временных интервалах должны быть равны;
- 2) ни одна из трасс не должна содержать смещение (аддитивную постоянную), [Хаттон, 1989].

### 3.2. Обработка данных сейсморазведки высокого разрешения с сохранением амплитуд

Обычное требование к процедурам современной обработки сейсмических данных состоит в сохранении амплитуд. Термин «сохранение амплитуд» означает, прежде всего, отказ от автоматической регулировки

усиления сейсмических данных, которая способна серьезно исказить либо полностью нивелировать присущие им динамические особенности и закономерности поведения амплитуд отраженных волн, связанные со свойствами изучаемой глубинной части неоднородной земной среды. Поскольку неоднородная верхняя часть изучаемой земной среды сама по себе вносит сильные кинематические и динамические искажения в наблюдаемое поле сейсмических отраженных волн от целевых глубинных горизонтов, одной из центральных задач обработки с сохранением амплитуд является устранение указанного искажающего влияния.

Ежегодно собираемые и обрабатываемые разными исполнителями данные СВР на разных площадках Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения носили локальный характер без привязки к единой системе. В связи с этим построенные в разные годы сейсмические разрезы не давали возможности провести корреляцию отражающих горизонтов и геологических объектов на пересекающихся площадках. Для решения вышеизложенной проблемы автором разработан единый граф обработки данных сейсморазведки высокого разрешения для всех площадей исследований в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения. Кроме основных процедур были применены также детерминистическая нуль-фазовая деконволюция по сигнатуре в ближней зоне, компенсация аппаратурной задержки, ослабление когерентных помех до суммирования, устранение влияния углов наклона границ (частичная миграция), расчет нуль-фазового фильтра по найденному импульсу.

Исходные сейсмические данные характеризуются наличием шумов, обусловленных волнением моря и экранирующим эффектом дна. Для района исследований существенное влияние на формирование волнового поля оказывает наличие газонасыщенных зон и пропластков в верхней части разреза. Процедуры, входящие в граф обработки сейсмических данных, позволили редактировать «шумы» в трассах, подавить донно-кратные и



многократные волны, увеличить разрешенность полезных волн (рисунки 3.3–3.6).

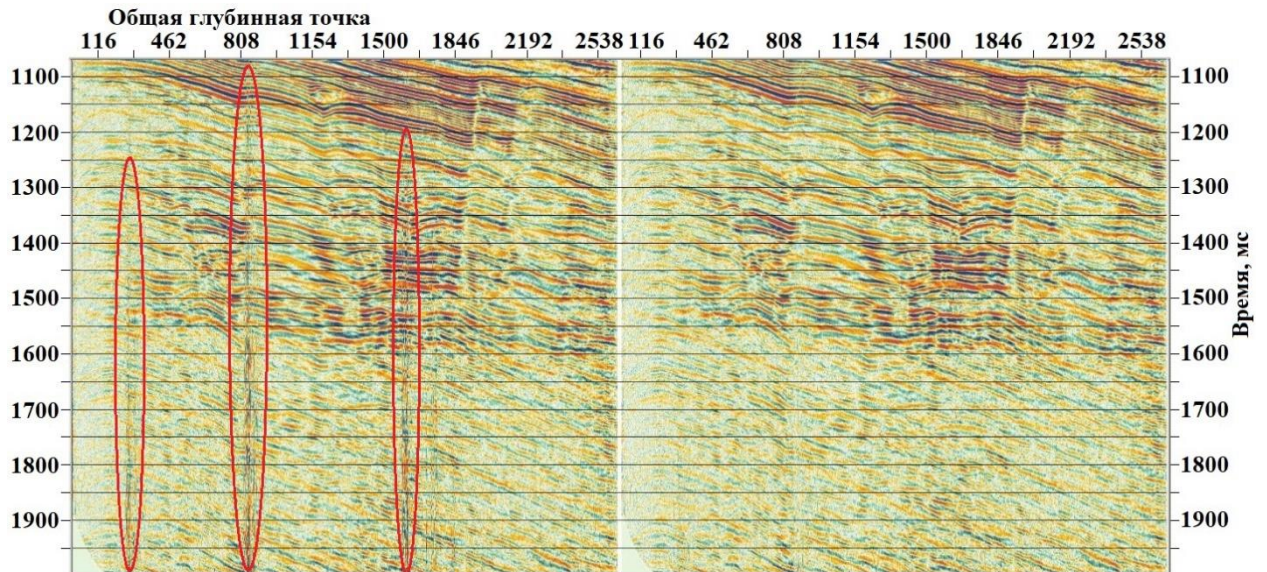


Рисунок 3.3 – Фрагмент разреза ОГТ до (слева) и после (справа) редактирования. Показывает подавление «шумов» в трассах, вызванные дерганием контролерами глубины сейсмической косы из-за волнения моря.

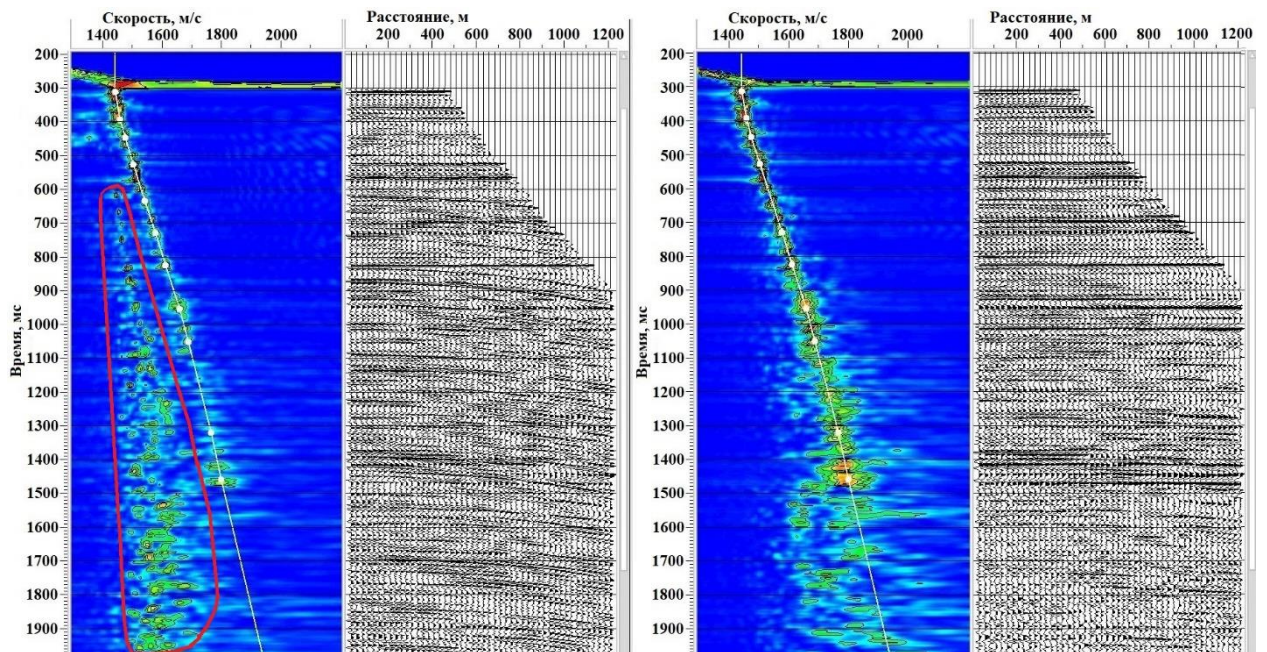


Рисунок 3.4 – Скоростной анализ до (слева) и после (справа) применения процедуры Radon Filter. Показывает подавление кратных волн и увеличение разрешенности полезных волн.



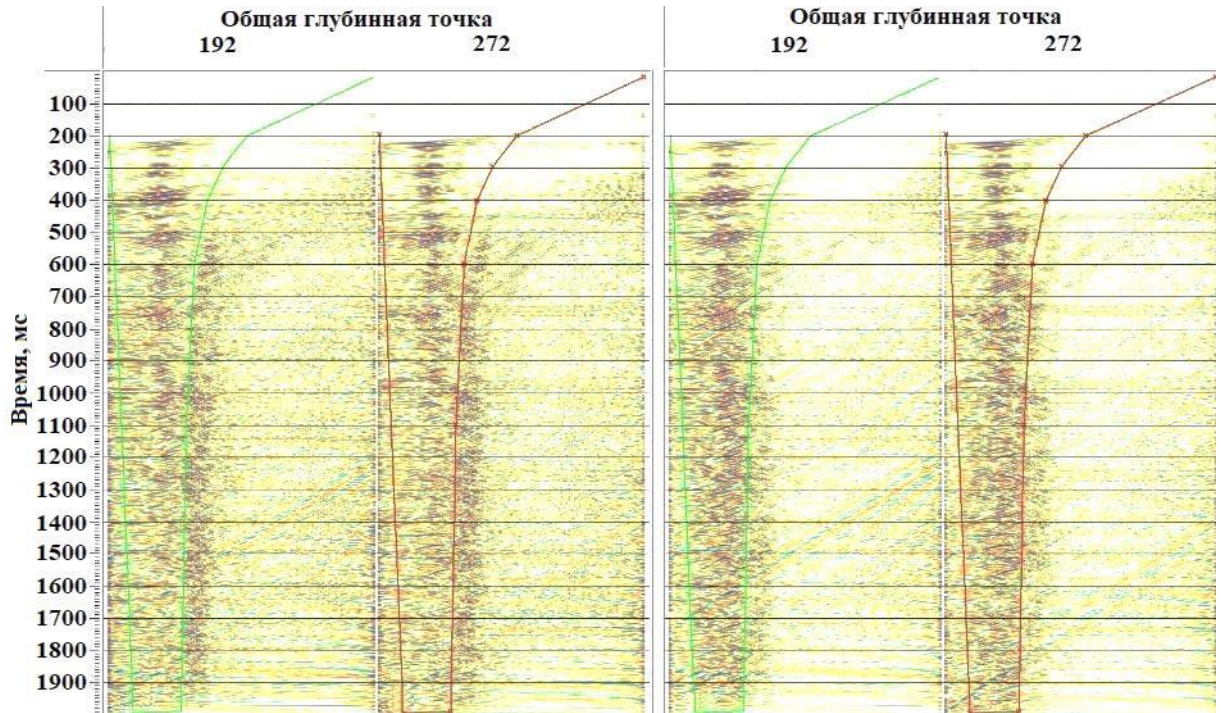


Рисунок 3.5 – TR сейсмограммы ОГТ до (слева) и после (справа) Radon Filter. Красной и зелёной линиями показан мьютинг для подавления кратных волн.

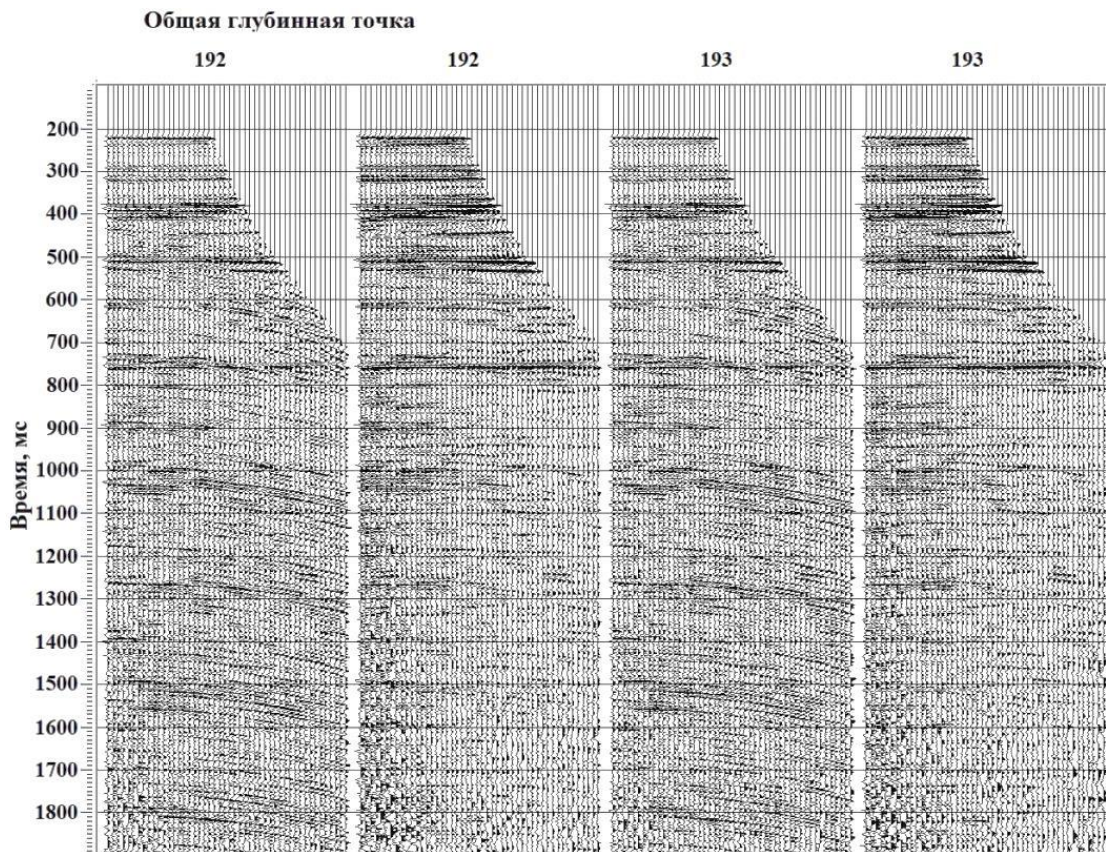


Рисунок 3.6 – TX сейсмограммы ОГТ до (слева) и после (справа) Radon Filter.

Методы подавления кратных волн рассматриваются в научных трудах [Денисов и др., 2007; Фатьянов, 2010; Verschuur, 2013, Масюков и др., 2014; Денисов и др., 2017; Вакуленко, 2018].

На временных разрезах, предназначенных для миграции, данные обязательно должны быть приведены к общей точке отражения. Эта операция, которая называется еще частичной миграцией или устранением влияния углов наклона границ, выполнялась процедурой Dip Move Out (DMO). Для выполнения DMO была выбрана программа Ensemble DMO in T-X Domain, а для миграции после суммирования – программа Steep Dip Explicit FD Time Mig. В результате обработки сейсмических данных получены высококачественные сейсмические мигрированные разрезы. Для оценки формы импульса по полученному разрезу использовалась центральная, полнократная часть разреза и временной интервал 500–1500 мс. Примеры полученных сейсмических разрезов из разных площадей исследований представлены на (рисунках 3.7–3.9).



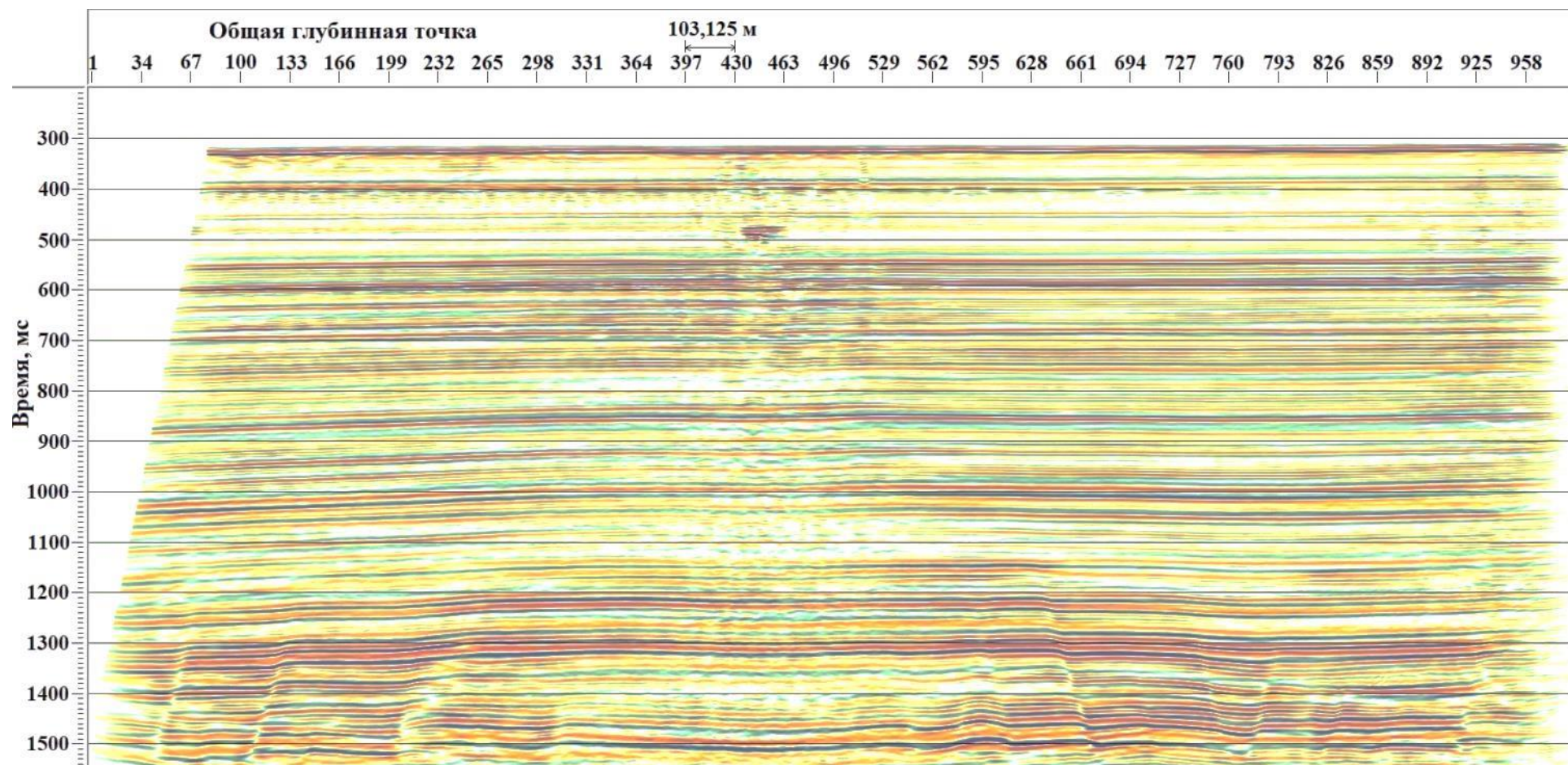


Рисунок 3.7 – Пример результатов обработки. Сейсмический мигрированный разрез. Площадка ЮК № 2.



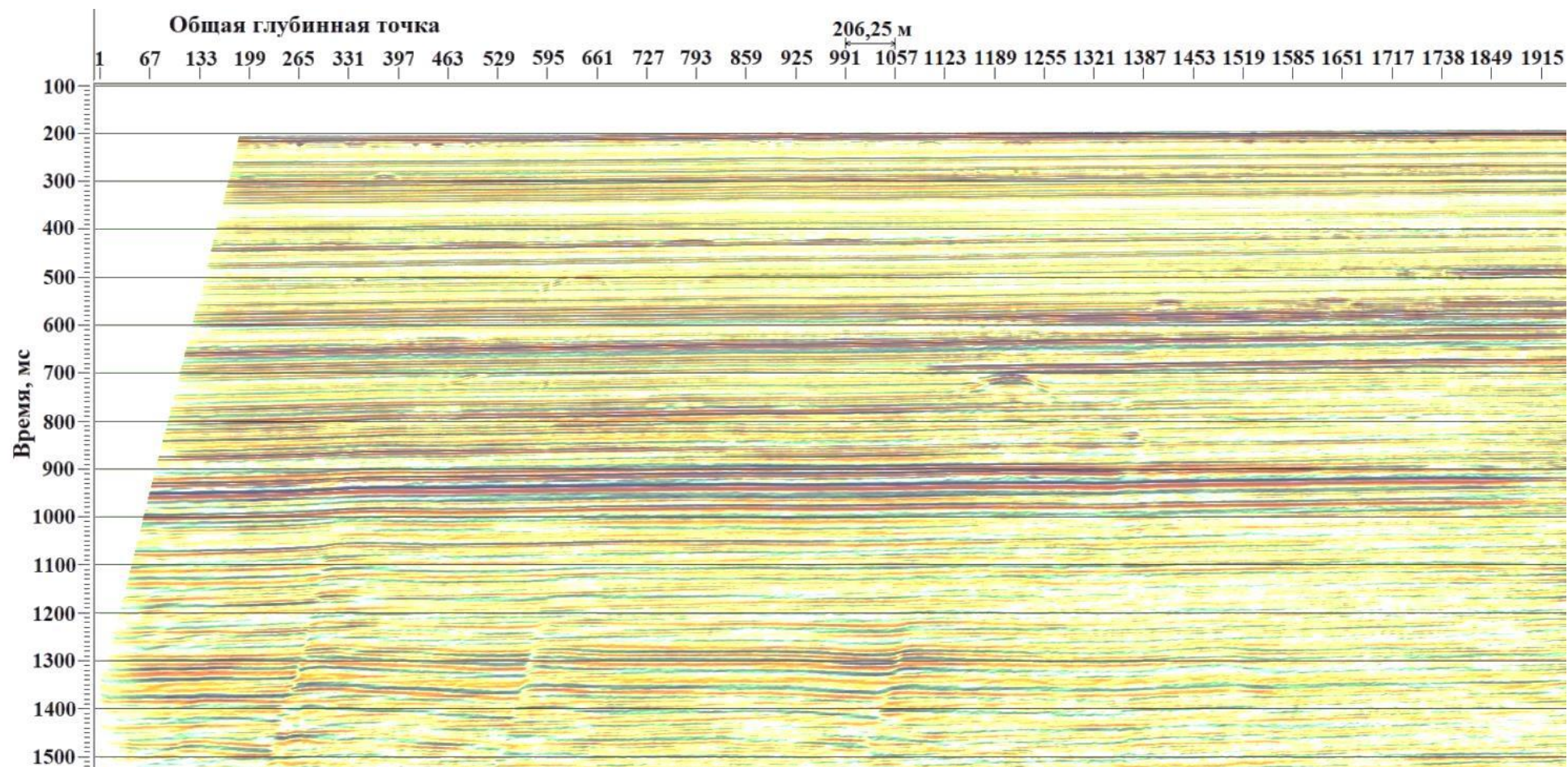


Рисунок 3.8 – Пример результатов обработки. Сейсмический мигрированный разрез. Площадка ЮК № 6.



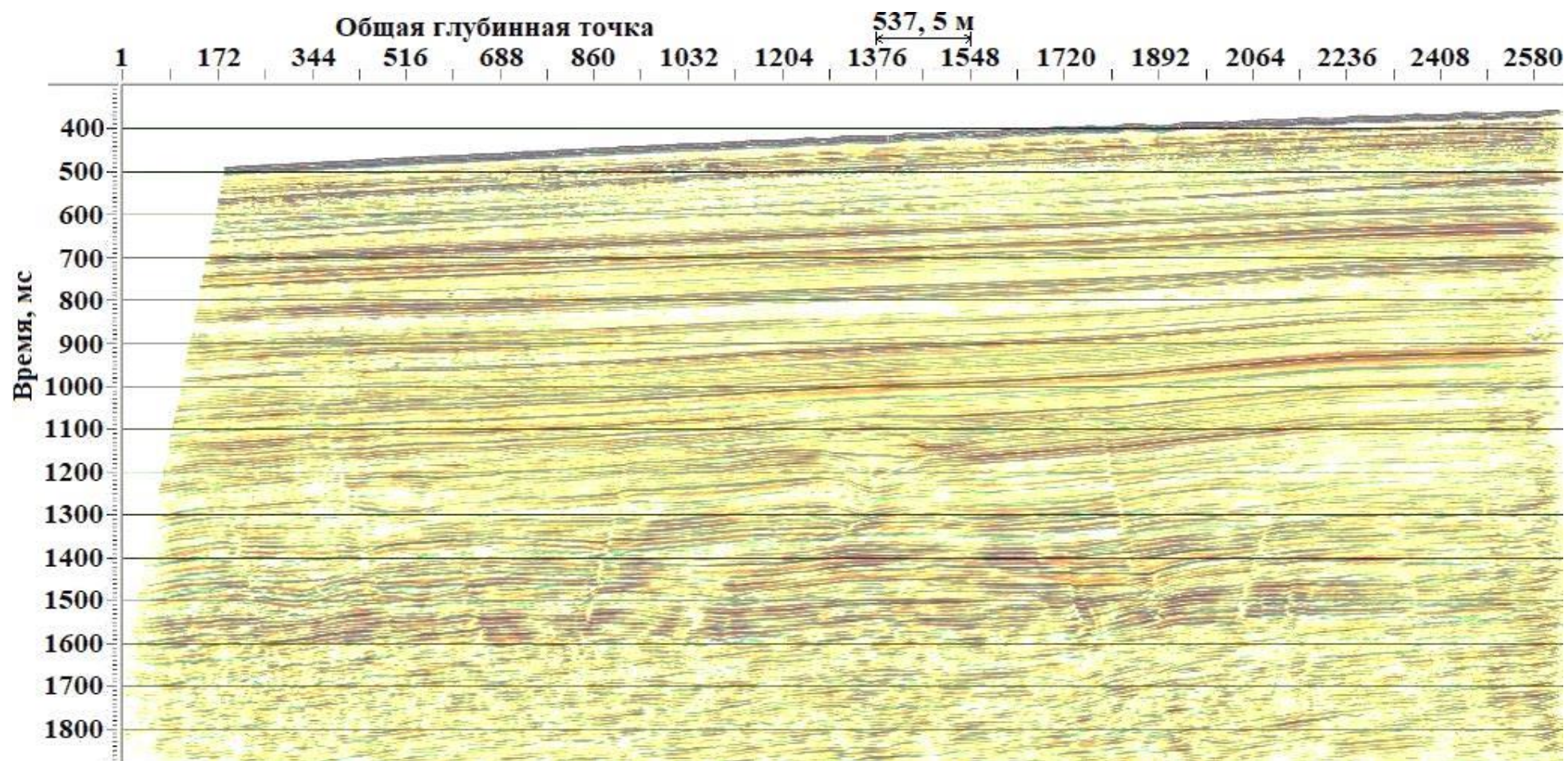


Рисунок 3.9 – Пример результатов обработки. Сейсмический мигрированный разрез. Площадка Восточная № 1.

По результатам полученных сейсмических разрезов с едиными параметрами обработки, приведенных к одному виду и уровню, проведена корреляция отражающих горизонтов и выполнено картирование геологических объектов на пересекающихся площадках исследований разных лет (рис. 3.10).

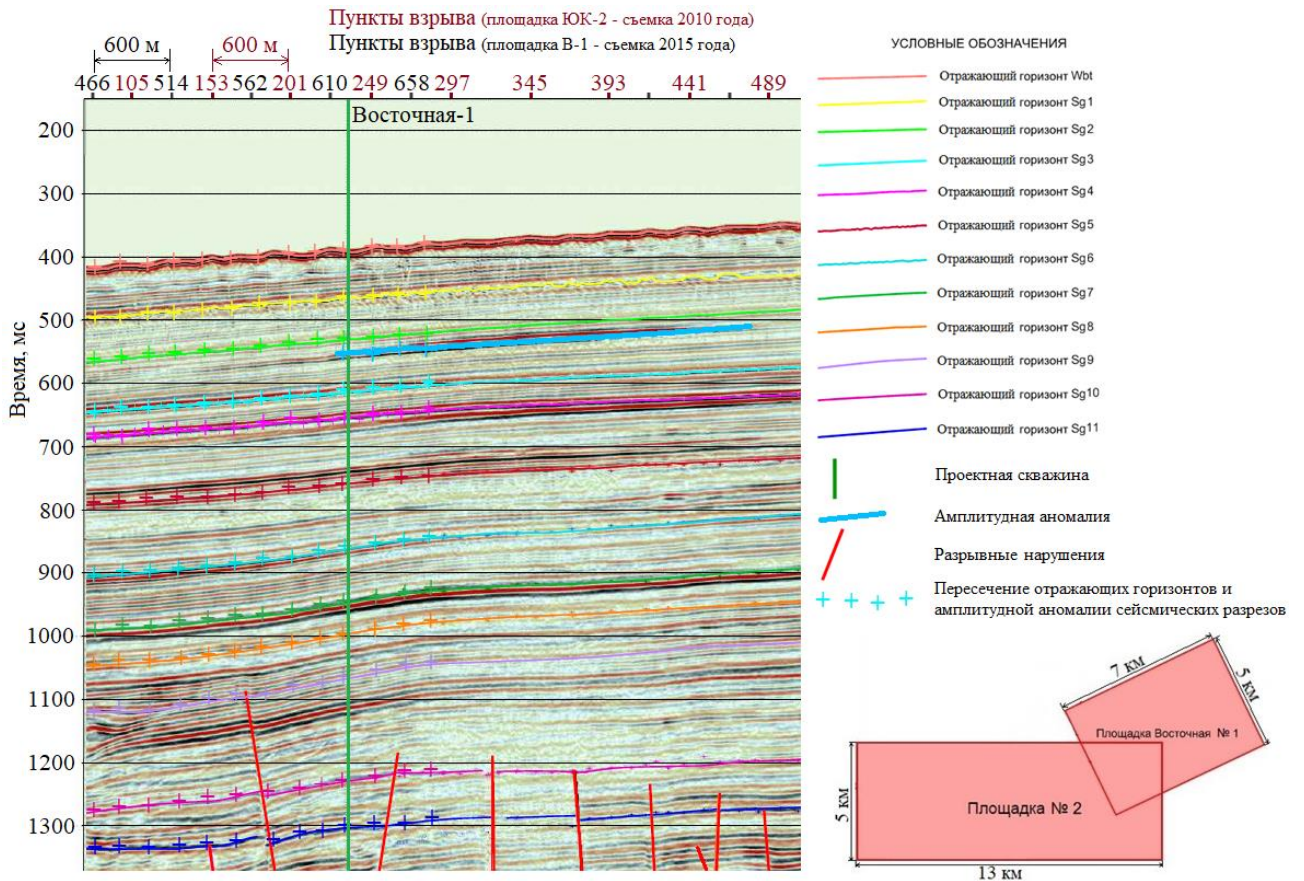


Рисунок 3.10 – Фрагмент сейсмического разреза, иллюстрирующий пересечение отражающих горизонтов и амплитудной аномалии сейсмических профилей, полученных в разные годы.

На фрагменте сейсмического разреза хорошо прослеживаются отражающие горизонты и амплитудная аномалия на разных сейсмических профилях.

### 3.3. Выводы к главе 3

1. В главе рассмотрены особенности обработки данных сейсморазведки высокого разрешения в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения. В результате добавления опционных процедур, таких как детерминистическая нуль-фазовая деконволюция по сигнатуре в ближней зоне, ослабление когерентных помех до суммирования, устранение влияния углов наклона границ (частичная миграция), расчет нуль-фазового фильтра по найденному импульсу в граф обработки максимально улучшилось качество сейсмического изображения.

2. По результатам разработанного единого графа данные разных лет приведены к единому виду и уровню, проведена корреляция отражающих горизонтов и выполнено картирование геологических объектов на пересекающихся площадках исследований Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения.

#### **ГЛАВА 4. ВЫДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ.**

Для повышения безопасности при бурении скважин в различных акваториях необходимо выявление всевозможных опасных геологических процессов по данным сейсмоакустических наблюдений, включая сейсморазведку высокого разрешения [Миронюк и др., 2013; Безродных, 2014; Колюбакин и др., 2015; Петренко и др., 2017; Ампилов и др., 2018; Гайнанов, Токарев, 2018; Росляков и др., 2018; Старовойтов и др., 2018]. При строительстве нефтегазопромысловых сооружений, в том числе бурении в акваториях возможны чрезвычайные ситуации: непроизвольный выброс углеводородов при проходке верхней части разреза, разрушение устья скважины, оседание грунта при миграции газа к донным отложениям, ведущие к экологическим катастрофам и/или авариям инженерных сооружений.

На северо-восточном шельфе и склоне острова Сахалин присутствуют различного рода опасных геологических процессов: разрывные нарушения, палеоврезы, турбидитовый поток, зоны распространения газовых карманов, газогидраты, покмарки, оползневые отложения [Гаврилов, 2002, 2009; Веселов и др., 2006; Обжиров, 2006; Пестрикова, Обжиров, 2010; Баранов и др., 2011, 2013, 2015; Акуличев и др., 2014; Керимов и др., 2015; Богоявленский и др., 2016; Быстрова и др., 2016; Ксенофонтова, 2016; Петренко и др., 2016; Рыбальченко и др., 2017; Новиков, 2018; Терёхина и др. 2018; Голубин и др., 2019; Дзюбло и др., 2019; Рукавишникова, 2019; Шакиров и др., 2021].



#### 4.1. Интерпретация сейсмических разрезов.

По результатам построения сейсмических разрезов была проведена детальная интерпретация на основе сейсмогеологической модели из 13 сейсмических комплексов, разделенных 13 отражающими горизонтами (рисунок 4.1).

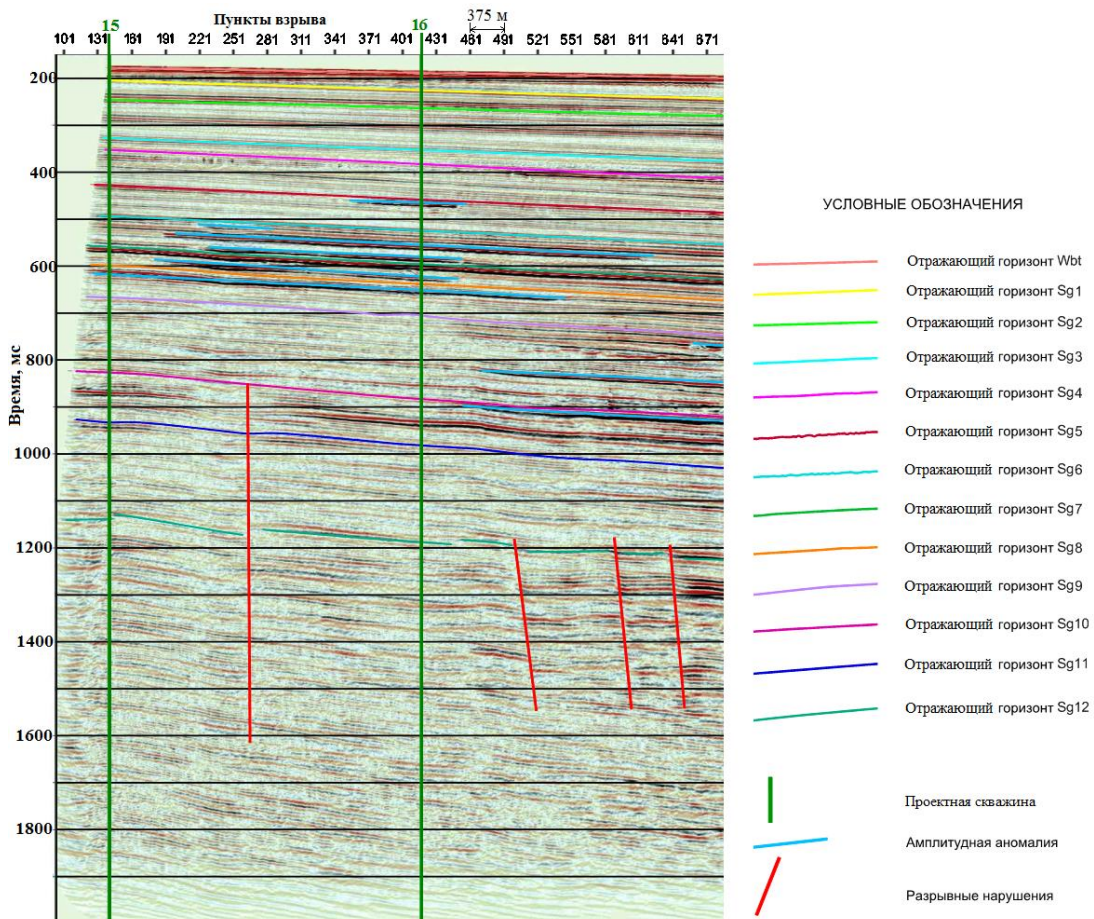


Рисунок 4.1 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза с выделенными отражающими горизонтами.

Такая модель позволила описать потенциально опасные для проведения буровых работ объекты наиболее подробно. Отражающий горизонт Sg12 использован для проецирования на него разрывных нарушений.

Для обнаружения аномальных объектов по каждому сейсмическому комплексу проведен динамический анализ в специализированном

программном обеспечении, в результате по каждому комплексу получены наборы данных о максимальной и минимальной пиковой амплитуде (рисунки 4.2, 4.3).

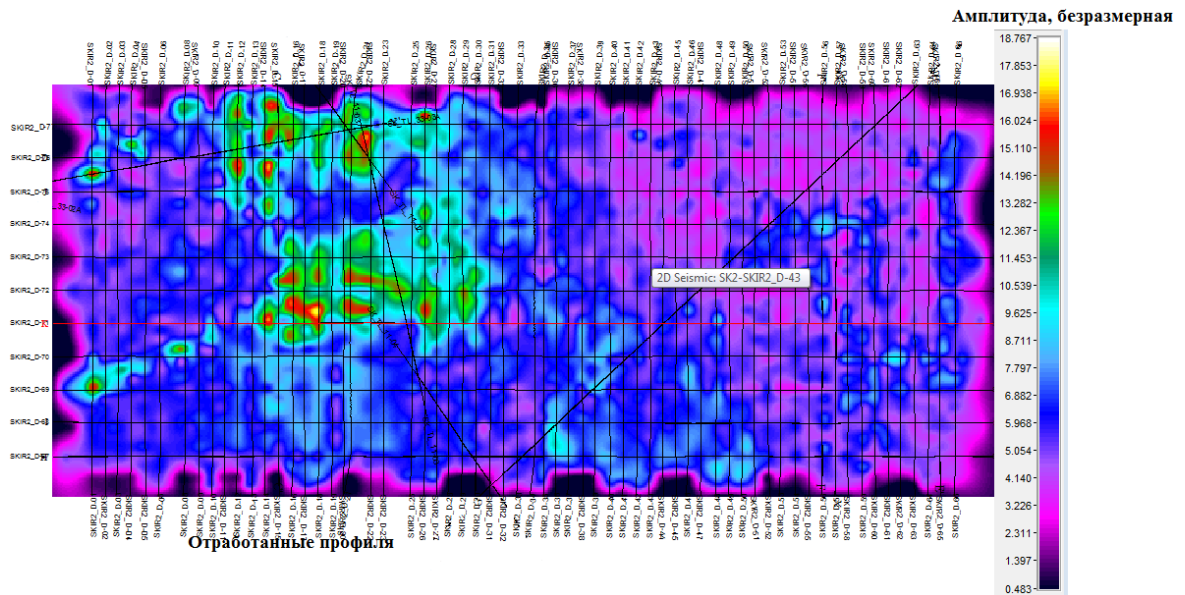


Рисунок 4.2 – Пример распространения динамической характеристики с наложенной схемой обработанных профилей – максимальная пиковая амплитуда по сейсмическому горизонту с отражающими горизонтами Sg5–Sg6 (площадка № 2).

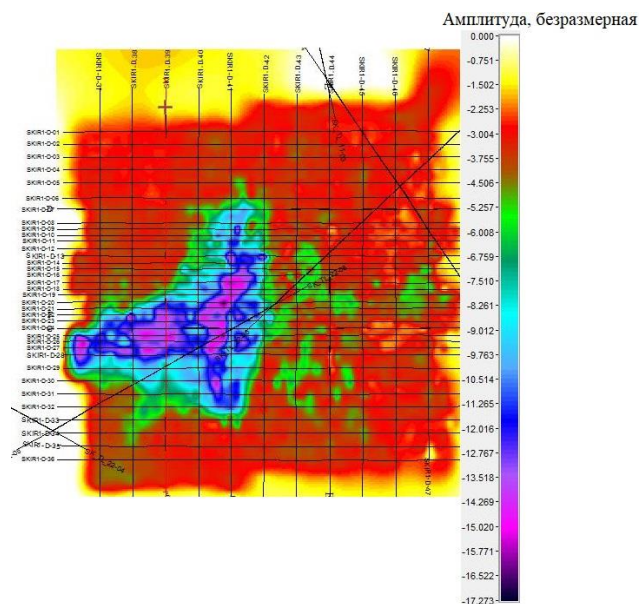


Рисунок 4.3 – Пример распространения динамической характеристики с наложенной схемой обработанных профилей – минимальная пиковая амплитуда по сейсмическому горизонту с отражающими горизонтами Sg5–Sg6 (площадка № 2).

амплитуда по сейсмическому горизонту с отражающими горизонтами Sg5–Sg6 (площадка № 1).

Для оценки степени опасности обнаруженных аномалий, помимо определения амплитуды, эти участки визуально просматривались на сейсмических разрезах для выявления признаков, свидетельствующих о возможном наличии газа – таких как смена фазы, наличие питающего канала, снижение частоты, наличие искажения (ложного прогибания) всех нижележащих границ [Гайнанов, 2008; Хилтерман, 2010].

Для оценки степени опасности разрывных нарушений проведена классификация по принципу: выход в приповерхностные толщи пород (от морского дна до 300 метров) и наличие признаков миграции флюидов [Миронюк и др., 2014; Миронюк, 2015]. При наличии одного или обоих признаков разрывное нарушение классифицируется как потенциально опасное.

Все выявленные опасные геологические процессы по результатам интерпретации сейсмических разрезов выносились на карту [Лексин, 2019б].

#### **4.2. Анализ наличия опасностей по проектным скважинам**

На самом севере изучаемого района находится проектная точка заложения скважины Восточно-Кириная-1 (ВК-1). Ярко выраженных аномальных объектов по стволу скважины не выявлено. Однако стоит отметить мощную, амплитудно-выраженную границу на времени 530 мс (225 м) (здесь и далее глубины указываются от морского дна, а время прихода отраженного сигнала от начала записи) (рисунок 4.4). Связь ее с газонасыщенными толщами маловероятна, однако исключать такую возможность полностью тоже не стоит.

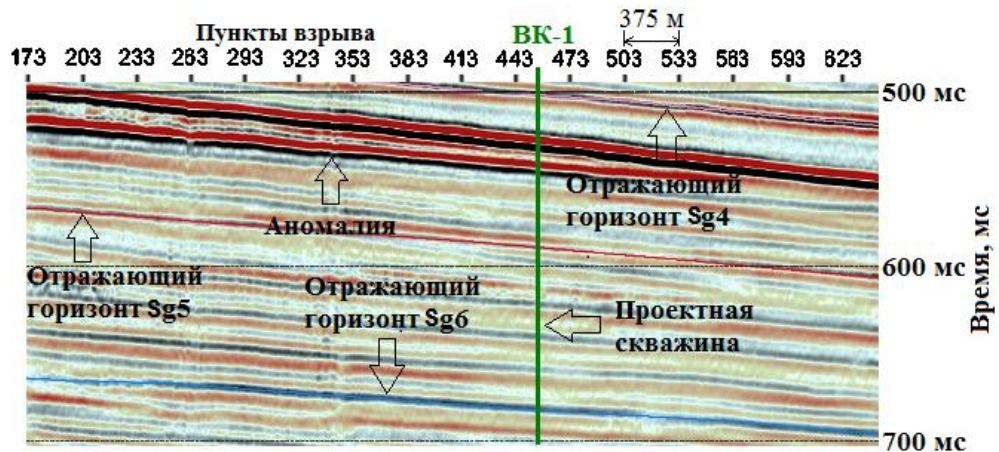


Рисунок 4.4 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий мощную амплитудную аномалию на участке заложения проектной скважины ВК-1.

Скважина 6 расположена на профиле II (рисунок 4.5). Первой потенциальной опасностью на скважине 6 является амплитудная аномалия, выделяемая по временной шкале на 370 мс, что по глубине будет соответствовать 50 м. С достаточной долей условности, она связывается с небольшим по мощности слоем насыщенным газом. Протяженность аномалии по профилю около 3000 м. Слабо выраженные частые вертикальные подводные каналы просматриваются под ней в интервале 280–450 мс, что соответствует глубинам 50–80 м и определяют здесь прерывистую («пунктирную») слабоконтрастную сейсмическую запись. Здесь же просматривается очень слабый эффект прогибания осей синфазности «улыбка». Аномалия, видимо, не представляет большой опасности, но тем не менее ее следует учитывать при подборке параметров глинистого раствора. В 500 м к северу на временном разрезе фиксируется малоамплитудное разрывное нарушение, по которому также возможно проникновение газовых эманаций в описываемую зону.



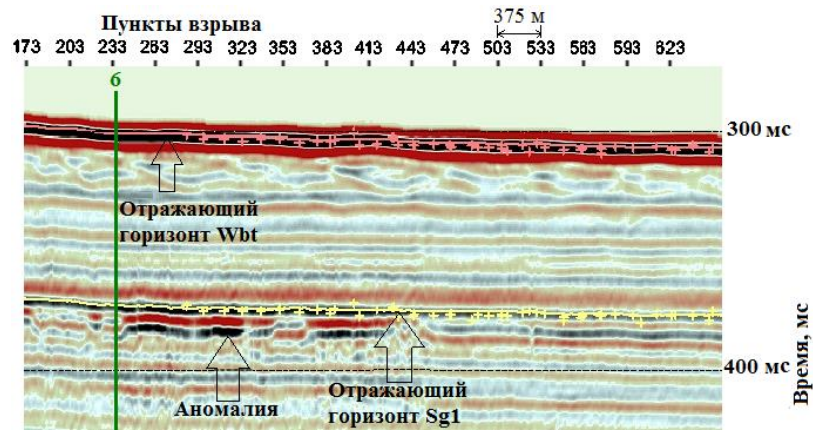


Рисунок 4.5 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий аномалию, связанную с газонасыщением в месте заложения проектной скважины 6. Обозначения: Разноцветные «плюсики» – поперечные сейсмические разрезы с увязанными отражающими горизонтами.

Ниже по временному разрезу на 560 мс (глубина 195 м), фиксируется подобная, но менее протяженная аномалия, с проникновением газовой составляющей по вертикальному каналу, сопутствующему малоамплитудному разрывному нарушению через созданную им ослабленную зону (рисунок 4.6).

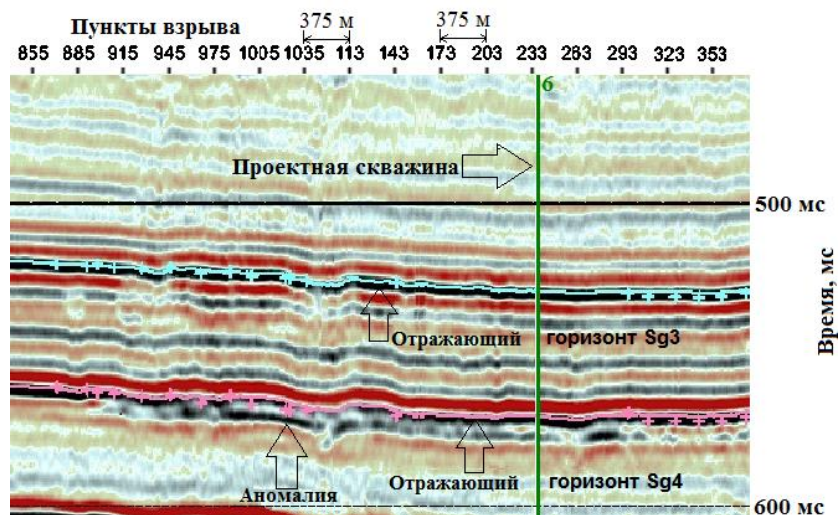


Рисунок 4.6 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий аномалию, связанную с газонасыщением вблизи проектной скважины 6. Обозначения: Разноцветные «плюсики» – поперечные сейсмические разрезы с увязанными отражающими горизонтами.



На глубине 295 м должна быть вскрыта протяженная (около 12 км) амплитудная аномалия, несколько интенсивней вышележащих (рисунок 4.7). Эта аномалия также должна быть учтена при проводке скважины. В целом, в местоположении скважины 6 крупные скопления газа отсутствуют, и при возможной постановке здесь буровой установки преодоление их без осложнений достигается при надлежащих параметрах промывочной жидкости.

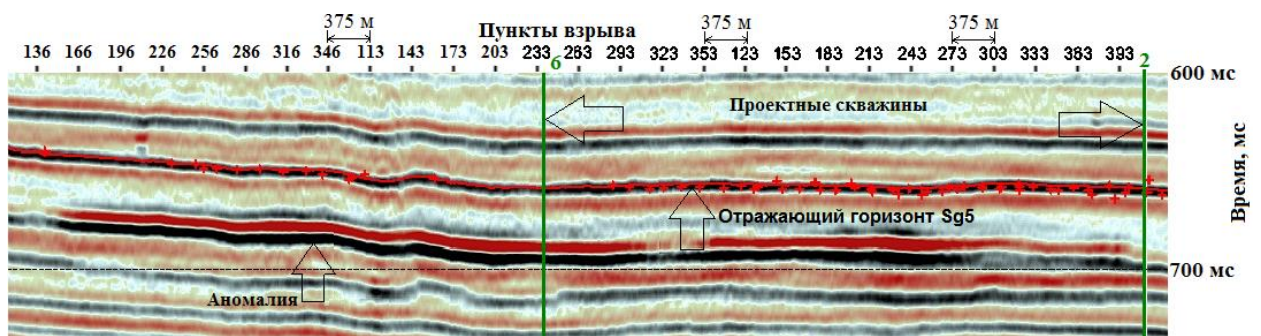


Рисунок 4.7 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий амплитудную аномалию протяженностью около 12 км. Обозначения: Разноцветные «плюсики» – поперечные сейсмические разрезы с увязанными отражающими горизонтами.

Глубже указанного временного интервала опасных газовых скоплений не отмечено.

Южнее скважины 6 в 3250 метрах выделен объект 2, в пределах которого, связанных аномалий со скоплениями газа до глубин 1500 м (интерпретируемая часть СВР) не выявлено.

Следующей по профилю II намечена скважина 1, в местоположении которой на времени 400 мс (глубина 70 м), пересекается газовая аномалия, фиксируемая по амплитудному признаку, более того, ниже ее вдоль скважины на протяжении 200 мс виден подводной канал, выраженный эффектом прогибания осей синфазности «улыбка» и несколько размазанным характером сейсмической записи (рисунок 4.8). Повтор такой же аномалии с

приблизительными характеристиками, отмечается на времени 640 мс (255 м), созданной тем же подводным каналом, что и вышележащая аномалия. От временного значения в 700 мс (глубины ниже 300 м) скважина 1 проходит чуть севернее значительной по размерам аномалии (на разрезах относится к столбчатому типу), а возможно частично и входит в нее, которая прослеживается по вертикали вплоть до конца интерпретируемой части СВР. Из вышеописанного следует, что местоположение скважины предполагает очень внимательное отношение к выделенным здесь зонам опасности, так как практически вся вертикаль скважины в той или иной степени обусловлена скоплениями (мигрирующими струями) газа.



Рисунок 4.8 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий аномалию, связанную с газонасыщением. Обозначения: Разноцветные «плюсики» – поперечные сейсмические разрезы с увязанными отражающими горизонтами.

По проектной скважине 11, следующей к югу по рассматриваемому профилю газовых аномалий не обнаружено.

На профиле I крайнее западное место занимает скважина 15. На сейсмическом разрезе, на времени около 610 мс, скважиной пересекается протяженная газовая аномалия, фиксируемая по повышенному значению амплитуды отраженного сигнала (рисунок 4.9). Слабовыраженные

подводные каналы, питающие газом аномалию, отмечаются к востоку и западу от местоположения скважины 15. Ранее она была пересечена, расположенной западнее поисковой скважиной ЮК-6 и не вызвала там никаких осложнений. По глубине пересечения она соответствует 330 м. Других видимых опасных зон по вертикали скважины 15 не зафиксировано.

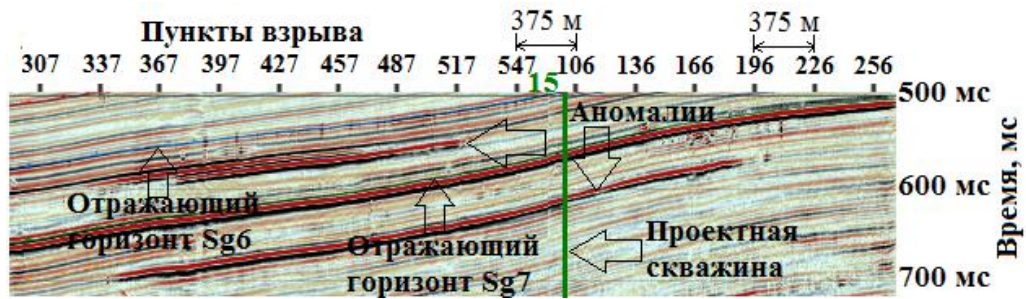


Рисунок 4.9 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий протяженную газовую аномалию в месте заложения проектной скважины 15. Разноцветные «плюсики» – поперечные сейсмические разрезы с увязанными отражающими горизонтами.

К востоку от поисковой скважины ЮК-6 на расстоянии около 5400 м намечена скважина 5. На времени 640 мс, (глубина в 310 м) к вертикали скважины с востока близко подходит пачка (интервал 0,5 мс) контрастных аномально-амплитудных осей синфазности и, хотя вертикаль скважины непосредственно эту группу отражений не пересекает, к этому временному интервалу следует отнестись с должным вниманием и осторожностью. Также скважиной на времени чуть более 1000 мс (глубина 600 м), пересекается амплитудная, достаточно контрастная газовая аномалия, с подводящим каналом по ослабленной зоне с эффектом «улыбки», наличие которого совпадает с двумя близлежащими разрывными нарушениями (рисунок 4.10). К пересечению этой части разреза также следует отнестись с должной осторожностью и акцентировать внимание на параметрах бурового раствора.

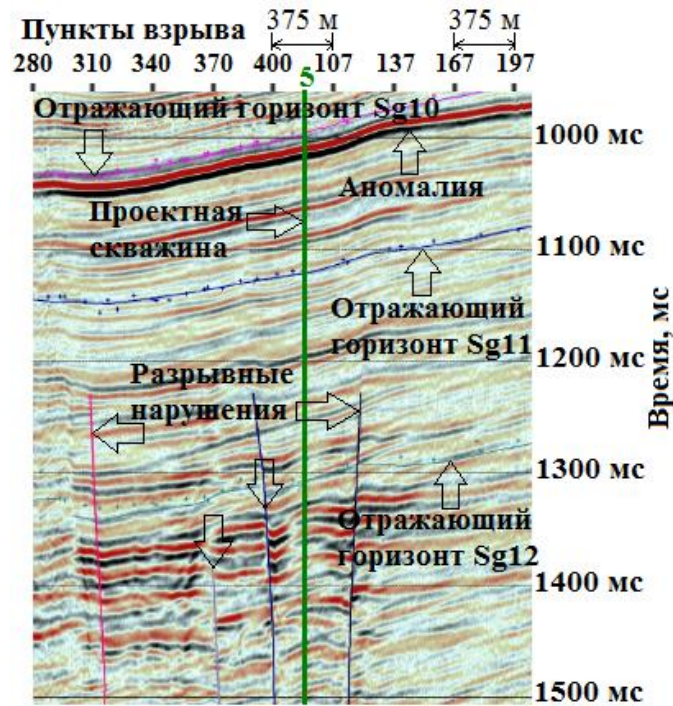


Рисунок 4.10 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий газовую аномалию и разрывные нарушения в месте заложения проектной скважины 5. Обозначения: Разноцветные «плюсики» – поперечные сейсмические разрезы с увязанными отражающими горизонтами.

По скважине 8 газовых аномалий не обнаружено. Следует лишь отметить, что на времени 600 мс вертикаль ее касается западного конца отрицательной по амплитуде непротяженной аномалии с подводным каналом, приуроченному к разрывному нарушению сбросового типа. Канал также фиксируется по характерному прогибанию осей синфазности.

Следующей далее к востоку скважины 3 характерна приуроченность практически всех типов известных признаков наличия газовых аномалий (рисунок 4.11).



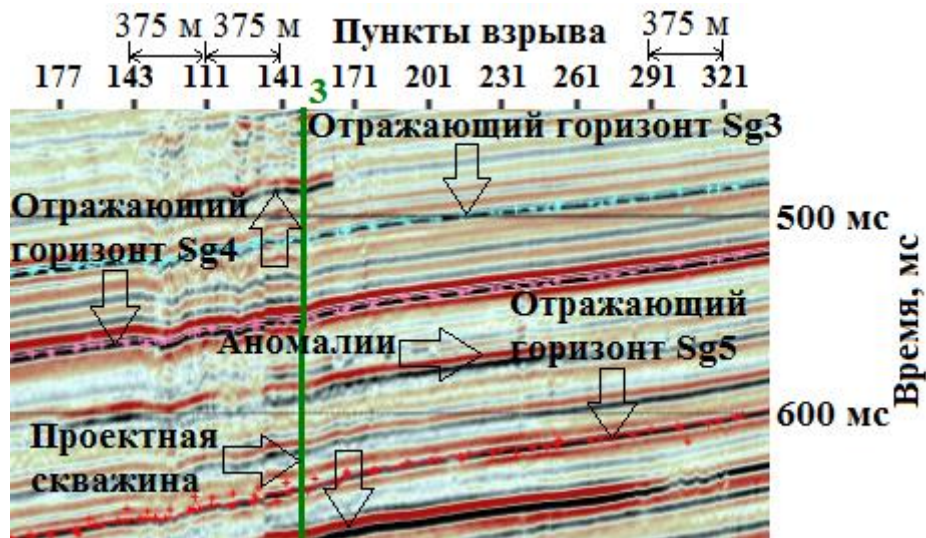


Рисунок 4.11 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий газовые аномалии в месте заложения проектной скважины 3. Обозначения: Разноцветные «плюсики» – поперечные сейсмические разрезы с увязанными отражающими горизонтами.

Первая из них фиксируется на времени около 490 мс (133 м) и представляет собой короткую, но контрастную амплитудную аномалию с тремя подводными каналами по ее краям и центру, которые следует интерпретировать, как каналы поступления газа. Все они кроме общего ослабления отражений характеризуются наличием эффекта прогибания осей синфазности во всем диапазоне их прослеживания. Таким же свойством обладает и подобная аномалия на времени 565 мс (глубина в метрах составляет 200), питающаяся газом по тем же подводным каналам. Наиболее значимым из них является центральный, с расширением зоны питания вниз по разрезу, что влечет постепенный переход этого канала в столбчатый тип газовых аномалий. Этот «столб» сопровождает вертикаль скважины вплоть до границы помырско-дерюгинского комплекса с породами нутовской свиты (Sg10–Sg11). В нутовских отложениях эта аномалия более не прослеживается. В случае бурения в районе скважины 3, которую следует отнести к наиболее опасным объектам по наличию газовых аномалий,



следует принять все технологически возможные меры предосторожности, применяемые при бурении подобного рода скважин.

В восточной части профиля I располагается проектная точка заложения скважины Восточная-1. За исключением примыкания слабо выраженной амплитудной аномалии на времени 550 мс (105 м), объекты, ассоциирующиеся с газонасыщением по стволу скважины, отсутствуют. Распознаваемая фронтальная часть турбидитового потока с шириной 1 км и протяжённостью более 2,5 км может представлять опасность. Это обусловлено тем, что при наличии такого тела возможно возникновение аномально высоких пластовых давлений. А в случае если это тело сложено песчаными разностями, оно может быть хорошим коллектором для скопления значительного количества газа и также может осложнять проведение буровых работ (рисунок 4.12).

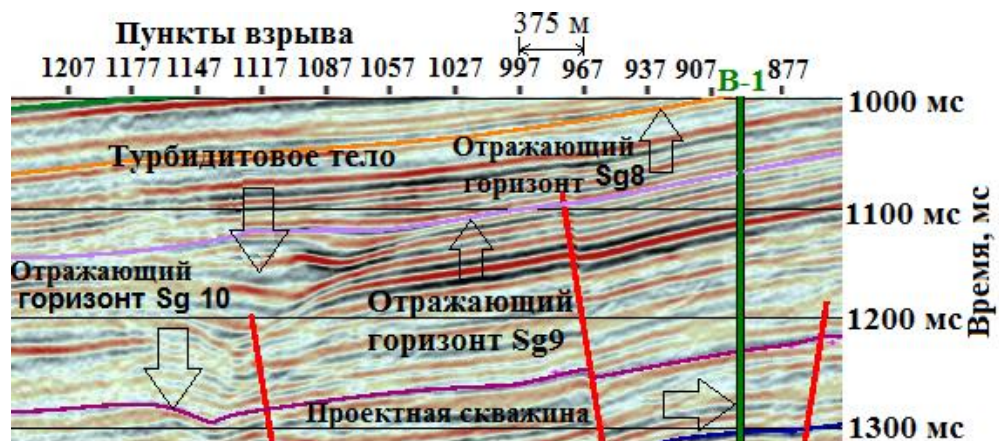


Рисунок 4.12 – Пример интерпретации разреза, показывающий турбидитовое тело. Обозначения: Разноцветные «плюсики» – поперечные сейсмические разрезы с увязанными отражающими горизонтами, красные вертикальные линии – разрывные нарушения.

На профиле III первой среди намеченных скважин располагается (с запада на восток) скважина 15, уже вошедшая при описании опасностей профиля II, поэтому описание по ней представлено по скважине 16. Рассматриваемая намеченная скважина отстоит от 15 к востоку на

расстоянии 3125 метров. Первая зона возможного газонасыщения располагается на его вертикали на времени 460 мс (глубина 210 м) и представляет собой амплитудную аномалию с малоконтрастным подводным каналом небольшой протяженности. Большой опасности видимо она не представляет, хотя и должна учитываться при разработке технологии проходки ствола скважины. Начиная со времени 550 мс и до времени 650 мс (глубинный интервал 280–360 м) выделяются 4 аномальные зоны с ярко выраженными амплитудными характеристиками (рисунок 4.13). Зоны достаточно интенсивны. Самая нижняя питается газом, характеризуемая общим ослаблением контрастности осей синфазности и зачастую их пунктирной корреляцией. Питание верхних происходит от нижней зоны по коротким малоконтрастным каналам. Ниже в наиболее контрастном месте миграции газа виден эффект прогибания осей синфазности и она переходит в обширную столбчатую аномальную зону. Далее, почти до конца интерпретируемой части СВР вертикаль скважины находится в области этой аномалии. Поэтому, проектную скважину 16 можно считать одной из наиболее опасных, намеченных к бурению в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения.

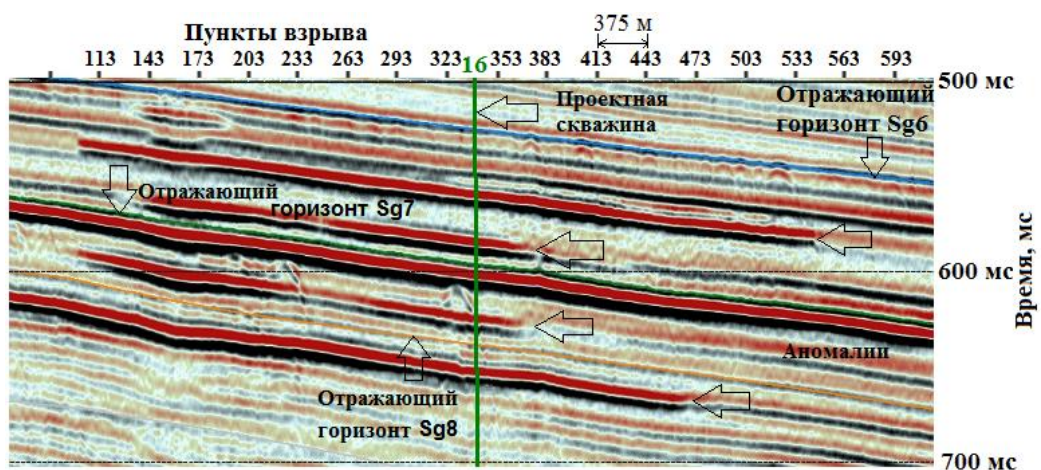


Рисунок 4.13 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий аномалии, связанные с газонасыщением.

Скважина 18, отстоящая от пробуренной скважины ЮК-5 в 650 метрах пересекает только одну амплитудную аномалию (рисунок 4.14), распространенную по временной шкале в районе 1000 мс (глубина 625 м). Аномалия является частью комплекса из четырех объектов, описанного в абзаце по скважине 16. Питают ее слабоконтрастные подводящие каналы, берущие начало в заведомо нутовских отложениях. Аномалия должна учитываться при бурении скважины.

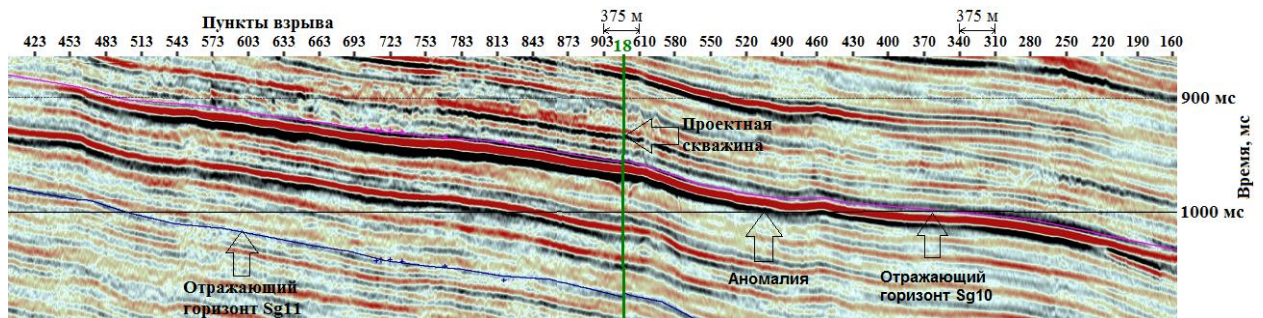


Рисунок 4.14 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий аномалию, связанную с газонасыщением в месте заложения проектной скважины 18. Обозначения: Разноцветные «плюсики» – поперечные сейсмические разрез с увязанными отражающими горизонтами.

Скважина 13 располагается ниже по общему уклону дна и отстоит от скважины 18 на расстоянии 5625 м, и пересекает аномалию значительной протяженности (более 6 км) со слабо выраженными подводными каналами газовых эманацій (рисунок 4.15). Питание флюидом происходит, скорее всего, межпластовой миграцией газа от обширной вертикальной аномалии, пересеченной ранее скважиной 16. Ниже по разрезу, на времени в 800 мс, что соответствует 415 м глубины, зафиксирована небольшая амплитудная аномалия, запитываемая вертикальными струями.

Последним на востоке профиля намечена скважина 14, располагающаяся в 2,5 км от скважины 13. Пересекает ту же аномалию, что и скважина 13, однако, располагается она на отметках временной шкалы в



районе 570 мс (глубина 225 м) (рисунок 4.15). Степень опасности средняя, аналогичная скважине 13.

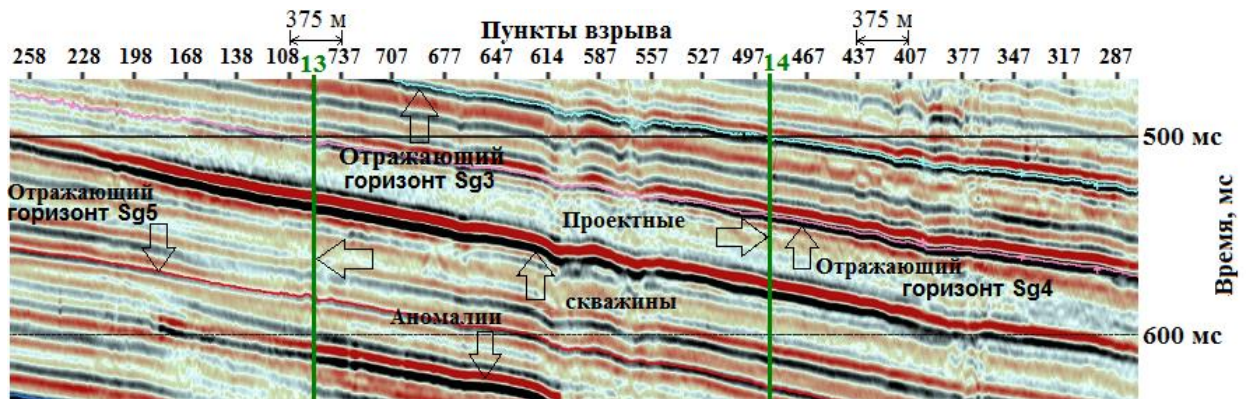


Рисунок 4.15 – Фрагмент сейсмического мигрированного временного разреза, показывающий аномалии, связанные с газонасыщением.

Обозначения: Разноцветные «плюсики» – поперечные сейсмические разрезы с увязанными отражающими горизонтами.

Резюмируя вышесказанное, отмечается, что практически на всех участках расположения проектных скважин присутствуют газовые скопления различного типа и генезиса. Наиболее опасными являются скважины 1, 3, 16, однако, существующие технологии и современное оборудование позволяют осуществлять успешную проходку скважин, а знание местоположений возможных опасных мест, помогает вовремя принять определенные меры по предотвращению осложнений при строительстве скважин.

### **4.3. Комплексирование данных сейсморазведки высокого разрешения и газового каротажа**

Для Южно-Киринского месторождения впервые исследованы аномалии по данным сейсморазведки высокого разрешения с идентификацией их в пробуренных скважинах с учетом данных газового каротажа. Для совместной интерпретации были использованы данные газового каротажа скважин ЮК-5 и ЮК-6.

В ходе обработки данных газового каротажа были построены кривые распределения параметра содержание метана ( $C_1$ ) по стволу скважины. Руководствуясь таблицами и графиками зависимости средней скорости  $V_a$  и глубины до отражающей границы  $H$  от двойного времени пробега волны  $T_0$ , рассчитанная по данным СВР для площадок Южно-Киринского месторождения вертикальный масштаб был приведен к миллисекундам. Кривые были приведены к соответствующему масштабу разрезов и вынесены на соответствующие интервалы глубин в точках заложения скважин.

На западном краю профиля I находится скважина ЮК-4. При интерпретации соответствующего скважине интервала сейсмического временного разреза объектов, представляющих интерес, не выявлено. Это же подтверждается данными газового каротажа. Данные газового каротажа дополняют сейсмические в интервале от 500 до 1000 м, что соответствует интервалу от 720 до 1160 мсек по разрезу. Значения содержания  $C_1$  в промывочной жидкости практически не превышают 0,2 %, в интервале до 100 мсек и редко превышают это значение ниже по разрезу.

Далее на восток по профилю I находится скважина ЮК-6. На сейсмическом разрезе и карте опасных геологических процессов в районе заложения данной скважины объекты, представляющие возможную опасность для бурения, достаточно широко распространены. Как видно на



разрезе скважина пересекает один потенциально опасный объект на времени порядка 940 мсек или глубине 815 м. На кривой газового каротажа этой точке соответствует характерное минимальное значение содержания  $C_1$  в промывочной жидкости. Это, вероятней всего, свидетельствует о том, что аномальный объект до отражающего горизонта  $Sg_{11}$  следует интерпретировать как пласт глинистых пород с песчаными прослойками, который по сравнению с вмещающими толщами характеризуется меньшим объемом порового пространства и, соответственно, меньшим содержанием газа. Такой глинистый пласт может выступать в роли покрышки, накапливать под собой газ и быть потенциальной опасностью при проходке скважины [Лексин, Самарин, 2019; Лексин, 2020а]. Ниже по стволу скважины стоит отметить два характерных пика на каротажной кривой, примечательные значениями содержания  $C_1$  в промывочной жидкости около или превышающими 4,8 %. Каротажная кривая дополняет сейсмический разрез в интервале времен от 730 до 1120 мсек, что соответствует интервалу глубин от 610 и до 1000 метров. Значения содержания  $C_1$  колеблются в пределах от 2,4 до превышающих 4,8 % (рисунок 4.16). Скважина ЮК-6 отличается самым высоким содержанием газа в промывочной жидкости.

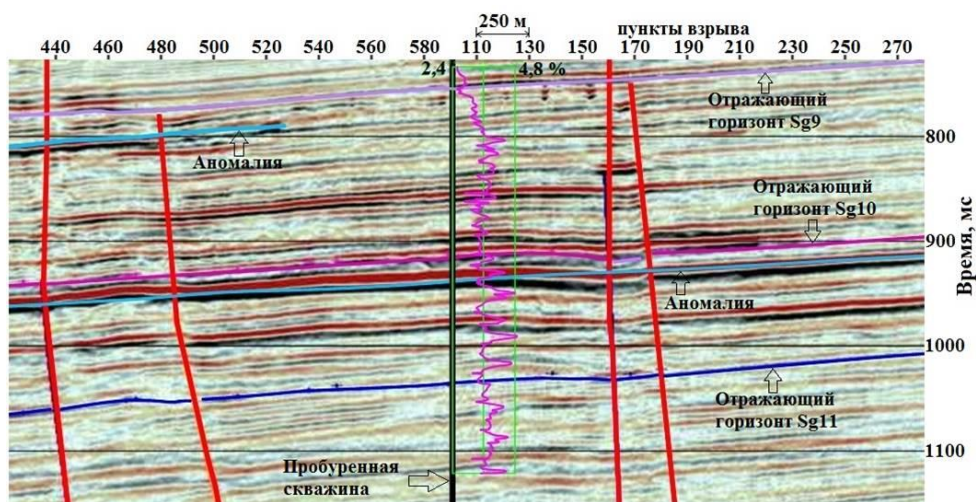


Рисунок 4.16 – Фрагмент интерпретации данных СВР с данными газового каротажа. Скважина ЮК-6. Обозначения: Красные вертикальные линии – разрывные нарушения.

Каротажная кривая скважины ЮК-1 содержит данные по разрезу в диапазоне времен от 680 до 1170 мсек, что соответствует интервалу глубин 530–1000 м. Скважина ЮК-1 пересекает три потенциально опасных объекта, но все они расположены выше диапазона, в котором имеются данные газового каротажа. Само распределение  $C_1$  в промывочной жидкости не свидетельствует о значительной загазованности разреза, значения по всей анализируемой толще не превышают 1 %. Эти данные ставят под сомнение потенциальную связь ослабленных зон, фиксируемых на разрезе с мигрирующим вверх газом, но полностью эту связь не исключают, так как скважина ЮК-1 непосредственно ослабленные зоны не пересекает.

Самой юго-восточной скважиной исследуемого района работ является ЮК-7. Она расположена недалеко от южного края профиля II. Исходя из анализа сейсмических данных в точке заложения скважины потенциально опасные объекты выделены не были. Каротажные данные соответствуют интервалу временного разреза от 940 до 1170 мсек, что в масштабе глубин будет соответствовать интервалу от 760 до 1000 м. Значения содержания  $C_1$  в промывочной жидкости плавно повышаются от 0 и до 1,2–1,3 % на глубине в 870 м, а затем опять уменьшаются до средних значений в 0,6 %. На сейсмическом разрезе характерных признаков, соответствующих пику газосодержания не обнаружено, хотя некоторая «тусклость» на разрезе в вышеупомянутом диапазоне присутствует.

Ближе к северному краю профиля II расположена скважина ЮК-8. Согласно анализу сейсмического разреза профиля II потенциально опасные объекты в точке заложения скважины ЮК-8 обнаружены не были. Каротажные данные соответствуют интервалу временного разреза от 870 до 1180 мсек, что в масштабе глубин будет соответствовать интервалу от 700 до 1000 м. Содержание  $C_1$  в интервале от 700 до 750 м крайне незначительно и соответствует значениям в первые сотые доли процента. Далее на 750 м, значение  $C_1$  резко достигает значений 1–1,2 % и остается в этом диапазоне

вплоть до окончания записи каротажа на 1000 м. На сейсмическом разрезе признаки, соответствующие скачку газосодержания не выявлены. Также стоит отметить низкий процент содержания газов группы С2–4 во всем интервале записи газового каротажа скважины ЮК-8.

Скважина ЮК-5 расположена на профиле III. Ствол скважины пересекает амплитудную аномалию на глубине 837 м или времени в 960 мсек. На каротажной кривой амплитудная аномалия соответствует характерному минимуму, аналогично скважине ЮК-6, что может подтвердить интерпретацию подобных аномалий как пласт глин, выступающих как потенциальная покрывка. Каротажные данные описывают разрез в диапазоне глубин от 610 до 1000 м, что соответствует временному интервалу разреза от 700 до 1130 мсек. Содержание С1 плавно увеличивается с глубиной от первых сотых долей процента в начале каротажной записи и до полу процента в конце каротажной записи (рисунок 4.17).

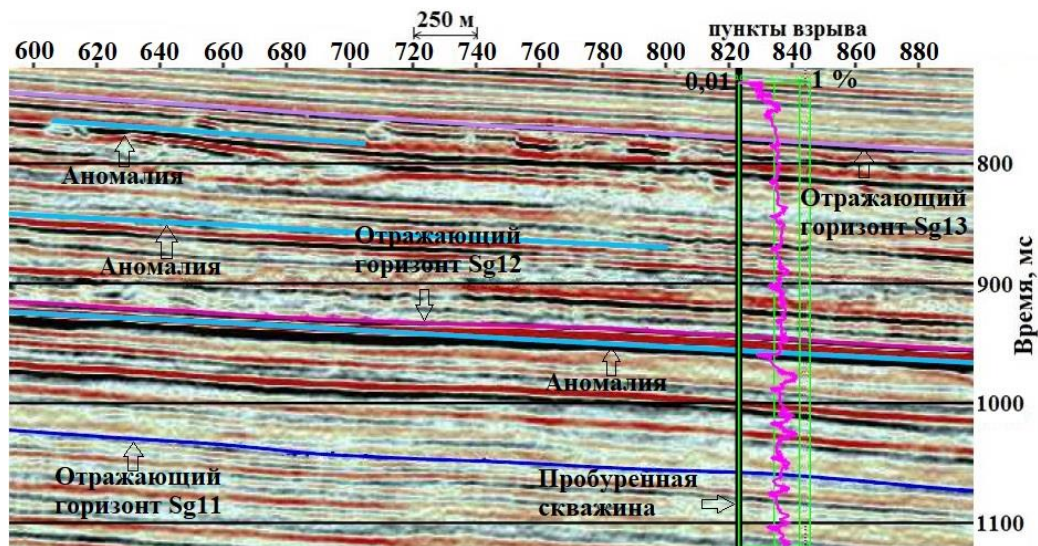


Рисунок 4.17 – Фрагмент интерпретации данных СВР с данными газового каротажа. Скважина ЮК-5.

Таким образом, совместная интерпретация сейсмических и газокаротажных данных существенно повышает результативность выявления

опасных геологических процессов, связанных с газопроявлениями при бурении скважин на нефтегазоносных площадях.

В результате интерпретации сейсмических разрезов построена карта опасных геологических процессов в пределах Южно-Кириного нефтегазоконденсатного месторождения (рисунки 4.18 А, Б).



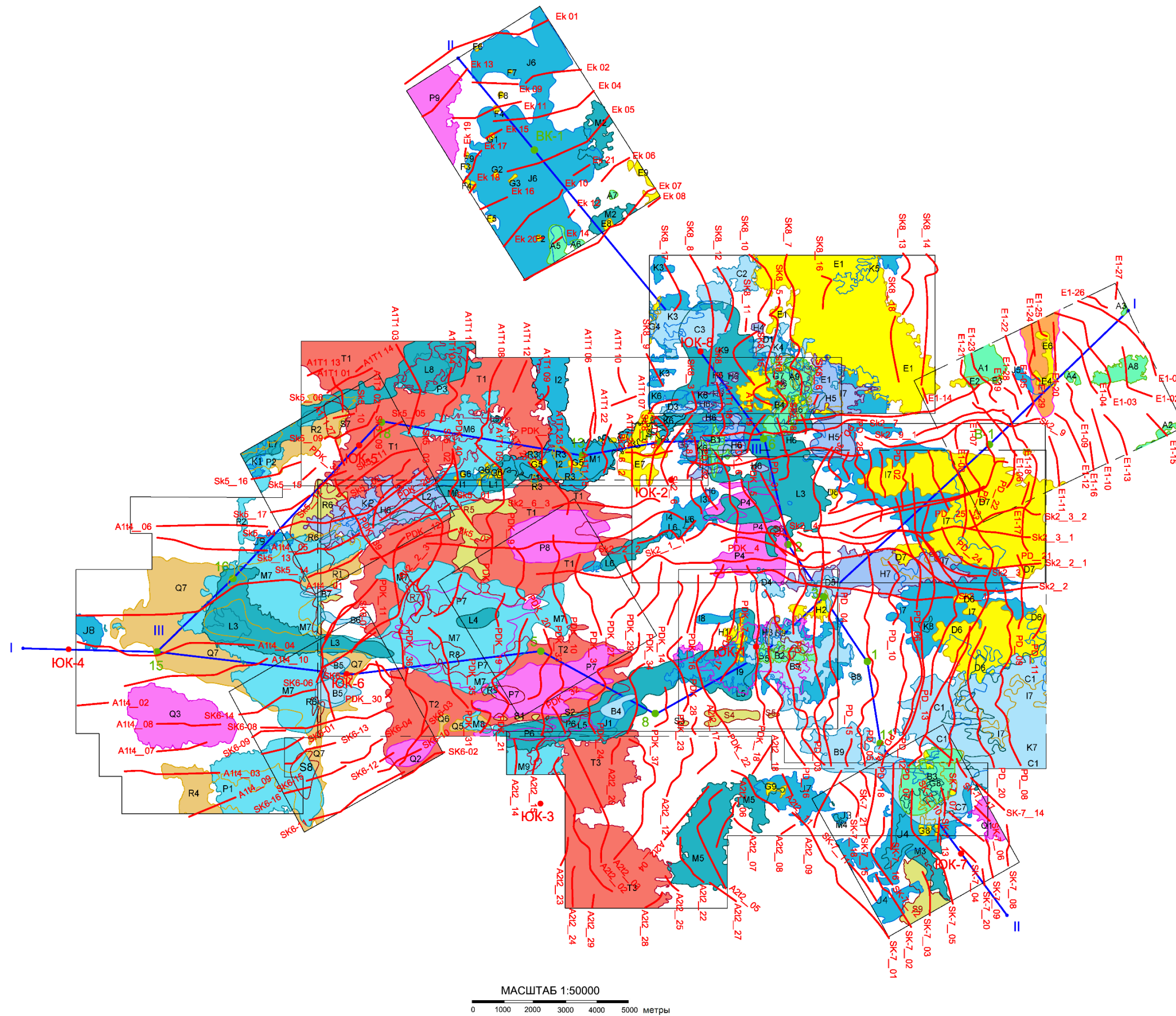


Рисунок 4.18 А – Карта опасных геологических процессов Южно-Киринского НГКМ.



## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ










	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-1, глубина 10-55 м от морского дна
	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-2, глубина 30-100 м от морского дна
	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-3, глубина 150-180 м от морского дна
	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-4, глубина 180-210 м от морского дна
	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-5, глубина 160-280 м от морского дна
	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-6, глубина 210-330 м от морского дна
	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-7, глубина 260-410 м от морского дна
	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-8, глубина 340-440 м от морского дна
	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-9, глубина 380-500 м от морского дна
	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-10, глубина 440-650 м от морского дна
	Зона газопроявлений сейсмического комплекса СК-11, глубина 570-880 м от морского дна
	Разрывные нарушения
	Контур фронтальной части турбидитового потока
	Связующие профили сейсморазведки высокого разрешения
	Пробуренные скважины
	Проектные скважины
	Амплитудные аномалии

Рисунок 4.18 Б – Условные обозначения к карте опасных геологических процессов Южно-Киринского НГКМ.

Для наиболее эффективного использования карты опасных геологических процессов необходимо рассматривать объекты не все одновременно активные, а по горизонтам, один за другим. Для определения степени предположительной опасности объекта необходимо сверяться со сводной таблицей опасностей (приложение А).

#### **4.4. Выводы к главе 4**

1. Сейсморазведка высокого разрешения показала высокую эффективность при выявлении опасных геологических процессов на Южно-Кирином нефтегазоконденсатном месторождении.
2. По результатам интерпретации сейсмических данных выявлены и откартированы на сейсмических разрезах следующие опасные геологические процессы: разрывные нарушения, зоны газопроявлений, турбидитовый поток. Обнаружены локальные аномалии в верхней части разреза, свидетельствующие о присутствии газа. На глубине 900 м от морского дна с шириной 1 км и протяженностью более 2,5 км обнаружен турбидитовый поток по структурным особенностям напластования в канале на сейсмических разрезах.
3. По результатам комплексной интерпретации данных сейсморазведки высокого разрешения с данными газового каротажа подтверждена природа аномалий на сейсмических разрезах, связанных с газонасыщением.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными результатами диссертационного исследования являются следующие:

1. В ходе анализа батиметрических данных прибрежной площадки Одопту-море северо-восточного шельфа острова Сахалин выделены зоны ледовой экзарации, обусловленные выпахиванием стамухами морского дна.
2. Установлено, что на исследуемой площадке Северо-Венинского газоконденсатного месторождения аномалии магнитного поля территориально совпадают с особенностями волнового поля, что подтверждает их геологическое происхождение. В данном случае локальные магнитные максимумы обусловлены палеоуступами дочетвертичных отложений.
3. Для сейсмических данных, полученных в полевой сезон с 2010 по 2017 годы в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения в Охотском море, впервые разработан единый граф обработки, который был успешно апробирован на данных сейсморазведки высокого разрешения свыше 8000 погонных километров. В результате обработки сейсмических данных построены высококачественные сейсмические разрезы с едиными параметрами обработки, по которым проведена корреляция отражающих горизонтов и выполнено картирование геологических объектов на пересекающихся площадках исследований разных лет.
4. Получены новые данные об опасных геологических процессах на Южно-Киринском нефтегазоконденсатном месторождении. Выделены аномальные зоны газопроявлений и впервые разработана сводная карта опасных геологических процессов Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения.
5. По результатам комплексной интерпретации данных сейсморазведки высокого разрешения с данными газового каротажа подтверждена природа

аномалий на сейсмических разрезах, связанных с газонасыщением. Для исключения риска выбросов приповерхностного газа при проходке верхней части разреза в местах аномальных зон, обозначенных на карте, требуется изменение точки заложения скважины. Наиболее опасным при проходке скважины является интервал 0–300 м от морского дна при наличии газа в разрезе, в связи с этим изменение точки заложения проектной скважины неизбежно при любом риске. При залегании локальных газовых аномалий свыше 300 м от морского дна применяются дополнительные технологии при бурении, такие, например, как использование цементных растворов с газоблокирующими добавками.

Развитие методов поиска опасных геологических процессов в акваториях, включая усовершенствование геофизического оборудования, программных средств обработки и интерпретации сейсмических данных, позволит в перспективе повысить качество выявления опасных геологических процессов и тем самым, во избежание экологических катастроф, уменьшить риск аварий при строительстве скважин.

По результатам проведенных исследований обоснованы три защищаемых положения.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Акуличев, В.А. Условия формирования газогидратов в Охотском море / В.А. Акуличев, А.И. Обжиров, Р.Б. Шакиров, Е.В. Мальцева, А.И. Гресов, Ю.А. Телегин // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 454 – № 3. – С. 340–342.
2. Ампилов, Ю.П. Технологии морской сейсморазведки в широком частотном диапазоне: проблемы и возможности / Ю.П. Ампилов, М.Л. Владов, М.Ю. Токарев // Сейсмические приборы. – 2018. – Т. 54 – № 4. – С. 42–65.
3. Астафьев, В.Н. Торосы и стамухи Охотского моря / В.Н. Астафьев, П.А. Сурков, П.А. Трусков. – СПб.: Прогресс-Погода, 1997. – 197 с.
4. Баранов, Б.В. Опасные геологические процессы на восточном склоне острова Сахалин / Б.В. Баранов, К.А. Дозорова, Д.Д. Рукавишникова // Океанология. – 2015. – Т. 55. – № 6. – С. 1001–1005.
5. Баранов, Б.В. Покмарки восточного склона острова Сахалин / Ю.П. Баранов, К.А. Дозорова, А.С. Саломатин // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2011. – № 2. – В. № 18. – С. 31–43.
6. Баранов, Б.В. Природа замкнутых депрессий на восточном склоне острова Сахалин / Б.В. Баранов, Д.Д. Рукавишникова, В.Г. Прокудин, Я.К. Джин, К.А. Дозорова // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2013. – № 1. – В. № 21. – С. 86–97.
7. Безродных, Ю.П. Геологические опасности дна Северного Каспия – методы их выявления и оценки при инженерно-геологических изысканиях / Ю.П. Безродных, В.П. Лисин, В.И. Федоров // Инженерная геофизика 2011. – Москва: EAGE, 2011. – С. 1–6.
8. Безродных, Ю.П. Инженерно-геологические изыскания, выполняемые на акватории Каспийского моря / Ю.П. Безродных // Инженерные изыскания. – 2014. – № 4. – С. 54–58.



9. Беркаут, А. Дж. Миграция сейсмограмм и подавление кратных волн как способ решения обратной задачи сейсморазведки / А. Дж. Беркаут // ТИИЭР. – 1986. – № 3. – С. 36–49.
10. Богоявленский, В.И. Повышение эффективности и безопасности поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа на акватории Охотского моря / В.И. Богоявленский, В.Ю. Керимов, О.О. Ольховская, Р.Н. Мустаев // Территория Нефтегаз. – 2016. – № 10. – С. 24–32.
11. Быстрова, И.В. Влияние тектонической истории развития на миграцию газа в недрах шельфа острова Сахалин / И.В. Быстрова, Т.С. Смирнова, А.А. Тимербулатова, А.А. Тарасова, М.Ж. Неталиев // Географические науки и образование. Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. – Астрахань: АГУ, 2016. – С. 185–187.
12. Вакуленко, С.А. Современные методы обработки морской инженерной сейсморазведки / С.А. Вакуленко // Гоевразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии. Труды Международной геолого-геофизической конференции. – Москва: ООО «ПолиПРЕСС», 2018. – С. 892–897.
13. Вершинин, С.А. Воздействие ледовых образований на подводные объекты / С.А. Вершинин, П.А. Трусков, П.А. Лиферов. – М.: Рус. книга, 2007. – 196 с.
14. Веселов, О.В. Термобарические условия формирования газогидратов в Охотском море / О.В. Веселов, В.В. Гордиенко, В.В. Куделькин // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2006. – № 4. – С. 42–65.
15. Гаврилов, А.А. Роль разрывных нарушений в формировании береговых линий Охотского и Японского морей (ст. 1. региональный аспект исследований) / А.А. Гаврилов // Геоморфология. – 2009. – № 3. – С. 38–49.
16. Гаврилов, А.А. Сквозные системы разломов Охотоморского региона / А.А. Гаврилов // Строение, геодинамика и металлогения Охотского региона и прилегающих частей северо-западной Тихоокеанской плиты. Материалы

международного научного симпозиума. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2002. – С. 31–34.

17. Гайнанов, В.Г. Методы морских сейсмоакустических исследований / В.Г. Гайнанов // Инженерная сейсморазведка-2018: тезисы докладов научно-практической конференции. – Москва: ЕНПП, 2018. – С. 66–70.

18. Гайнанов, В.Г. Сейсмоакустические исследования при инженерных изысканиях на акваториях / В.Г. Гайнанов, М.Ю. Токарев // Геофизика. – 2018. – № 3. – С. 10–16.

19. Гладенков, Ю.Б. Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность / Ю.Б. Гладенков, О.К. Баженова, В.И. Гречин, Л.С. Маргулис, Б.А. Сальников. – М.: ГЕОС, 2002. – 225 с.

20. Горчакова, Е.С. Особенности строения и формирования Кайнозойских отложений Южно-Кириинского антиклинального поднятия (северо-восточный шельф о. Сахалин) / Е.С. Горчакова // Исследование структуры земной коры. Вулканизм. Сб. материалов IV Сахалинской молодежной научной школы. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2009. – С. 172–177.

21. Голубин, С.И. Оценка геологических опасностей при эксплуатационном мониторинге объектов морских месторождений шельфа острова Сахалин / С.И. Голубин, К.Н. Савельев, А.Н. Новиков // Газовая промышленность. – 2019. – № S1 (782). – С. 30–35.

22. Грошев, В.Г. Региональная корреляция отражающих горизонтов кайнозойского осадочного чехла северо-восточного шельфа Сахалина / В.Г. Грошев, В.А. Слепченко, В.В. Шлыкова // Геофизика. – 2017. – № S. – С. 113–117.

23. Гуленко, В.И. Пневматические источники упругих волн для морской сейсморазведки / В.И. Гуленко. – Краснодар: КубГУ, 2003. – 313 с.

24. Денисов, М.С. Алгоритмы сейсмической миграции. Часть 1. Миграция как двухшаговая процедура / М.С. Денисов // Геофизика. – 2013. – № 1. – С. 2–10.

25. Денисов, М.С. Методы подавления кратных волн в сейсморазведке / М.С. Гуленко, Д.В. Фиников // Технологии сейсморазведки. – 2007. – № 1, № 2. – С. 3–17.
26. Денисов, М.С. Разработка методики ослабления кратных волн и пример ее использования для данных, полученных в различных зонах акватории Баренцева и Карского морей / М.С. Денисов, А.А. Кобзов, Е.Л. Музыченко, С.В. Горбачев, А.Ю. Никульников, Т.В. Нурмухамедов // Технологии сейсморазведки. – 2017. – № 1. – С. 5–12.
27. Дзюбло, А.Д. Геологическое строение и нефтегазоносность Киринского блока шельфа о. Сахалин / А.Д. Дзюбло, О.А. Шнип, К.Э. Халимов // Нефть газ и бизнес. – 2013. – № 3. – С. 26–32.
28. Дзюбло, А.Д. Исследование приповерхностного газа шельфа о. Сахалин и минимизация рисков при строительстве морских скважин / А.Д. Дзюбло, В.В. Воронова, В.Е. Перекрестов // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2019. – № 3. – С. 20–25.
29. Запорожец, Б.В. Уникальные технологии сейсморазведки с использованием телеметрических систем семейства XZONE / Б.В. Запорожец, Н.С. Лапин, А.Л. Крутов // Нефть. Газ. Новации. – 2012. – № 2 (157). – С. 39–44.
30. Иванов, Г.И. Сейсмика высокого разрешения – новый шаг вперед при изучении опасных геологических процессов / Г.И. Иванов, А.Г. Казанин, М.В. Саркисян // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 1. – С. 65–68.
31. Исмагилов, Д.Ф. Опыт высокоразрешающей сейсморазведки (ВРС) на акваториях южных морей Российской Федерации / Д.Ф. Исмагилов, В.Н. Козлов, В.Б. Подшувейт, А.А. Терехов, А.В. Хортов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 1. – С. 40–45.
32. Казанин, А.Г. Инновационные технологии при выполнении инженерно-геологических работ на арктическом шельфе России / А.Г. Казанин, Г.С. Казанин, Г.И. Иванов, М.В. Саркисян // Научный журнал Российского газового общества. – 2016. – № 4. – С. 25–30.

33. Калинин, А.В. Аппаратура и методика сейсмоакустической разведки для инженерно-геологических изысканий на море: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / А.В. Калинин – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1965.
34. Калинин, А.В. Сейсмоакустические исследования на акваториях / А.В. Калинин, В.В. Калинин, Б.Л. Пивоваров – М.: Недра, 1983. – 204 с.
35. Калинин, В.В. Линейная одномерная корректирующая фильтрация для повышения разрешающей способности сейсмических данных / В.В. Калинин, Л.М. Кульницкий, М.Ю. Токарев // Вестник Московского Университета, Серия 4, Геология. – 1992. – № 3. – С. 67–73.
36. Керимов, В.Ю. Условия формирования и поиски залежей УВ в турбидитовых коллекторах Охотского моря / В.Ю. Керимов, Е.А. Сизиков, О.С. Синявская, А.Ю. Макарова // Нефть, газ и бизнес. – 2015. – № 2. – С. 32–37.
37. Коболев, В.П. Аппаратурно-техническое обеспечение морских геофизических исследований на НИС «Профессор Водяницкий» / В.П. Коболев, П.А. Буртный, С.Ф. Михайлюк, Н.И. Новик, С.В. Пинчук, С.С. Чулков // Геофизический журнал. – 2011. – Том 33. – № 5. – С. 90–99.
38. Козлов, Е.А. Миграционные преобразования в сейсморазведке / Е.А. Козлов. – М.: Недра, 1986. – 248 с.
39. Козлов, Е.А. Распознавание и подавление многократных волн в сейсморазведке / Е.А. Козлов. – М.: Недра, 1982. – 248 с.
40. Козлов, С.А. Опасные для нефтегазопромысловых сооружений геологические и природно-техногенные процессы на Западно-Арктическом шельфе России / С.А. Козлов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2005. – С. 1–24.
41. Коллюбакин, А.А. Применение комплекса геофизических методов для выявления опасных геологических процессов и явлений на шельфе моря Лаптевых / А.А. Коллюбакин, С.Г. Миронюк, А.Г. Росляков, А.Е. Рыбалко, Я.Е. Терехина, М.Ю. Токарев // Вестник газовой науки. – 2015. – № 4 (24). – С. 135–143.

42. Крикунов, А.И. Уточнение внутреннего строения верхнедагинских отложений на Южно-Кирином нефтегазоконденсатном месторождении с использованием циклостратиграфического анализа / А.И. Крикунов, Л.А. Филиппова, Н.Ю. Канунникова // Вестник газовой науки. – 2015. – № 4 (24). – С. 135–143.
43. Кропп, Э.Я. Состояние и перспективы нефтегазопроисковых работ на шельфе дальневосточных морей / Э.Я. Кропп, А.Г. Будагов, А.В. Савицкий, Е.В. Грецкая // Геология нефти и газа. – 2012. – № 5. – С. 108–112.
44. Ксенофонтова, М.А. Выделение инженерно-опасных районов в шельфовой зоне по данным непрерывного сейсмического профилирования на примере работ в Охотском море / М.А. Ксенофонтова // Инженерная геофизика: Тезисы 12-й научно-практической конференции и выставки. – Анапа: EAGE, 2016. – С. 1–6.
45. Лексин, В.К. Выявление геологических опасностей на Южно-Кирином нефтегазоконденсатном месторождении (шельф острова Сахалин) / В.К. Лексин // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2019б. – № 4. – С. 51–58.
46. Лексин, В.К. Геологические опасности по данным сейсморазведки высокого разрешения в пределах Южно-Кирином нефтегазоконденсатного месторождения / В.К. Лексин // Тезисы докладов XX Уральской молодежной научной школы по геофизике. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2019а. – С. 132–136.
47. Лексин, В.К. Единый алгоритм обработки данных 2D сейсморазведки высокого разрешения для морских площадей Южно-Кирином нефтегазоконденсатного месторождения (шельф о. Сахалин) / В.К. Лексин, Г.Н. Фетискин, П.Н. Лисковий, В.И. Самарин // Науки о Земле. Современное состояние: материалы пятой Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции. – Республика Хакасия: НГУ, 2018. – С. 49–51.



48. Лексин, В.К. Исследование ледовой экзарации в прибрежной части шельфа Сахалина / В.К. Лексин, В.А. Романюк // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2021. – № 6. – С. 94–100.
49. Лексин, В.К. Комплексование морских инженерно-геофизических исследований в прибрежной части Охотского моря / В.К. Лексин // Инженерные изыскания. – 2020б. – Т. XIV, № 6. – С. 56–61.
50. Лексин, В.К. Комплексная интерпретация данных сейсморазведки высокого разрешения / В.К. Лексин, В.И. Самарин // Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием. – Южно-Сахалинск: ФГБУН ИМГиГ, 2019. – С. 67.
51. Лексин, В.К. Обработка данных 2D сейсморазведки высокого разрешения на примере исследования площадок шельфа о. Сахалин / В.К. Лексин, Г.Н. Фетискин // Инженерная сейсморазведка-2018: тезисы докладов научно-практической конференции. – Москва: ЕНПП, 2018. – С. 50–54.
52. Лексин, В.К. Применение сейсморазведки высокого разрешения для поисков локальных газовых аномалий на Южно-Киринском месторождении / В.К. Лексин // Геосистемы переходных зон. – 2020а. – Т. 4. – № 4. – С. 384–392.
53. Лексин, В.К. Палеоврезы и газовые зоны плиоцен-четвертичных отложений на площадке инженерно-геологических изысканий на шельфе острова Сахалин / В.К. Лексин // Геосистемы переходных зон. – 2021. – Т. 5. – № 4. – С. 320–327.
54. Лексин, В.К. Результаты интерпретации сейсмических разрезов при инженерных изысканиях в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения (шельф о. Сахалин) / В.К. Лексин, В.И. Самарин, П.Н. Лисковий // Инженерные изыскания. – 2018. – № 9-10. – С. 64–73.

55. Либина, Н.В. Экзарационные явления на восточном арктическом шельфе России / Н.В. Либина, С.Л. Никифоров // Вестник МГТУ. – 2018. – Т. 21. – № 1. С. 139–149.
56. Мазнев, С.В. Воздействие ледяных образований на берега и дно мелководных морей и крупных озер умеренных и субарктических широт / С.В. Мазнев, С.А. Огородов // Лед и снег. – 2020. – Т. 60. – № 4. – С. 578–591.
57. Масюков, А.В. Подавление кратных волн: новый метод / А.В. Масюков, В.И. Шлёнкин, Т.В. Акимов, Г.В. Тарарин // Технологии сейсморазведки. – 2014. – № 1. – С. 67–73.
58. Миронюк, С.Г. Газонасыщенные морские грунты и естественные газовыделения углеводородов: закономерности распространения и опасность для инженерных сооружений / С.Г. Миронюк, В.П. Отто // Геориск. – 2014. – № 2. – С. 8–18.
59. Миронюк, С.Г. Геологические опасности осваиваемых месторождений восточного шельфа о. Сахалин: идентификация и принципы картографирования / С.Г. Миронюк // Вести газовой науки. – 2015. – № 2 (22). – С. 113–117.
60. Миронюк, С.Г. Опыт комплексной оценки и крупномасштабного инженерно-геологического районирования северо-восточного шельфа Черного моря по геологической опасности для строительства линейных объектов / С.Г. Миронюк, В.В. Маркарьян, С.К. Шельтинг // Инженерные изыскания. – 2013. – № 13. – С. 48–59.
61. Мустаев, Р.Н. Характеристика и особенности распространения коллекторов присахалинского шельфа / Р.Н. Мустаев, Д.Д. Исмаилов // Геология, поиски и разведка месторождений углеводородов на морских акваториях: статья в сборнике трудов конференции. – Москва: РГУ, 2017. – С. 133–146.
62. Наумов, М.А. Параметрический анализ воздействия ледовой экзарации на заглубленный трубопровод / М.А. Наумов // Вести газовой науки. – 2013. – № 3 (14). – С. 141–149.

63. Непоменко, Л.Ф. Исследование экзарации морского дна торосистым льдом методами эхолокации и промеров со льда / Л.Ф. Непоменко, Н.В. Попова // Астраханский вестник экологического образования. – 2018. – № 4 (46). – С. 35–49.
64. Никитин, Б.А. Анализ гидродинамических исследований скважин и оценка добычной возможности газовых залежей месторождений Киринского блока / Б.А. Никитин, А.Д. Дзюбло, А.Б. Золотухин, А.Е. Сторожева // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. – 2015. – № 2. – С. 20–25.
65. Новиков, А.А. Специфика проведения комплексных морских инженерных изысканий и оценка опасностей геологических процессов под объекты подводного добычного комплекса шельфовых месторождений Киринского блока о. Сахалин / А.А. Новиков // Газовая промышленность. – 2018. – № 9 (774). – С. 42–48.
66. Обжиров, А.И. История открытия газогидратов в Охотском море / А.И. Обжиров // Подводные исследования и роботехника. – 2006. – № 2. – С. 72–82.
67. Огородов, С.А. Воздействие морских льдов на берега, дно и инженерные сооружения в прибрежно-шельфовой зоне российской Арктики / С.А. Огородов, А.И. Носков, Н.Г. Белова, О.В. Кокин, А.В. Марченко // Естеств. и техн. науки. 2010. № 5 (48). С. 344–348.
68. Парасына, В.С. Южно-Киринское месторождение – перспективная база газодобычи на Дальнем Востоке России / В.С. Парасына, М.Л. Цемкало, Г.Н. Гоговенков // Геология нефти и газа. – 2012. – № 3 – С. 15–23.
69. Пейтон, Ч. Сейсмическая стратиграфия. Использование при поисках и разведке нефти и газа. Часть 1 / Ч. Пейтон. – М.: Мир, 1982. – 375 с.
70. Пестрикова, Н.Л. Распределение метана и газогидратов на Сахалинском восточном склоне Охотского моря / Н.Л. Пестрикова, А.И. Обжиров // Подводные исследования и роботехника. – 2010. – № 1 (9). – С. 65–71.

71. Петренко, В.Е. Приповерхностный газ: риски и варианты технико-технологических решений при проектировании строительства скважин на морском шельфе / В.Е. Петренко, Г.С. Оганов, Т.А. Свиридова // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2017. – № 2. – С. 21–27.
72. Петренко, В.Е. Техничко-технологические аспекты проектирования и строительства морских скважин при наличии в разрезе приповерхностного газа на шельфе Охотского моря / В.Е. Петренко, Г.С. Оганов, Т.А. Свиридова // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 4. – С. 29–35.
73. Пивоваров, Б.Л. Исследование динамических и кинематических характеристик упругих волн в поглощающих средах применительно к задачам сейсмоакустики: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / Б.Л. Пивоваров – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1970.
74. Пищальник, В.М. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин / В.М. Пищальник, А.О. Бобков. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. – 173 с.
75. Пищальник, В.М. Особенности развития ледяного покрова Охотского моря в 2001–2006 гг. / В.М. Пищальник, С.А. Покрашенко, А.В. Леонов, А.А. Гальцев // Экологические аспекты освоения нефтегазовых месторождений. Владивосток: Дальнаука, 2009. – С. 185–197.
76. Поломошнов, А.М. Формирование стамух в условиях шельфа северного Сахалина / А.М. Поломошнов, Л.П. Якунин // Труды ДВНИГМИ. – 1989. – Вып. 39. – С. 41–49.
77. Робинсон, Э.А. Метод миграции в сейсморазведке / Э.А. Робинсон. – М.: Недра, 1988. – 111 с.
78. Рокос, С.И. Свободный газ и многолетняя мерзлота в осадках верхней части разреза мелководных районов шельфа Печорского и Карского морей / С.И. Рокос, Д.А. Костин, А.Г. Длугач // Седиментологические процессы и

эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2001. – С. 40–51.

79. Росляков, А.Г. Выявление геологических опасностей в Карском море по сейсмическим данным / А.Г. Росляков, Я.Е. Терёхина, А.А. Иванова, М.Ю. Токарев, А.Н. Трифонов // Геоевразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии: труды Международной геолого-геофизической конференции. – Москва: ПолиПРЕСС, 2018. – С. 760–765.

80. Рудницкая, Е.С. Особенности геологического строения Южно-Кириинского антиклинального поднятия (шельф Северо-Восточного Сахалина) / Е.С. Рудницкая // Геология нефти и газа. – 2013. – № 6. – С. 29–37.

81. Рукавишникова, Д.Д. Оползневые отложения в структуре осадочного чехла северо-восточного склона острова Сахалин / Д.Д. Рукавишникова // Комплексные исследования мирового океана. Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых. – Севастополь: морской гидрофизический институт РАН, 2019. – С. 303–304.

82. Рыбальченко, В.В. Вертикальная миграция газа и газогидраты на северо-восточном шельфе Сахалина / В.В. Рыбальченко, Г.Н. Гоговенков, В.С. Слепченко // Геология нефти и газа. – 2017. – №2. – С. 38–51.

83. Рыбальченко, В.В. Условия формирования Южно-Кириинского месторождения на шельфе о-ва Сахалин / В.В. Рыбальченко, Г.Н. Гоговенков, В.С. Парасына // Геология нефти и газа. – 2014. – №4. – С. 42–52.

84. Самсонов, Е.А. Сейсмоакустические методы при инженерных изысканиях под установку буровых и добывающих платформ на акваториях / Е.А. Самсонов, Н.Б. Самсонова // Инженерная геофизика 2012. – Геленджик: EAGE, 2012. – С. 1–5.

85. СП 11-114-2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. – М.: ФГУП «ПНИИИС» Госстроя России. – 105 с.



86. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. – М. – 110 с.
87. Старовойтов, А.В. Выделение геологических опасностей по данным сейсмоакустических наблюдений при проведении исследований на шельфе и материковом склоне / А.В. Старовойтов, А.А. Семенова, Я.Е. Терехина, А.Г. Росляков, М.Ю. Токарев // Инженерная сейсморазведка-2018: тезисы докладов научно-практической конференции. – Москва: ЕНПП, 2018. – С. 77–78.
88. СТО Газпром 2-3.7-050-2006 Морской стандарт DNV-OS-F101 Подводные трубопроводные системы. – М.: Издательский Дом Полиграфия, 2006. – 453 с.
89. Телегин, А.Н. Морская сейсморазведка / А.Н. Телегин. – М.: Геоинформмарк, 2004. – 237 с.
90. Терёхина, Я.Е. Технология выделения опасных геологических процессов и явлений на шельфе Охотского моря / Я.Е. Терёхина, А.Г. Росляков, А.С. Пирогова, О.А. Хлебникова, Н.А. Рыбин // Геоевразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии: труды Международной геолого-геофизической конференции. – Москва: ПолиПРЕСС, 2018. – С. 756–759.
91. Фатьянов, А.Г. Волновой метод подавления кратных волн, не требующий знания глубинно-скоростной модели среды / А.Г. Фатьянов // Доклады академии наук. – 2010. – Т. 435. – № 3. – С. 390–393.
92. Харахинов, В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона / В.В. Харахинов. – М.: Научный мир, 2010. – 276 с.
93. Хаттон, Л. Обработка сейсмических данных / Л. Хаттон. – М.: Мир, 1989. – 216 с.
94. Хилтерман, Ф.Дж. Интерпретация амплитуд в сейсморазведке / Ф.Дж. Хилтерман. – Тверь: ГЕРС, 2010. – 256 с.

95. Хоштария, В.Н. Результаты геологоразведочных работ ООО «Газпром геологоразведка» на восточном шельфе о-ва Сахалин (Охотское море) / В.Н. Хоштария, А.А. Мартын, С.Е. Дмитриев, А.В. Кирпичников // Геология нефти и газа. – 2016. – № 2. – С. 28–37.
96. Часников, А.В. Высокорастворимая сейсморастворимая МОГТ 2D на площадке №1 структуры "рыбачья" (по материалам ЗАО «PGS-Хазар») / А.В. Часников // Геология в развивающемся мире: статья трудов конференции. – Пермь: ПГНИУ, 2018. – С. 321–324.
97. Черепанов, В.В. Мезозойский фундамент – перспективное направление поисков углеводородов на шельфе Сахалина / В.В. Черепанов, В.В. Рыбальченко, Г.А. Гоговенков // Геология нефти и газа. – 2013. – № 6. – С. 42–53.
98. Шакиров, Р.Б. Особенности аномальных газогеохимических полей в Восточно-Дерюгинском грабене Охотского моря / А.Л. Веникова, Н.Л. Соколова, А.И. Обжиров, О.В. Веселов, Е.В. Мальцева, Ф.В. Кузив, В.К. Лексин // Геосистемы переходных зон. – 2021. – Т. 5. – № 3. – С. 229–239.
99. Шматков, А.А. Обзор технологий трехмерных сейсмоакустических наблюдений на акваториях / А.А. Шматков, В.Г. Гайнанов, М.Ю. Токарев // Технологии сейсморастворимости. – 2015. – № 2. – С. 86–97.
100. British Standard 5930. Code of practice for site investigations. – London, 1999. – 207 p.
101. Calarco, M. Offshore Geohazards: Industry Implications and Geoscientist Role / M. Calarco, F. Zolezzi, W.J. Johnson // Proc. of First Applied Shallow Marine Geophysics Conference. – Athens, 2014. – 5 p.
102. Chiocci, F.L. Seafloor mapping for geohazard assessment: state of the art / F.L. Chiocci, A. Cattaneo, R. Urgeles // Marine Geophysical Research. – 2011. – Vol. 32. – pp. 1–11.
103. Cordsen, A. Planning Land 3-D Seismic Surveys / A. Cordsen, M. Galbraith, J. Peirce. – SEG, 2000. – 204 p.

104. Dyer, J. Geohazard identification: the gap between the possible and reality in geophysical surveys for the engineering industry / J. Dyer // *Marine Geophysical Researches*. – 2011. – Vol. 32. – pp. 37–47.
105. Guidance notes for the planning and execution of geophysical and geotechnical ground investigations for offshore renewable energy developments. – OSIG, 2014. – 49 p.
106. Guidance notes on geotechnical investigations for marine pipelines. – OSIG, 2004. – 47 p.
107. Guidance notes on geotechnical investigations for subsea structures. – OSIG, 2000. – 46 p.
108. Guidelines for the conduct of offshore drilling hazard site surveys: OGP Report No. 373-18-1. – London: OGP, 2011. – 38 p.
109. Jones, I.F. An introduction to: velocity model building / I.F. Jones. – Houten, Netherlands: EAGE Publications, 2010. – 295 p.
110. Judd, A. Seabed Fluid Flow. The Impact on Geology, Biology, and the Marine Environment / A. Judd, M. Hovland. – London: Cambridge University Press, 2007. – 493 p.
111. Kallweit, R.S. The limits of zero-phase wavelets / R.S. Kallweit, L.C. Wood // *Geophysics*. – 1982. – Vol. 47, N 7. – pp. 1035–1046.
112. Kvalstad, T.J. What is the current “Best Practice” in offshore Geohazard investigations? A State-of-the-Art Review / T.J. Kvalstad // *Proc. of Offshore Technology Conference*. – Houston, 2007. – 14 p.
113. Lindsey, J.P. The Fresnel zone and its interpretive significance / J.P. Lindsey // *The Leading Edge*. – 1989. – Vol. 8, N 10. – pp. 33–39.
114. Missiaen, T. VHR marine 3D seismics for shallow water investigations: Some practical guidelines / T. Missiaen // *Marine Geophysical Researches*. – 2005. – Vol. 26. – pp. 145–155.
115. Okaya, D.A. Spectral properties of the earth’s contribution to seismic resolution / D.A. Okaya // *Geophysics*. – 1995. – Vol. 60, N 1. – pp. 241–251.

116. Rybalko, A.E. Control of geological hazards by engineering and geophysical surveys in the water area / A.E. Rybalko, M. Tokarev, Y.E. Terehina, D. Korost, D. Nikitin // Engineering Geophysics-2015, Abstracts of the 11th EAGE International scientific and practical Conference and Exhibition. – Gelendzhik: EAGE, 2015.
117. Sheriff, R.E. Exploration Seismology Volume 1. History, theory, & data acquisition / R.E. Sheriff, L.P. Geldart. – London: Cambridge University Press, 1982. – 253 p.
118. Sheriff, R.E. Exploration Seismology Volume 2. Data-processing and interpretation / R.E. Sheriff, L.P. Geldart. – London: Cambridge University Press, 1983. – 221 p.
119. Stolt, R.H. Migration by Fourier transform / R.H. Stolt // Geophysics. – 1978. – Vol.43. – P. 23–48.
120. Thomas, Y. Contribution of high-resolution 3D seismic near-seafloor imaging to reservoir-scale studies: application to the active North Anatolian Fault, Sea of Marmara / Y. Thomas, B. Marsset, G.K. Westbrook // Near Surface Geophysics. – 2012. – Vol. 10. – pp. 291–301.
121. Vermeer, G.J.O. Factors affecting spatial resolution / G.J.O. Vermeer // Geophysics. – 1999. – Vol. 64, N 3. – pp. 942–953.
122. Verschuur, D.J. Seismic Multiple Removal Techniques: Past, present and future (Revised Edition) / D.J. Verschuur. – Netherlands: EAGE, 2013. – 212 p.
123. Widess, M.B. How thin is a bed? / M.B. Widess // Geophysics. – 1973. – Vol. 38, N 6. – pp. 1176–1180.
124. Wood, G.A. Current Geohazard Problems and Their Geophysical Interpretation – An International Overview / G.A. Wood, I.W. Hamilton // Proc. of Offshore Technology Conference. – Houston, 2002. – 9 p.
125. Yilmaz, O. Seismic data analysis – processing, inversion, and interpretation of seismic data / O. Yilmaz. – Tulsa: SEG, 2001. – 2025 p.

**ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

ГЛБО	- гидролокация бокового обзора;
ГМС	- гидромагнитная съемка;
МОВ	- метод отражённой волны;
НГКМ	- нефтегазоконденсатное месторождение;
НСП	- непрерывное сейсмоакустическое профилирование;
ОГТ	- общая глубинная точка;
ОНП	- однократное непрерывное прослеживание;
ОПВ	- общий пункт взрыва;
ОСТ	- общая средняя точка;
САК	- сейсмоакустический комплекс;
СВР	- сейсморазведка высокого разрешения;
ССВР	- сейсморазведка сверхвысокого разрешения;
УВ	- углеводороды;
DMO	- dip move out.



**Приложение А. Сводная таблица обнаруженных потенциально опасных объектов на Южно-Киринском НГКМ**

Таблица А. – Сводная таблица обнаруженных потенциально опасных объектов.

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
1	A1	Не установлен	-	+	+	-	37,5	От средней до высокой
2	A2	Не установлен	+	+	+	-	42	Средняя
3	A3	Не установлен	+	+	+	-	35	От средней до высокой
4	A4	Не установлен	+	-	+	-	35	Средняя
5	A5	Не установлен	+	+	+	+	35	Высокая
6	A6	Не установлен	+	+	+	+	40	Высокая
7	A7	Не установлен	+	+	+	+	40	Высокая
8	A8	1,7	+	+	+	+	31, предположительно выходит	От средней до высокой, степень опасности возрастает к восточному краю аномалии.

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
							на поверхность морского дна.	
9	A9	1,8	-	+	+	+	14, предположительно выходит на поверхность морского дна.	Высокая, приурочена к разрывным нарушениям A1t1_17 и A1t1_19
10	B1	1,9	+	+	+	+	Предположительно выходит на поверхность морского дна.	Высокая, приурочена к разрывному нарушению Sk2_7.
11	B2	2,17	-	-	-	+	36	Средняя, приурочена к разрывным нарушениям PD_16 и PD_03.
12	B3	1,5	+	+	+	+	Предположительно выходит на поверхность морского	Средняя, приурочена к разрывным нарушениям Sk7_5, Sk7_16 и Sk7_17.

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
							о дна.	
13	B4	3,7	-	+	+	+	50,4	Высокая предположительно выходит на поверхность морского дна.
14	B5	3,8	-	+	-	-	21	От средней до высокой
15	B6	3,6	-	-	-	+	38,5	От средней до высокой
16	B7	3,6	-	-	-	+	38,5	От средней до высокой
17	B8	2,2	+	-	-	+	56	От средней до высокой
18	B9	1,86	-	-	-	+	31,5	От средней до высокой, AA12-6 и AA12-7, вероятно, являются одним объектом
19	C1	3	-	-	-	+	31,5	
20	C2	2	+	+	+	+	75	Высокая, приурочена к разрывным нарушениям Sk8_7, Sk8_10 и Sk8_12
21	C3	3,3	+	+	+	+	62	Высокая, приурочена к разрывным нарушениям Sk8_11 и Sk8_8, вероятно связана с AA12-11
22	D1	3,8	+	+	+	+	57	Высокая, приурочена к разрывным нарушениям Sk8_5 и Sk8_7
23	D2	2	+	+	+	+	54	Высокая, приурочена к разрывным нарушениям Sk8_3 и Sk8_4

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
24	D3	2	+	+	+	+	54	Высокая, приурочена к разрывным нарушениям Sk8_1 и Sk8_3
25	D4	2,71	+	+	+	+	50	Средняя
26	D5	2,14	-	+	-	+	50	Средняя, приурочена к разрывному нарушению PD_03
27	D6	3	-	+	-	-	112	Средняя
28	D7	3,2	+	+	+	-	112	От средней до высокой
29	D8	2,69	+	+	+	+	Предположительно выходит на поверхность морского дна	Высокая, приурочена к разрывному нарушению PD_30
30	D9	0,18	-	-	+	+	Предположительно выходит на поверхность морского дна	Высокая
31	E1	Не установлен	-	+	+	-	112	Предположительно являются одним объектом. Степень опасности отнесена к средней.
32	E2	Не установлен	-	+	+	-	112	

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
33	E3	Не установлен	-	+	+	-	112	
34	E4	Не установлен	-	+	+	-	112	
35	E5	Не установлен	+	-	+	-	112	Низкая
36	E6	Не установлен	-	+	+	-	55	От низкой до средней
37	E7	Не установлен	+	+	+	+	140, предположительно выходит на поверхность морского дна	Высокая
38	E8	3	+	+	+	+	105	Высокая, связана с разрывным нарушением Sk2_6_2
39	E9	Не установлен	+	+	+	-	105	Средняя
40	F1	Не установлен	+	+	+	+	70	Высокая
41	F2	Не установлен	+	+	+	+	70	Высокая



Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
		н						
42	F3	Не установлен	+	+	+	+	105	От средней до высокой, наличие питающего канала в виде ослабленной зоны
43	F4	Не установлен	+	+	+	+	105	
44	F5	Не установлен	+	+	+	+	105	
45	F6	Не установлен	+	+	+	+	105	
46	F7	Не установлен	+	+	+	+	70	
47	F8	Не установлен	+	+	+	+	70	
48	F9	Не установлен	+	+	+	+	105	
49	G1	Не установлен	+	+	+	+	105	
50	G2	Не установлен	+	+	+	+	105	
51	G3	Не установлен	+	+	+	+	105	

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
52	G4	4	+	-	+	+	126	Средняя
53	G5	3,5	+	+	+	+	120	Высокая, приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений A1t1_25, A1t1_26 и PDK_2.
54	G6	3,5	+	+	+	+	120	Высокая, приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений Sk5_02 и PDK_1.
55	G7	2	+	+	+	+	120	Связана с AA12-14 (степень опасности высокая) общими подходящими ослабленными зонами (питающие каналы предположительно) разрывных нарушений A1t1_17, A1t1_19, Sk8_5, Sk8_7, Sk8_8 и Sk8_15.
56	G8	2	+	+	+	+	110	Связана с AA12-7 (степень опасности средняя-высокая) общими подходящими ослабленными зонами (питающие каналы предположительно) разрывных нарушений Sk7_17, Sk7_16 и PD_07, PD_19.
57	G9	1,8	-	-	-	+	105	От низкой до средней.
58	H1	0,5	+	-	+	+	135	Средняя, аномалия пониженных амплитуд, приурочена к разрывным нарушениям PD_06,

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
								PD_16, PD_18.
59	H2	Не установлен	+	+	+	+	Предположительно выходит на поверхность морского дна	Высокая, приурочена к разрывному нарушению PD_03
60	H3	0,28	+	+	+	+	Предположительно выходит на поверхность морского дна	D9
61	H4	1,8	+	-	+	+	172	Высокая, приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений Sk8_05, Sk8_10 и Sk8_11.
62	H5	2	-	+	-	+	186	От средней до высокой
63	H6	1,5	+	-	-	+	200	От средней до высокой, проявления приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений Sk8_05, Sk8_07, Sk8_08 и Sk8_15.
64	H7	1,88	-	+	+	+	212	Низкая, приурочена к разрывному нарушению PD_03
65	H8	3,2	-	+	+	-	151	Низкая

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
66	I1	3,7	+	+	+	+	195	От средней до высокой
67	I2	5,1	-	+	+	+	210	От средней до высокой
68	I3	3	+	+	+	+	225	От средней до высокой, вероятно представляют из себя один объект
69	I4	3	+	+	+	+	225	
70	I5	3	+	+	+	+	225	
71	I6	0,33	+	+	+	+	Предположительно выходит на поверхность морского дна	Высокая, приурочена к разрывному нарушению PD_30
72	I7	2,6	-	-	-	+	195	От низкой до средней
73	I8	2,3	-	+	+	-	232,5	Средняя
74	I9	Определение затруднено	-	-	-	+	232,5	Высокая, связана с D9
75	J1	3,7	+	+	+	+	210, предположительно выходит на поверхность морского дна	Высокая
76	J2	2,1	+	+	+	+	210	От средней до высокой

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
77	J3	Не установлен	+	+	+	-	217,5	Средняя
78	J4	5	+	+	+	+	225	От средней до высокой, проявления приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений Sk7_17, Sk7_16, PD_07 и PD_19.
79	J5	Не установлен	-	+	+	-	238	От низкой до средней
80	J6	2,5	-	+	-	+	225	Средняя
81	J7	3	+	+	+	+	215	От средней до высокой, приурочена к разрывному нарушению A2t2_10.
82	J8	6	-	+	-	-	150	Средняя
83	J9	2	-	+	+	-	160	От низкой до средней
84	K1	3,3	+	+	+	-	147	Средняя
85	K2	4,3	-	-	+	-	161	Низкая
86	K3	1,6	+	-	-	+	221	Низкая
87	K4	2,6	+	-	+	+	196	От средней до высокой, проявления приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений Sk8_5, Sk8_7.
88	K5	2,1	+	+	+	+	252	От низкой до средней
89	K6	4,5	+	+	+	+	200	Высокая, проявления приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
								PDK_2, Sk2_6_2, Sk8_2, Sk8_7, Sk8_8, Sk8_15.
90	K7	3,5	-	+	+	+	315	От средней до высокой
91	K8	2,7	+	-	+	+	300	От средней до высокой
92	K9	3,33	-	-	-	+	292,5	От средней до высокой, приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений A1t1_16, A1t1_17, A1t1_19.
93	L1	5,7	+	+	+	+	247,5	Высокая, L1 и L2 вероятно являются одним объектом
94	L2	4	+	+	+	+	247,5	
95	L3	7,5	+	+	+	+	217,5	Высокая
96	L4	7,5	+	+	+	+	240	Высокая
97	L5	7	+	+	+	+	270	Высокая
98	L6	1,3	+	+	+	+	262,5	От средней до высокой
99	L7	5	+	+	+	-	247,5	От низкой до средней
100	L8	5	+	+	+	-	260	От низкой до средней
101	L9	3	+	+	+	-	280	Средняя
102	M1	4,5	+	+	+	+	270	От средней до высокой, проявления приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений Sk2_6_2, Sk8_4, Sk8_5, Sk8_6.
103	M2	2,5	+	+	+	+	320	Средняя, проявления приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений



Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
								Ek_05, Ek_07, Ek_14.
104	M3	3	-	+	+	+	290	Средняя, проявления приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений Sk7_17, Sk7_16, PD_07, PD_19.
105	M4	2	+	+	+	+	280	Средняя
106	M5	8	+	+	+	+	273	От средней до высокой, ослабленные зоны приурочены к разрывному нарушению A2t2_10.
107	M6	5,8	+	+	+	+	400	Высокая
108	M7	7,8	+	+	+	+	380	Высокая
109	M8	5,95	+	+	+	+	300	Высокая, M3 и M4 вероятно являются одним объектом
110	M9	4	+	+	+	+	300	
111	P1	4	-	+	+	-	260	От низкой до средней
112	P2	2,8	+	+	+	-	285	От средней до высокой
113	P3	2	+	+	+	-	320	Средняя
114	P4	0,3	-	-	-	+	405	Средняя
115	P5	0,3	+	+	+	+	Предположительно выходит на поверхность морского дна	Высокая, вероятно, является одним объектом с D9, H3, I9
116	P6	0,23	+	+	+	+	Предпол	Высокая, вероятно связан

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
							ожитель но выходит на поверхность морского дна	одним питающим каналом, ассоциирующимся с разрывным нарушением PDK_34, с В4, J1
117	P7	0,15	-	+	+	+	345	Высокая, связан с M7
118	P8	0,15	+	+	+	+	367,5	От средней до высокой
119	P9	6	-	-	-	-	460	Низкая
120	Q1	1,8	-	-	-	-	436	Низкая
121	Q2	0,3	+	-	+	+	340	От средней до высокой, ослабленные зоны приурочены к разрывному нарушению Sk6_03.
122	Q3	0,3	+	-	+	+	320	От средней до высокой, ослабленные зоны приурочены к разрывному нарушению A1t2_03.
123	Q4	2,2	-	+	-	-	380	Низкая
124	Q5	3,3	-	+	+	+	456	Средняя, Q5 и Q6, вероятно, являются одним объектом
125	Q6	3,3	-	+	+	+	440	
126	Q7	6,3	+	+	+	+	360	От средней до высокой, Q7, Q8, Q9 и R1, вероятно, являются одним объектом.
127	Q8		+	+	+	+		
128	Q9		+	+	+	+		
129	R1		+	+	+	+		
130	R2	3	+	+	+	-	425	Средняя
131	R3	2	-	-	+	+	470	Средняя, проявления

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
								приурочены к ослабленным каналам разрывных нарушений PDK_02, A1t1_25.
132	R4	4	+	+	+	+	385	От средней до высокой, ослабленные зоны приурочены к разрывному нарушению A1t2_03.
133	R5	2	+	+	+	+	496	Средняя
134	R6	3,48	+	+	+	+	448	От средней до высокой
135	R7	2,14	+	-	+	+	544	От низкой до средней, смена фазы и прогибание связаны с наличием разрывных нарушений PDK_12 и PDK_26
136	R8	1,65	+	-	+	+	476	От низкой, до средней
137	R9	1,83	-	+	+	+	532	От низкой, до средней, вероятно AA910-5, AA910-6 и AA910-7 являются одним объектом
138	S1	1,83	-	+	-	+	504	
139	S2	1,83	-	+	-	+	504	
140	S3	1,83	-	+	+	-	544	Низкая, вероятно S3, S4 и S5 являются одним объектом
141	S4	1,46	-	+	+	-	560	
142	S5	1,83	-	+	+	-	560	
143	S6	1,46	-	+	+	-	488	Низкая
144	S7	Не установлен	+	+	+	-	379	Средняя
145	S8	4,5	+	+	+	-	420	От средней до высокой
146	S9	2	-	-	-	-	530	Низкая

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
147	T1	3,79	-	+	+	+	600	От средней, до высокой.
148	T2	3,79	-	+	+	+	600	
149	T3	2,19	-	+	+	+	624	
Разрывные нарушения, отнесенные к опасным, фронтальная часть турбидитового потока								
1	PDK_1	Сбросы, выходящие на поверхность морского дна, служат каналами для миграции газа. Зачастую ассоциируются с опасностями типа «газовый столб».						
2	PDK_2							
3	PDK_3							
4	PDK_06							
5	PDK_32							
6	PDK_34							
7	PD_03							
8	PD_04							
9	PD_07							
10	PD_14							
11	PD_16							
12	PD_17							
13	PD_19							
14	PD_30							
15	Sk2_6_02							
16	Sk2_07							
17	Sk5_02							
18	Sk5_03							
19	Sk5_05							

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
20	Sk7_01							
21	Sk7_03							
22	Sk7_05							
23	Sk7_16							
24	Sk7_17							
25	Sk8_01							
26	Sk8_02							
27	Sk8_03							
28	Sk8_04							
29	Sk8_05							
30	Sk8_06							
31	Sk8_07							
32	Sk8_08							
33	Sk8_10							
34	Sk8_11							
35	Sk8_12							
36	Sk8_15							
37	A1t1_03							
38	A1t1_04							
39	A1t1_15							
40	A1t1_16							
41	A1t1_17							
42	A1t1_19							
43	A1t1_23							

Сводная таблица амплитудных аномалий								
№ п.п.	Амплитудная аномалия	Коэффициент изменения амплитуды*	Смена фазы	Уменьшение частоты	Эффект прогибания	Наличие зоны затухания ниже по разрезу	Глубина верхней границы (м)	Предположительная степень опасности и комментарии
44	A1t1_24							
45	A1t1_25							
46	A1t1_26							
47	A1t4_01							
48	A1t4_03							
49	A2t2_02							
50	Ek 04							
51	Ek 05							
52	Ek 06							
53	Ek 07							
54	Ek 09							
55	Ek 11							
56	Ek 12							
57	Ek 14							
58	Ek 15							
59	Ek 17							
60	Ek 18							
61	Ek 19							
62	Ek 20							
63	Ek 21							
64	TBD	Фронтальная часть турбидитового потока на глубине 560 метров от морского дна.						



-\*- Коэффициент изменения амплитуды рассчитан как отношение максимальной амплитуды аномального объекта к средней по изучаемому горизонту.