

Санкт-Петербургский государственный университет
Институт наук о Земле

Шिशалова Мария Викторовна
Выпускная квалификационная работа

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ АНАДЫРСКОГО БАССЕЙНА
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ**

Основная образовательная программа магистратуры
«Нефтегазовое дело»

Научный руководитель:
к.г.-м.н., Шиманский С. В.

(подпись руководителя)

«__» _____ 2022

Рецензент:
Танинская Н.В.

(подпись руководителя)

«__» _____ 2022

Санкт-Петербург

2022

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИССЛЕДУЕМОМ РАЙОНЕ	6
1.1 Физико-географический очерк.....	6
1.2 Характеристика геологической изученности Анадырского бассейна.....	9
1.3 Сейсмостратиграфия участка работ.....	12
1.4 Тектоника исследуемого района	19
1.5 История геологического развития.....	26
1.6 Нефтегазоносность	31
2. МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ.....	33
2.1 Характеристика использованной геолого-геофизической информации.....	33
2.2 Корреляция разрезов	35
2.3 Построение структурной модели	37
2.4 Создание модели углеводородных систем.....	51
2.5 Оценка ресурсов углеводородов объемно-генетическим методом	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	61
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	62
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	64
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	65
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	66
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	67

АННОТАЦИЯ

Объект исследования выпускной квалификационной работы – Анадырский бассейн (Берингово море).

Цель работы: оценить перспективы нефтегазоносности Анадырского бассейна на основе моделирования углеводородных систем.

Методика проведения работ: моделирование углеводородных систем в программном обеспечении Petrel (2017).

Работа включает в себя введение, основную и практическую части, состоящие из 5 и 6 разделов соответственно, заключение, список использованной литературы и приложения.

Объём работы – 67 страниц.

Количество рисунков – 33.

Количество таблиц – 7.

Количество приложений – 6.

Ключевые слова: Берингово море, Анадырский бассейн, сейсмокомплекс, моделирование, углеводороды, ресурсы, объёмно-генетический метод.

ANNOTATION

Research topic of the Master's Thesis: The Anadyr Basin (the Bering Sea).

Research purpose: To evaluate the prospects for the oil-and-gas bearing capacity of the Anadyr Basin based on the hydrocarbon systems modeling.

Methodology: hydrocarbon systems modeling in Petrel (2017).

The Thesis contains an introduction, the body/theoretical basis, and practical implementation, consisting of 5 and 6 sections, conclusions, a list of references, and appendices.

The number of pages – 67.

The number of pictures – 33.

The number of tables – 7.

The number of appendices – 6.

Key words: The Bering Sea, the Anadyr Basin, seismocomplex, modeling, hydrocarbons, resources, volumetric-genetic method.

ВВЕДЕНИЕ

Значение углеводородов для современного мира двадцать первого века невозможно переоценить. Нефть и газ являются источником тепла и света для наших домов, топливом для машин. Без углеводородов не было бы в нашей жизни пластмасс, керосина, растворителей, синтетических тканей, бытовой химии, многих лекарств и так далее.

Поскольку разведанные запасы углеводородов в мире ежегодно истощаются, остро встает вопрос о поиске и разработке новых месторождений. Мировой океан сейчас насчитывает сотни нефтегазоносных районов, предназначенных для промышленного освоения. Существенная часть углеводородов России приходится на долю континентального шельфа. Основная доля суммарных ресурсов углеводородов всего российского шельфа расположена в недрах арктических морей [14] [8].

Это обуславливает необходимость проведения геологоразведочных работ и освоения арктических шельфовых месторождений и является одним из основных долгосрочных направлений устойчивого развития энергетической политики России.

Проблема прогноза и поисков углеводородов в морских акваториях становится все более актуальной. В исследуемой работе на примере Анадырского бассейна Берингова моря показан опыт оценки перспектив нефтегазоносности на основе моделирования углеводородных систем.

Цель моей работы: оценить перспективы нефтегазоносности Анадырского бассейна на основе моделирования углеводородных систем.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Выполнить обзор литературы по району исследований, изучить ПО Schlumberger Petrel и подготовить рабочий проект;
2. Провести корреляцию четырёх отражающих горизонтов;
3. Построить карты поверхностей для четырёх горизонтов, карты изохрон;
4. Сконвертировать структурные карты из временной области в глубинную;
5. С использованием литологических характеристик создать модель углеводородных систем и оценить ресурсы углеводородов.

Объект исследования выпускной квалификационной работы – ресурсы углеводородов в Анадырском бассейне.

Для написания работы использовались данные из отчётов «Комплексные региональные геофизические исследования на акватории Берингова моря в зоне сочленения Хатырского и Анадырского бассейнов», «О проведении тематических и опытно-

методических работ, связанных с геологическим изучением недр», фондовой литературы и интернет-источников.

Личный вклад автора заключается в анализе литературных источников, изучении необходимого программного обеспечения, построении структурной модели на основе данных сейсморазведки, создании модели углеводородных систем и оценке на её основе ресурсов углеводородов в Анадырском бассейне.

Практическая значимость работы заключается в дальнейшем использовании материалов для актуализации ресурсов углеводородов Анадырского бассейна.

Объём: 67 страниц. Работа включает в себя введение, две главы, состоящие из 6 и 5 разделов соответственно, заключение, список использованной литературы и приложения.

Благодарю Шиманского Сергея Владимировича за материалы и помощь в написании магистерской диссертации.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИССЛЕДУЕМОМ РАЙОНЕ

1.1 Физико-географический очерк

Берингово море – окраинное полузамкнутое море смешанного материково-океанического типа. Располагается северной части Тихого океана между материками Азии на западе (Россия), Северной Америки на востоке (США) и Командорскими (Россия) и Алеутскими (США) островами на юге. На севере замыкается полуостровами Чукотским и Сьюард. Соединяется Беринговым проливом с Чукотским морем и Северным Ледовитым океаном.

Площадь моря составляет 2344 тыс. км², общая протяженность береговой линии – 13340 км. Средняя глубина моря составляет 1598 м, максимальная, зафиксированная в Камчатском проливе – 4420 м.

Участок геофизических работ находится в берингоморском регионе и включает в себя шельф в зоне сочленения Хатырского, Анадырского и Наваринского бассейнов, а также континентальный склон и Алеутскую глубоководную котловину (рис. 1). В таблице 1 представлены координаты участка [9].

Таблица 1

Координаты участка работ [9]

Номера угловых точек	Широта	Долгота	Номера угловых точек	Широта	Долгота
Участок работ					
1	64°15'12.4" сш	173°01'46.8" зд	4	59°17'10.8" сш	178°08'54.5" вд
2	63°54'45.3" сш	172°44'25.6" зд	5	57°31'47.0" сш	164°49'57.0" вд
3	62°47'13.8" сш	175°09'56.7" зд	6	57°41'09.5" сш	163°16'44.6" вд
Участок комплексных геофизических работ					
1	63°24'20.6" сш	177°21'24.0" зд	4	60°46'26.2" сш	174°56'00.3" вд
2	62°47'13.8" сш	175°09'56.7" зд	5	61°57'24.2" сш	178°44'20.5" вд
3	59°17'10.8" сш	178°08'54.5" вд			

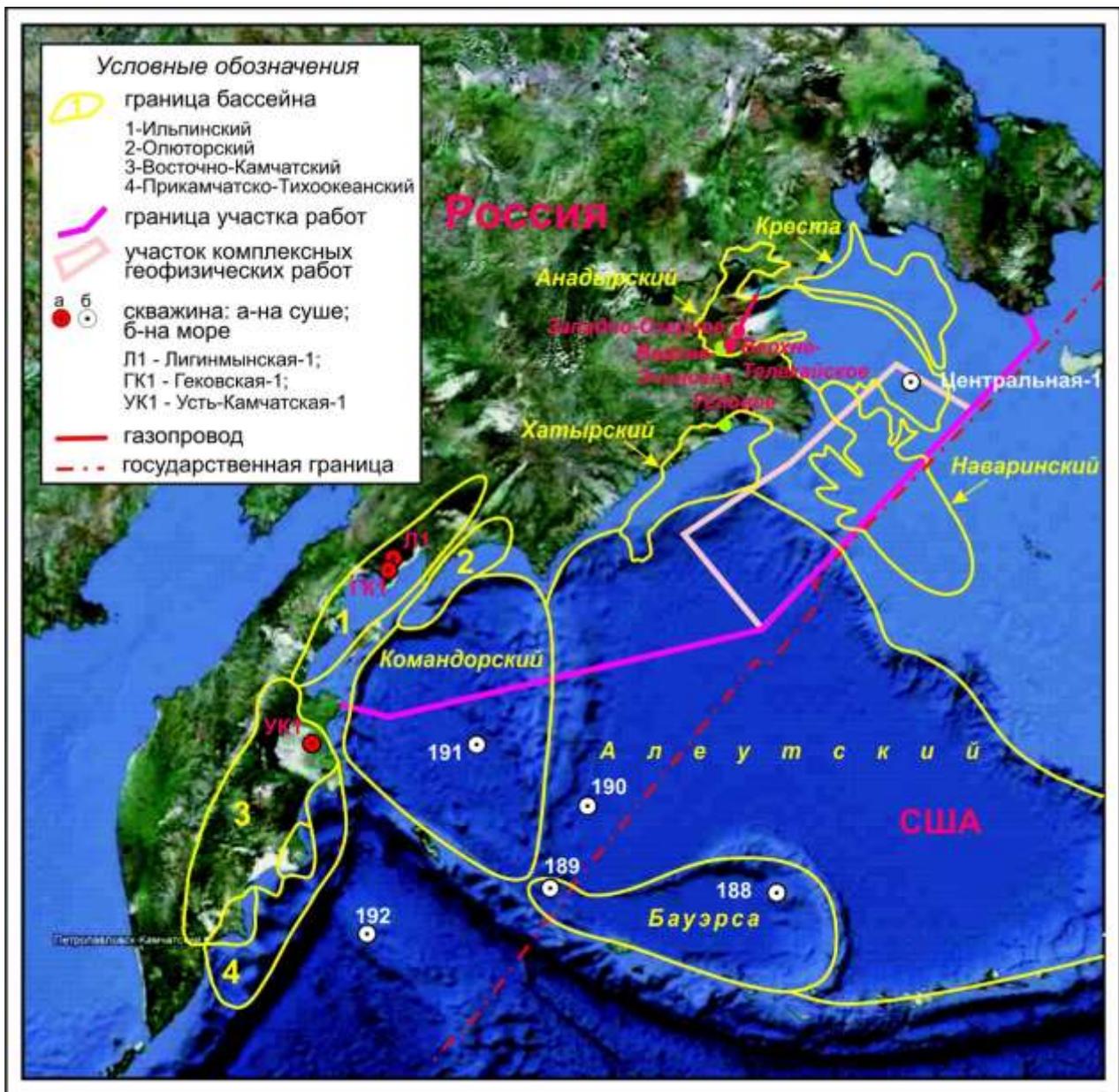


Рисунок 1. Расположение участка работ [9]

1. Климатические условия

Климат на севере арктический и субарктический, с выраженными континентальными чертами; на юге — умеренный, морской. Сильное влияние на климатические условия оказывает муссонная циркуляция атмосферы. В зимнее время года ветры северных направлений приносят холодный арктический воздух, а летом преобладают южные ветры, которые обуславливают пасмурную погоду, большое количество осадков и туманы. С октября по март число штормовых дней составляет от 5 до 20 в месяц. За год в среднем 35-65 дней проходит со штормами. Штормы летом происходят редко.

Зимой средняя месячная температура на побережье составляет от -7°C до -23°C , на юге до -13°C , в открытом море от -8°C до -20°C . Летом на побережье среднемесячная температура не превышает 13°C , над экваторией температура держится выше 0°C , достигая

12°C в августе. Температура воды на поверхности в феврале – от -1°C до +2°C, в августе от +5°C до +10°C. Средняя соленость воды в Беринговом море – 30-33‰.

Туманы усложняют условия видимости на протяжении всего года. Самое туманное время года – с мая по август (в среднем 10-18 дней в месяц).

2. Гидрологическая характеристика.

Гидрологический режим определяется климатическими условиями, водообменом с Чукотским морем и Тихим океаном, материковым стоком и опреснением поверхностных вод моря при таянии льдов. Поверхностные течения образуют круговорот против часовой стрелки, по восточной периферии которого следуют на север тёплые воды из Тихого океана — берингоморская ветвь системы тёплых течений Куро-Ойяси. Часть этих вод поступает через Берингов пролив в Чукотское море, другая часть отклоняется к западу и далее следует на юг вдоль азиатского берега, принимая холодные воды Чукотского моря. Южный поток образует Камчатское течение, которым воды Берингова моря выносятся в Тихий океан [16].

Каждый год в ноябре-декабре у восточного побережья Камчатки и Командорских островов появляются плавучие льды, которые вдоль полуострова Камчатка выносятся в Тихий океан. Скорости течений даже на больших глубинах могут достигать 25-35 см/с.

Величина прилива при наибольших склонениях Луны достигает 1.5 м. Скорости приливно-отливных течений достигают в проливах и на мелководье 100 см/с, а в глубоководной части – 15-60 см/с.

3. Ледовый режим.

Большую часть года Берингово море покрыто плавучими льдами, которые образуются в северо-западной его части. Интенсивное образование льдов приурочено к периоду сентябрь-октябрь. Первый лед появляется в Анадырском заливе, а в ноябре уже распространяется до мыса Олюторский. К февралю почти вся поверхность покрыта льдами, которые выносятся в Тихий океан вдоль Камчатки. Беринговому морю свойственно явление «свечения моря». Таяние льда в акватории происходит в апреле-мае, в Анадырском заливе – в первой половине июля.

4. Население

Побережье, примыкающее к району исследований, принадлежит Камчатскому краю и Чукотскому автономному округу, входящим в состав Дальневосточного Федерального округа. Административный центр округа – г. Хабаровск с населением 613280 человек.

На 1 мая 2022 по оценке Федеральной службы государственной статистики численность населения (постоянных жителей) Камчатского края составляет 313016 человек, численность населения Чукотского автономного округа – 50288 человек [17].

1.2 Характеристика геологической изученности Анадырского бассейна

Геолого-геофизические исследования осадочных бассейнов Берингоморского региона проводились многими научными и производственными коллективами в течение второй половины XX века и в начале XXI столетия.

Современные знания о геологическом строении Анадырского бассейна базируются на данных площадных поисковых и детализационных сейсморазведочных работ МОГТ и материалах бурения.

Основной объем геофизических исследований различной степени детальности был выполнен Полярной экспедицией НПО «Севморгео», Западным геофизическим трестом (ЗГТ) и предприятием «Дальморнефтегеофизика».

Изучение акватории Берингова моря началось в 1970-х с аэромагнитных съёмок. В 1975 году на акватории Карагинского залива полярная экспедиция «Севморгео» провела аэромагнитную съёмку масштабом 1:500 000, гравиметрическую съёмку масштаба 1:1 000 000, региональные сейсморазведочные работы методом отраженных волн (МОВ) и методом отраженных (центральный луч) МОВ ЦЛ.

В результате были получены данные о геологическом строении площадей, выявлены локальные антиклинальные поднятия и оценена мощность слоистых осадочных отложений, которая достигает 5 км. В этом же году в прибрежной части Карагинского залива Главным управлением геодезии и картографии (ГУГК) была выполнена гравиметрическая съёмка масштаба 1:1 000 000. Поскольку съёмка выполнялась в военных целях, данные остались засекречены.

В 1976 г. Геофизической экспедицией Западного геофизического треста (ЗГТ) на части акватории Карагинского залива была проведена аэромагнитная съёмка масштаба 1:100 000, а также съёмка масштаба 1:50 000 на небольшой площади в 307 км². В результате работ был прослежен ряд тектонических нарушений, выделены области развития магнитоактивных образований и определена глубина погружения кровли верхнемеловых пород в 1.5-4 км.

В 1974 и 1978 гг. НПО «Севморгео» проведены аэромагнитные и гравиметрические работы масштаба 1:500 000. В результате выявлены крупные структурные элементы и оценена мощность чехла. В 1977-1980 гг. проведены первые сейсмические работы МОВ ОГТ в комплексе с гравиметрией в Анадырском заливе и на Наваринском и Хатырском шельфах. В результате в неогеновых отложениях выявлены локальные поднятия, установлено продолжение в акваторию основных структурно-тектонических элементов суши и определена мощность осадочного чехла, достигающая 3.0-4.0 км.

В 1980-1986 гг. изучены Приолюторский склон, Командорская и Алеутская глубоководные котловины. Проведена стратификация разреза с привязкой к глубоководной скв. 191, построены структурные карты по III и IV отражающим горизонтам, оценена мощность осадочного чехла и его верхней части (до горизонта III).

Обширная геологическая и геофизическая информация, полученная в эти годы, послужила основой для нефтегеологического районирования и оценки перспектив нефтегазоносности региона.

Наиболее весомый вклад в изучение геологического строения региона внесло ОАО ДМНГ. Систематические исследования начались после проведения в 1980 году на акватории Карагинского и Олюторского заливов на площади 44500 км² аэромагнитной съемки масштабов 1:500 000 и 1:1 000 000. В результате построена схема изогипс поверхности магнитоактивных образований, оценена мощность осадочных отложений потенциально перспективной палеоген-неогеновой толщи.

С 1982 по 1990 гг. ОАО ДМНГ в Анадырском заливе, на Хатырском и Корякском участках проведены геолого-геофизические исследования МОВ ОГТ кратностью от 24 до 48. В целом за этот период времени ОАО ДМНГ отработано шесть объектов протяженностью более 33 тыс. пог. км сейсмических профилей МОВ ОГТ.

В течение последнего десятилетия геофизические исследования проводились по инициативе МПР России уже на новом техническом уровне. В 2003 г. по Госконтракту ВК-02-06/379 на акватории Карагинского и Олюторского заливов в Ильпинском и Олюторском бассейнах выполнена сейсморазведка МОВ ОГТ (3036 пог. км) по региональной сети и аэрогравимагнитная съемка (17800 пог. км).

В 2006-2007 г.г. (ГК № 03/02/70-228) комплексные геофизические работы с использованием современных технологий (СР МОВ ОГТ, ГР, МР) были продолжены в Хатырском бассейне и западной части Алеутского. Было отработано 5257 пог. км сейсмических профилей и проведены набортные гравимагнитные исследования.

В 2012 году по Госконтракту № 05/02/70-109 в Ильпинском, Олюторском бассейнах и северо-западном секторе Командорского по региональной сети профилей выполнена сейсморазведка МОВ ОГТ в комплексе с гравимагнитометрией, позволившая получить достаточно полное представление о геологическом строении и довести плотность сети высокоразрешающих профилей до 0.14 пог. км/км². Общий объем составил более 48.5 тыс. пог. км сейсмических профилей МОВ ОГТ.

В результате выполненных геофизических исследований аквальная часть Ильпинского, Олюторского и Хатырского бассейнов покрыта неравномерной сетью профилей, соответствующей в целом региональной стадии исследований. Материалы новых

сейсмических съемок явились основой структурных и нефтегеологических построений. Применение более совершенных полевых методик, технологий сбора и обработки информации позволило улучшить качество сейсмического материала.

Комплексными геолого-геофизическими работами, проведенными ОАО ДМНГ в конце XX – начале XXI века, изучено геологическое строение северо-западной части Берингова моря. Определены границы Хатырского, Ильпинского и Олюторского осадочных бассейнов и установлено их взаимоотношение с глубоководными котловинами, изучено распространение кайнозойского осадочного чехла по площади и оценена его мощность; характер изменения магнитного и гравитационного полей; проведено структурно-тектоническое и нефтегеологическое районирование.

В 2016 году по договору с АО «Росгеология» в рамках Госконтракта №06/18/510-62 выполнены работы по объекту «Комплексные геофизические исследования на акватории Берингова моря в зоне сочленения Хатырского и Анадырского бассейнов» отработано 3000 пог. км профилей (СР МОВ ОГТ, гравимагнитометрия) (рис. 2).

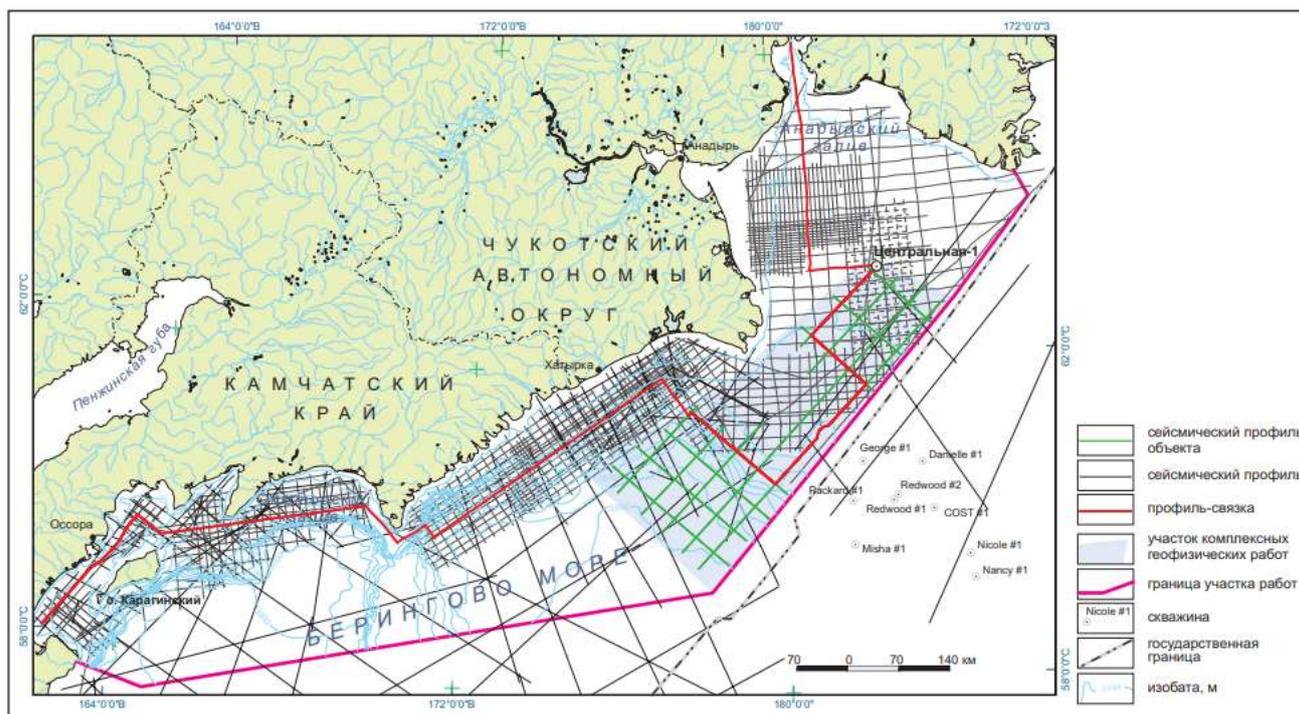


Рисунок 2. Геофизическая изученность участка работ [9]

В 2001 г. в Анадырском бассейне по инициативе ОАО «Сибнефть» (с 2006 г. ОАО «Газпромнефть») возобновились геолого-геофизические исследования. В течение 2001-2009 гг. на 3 лицензионных участках (Беринговский, Центральный, Туманский) ОАО ДМНГ выполнены сейсмические исследования в объеме 5650 пог. км.

В летний сезон 2002 г. в Анадырском заливе пробурена первая на Беринговоморском шельфе России скважина Центральная-1 (2785 м). Несмотря на то, что скважина не дала положительных результатов в нефтегазоносном плане, в ходе реализации проекта получен уникальный геолого-геофизический материал, необходимый для изучения строения осадочного разреза и оценки нефтегазоносного потенциала бассейна.

В 2010 г. коллективом авторов ОАО «Камчатгеология» и ФГУП «ВНИИОкеангеология» завершены работы по созданию листа 0-58 Государственной геологической карты масштаба 1:1000000. Лист охватывал шельф северо-западной части Берингова моря, склон и Командорскую глубоководную котловину.

В наземной части Анадырского и Хатырского бассейнов в 80-е годы XX века в результате реализации принятой программы бурения было открыто 4 мелких месторождений УВ. В Анадырском бассейне открыты нефтяное Верхне-Эчинское, Верхне-Телекайское нефтегазоконденсатное, газовое Западно-Озерное месторождения, в Хатырском бассейне – Угловое месторождение нефти. Промышленные притоки нефти получены на Ольховой площади в Анадырском бассейне, газа – на Янракоимской и Анольской газопроявлениях в Хатырском бассейне.

Строение Анадырского бассейна освещено сейсморазведкой КМПВ (496,0 пог. км), МОВ (8,8 тыс. пог. км) и МОВ ОГТ (14,7 тыс. пог. км), применение которой позволило выявить более 50 антиклинальных структур и часть из них подготовить к глубокому бурению. Средняя площадь структур составляет 50 км². Глубокое бурение проведено на 22 структурах. В начале 1990-х годов из-за недостатка государственного финансирования геологические работы в Анадырском бассейне были прекращены.

В девяностых годах на основании большого количества фактических данных разработана стратиграфия палеогеновых отложений и уточнена схема расчленения неогеновых отложений Анадырского бассейна и создана стратиграфическая схема кайнозойского чехла и Хатырского бассейнов.

В 2001 г. в Анадырском бассейне после возобновления геолого-геофизических исследований ОАО «Сибнефть» в Лагунном прогибе на острове Молчаливый была пробурена поисковая скважина Лахтакская Р-1 глубиной 2864 м [9].

1.3 Сейсмостратиграфия участка работ

В разрезе верхней части земной коры Беринговоморского региона на основе сейсмостратиграфического анализа выделены акустический фундамент и осадочный чехол, разделенные надрегиональным несогласием Фа. Несогласия 3, 2 и 1 разделяют кайнозойский

I. Фундамент

Фундамент Анадырского бассейна сложен докембрий-среднепалеозойскими карбонатно-терригенными и триас-неокомскими песчано-сланцевыми и кремнисто- и терригенно-вулканогенными формациями различной степени вторичной преобразованности.

На севере бассейна фундамент сложен покровами эффузивов и туфов кислого и среднего состава альб-сеноманского (мел) Охотско-Чукотского и палеоцен-эоценового Анадырско-Бристольского вулканогенных поясов. Наблюдаются крупные тела плагиогранитов, диоритов и биотитовых гранитов, абсолютный возраст которых составляет 85-100 млн. лет. Западнее распространены морские верхнеюрско-нижнемеловые и верхнеальб-сеноманские флишоидные формации, а также верхнемеловые континентальные и прибрежно-морские угленосные образования рарытчинской свиты, которые насыщены пластовыми телами диабазов, долеритов и андезито-базальтов. Песчано-угленосный разрез рарытчинской свиты вскрыт скважинами Береговая 12 и Вязкая 1. Меловые отложения в этих скважинах несогласно перекрыты кайнозойскими вулканогенно-осадочными породами танюерской свиты одноименного горизонта.

В обрывах бухты Угольной верхнемеловая корякская и раннепалеогеновая чукотская свиты связаны постепенными переходами. Корякская свита мощностью до 350-400 м образована туфами, туфогенными песчаниками шельфового генезиса и континентальными угленосными породами. Чукотская свита, состоящая из чередующихся морских вулканогенно-осадочных и континентальных угленосных отложений, коррелятивна ягельной толще танюерского горизонта (туфогенные песчаники, алевролиты, углистые аргиллиты, туфогенные аргиллиты и алевролиты).

Рельеф кровли фундамента характеризуется значительной расчлененностью и резкими перепадами глубины погружения - от первых десятков метров до глубины 5.5 км в депоцентре Анадырского бассейна.

II. Осадочный чехол

Скважиной Центральная-1 были вскрыты отложения от палеоцена до четвертичного периода. Полученные из образцов шлама и керна остатки макрофауны, диатомей, спор и пыльцы, фораминифер, динофлагеллат позволили определить возраст отдельных стратиграфических подразделений. Всего в скважине отобрано 500 образцов шлама, керна (инт. 721–736м, 2412–2417.85м) и кернабоковых грунтоносков (инт. 2640–2770м).

В результате исследований определен возраст опорных сейсмических горизонтов 1, 2', 2, 3 и 4 (номенклатура ОАО «Сибнефть»). Скважиной Центральная-1 сейсмический горизонт Фа не вскрыт. Суммарная мощность осадочного чехла достигает 5.5 км. Ниже приведена характеристика выделенных сейсмокомплексов.

1. Палеогеновый сейсмокомплекс, включающий в себя танюерскую и майницкую свиты.

Ограничен в кровле и подошве с.г. 3 и Фа. Скважиной Центральная-1 в инт. 2270-2785м вскрыты относящиеся к сейсмокомплексу вулканогенно-осадочная и песчано-глинистая формации, а также I циклопачка туфотерригенной угленосной формации.

А) Вулканогенно-осадочная формация (2635-2785 м) залегает под поверхностью структурного несогласия (с.г. 4), установленного пластовым микроимджером по резкому изменению элементов залегания слоев смежных толщ. В кровле развита каолинистая кора выветривания мощностью до первых метров. В разрезе формации преобладают туфы андезит-базальтового состава, циклично чередующиеся с туффитами, с подчиненными прослоями глинистых пород и углей в нижней половине толщи. Вблизи кровли отмечены гравелиты и гравелитистые песчаники. Угольные пласты толщиной до 2 м установлены в интервале 2698-2704 м, тело андезитобазальтов – на глубине 2682-2690м. Формация соответствует танюерской свите палеоцен-раннеэоценового танюерского стратиграфического горизонта.

В низах формации (2765-2785 м) выделен обедненный спорово-пыльцевой комплекс с характерными для палеоцена видами-индексами. В интервале 2635-2745м появляются два уровня динофлагеллаты. К первому уровню (2745 м) с *Thalassphora* sp. приурочена существенная перестройка в составе палинофлор и появление 23 новых палинотаксонов среди покрытосеменных растений. Здесь впервые появляется пыльца характерного для эоцена *Pistillipollentis mcgregori* Rouse. Выделенный в средней части спорово-пыльцевой комплекс с *Cercidiphyllites*–*Azonia recta* имеет переходный состав от маастрихта–палеоцена к эоцену. Вид *Anacolosidites* выбран Н.Я. Брутман как вид-индекс для палинозоны в палеоцене Сахалина. Выше второго уровня динофлагеллат выделен комплекс с *Liriodendron*, который является руководящим для эоцена.

Б) Песчано-глинистая формация (2471-2635 м) мелководно-морского генезиса состоит из пяти циклитов мощностью 27, 54, 30, 25 и 18 м. Нижние части циклов сложены голубовато-серыми мелкозернистыми песчаниками и алевролитами мощностью до 10м. Верхние части циклитов сложены темно-серыми известковистыми аргиллитами и серыми алевритистыми глинами каолинит-гидрослюдисто-хлоритового состава. Песчаники и алевролиты содержат обломки и тонкие прослои угля. Толща выделяется по комплексу спор и пыльцы с *Liriodendron*–*Liliacidites*–*Gothanipollis*–*Trudopolis rompneckii*, характеризующему самое большое разнообразие эоценовой палинофлоры в разрезе скважины. Примерно в средней части толщи (2540м) обнаружены раннекайнозойские динофлагеллаты. По

палеонтологическим данным песчано-глинистая формация сопоставляется с нижнемайницкой подсвитой.

В) I циклопачка туфотерригенной угленосной формации (2270-2471 м) сложена тонкослоистыми алевролитами, мелко-среднезернистыми туфогенными песчаниками, содержит 7 пластов угля. Мощность пластов угля изменяется от двух до пяти метров. Глинистые породы состоят из каолинита, монтмориллонита, гидрослюда и хлорита. Отложения I циклопачки отражают крупный этап существования теплолюбивых палинофлор, свойственных эоцену северо-восточных регионов России. На глубине 2385 м отмечено последнее появление пыльцы *Pistillipollentis mcgregori* Rouse – вида, неизвестного в отложениях моложе эоцена. К этому уровню приурочена граница раздела эоцена и олигоцена.

В Анадырском бассейне в целом в течение всего палеогена преобладали прибрежно-континентальные и прибрежно-морские обстановки, сменяющиеся к центру прогибания и вверх по разрезу шельфовыми. Тип осадконакопления терригенный угленосный. Максимальная глубина погружения кровли сейсмокомплекса превышает 3.6 км, мощность достигает 2 км.

2. Нижне-среднемиоценовый сейсмокомплекс, включающий в себя собольковско-автатукульский горизонт. В некоторых пособиях также выделяют гагаринскую и елисеевскую свиты.

Ограничен в подошве и кровле с.г. 3 и с.г. 2. В Анадырском бассейне скважиной Центральная-1 в инт. 1112-2270 м вскрыт собольковско-автатукульский сейсмокомплекс общей мощностью 1158 м. Он объединяет отложения собольковского (нижний миоцен) и автатукульского (средний миоцен) стратиграфических горизонтов. Собольковский горизонт представлен II, III и IV циклопачками туфотерригенной угленосной формации мощностью 220, 305 и 345 м соответственно, автатукульский сложен ракушняково-терригенной и туфопесчано-алевритовой формациями.

А) II циклопачка (2050-2270 м) отличается наличием в нижней части рыхлых туфогенных песчаников от мелко- до крупнозернистых, алевролитами и глинами с повышенным содержанием монтмориллонита в глинистой фракции. Включает 9 пластов углей, толщина верхнего превышает 15 м. Циклопачка плохо охарактеризована органическими остатками, но в ее верхах, примерно с глубины 2080 м, появляются новые таксоны умеренно теплолюбивой флоры миоцена (*Tilia*, *Amurensis*, *Ulmus*, *Parthenocissus*), указывающие на миоценовый возраст отложений циклопачки.

Б) III циклопачка (1735-2050 м) сложена в основании безугольным циклитом с базальным песчаником, обогащенными карбонатными конкрециями, выше залегают

глинистые породы с подчиненными прослоями алевролитов. Перекрывающие породы представлены песчаниками мелко-среднезернистыми, алевролитами, глинами и углями. Породы находятся в горизонтальном и косослоистом залегании. Встречаются сидеритовые конкреции. В кровле циклопачки залегает пласт угля толщиной 8 м.

В) IV циклопачка (1390-1735 м) характеризуется увеличением вверх по разрезу более мелкозернистых обломочных пород и глин. Выше 1500 м наблюдается тонкое переслаивание глин полиминерального состава, алевролитов и углей толщиной не более 1-2 м. На глубине 1430 м встречен пласт мощностью 3 м.

Г) Ракушняково-терригенная формация (1226-1390 м) сложена шельфовыми песчано-глинистыми отложениями, трансгрессивно с несогласием в подошве перекрывает породы туфотерригенной угленосной формации. Формация сложена рыхлыми песчаниками с глауконитом, раковинным детритом, алевролитами, ракушняками. В верхней части разреза вскрыты тонкие прослои витрокластических туфов основного состава. Кровля венчается пачкой переслаивания песчаников и гравелитов. В верхней части формации (1226-1275м) обнаружен обильный и разнообразный комплекс фораминифер (слои с *Cibicides fletcheri*–*Glabratella opercularis*). Для самой нижней части слоев характерны *Nauphragmoides kakertenis* Serova, *Asanospira carinata* (Cushman et Renz). Выше в разрезе появляется большее количество представителей рода *Cibicides*.

Д) Туфопесчано-алевритовая формация (905-1226 м). Нижняя часть формации – аргиллитово-алевритовая толща (1112-1226 м) представлена крупным регрессивным циклитом. В низах разреза залегает пласт кремнисто-глинистых пород (16 м), алевролиты, выше – глины, аргиллиты и алевролиты с гравием, обломками раковин (60 м), венчает разрез пачка мелко-крупнозернистых рыхлых песчаников и алевролитов с гравием и обугленной древесины (38 м). Микрофаунистические комплексы хорошо подчеркивают регрессивное строение толщи; в кровельных песчаниках (слои с *Miliolnella circularis*) встречены формы, характерные для опресненных водоемов. К кровле аргиллитово-алевритовой толщи туфопесчано-алевритовой формации приурочено несогласие (с.г. 2).

Глубина погружения кровли сейсмокомплекса достигает 1.75 км, мощность осадочного чехла - 2км.

3. Средне-верхнемиоценовый сейсмокомплекс, представленный телекайским стратиграфическим горизонтом

Средне-верхнемиоценовый сейсмокомплекс заключен между с.г. 2 в подошве и с.г. 1 в кровле. Сложен возрастными аналогами озернинской и эчинской свит телекайского стратиграфического горизонта, изученных в наземной части Анадырского бассейна. В скважине Центральная-1 вскрыт в интервале 380-1112м, включает морские отложения

верхней части туфопесчано-алевроитовой и глинисто-кремнисто-туфодиатомитовой формаций, а также прибрежно-морские образования песчано-алевроитовой формации. Вскрытая мощность сейсмокомплекса составляет 732 м.

А) Туфопесчано-алевроитовая формация (905-1112 м). Верхняя часть формации включает две пачки алевролитно-песчаных образований. Песчаная пачка (112 м) представлена песчаными, алевроитовыми и туфогенными отложениями с туфами, обилием гальки детрита и раковин моллюсков. Глинистая пачка (95 м) четко отделяется от подстилающего разреза по резкой смене песчаных пород на глинистые. Она сложена алевроитистыми глинами с остатками морской фауны, глауконита и пирита. По всему разрезу встречаются тонкие прослой витрокластических и кристалло-витрокластических туфов андезитового состава. Относится к нижней части озёрнинской свиты.

Б) Глинисто-кремнистая туфодиатомитовая формация (692-905 м) образовалась в условиях внутреннего шельфа. В составе формации выделены две пачки: I пачка (61 м) сложена чередованием алевролитов, глин, туфодиатомитов, содержащих глауконит и глинисто-карбонатные конкреции; II пачка (152 м) образована туфодиатомитами, песчаниками с примесью гальки, прослоями туфопесчаников, обломками раковин. По возрасту соответствует верхней части озёрнинской свиты.

В) Песчано-алевроитовая молассовая формация (380-692 м) – возрастной аналог эчинской свиты, состоит из двух пачек. Первая пачка (92 м) сложена цикличным через 5-15 м чередованием алевроитов, глин, песков с прослоями пирокластических пород. Вторая пачка (220 м) представлена однообразным переслаиванием алевроитов, глин, песков с прослоями ракушняков и единичных слоев углей.

Интервал разреза 844-1010 м содержит комплекс сравнительно глубоководных фораминифер, включающий агглютинированный и секреторный бентос (слои с *Reorhax tappuensis*–*Ciclammina japonica*).

На глубине 875–960 м отмечается наибольшее содержание пыльцы широколиственных пород, что позволяет соотносить формирование отложений с периодом позднемиоценового климатического оптимума.

Глубина погружения кровли сейсмокомплекса достигает 0.875 км, мощность сейсмокомплекса не превышает 1.5 км.

4. Плиоцен-четвертичный сейсмокомплекс, включающий в себя александровскую свиту

Плиоцен-четвертичный сейсмокомплекс ограничен в подошве горизонтом 1, в кровле – поверхностью морского дна. В скважине Центральная-1 в интервале 111.5-380 м вскрыт александровский сейсмокомплекс, сложенный предположительно алевропесчаными

рыхлыми отложениями песчано-алевритовой молассовой формации александровского стратиграфического горизонта. Нижняя 120-метровая газонасыщенная толща условно отнесена к нижнему плиоцену, верхняя, толщиной до 150 метров, рассматривается как верхнеплиоцен-четвертичная.

Начало формирования верхнего сейсмокомплекса обусловлено повышением уровня моря и орогеническим подъемом территории Камчатско-Корякского региона. Мощность сейсмокомплекса достигает 0.8 км [9][2].

1.4 Тектоника исследуемого района

Берингоморский регион представляет собой крупный сегмент Азиатско-Тихоокеанской переходной зоны, прослеживаемый от континентальных структур Северо-Азиатского кратона до зоны современного взаимодействия окраинно-континентальной и океанической литосфер. Континентальное обрамление региона в российской части моря образовано формационными комплексами Корякско-Камчатской и Аляскинско-Алеутской складчатых областей, меловым Охотско-Чукотским, палеогеновым Анадырско-Бристольским и плиоцен-четвертичным Апукско-Вывенским вулканическими поясами.

Одной из главных особенностей Берингоморского региона является существование протяженных кайнозойских осадочных бассейнов, обрамляющих Командорскую и Алеутскую глубоководные котловины, и формирующих единый осадочный мегабассейн Берингова моря.

В расположении осадочных бассейнов отмечается четкая асимметричная зональность: Ильпинский бассейн прослеживается вдоль уступа континентального склона, а Олюторский и Хатырский осадочные бассейны приурочены к узким шельфовым зонам, обрывающиеся крутыми сбросовыми уступами в Алеутскую и Командорскую глубоководные котловины. Анадырский и Наваринской бассейны расположены в пределах обширной шельфовой террасы шириной 500-600 км. Все осадочные бассейны охватывают часть сопредельной суши.

Заложение и эволюция кайнозойских бассейнов связаны с историей развития Берингова моря, которое образовалось на межплитной литосферной глыбе в связи со становлением альпийских и позднеальпийских складчатых систем Евразии и Северной Америки [5].

Горные хребты складчатых систем с континентальной корой 27-36 км переходят в островную дугу и подводные хребты с субконтинентальной корой 15-27 км, котловины моря с субокеанической корой (8-15 км) отделены островной дугой от котловин океана с

океанической корой (6-8 км). Осадочные бассейны на шельфе начинают закладываться в палеоцене – эоцене, а глубоководные Алеутская, Командорская и Бауэрс котловины в конце миоцена – плиоцене и квартере при формировании современного облика Берингоморского региона.

В течение последних десятилетий история Берингоморского региона рассматривается преимущественно с позиции тектоники плит. Господствует мнение, что современная дугообразная структура Корякского нагорья сформировалась в среднем эоцене в результате коллизии по Ватынскому надвигу Ачайваямской вулканической дуги с Азиатским континентом [11].

Основой для таких представлений является покровно-складчатая и сегментированная структура Корякского нагорья, развитие протяженных разломных зон, пакетов тектонических пластин, тектонических меланжей, офиолитовых комплексов и др. Берингоморский регион, в том числе территория Корякского нагорья, представлял собой своеобразный полигон для отработки концепции тектоники плит.

На участке комплексных геофизических работ располагаются юго-восточная часть Анадырского бассейна, северное замыкание Наваринского и северо-восточный сектор Алеутского бассейнов.

Настоящими работами установлено взаимоотношение Наваринского и Анадырского бассейнов в зоне их сочленения. Установлено, что и до предплиоценовой инверсии, в результате которой были частично эродированы ниже-среднемиоценовый и средне-верхнемиоценовый сейсмокомплексы, бассейны развивались в единой Анадырско-Наваринской зоне прогибания.

Точка зрения об едином ареале прогибания Анадырского и Наваринского осадочных бассейнов принималась рядом исследователей ещё на ранней стадии изучения в восьмидесятые годы прошлого века [6].

Представление о позднеэоцен-олигоценовой совместной истории геологического развития бассейнов отражено в работе В.В. Харахинова с соавторами. С позиции гравитационной геодинамики в палеоген-раннемиоценовое время Анадырская, Наваринская и Хатырская впадины представляли единую осадочную депрессию, расчлененную в ходе горизонтального растяжения изостатически всплывшими поднятиями Корякской складчато-покровной зоны. Очень широко распространено представление об автономном развитии Анадырского и Наваринского бассейнов в течение кайнозойского времени [15].

Структурно-тектоническое районирование осадочного чехла, выполненное на основе выделения разнопорядковых структурно-морфологических элементов, отразило структурный план осадочных бассейнов и позволило показать расположение разновозрастных элементов

различного генезиса, определяющих перспективы нефтегазоносности Берингоморского региона.

Осадочные бассейны, как и внебассейновые и межбассейновые поднятия Наваринское (Восточно-Хатырское), Св. Лаврентия, Нунивак, Сарычева (Гангнутское), Ламутское относятся к структурам I порядка.

В ранге структур II порядка в Анадырском бассейне рассматриваются аквальные Восточно-Анадырский и Центральнo-Анадырский прогибы, терра-аквальный Лагунный и наземный Нижне-Анадырский прогиб. В Наваринском бассейне структурами II порядка являются Алькатваамский и Северный прогибы. Большая и более глубокая часть изученного бурением Северного прогиба располагается в американской части моря.

Структуры III порядка, представленные антиклинальными и синклинальными зонами, зонами выклинивания, характеризуют структурные неоднородности бассейнов. На участке работ выделены Ламутская зона разрывообразования и Орлиная зона голоморфного складкообразования. Северо-восточное и северо-западное простираие зон образовано направлением структурообразующих разломов. К северо-восточному борту Алеутского бассейна приурочена Восточно-Алеутская зона регионального выклинивания, в Наваринском бассейне выделены зоны локального выклинивания (Каньонная, Наваринская северная, Удаленная, Приостровная).

Структуры IV порядка соответствуют антиклинальным складкам (а.с.) различного генезиса или структурам выклинивания. Среди а.с. выделяются полноконтурные и складки неполного контура, крылья которых осложнены разломами. Структуры выклинивания образованы сочетанием изогипсы и нарушения и (или) поверхностью локального выклинивания комплекса на подстилающие отложения.

Анадырский осадочный бассейн занимает территорию Нижне-Анадырской низменности и часть акватории Анадырского залива. Бассейн прослеживается на расстояние до 520 км при ширине от 80 до 180 км. Простираие бассейна изменяется от юго-западного в терральнoй части до юго-восточного в акватории. Максимальная мощность кайнозойского осадочного разреза достигает 8 км [13].

Анадырский бассейн входит в дугообразную систему тектонически изолированных друг от друга прогибов, протягивающихся прерывистой цепью на шельфе Берингова моря на расстояние 1700-1800 км от Чукотки до юго-западного побережья Аляски. Эти прогибы располагаются вдоль внешней окраины Чукотской и Берингоморской (подводной) ветвей вулканогенного пояса.

Анадырский бассейн на севере и северо-востоке межбассейновыми конседиментационными Анаутским, Онмеленским и Плоским поднятиями отделен от

бассейна Креста. Восточный борт через серию ступенчатых разноамплитудных сбросов накладывается на обширное поднятие Святого Лаврентия. На юго-западе по системе сбросовых уступов граничит с Ламутским поднятием, на юге – с поднятием Нунивак. Замыкание бассейна в зоне сочленения с Наваринским бассейном проведено в районе бухты Угольной. В терральной части Ныгчеквеевским надвигом бассейн отделяется от покровных структур Корякского нагорья.

Сложноскладчатые структуры юры - нижнего мела и более древних отложений образуют складчатое основание бассейна. Палеоценово-среднеэоценовые отложения (возможно, совместно с верхнемеловыми, преимущественно сенонскими) образует промежуточный комплекс. Верхний комплекс, сложенный среднеэоцен-олигоценовыми, неогеновыми и четвертичными отложениями, представляет чехол Анадырского бассейна. В составе осадочного чехла выделяется два структурных этажа и внутри них несколько более мелких подразделений, разделённых несогласиями. Нижний этаж включает отложения майницкой и собольковской свит. Верхний структурный этаж включает неогеновые и четвертичные отложения (автаткульская свита, телекайская толща и более молодые отложения). Последний, наиболее молодой, плейстоцен-четвертичный этап развития проявился в возникновении надвигов и сыграл решающую роль в окончательном формировании современной структуры и скоплений углеводородов [1].

Современная структура бассейна характеризуется четко выраженной продольной тектонической зональностью структурных элементов. Основными отрицательными морфоструктурами Анадырского бассейна являются Нижне-Анадырский прогиб в границах наземной Анадырской впадины, Лагунный, занимающий часть суши и акваторию, и полностью расположенные на шельфе Анадырского залива Восточно-Анадырский и Центрально-Анадырский прогибы. Отрицательные морфоструктуры разделены разноориентированными Тымнинским, Туманским, Глубоким, Лахтинским и Васильевским поднятиями.

На юго-западе бассейна расположен Лагунный прогиб, отделенный от Центрально-Анадырского и Восточно-Анадырского прогибов Глубоким и Лахтинским конседиментационными поднятиями. Прогиб представляет собой сложнопостроенную асимметричную структуру, юго-западный борт которой и северо-западная периклиналь захватывают сопредельную сушу. На севере прогиб граничит с Туманским поднятием, на востоке и юго-востоке – с Лахтинским и Глубоким поднятиями. Предполагаемые размеры прогиба составляют 90×70 км, а максимальная мощность осадочного выполнения, установленная в его наземной части, превышает 5,0 км. В магнитном поле прогибу соответствуют положительные слабодифференцированные аномалии, что указывает на

присутствие в комплексе фундамента эффузивных пород, погребенных под немагнитным чехлом. Расчетные кромки магнитоактивных тел картируются на глубине 3,7-3,8 км, что часто совпадает с глубиной погружения кровли фундамента.

Туманское инверсионное поднятие прослеживается с сопредельной суши на шельф на расстояние более 50 км и представляет собой горстовую структуру. Анализ геофизических полей на суше свидетельствует о блоковом строении и сильной дислоцированности меловых и раннекайнозойских пород. В магнитном поле поднятию отвечает линейный максимум, ориентированный в северо-восточном направлении. Современный облик поднятие приобрело в постплиоценовую фазу тектогенеза в связи с активизацией покровно-надвиговых движений в Корякском нагорье. В это время в северо-восточном направлении произошло надвигание структуры на Лагунный прогиб и Глубокое поднятие. Разгрузка горизонтальных напряжений при этом происходила по ранее возникшим тектонически ослабленным зонам.

Поднятие Глубокое, расположенное юго-восточнее Туманского, представляет в морфологическом плане односторонний горст, западное крыло которого образовано сбросовой ступенью высотой до 0.5-0.7 км, восточное полого погружается на восток в направлении Озерной мульды. Северная периклиналь также осложнена сбросом северо-восточного простирания. Форма структуры треугольная, размеры составляют $20 \times 15 \div 5$ км, куполовидную форму размером 40×20 км. Основание структуры, учитывая характер изменения магнитного поля, сложено, вероятно, литифицированными терригенными и туфотерригенными отложениями, перекрытыми маломощными покровами базальтов, фрагментарно расположенными по площади. Поднятие погребено под среднемиоцен-четвертичными отложениями мощностью до 1.5 км.

Лахтинское поднятие, разделяющее Восточно-Анадырский и Лагунный прогибы, ориентировано в юго-восточном направлении и имеет, как Глубокое поднятие, треугольную форму. Протяженность структуры составляет 50 км, ширина у северо-западного основания, образованного вертикальным сбросовым уступом высотой до 1 км, достигает 25 км, у юго-восточной периклинали не более 5 км. Борты структуры также образованы сбросами северо-западного простирания высотой по кровле акустического фундамента до 0.2-0.5 км. В поперечном сечении свод Лахтинского поднятия наклонен на север и перекрыт среднемиоцен-четвертичными отложениями мощностью более 1.5 км.

Центрально-Анадырский прогиб представляет сложную в морфологическом плане структуру размером $130 \times 45 - 80$ км с четырьмя четко выраженными центриклиналими. Северный борт прогиба образован Золотогорским разломом сбросо-сдвигового типа, юго-западный – накладывается на Глубокое, Туманское и Тымнинское поднятие. В осадочном

чехле выделены Озерная и Кошкинская мульды, выполненные осадочными отложениями мощностью 5 и 4 км соответственно. Мульды разграничены с севера и юга а.с. Гека и глубоко погруженной периклиналью Туманского поднятия. На юго-восточном борту Озерной мульды расположены Васильевская северная и Васильевская восточная антиклинальные структуры, сформировавшиеся в результате инверсионных процессов на границе палеогена и миоцена, в депоцентре – Канчаланская а.с. Прогиб в течение кайнозоя формировался в условиях устойчивого погружения, компенсированного осадконакоплением, за исключением юго-западного борта, нормальное развитие которого было нарушено в плиоценовое время в связи с выдвиганием Туманского поднятия.

Васильевское поднятие, расположенное в центральной части бассейна, разграничивает Восточно-Анадырский и Центрально-Анадырский прогибы. Поднятие, представляющее в морфологическом плане структурный нос, примыкает на севере к Онмеленскому межбассейновому поднятию, погружаясь в юго-западном направлении на расстояние свыше 60 км. Ширина структуры изменяется от 40 км у основания до 15 км у южной периклинали. В осадочном чехле над поднятием оконтуривается одноименная антиклинальная зона, объединяющая Васильевскую и Васильевскую восточную а.с.

Восточно-Анадырский прогиб занимает юго-восточную часть бассейна, прослеживаясь в этом же направлении на 220 км при ширине до 80-120 км. В границах прогиба оконтуривается Лаврентьевская синклиальная зона (с.з.) и Корякская мульда, разделенные Беринговской антиклинальной зоной субмеридионального простирания. Лаврентьевская с.з. юго-восточной ориентировки на протяжении всего кайнозоя находилась в зоне устойчивого прогибания, компенсированного осадконакоплением. Погружение зоны сопровождалось смещением более молодых депоцентров осадконакопления относительно палеогенового центра погружения. Мощность осадочного выполнения, представленного отложениями всех комплексов, в синклиналях в северной части зоны превышает 6 и 5.5 км, на замыкании зоны достигает 4 км. В Корякской мульде, выполненной осадочными отложениями мощностью более 4.5 км, наиболее интенсивные нисходящие движения происходили в палеогене и миоцене, позже, в плиоцен-четвертичное время, она была вовлечена в Лаврентьевскую зону прогибания и прекратила свое существование как самостоятельная структура. В осадочном чехле широко развита сеть малоамплитудных локальных сбросо-сдвигов. Беринговская а.з. объединяет Беринговскую и Беринговскую Северную антиклинальные структуры (а.с.).

На восточном борту Восточно-Анадырского прогиба Центральная а.с., представленная по всем стратиграфическим уровням брахиантиклиналью амплитудой около

100 м. Палеогеновые и нижне-среднемиоценовые отложения разбиты малоамплитудными нарушениями сбросового и сбросо-сдвигового характера.

В 2002 г. компанией «Сибнефть» на Центральной а.с. была пробурена первая на российском шельфе Берингова моря скважина Центральная-1 глубиной 2785 м, вскрывшая раннепалеогеновые вулканогенно-осадочные и верхнеэоцен-четвертичные терригенные и угленосные отложения. На юго-востоке бассейна, изученного комплексными геофизическими работами, оконтурены преимущественно структуры, ограниченные выклиниванием палеогенового и собольковско-автаткульского сейсмокомплексов на поверхность акустического фундамента. Наиболее крупными являются Восточно-Анадырская, Южно-Анадырская 1 и Западно-Анадырская структуры выклинивания. Их площади по с.г. составляют 303, 245 и 248 км². На юго-западном борту прогиба закартирована Приразрывная-1 а.с. неполного контура площадью 76 км², ограниченная изогипсой -2.2 км и сбросом северо-западного простирания.

Существенную роль в формировании структурного облика осадочного чехла бассейнов играют разрывные нарушения транспрессионного и транстензионного типа. Первые представлены взбросами и взбросо-надвигами раннекайнозойской и позднекайнозойской фаз заложения. Среди нарушений второго типа выделяются как погребённые и омоложенные раннекайнозойские разломы, так и разломы, сформированные в предплиоценовую фазу активизации.

К разломам первого типа ранней фазы заложения относится погребённый Алеутский разлом, осложняющий борта Наваринско-Алеутского склоново-глубоководного прогиба. В плане разлом имеет коленообразную форму и состоит из двух сегментов протяжённостью 120 и 180 км, рассеченных правым сбросо-сдвигом субмеридиональной ориентировки. В соответствии с простиранием изменяется и кинематическая характеристика разлома. Первый сегмент северо-восточного простирания представлен взбросо-надвигом, вертикальная и горизонтальная амплитуда смещения по которому составляет 1.5-2 км и 7.5-20 км. Второй сегмент юго-восточного простирания классифицируется как крутопадающий взброс, вертикальная амплитуда по разлому варьируется в широком диапазоне от 0.5 до 4.5 км.

На суше к транспрессионным разломам относится протяжённый дугообразный Хатырский надвиг, ограничивающий наземную часть Хатырского бассейна. По разлому формационные комплексы Эконайской тектонической зоны надвинуты на терригенные кайнозойские толщи Хатырского бассейна. Заложение разлома произошло, вероятно, после крупной инверсии, проявившейся в конце палеогена – начале миоцена. В экваториальной части Хатырского бассейна это событие отражено глубокой эрозией на уровне с.г. 3. Активизация разлома, обусловленная горизонтальными движениями, происходила

неоднократно. Крупные эпизоды сжатия отмечаются в среднем миоцене, в раннем и позднем плиоцене. Поздняя фаза надвигообразования на территории Корякского нагорья, обусловленная одновременным растяжением земной коры на периферии Тихоокеанского бассейна, произошла в квартере. С этим временем связано образование Тымлынайского надвига, ограничивающего с юга Лагунный прогиб, и субвертикального взброса протяжённостью до 90 км, образующего один из сегментов северо-восточного крыла поднятия Сарычева.

Разломы второго типа представлены сбросами погребёнными или активизированным в предплиоценовую фазу дислокации. Они установлены на юго-восточном и северо-западном бортах Анадырского и Наваринского бассейнов, и прослежены вдоль крыльев горстов и погребённых палеогеновых блоков. Простираются разломы северо-западное или северо-восточное, протяжённость от первых километров до 50-100 км. Сбросы, в основном, крутопадающие, вертикальная амплитуда смещения по кровле акустического фундамента изменяется от первых сотен метров до 1.5-2.0 км. К их числу относится также Западно-Наваринский разлом, образующий юго-западное крыло Наваринского межбассейнового поднятия. Разлом представлен сбросом с праводвиговой компонентой, его протяжённость в пределах участка комплексных геофизических работ составляет 180 км, вертикальная амплитуда смещения изменяется в широком диапазоне от 0.5 до 1.75 км.

К разломам второго типа отнесены нормальные и антитетические сбросы и сбросо-сдвиги предплиоценовой фазы активизации, осложняющие палеоген-миоценовый осадочный чехол Наваринского бассейна. Разломы ориентированы в северо-западном направлении в соответствии с простираемостью структурных элементов. Протяжённость разломов составляет 20-50 км, вертикальная амплитуда смещения достигает 1 км. Некоторые из разломов были активизированы в начале плиоцена, но амплитуда смещения по с.г. 1 не превышает первых сотен метров.

В Алеутской котловине верхняя часть разреза нарушена бескорневыми сбросами амплитудой 50-150 м плиоценовой активизации [9].

1.5 История геологического развития

История развития осадочного чехла бассейнов реконструирована на основании данных о геологическом строении шельфа и сопредельной суши. При воссоздании истории седиментации использовались временные и глубинные разрезы, карты мощности, палеогеографические реконструкции палеогеновых и нижне-среднемиоценовых отложений, карта расположения структурных элементов, сейсмофациальный анализ сейсмокомплексов.

1. Палеогеновый этап седиментации

В начале кайнозоя в палеоцен-раннеэоценовое время на северо-восточной окраине континента действовал Анадырско-Бристольский вулканогенный пояс. В Анадырском осадочном бассейне отложения пояса представлены вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями танюерерской свиты и ягельной терригенной толщей танюерерского стратиграфического горизонта. Вулканогенные породы вскрыты скважинами в Северной структурно-фациальной зоне наземной части бассейна. Скважиной Центральная-1 на шельфе Анадырского залива вскрыты вулканогенно-осадочные аналоги танюерерского горизонта. Аналогичные по составу отложения залегают в основании кайнозойского разреза в Наваринском бассейне. Формирование окраинно-континентального пояса сопровождалось процессами рифтогенеза, поэтому синрифтовые вулканогенно-обломочные образования можно рассматривать в качестве базального комплекса Анадырского и Наваринского бассейнов [13].

В Южной и Центральной фациальных зонах наземной части Анадырского бассейна вулканогенные отложения танюерерской свиты замещаются ягельной толщей, сложенной осадочными породами с редкими прослоями туфов. В Хатырском и Ильпинском бассейнах основание кайнозойского разреза также выполнено терригенными отложениями. В Алеутском бассейне в палеоцен-раннеэоценовое время формировались преимущественно осадочные отложения.

В раннем и среднем эоцене на территории Корякского нагорья произошло резкое усиление горизонтального сжатия, вызванного коллизией Олюторского тектонического блока с юго-восточной окраиной Евразии. Активизация тектонических движений привела к возникновению обширных областей размыва и интенсивному поступлению обломочного материала в сопряженные впадины [11].

Анадырский и Наваринский бассейны в это время не были затронуты сколь-нибудь существенными движениями, так как располагались на удалении от зон дислокации, а образование коры выветривания на палеоцен-нижнеэоценовых вулканогенных толщах связано, вероятно, с понижением уровня моря в конце раннего эоцена.

Со среднеэоценового времени в результате погружения площади расширения области седиментации формируются депоцентры Восточно-Анадырского и Наваринского бассейнов и Наваринско-Алеутского прогиба. Анадырский и Наваринский прогибы со среднего эоцена образовали единый ареал прогибания и соединялись в узкой горловине на широте современной бухты Угольной. Терригенный материал выносился речными системами, в том числе занимавшей долину современной р. Анадырь, что указывают песчано-конгломератовые палеоцен-эоценовые аллювиальные толщи в обрывистых берегах реки [12].

На востоке региона активным источником сноса являлось поднятие Св. Лаврентия, что способствовало формированию конусов выноса и косослоистых серий бокового наращивания на северо-восточном борту Анадырского бассейна. В Алеутский и северную часть Наваринского бассейнов терригенный материал поступал с Наваринского поднятия. На участках крутых склонов Каньонного и Южно-Каньонного грабенных и у подножья Наваринско-Алеутского прогиба формировались склоновые конуса выноса и склоновые шлейфы, сменяющиеся по латерали мелководно-морскими и морскими комплексами.

Дальнейшее углубление площади определило накопление песчано-глинистых толщ в Наваринском и Алеутском бассейнах в обстановке открытого моря. В Анадырском бассейне в неглубоких впадинах на шельфе откладывались песчано-глинистые отложения, коррелятные усть-чирынайской толще и майницкой свите. На северо-восточном борту Анадырского бассейна в континентальных и прибрежно-морских условиях формировались угленосные толщи [7].

Накопление верхнеолигоценовых отложений происходило в режиме низкого стояния уровня моря. В условиях прибрежно-морских равнин, приуроченных к северо-восточному и юго-западному бортам Анадырского и северному замыканию Наваринского бассейнов, откладывались относительно грубозернистые отложения, выраженные на временных сейсмических разрезах непрерывно-прерывистыми отражениями с прилеганием в кровле. В Наваринском бассейне картируются подводные конуса выноса, наиболее крупный из которых приурочен к осевой части Наваринского бассейна в Северном прогибе. На юго-западном борту Наваринско-Алеутского прогиба понижение уровня моря маркируется, вероятно, песчано-алевролитовыми пластами в кровле палеогенового сейсмокомплекса, механизмом формирования которых являлись турбидиты.

2. Ранне-среднемиоценовый этап седиментации

Начало формирования ниже-среднемиоценового сейсмокомплекса соответствовало этапу активизации тектонических движений на территории современного Корякского нагорья. В акваториальной части Хатырского бассейна в результате тектонических движений были инверсированы Маллэнский прогиб и юго-восточный борт прогиба Русакова [4].

На суше Хатырского бассейна активизация привела к резкому изменению условий седиментации: палеогеновые тонкообломочные и тонкозернистые ионайская (песчаники, алевролиты, аргиллиты) и анольская (песчаники) свиты перекрыты нижнемиоценовыми грубообломочными моржовской и ундальской (галечники, пески, конгломераты) свитами. Рубеж палеогена-неогена характеризуется вспышкой удаленного вулканизма, коррелируемого с Западно-Камчатско-Корякским и Алеутским поясами.

В Анадырском бассейне структурная перестройка проявилась менее кардинально. В результате тектонических дислокаций на бортах прогибов была размыва часть олигоценых отложений и эродированы верхнеолигоценые(?) секции палеогенового разреза, что подтверждается результатами бурения скв. Центральная-1 и сейсмическими материалами. Отложения олигоцена в скважине полностью размывы. В Наваринском бассейне в результате локально проявленной структурной перестройки была сформирована Топографов 2 антиклинальная структура.

Отложения ниже-среднемиоценового сейсмокомплекса на большей части площади трансгрессивно с налеганием в подошве перекрывают палеогеновые поднятия и акустический фундамент. Сейсмофациальные особенности нижнемиоценовой части сейсмокомплекса и результаты бурения в Анадырском и Наваринском бассейнах свидетельствуют о прибрежно-морских и шельфовых обстановках осадконакопления, причём для Наваринского бассейна характерны условия открытого шельфа. Основной объём обломочного материала поставлялся речными системами с обрамляющих поднятий, в Анадырский бассейн – и с северо-западного материкового обрамления. Нижнемиоценовые центры прогибания располагались в наземной части Анадырского бассейна в Майницком и Лагунном прогибах.

Формирование среднемиоценового подкомплекса ознаменовалось обширной трансгрессией, охватившей значительную часть региона. Скважина Центральная-1 в верхах сейсмокомплекса вскрыла аргиллито-алевролитовую пачку мощностью 114 м –возрастной аналог трансгрессивной елисеевской свиты. В Анадырском бассейне седиментация происходила в условиях шельфа, на периферии преобладали прибрежно-морские условия. На северном обрамлении Наваринского бассейна отложения накапливались в обстановке заливов, окаймляющих узкие прибрежно-морские низменности, в центральной части преобладали шельфовые обстановки, а на юге – открытого морского бассейна. В Алеутском бассейне осадконакопление в течение всего этапа проходило преимущественно в условиях открытого моря, в глубоководной части отмечаются единичные подводные конусы выноса. Вдоль северо-восточного борта бассейна прослеживается полоса шельфа шириной 25-60 км, а непосредственно к борту примыкают единичные присклоновые конусы выноса.

Завершение этапа сопровождалось довольно значительной кратковременной структурной перестройкой и эвстатическим минимумом. В течение этапа наиболее интенсивно отложения накапливались в Наваринско-Алеутском склоново-глубоководном прогибе Алеутского бассейна. Здесь сформировался сейсмокомплекс максимальной мощностью 2.8 км. В Восточно-Анадырском прогибе Анадырского бассейна темпы седиментации были немного ниже, мощность сейсмокомплекса не превышает 2 км. В

Наваринском бассейне максимальное погружение (до 2.4 км) характерно для Северного прогиба, расположенного в юго-восточной части бассейна, в Алькатваамском прогибе в северо-западной части бассейна мощность сейсмокомплекса составила 1.8 км.

3. Средне-позднемиоценовый этап седиментации

Средне-верхнемиоценовые отложения трансгрессивно налегают на подстилающие и перекрывают большую часть площади за исключением Наваринского и Нунивак поднятий. Сейсмофациальные особенности сейсмокомплекса и данные бурения свидетельствуют о возрастании роли тонкозернистого и тонкообломочного материала в связи с истощением близко расположенных источников сноса и включением в процесс размыва более удаленных территорий.

Скважиной Центральная-1 в нижней части разреза сейсмокомплекса вскрыта песчаная пачка толщиной 112 м (верхняя часть туфопесчано-алевритовой формации), в средней – туфодиамитовая толща мощностью 152 м. Распределение обломочного материала регулировалось волновыми процессами и подводными течениями. Практически на всей площади бассейна преобладали шельфовые обстановки – песчаная пачка содержит богатый комплекс сравнительно глубоководных фораминифер. В Наваринском бассейне большая часть сейсмокомплекса была размыва, что осложняет расшифровку условий седиментации. Однако, на основании данных бурения скважин в Наваринском бассейне можно предположить, что практически на всей площади бассейна преобладали обстановки открытого моря с терригенным осадконакоплением. В Алеутском бассейне в условиях открытого моря накапливались глинистые и кремнисто-глинистые отложения. Поступление обломочного материала, слагающего конусы выноса и склоновые шлейфы у северо-западного и северо-восточного бортов Алеутского бассейна, определялось тектонической активизацией сбросов, ограничивающих Наваринское поднятие. Мощность сейсмокомплекса на всей площади достигает 1.5-1.75 км.

4. Плиоцен-четвертичный этап седиментации

В конце миоцена – начале плиоцена на территории Корякского нагорья возобновились надвиговые дислокации. На юго-западной границе Анадырского бассейна активизировался Тымлынайский надвиг, началось выдвигание Туманского горста, активизация охватила практически всю область Наваринского бассейна, что привело к частичному размыву нижне-среднемиоценовых и на отдельных участках полному размыву средне-верхнемиоценовых отложений.

Максимальная глубина эрозии миоценовых отложений составляет в пределах 1 км, средне-верхнемиоценовых, эродированных на значительной площади, – 0.5 и более км. Раннеплиоценовая структурная перестройка значительно изменила облик осадочного чехла

Наваринского бассейна. В результате деформаций палеоцен-верхнемиоценовые отложения оказались смяты в узкие складки северо-западного простирания и рассечены сбросами и сбросо-сдвигами такого же простирания.

Дислоцированные доплиоценовые отложения перекрыты верхнемиоцен-четвертичными с налеганием или прилеганием в подошве с нарастанием мощности в депоцентрах на шельфе и в глубоководной котловине. В это время в северо-западной части Берингова моря существовало открытое море, окруженное примыкающими непосредственно к побережью довольно высокими горами. Контуры и морфологический облик бассейна седиментации напоминали современный. Как и на предыдущем этапе, обломочный материал поступал с севера, с современного Корякского нагорья и с северо-востока. В течение позднемиоцен-четвертичного этапа в Анадырском бассейне продолжалось углубление отдельных депоцентров Восточно-Анадырского прогиба. В Наваринском бассейне произошло углубление Каньонного и Южно-Каньонного грабенов, а также обособление Алякатваамского и Северного прогибов. Максимальная мощность сейсмокомплекса (до 1.25-1.5 км) сосредоточена в Алеутском бассейне, в Анадырском – 0.85 км, в Наваринском 0.75-1 км.

1.6 Нефтегазоносность

В качестве нефтематеринских пород исследователями рассматриваются верхнемеловые породы, палеоцен-нижнеэоценовые отложения танюерской свиты, эоцен-олигоценые глинистые толщи майницкой свиты, угленосные образования гагаринской и собольковской свит [12]. Таким образом, в исследуемом районе работ можно выделить две основные нефтегазоносные системы.

1. Нижний терригенный комплекс включает в себя майницкую, собольковскую и гагаринскую свиты. Наиболее развит в южной части бассейна, более прогнутой – Майницком прогибе. Максимальная мощность составляет более 5 км, повышение мощности происходит в Лагунном прогибе и в пределах Наваринского бассейна.

Состав, органическое вещество морского происхождения в майницкой толще и степень преобразования горных пород (мезокатагенез МК₁-МК₃) наводят на вывод о том, что в пределах бассейна существуют большие возможности генерации нефтяных углеводородов. Также стоит обозначить, что значительное количество углеводородов может поступать из угленосной толщи мела-палеогена.

2. Верхний терригенный комплекс включает в себя автаткультскую, озернинскую и эчинскую свиты (телейкайский горизонт). Комплекс несогласно залегает на горизонтах

палеогена-нижнего миоцена. Условия осадконакопления относят к фациям открытого шельфа и мелководно-морским. Состав захороненного углистого вещества даёт основания предполагать, что в этих осадках происходило образование углеводородов [3].

Анализ исследований специалистов Росгеологии показал, что органическое вещество в кайнозойских отложениях распределено крайне неравномерно, пачки пород, обогащенных органическим веществом, присутствуют в гагаринской, майницкой и танюерской свитах. Максимальные концентрации $C_{орг}$ характеризуют углистые породы танюерской (до 5.5%) и гагаринской (до 9%) свит и телекайской толщи (до 28%).

По биомаркерным и пиролитическим показателям в породах содержится органическое вещество преимущественно гумусового и смешанного типа, породы с сапропелевым ОВ имеют ограниченное распространение. В целом углеводородный состав нефтей бассейна соответствует составу ОВ нефтематеринских пород широкого возрастного диапазона, что является основанием для выделения единой кайнозойской углеводородной (гипотетической) системы.

В прогибе пробурена скв. Центральная-1, в разрезе которой не обнаружены ни залежи УВ, ни нефтегазопроявления. Очаг генерации нефтегазоносной системы относят к Восточно-Европейскому прогибу. По данным исследователей, очаг заложился в конце палеогена-начале миоцена и продолжает унаследованно развиваться до настоящего времени [9].

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ

2.1 Характеристика использованной геолого-геофизической информации

В 2016 году было отработано 3000 погонных км четырнадцати профилей (СР МОВ ОГТ 108*, гравимагнитометрия) и одна скважина – Центральная-1. Все данные, полученные с помощью сейсморазведки, легли в основу дальнейшей работы.

Исследования выполнялись специализированным сейсмическим судном «Ориент Эксплорер» в период с 07 сентября 2016 г. по 06 ноября 2016 г. и включали в себя сейсморазведочные работы (МОВ ОГТ 2D) и набортную гравимагнитометрию (ГР, МР). Магнитометрические и гравиметрические съемки выполнялись субподрядчиком – обособленное подразделение АО Росгео «Санкт-Петербургское морское геологоразведочное подразделение» параллельно с сейсмическими работами. Фактический объем выполненных работ составил 3000 пог. км по каждому виду съемки.

Для приема и регистрации сейсмических сигналов использовалась одна действующая коса длиной 8100 метров (648 каналов). Заглубление косы составляло 8 м, интервал активной группы – 12.5 м. Пневмоисточник объемом 3800 куб. дюймов буксировался на глубине 7 метров. Длина записи составляла 12 секунд, шаг дискретизации 2 мсек, интервал ПВ 37.5 м. В таблицах 2, 3, 4, 5 приведены параметры геологической съёмки.

Таблица 2

Приемное устройство [9]

Тип косы	SEAL408XL, Sercel
Длина активной части	8100 м
Групповой интервал	12.5 м
Нумерация групп	ближняя трасса №1, дальняя 648
Длина секции	150 м
Заглубление сейсмокосы	8.0 м ± 1 м
Контроллеры глубины сейсмокосы	29 Digicourse 5011E
Длина записи	12с
Дискретизация	2мс

Таблица 3

Источник колебаний [9]

Тип пушек	Bolt 1500LL & 2400LLXT
Число линий источника	3
Рабочее давление	2000 psi (138 бар)
Суммарный объем	3800 куб. дюймов
Заглубление пушек	6.0 м ±1 м
Контроллер пушек	Gun Link 2000

Таблица 4

Параметры навигации [9]

Интегрированная навигационная система	ORCA v.1.12.1 Concept Systems
Режим стрельбы	с интервалом 37,5 м вдоль линии, относительно ближней СМР
Первичная навигационная система	Veripos ULTRA, Subsea-7
Вторичная навигационная система	C-Nav, C&C Technologies
Система координат	WGS 84
Эллипсоид	WGS 84

Таблица 5

Полевой контроль качества / Обработка [9]

Рабочая станция	2 x DELL PRECISION 5500
Операционная система	Red Hat Linux
Программное обеспечение	ProMax.2003.24.1

Таким образом было отработано 14 сейсмических профилей, объем обрабатываемых данных составил 3058.013 полнократных пог. км. Список исходных сейсмических профилей представлен в таблице 6.

Таблица 6

Исходные сейсмические профили [9]

№ пп	Профиль	Первый ПВ	Последний ПВ	км
	m			
	m			

	m			
	m			
	m			
	m			
	m			
Итого				

Экспресс-проверка качества полевого материала включала в себя:

- проверку полевого материала в формате SEG-D;
- проверку полевого материала в формате SEG-Y;
- проверку навигационных файлов в формате P1/90;
- проверку вспомогательных материалов.

Данные на предмет их кондиционности проверялись в обрабатывающих системах ProMax и Geocluster.

Для выбора оптимальных параметров обработки выполнялось тестирование параметров. Основные направления тестирования заключались в следующем:

- подавление однократных отражений от дна моря;
- подавление регулярных линейных помех;
- подавление длинно-периодных кратных волн;
- подавление остаточных донно-кратных волн [9].

2.2 Корреляция разрезов

После обработки полученных данных, были получены сейсмограммы четырнадцати разрезов в районе исследований. Для дальнейшей работы мне был предоставлен рабочий проект с данными по топографии, сейсмограммами, скважиной, изолиниями и схемами ретроприфлей (рис. 4).

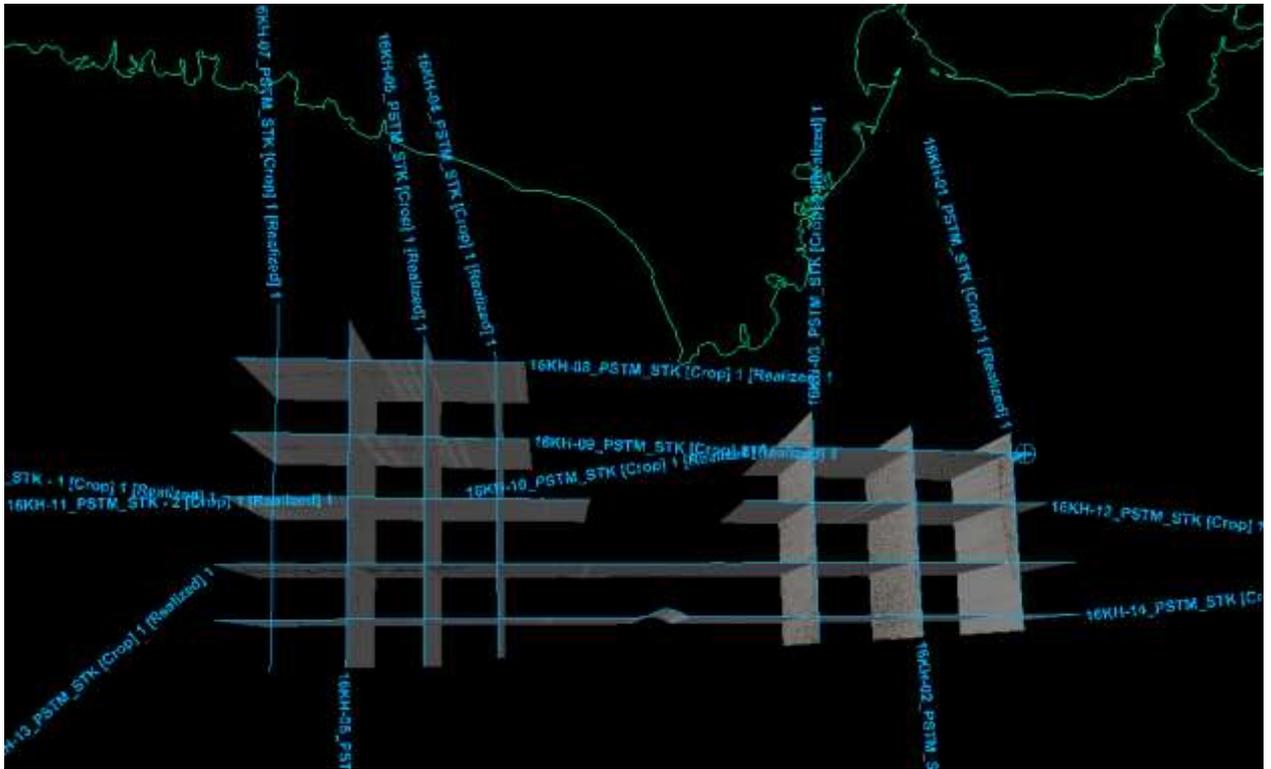


Рисунок 4. Рабочий проект в ПО «Petrel»

Мной была проведена корреляция 14 разрезов в объёме 3000 погонных километров. Не во всех случаях горизонты хорошо прослеживались на сейсмограммах.

Корреляция разрезов проводилась вручную по точкам в «Interpretation Window» с использованием инструмента «Seismic horizons» во вкладке «Insert» окна «Seismic Interpretation». Полученные результаты представлены на рисунке 5 и в приложениях 3-6.

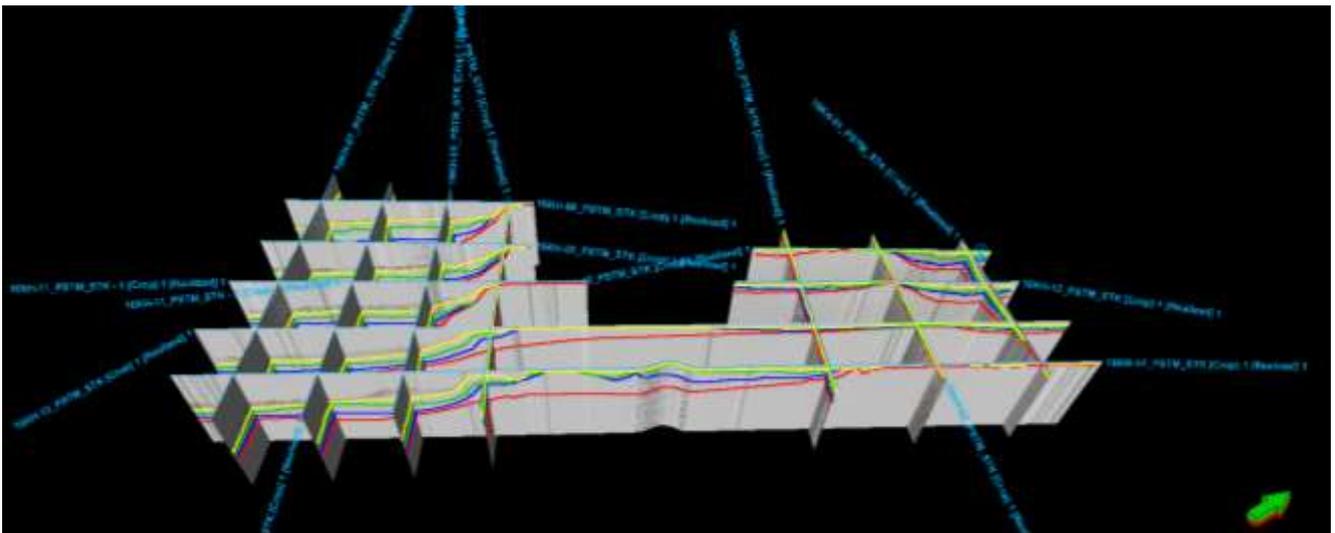


Рисунок 5. Корреляция разрезов

2.3 Построение структурной модели

Для построения структурной модели было необходимо сделать следующее:

1. Построить карты поверхностей для четырёх горизонтов.
2. Построить карты изохрон.
3. Построить глубинно-скоростную модель с применением закона зависимости времени от глубины.
4. Сконвертировать структурные карты из временной области в глубинную.

Для начала необходимо было выделить полигон, на котором будут строиться все карты. С помощью инструмента «Polygon Editing» была отстроена область по краям сейсмических профилей (рис. 6).

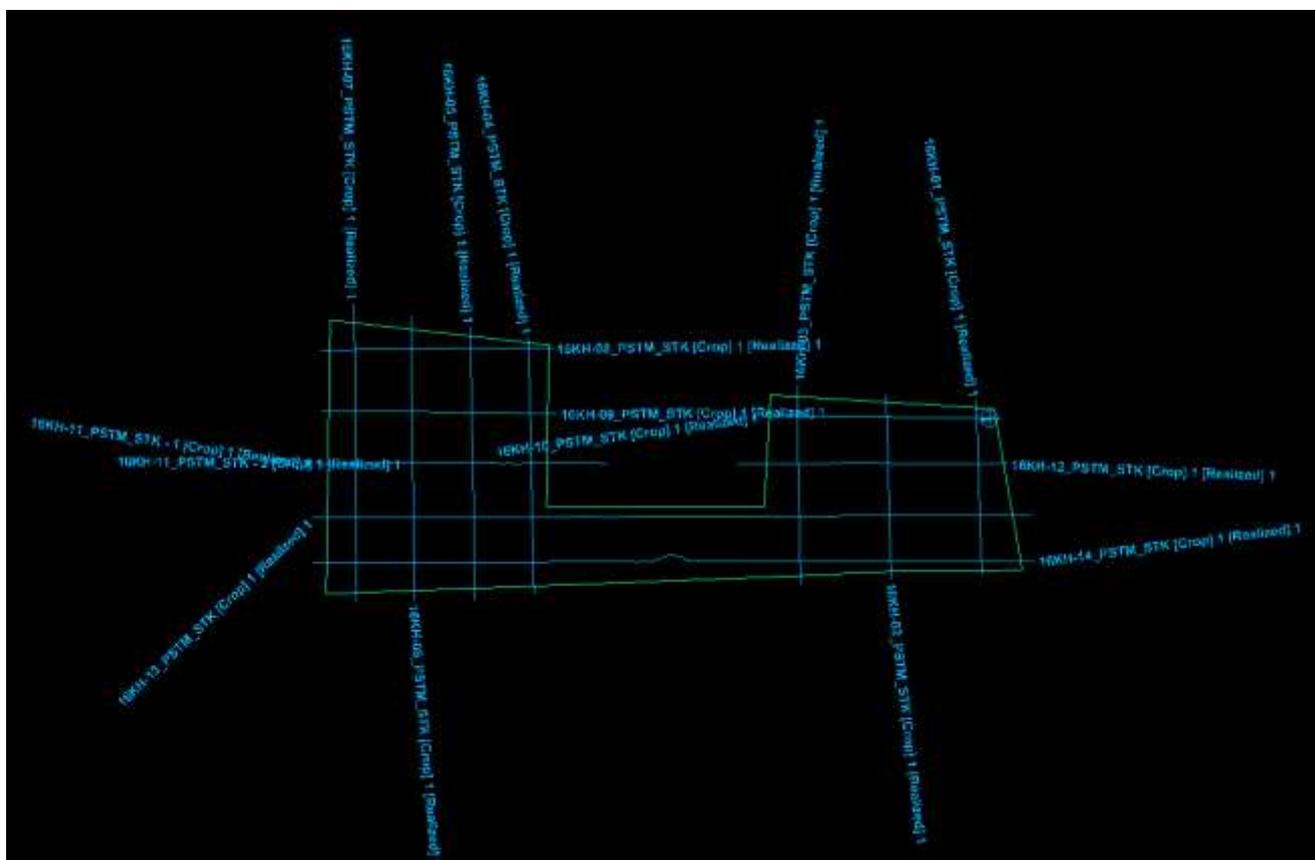


Рисунок 6. Полигон в рабочем проекте

Построение карты поверхностей для каждого горизонта выполнялось через инструмент «Make surface». На рисунке 7 представлены карты поверхностей для горизонтов 1-4 в режиме «3D Window». На рисунках 8-11 представлены карты поверхностей для горизонтов 1-4 в режиме «Map Window».

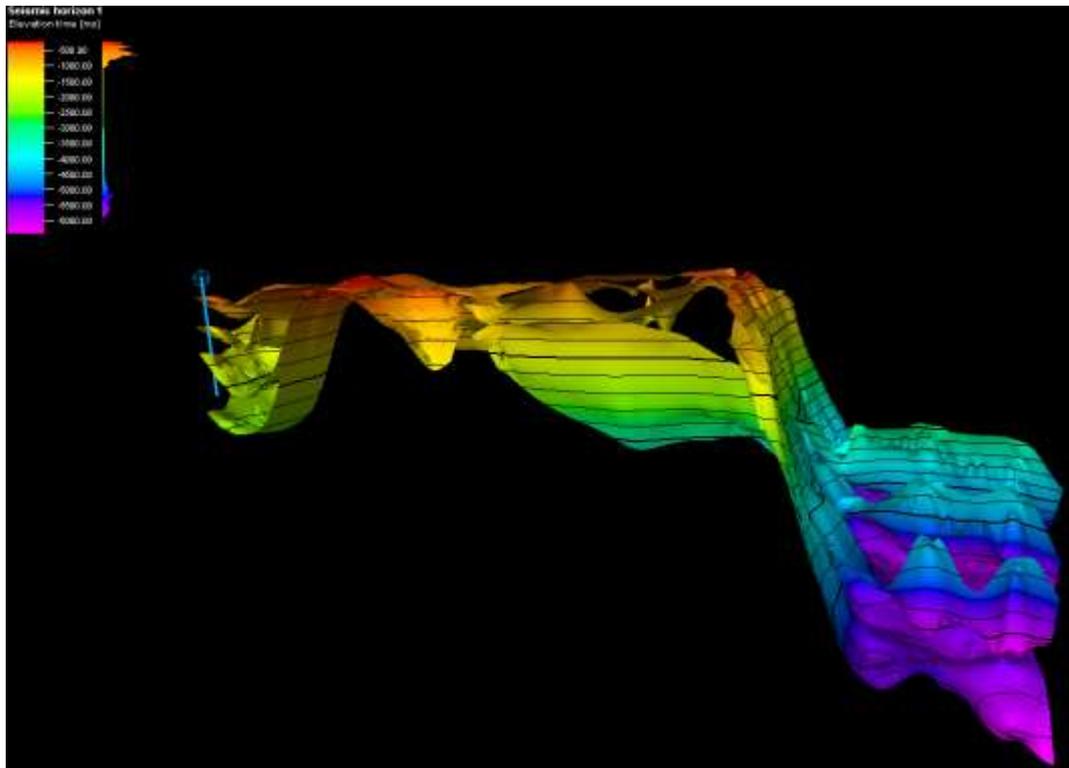


Рисунок 7. Карты поверхностей в «3D Window»

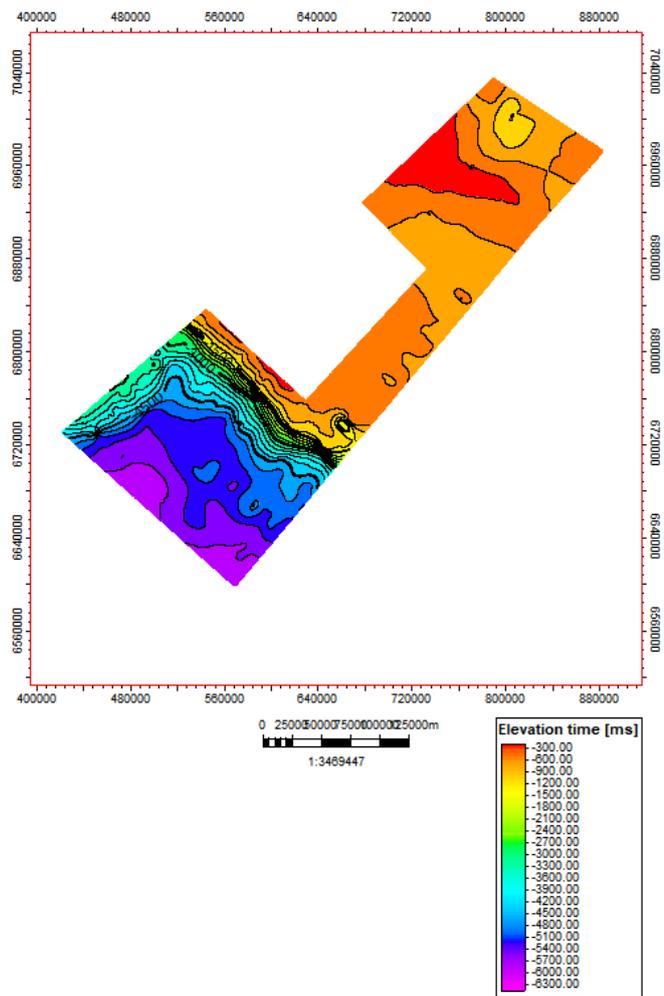


Рисунок 8. Карта поверхности первого горизонта в «Map Window»

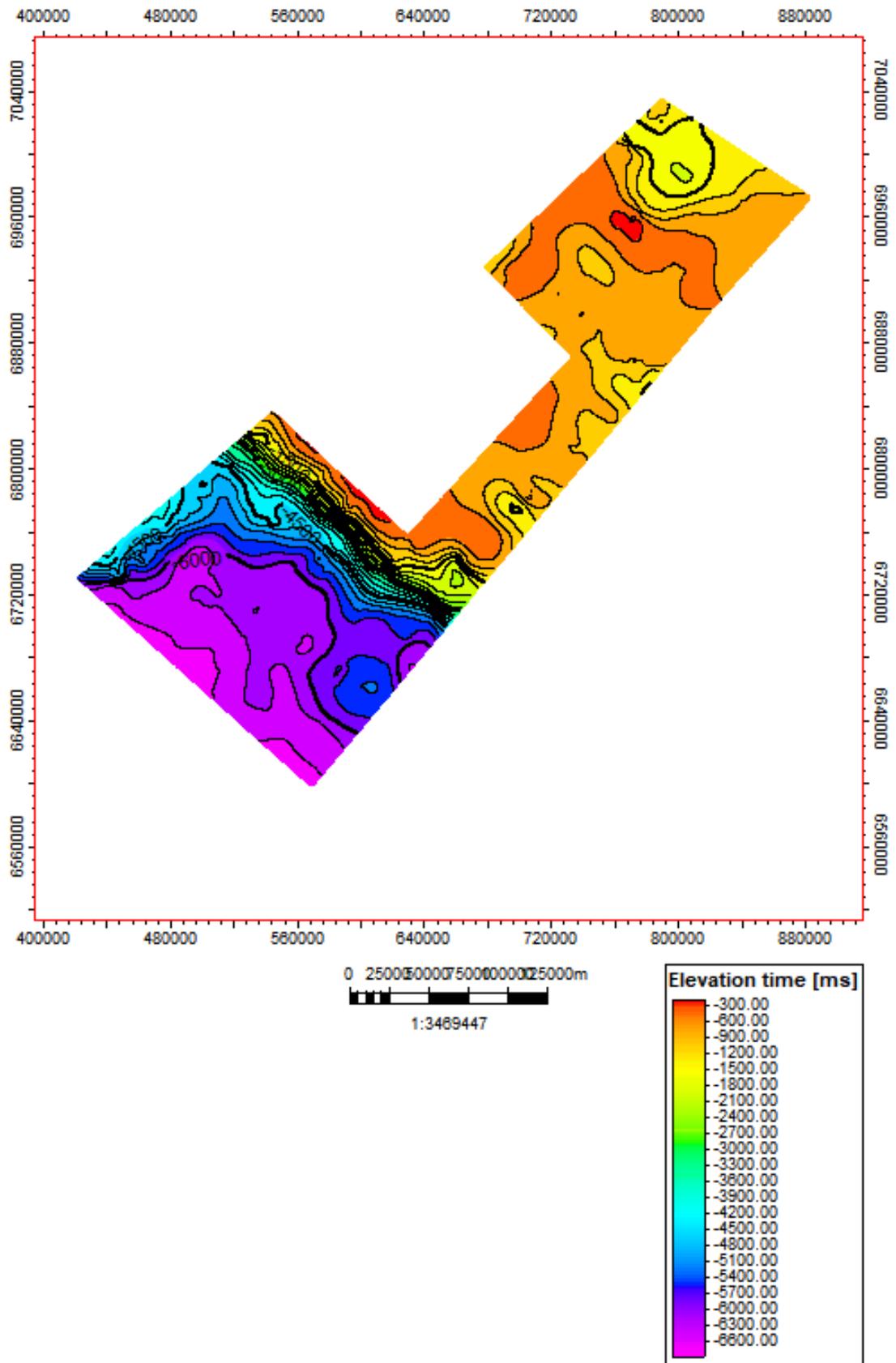


Рисунок 9. Карта поверхности второго горизонта в «Map Window»

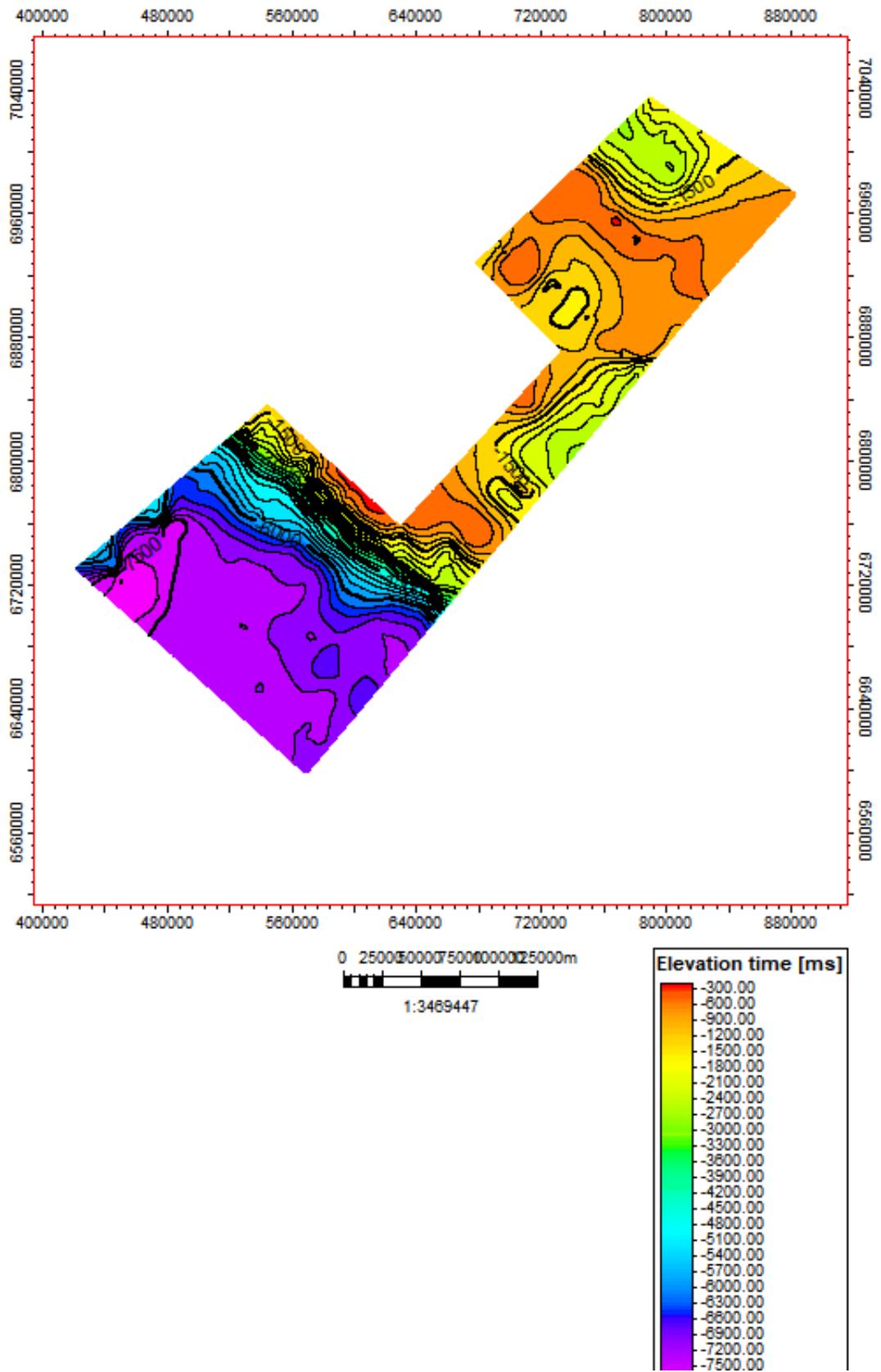


Рисунок 10. Карта поверхности третьего горизонта в «Map Window»

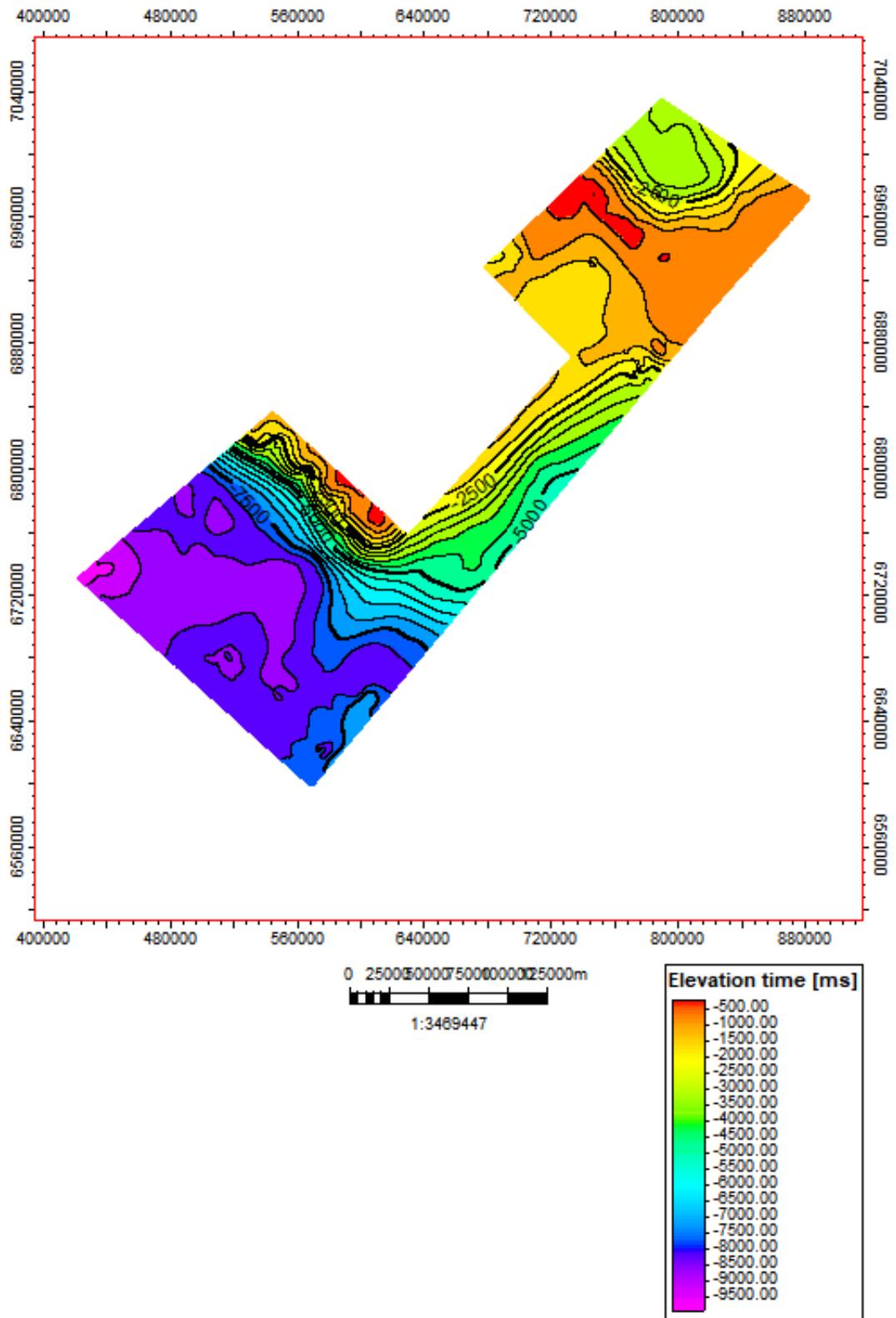


Рисунок 11. Карта поверхности четвёртого горизонта в «Map Window»

Карты изохрон были построены через инструмент «Calculator» с применением вычитания соседних карт поверхностей (рис. 12).

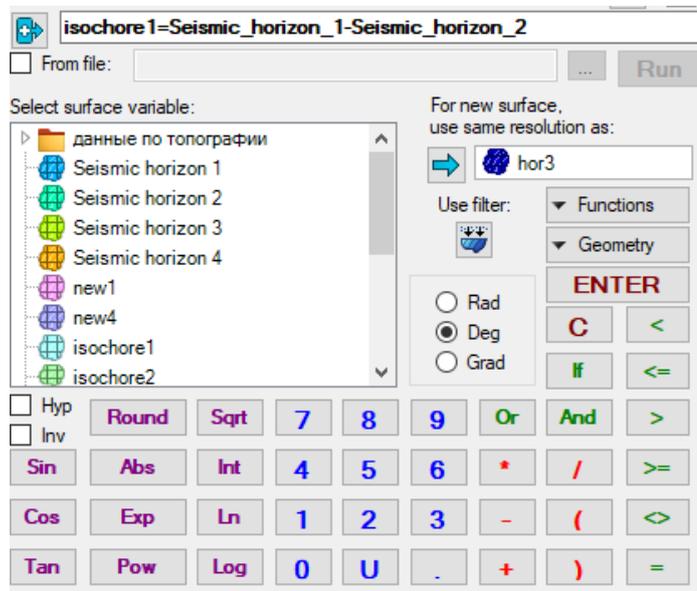


Рисунок 12. Построение карты изохрон через «Calculator»

Результат построения карт поверхностей представлен на рисунках 13-15 в режиме «Map window».

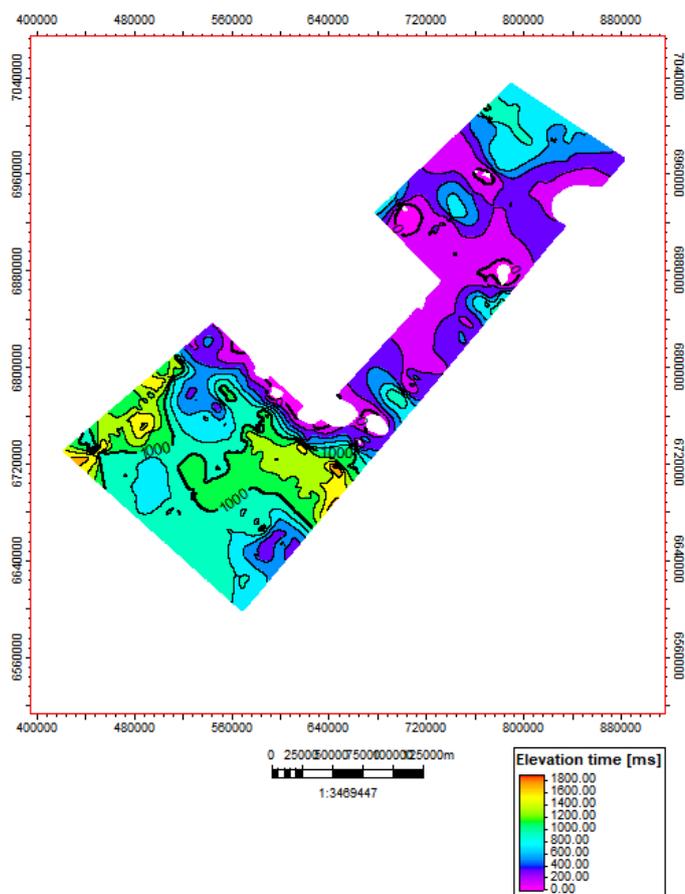


Рисунок 13. Построение первой карты изохрон (вычитание карты поверхности второго горизонта из карты поверхности первого горизонта)

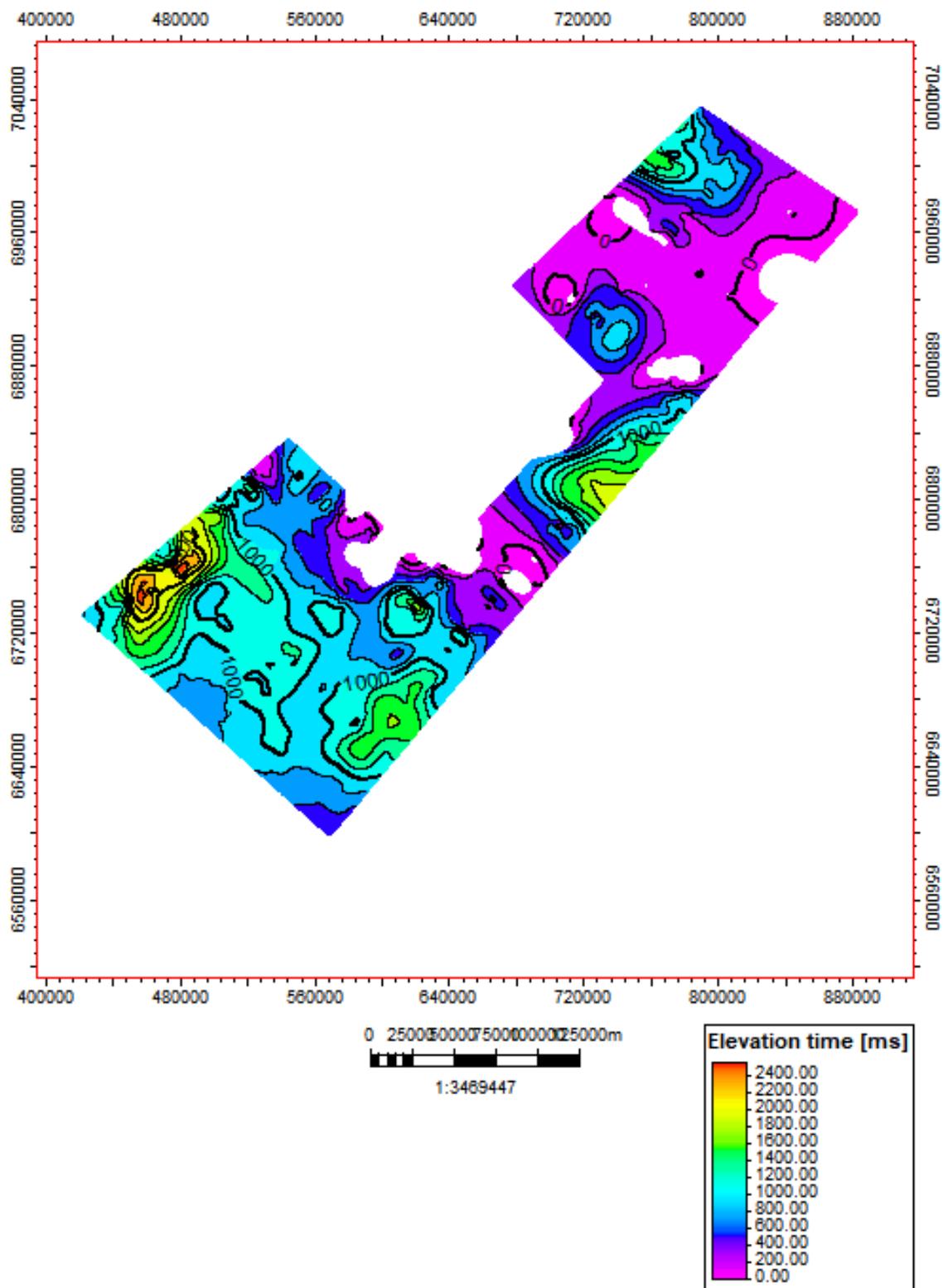


Рисунок 14. Построение второй карты изохрон (вычитание карты поверхности третьего горизонта из карты поверхности второго горизонта)

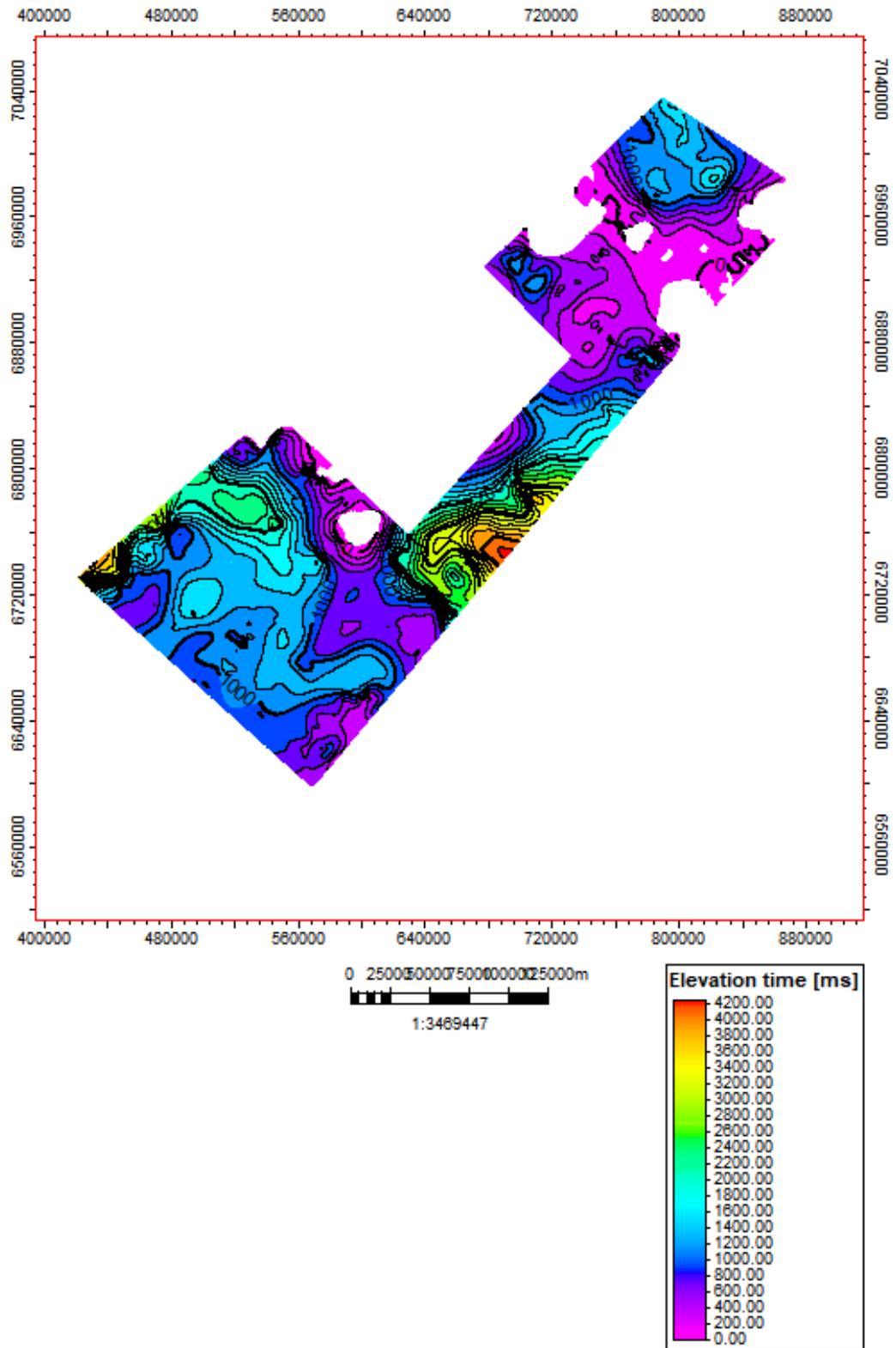


Рисунок 15. Построение третьей карты изохрон (вычитание карты поверхности четвёртого горизонта из карты поверхности третьего горизонта)

Для получения скоростного закона были использованы данные скважины Центральная-1, поскольку данные ВСП найти не удалось. Исходя из средних значений глубин горизонтов и двойного времени пробега волны (TWT) удалось рассчитать средние (Average) и интервальные (Interval) скорости волн в каждом из сейсмокомплексов (рис. 16).

	MD	TWT	Average velocity	Interval velocity
1	296.00	473.00	1251.59	1391.43
2	783.00	1173.00	1335.04	2125.41
3	1427.00	1779.00	1604.27	2782.85
4	3439.00	3225.00	2132.71	

Рисунок 16. Данные скважины Центральная-1

По данным скважины был подобран скоростной закон:

$$Y = -48.9281 + 0.412171 * X - 0.000198373 * X^2$$

На рисунке 17 представлена функция глубинно-скоростной модели в «Function Window».

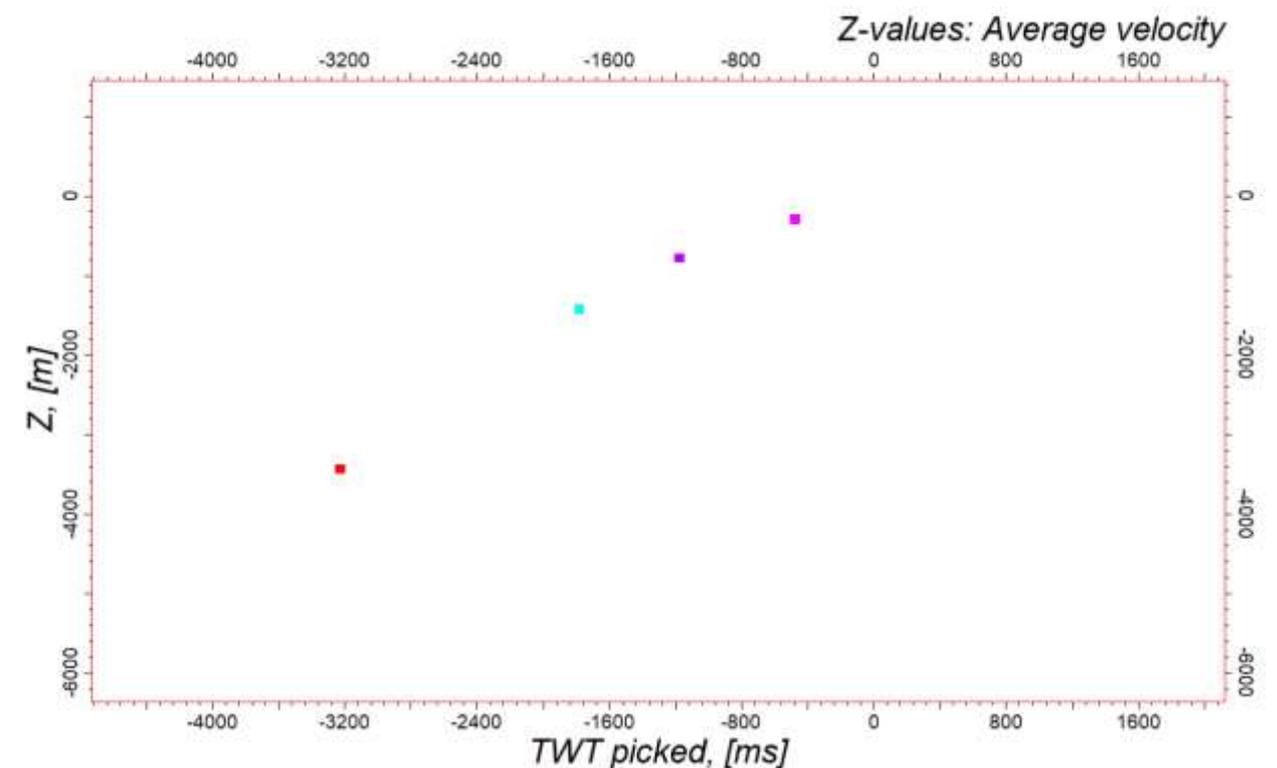


Рисунок 17. Функция глубинно-скоростной модели в «Function Window»

Карты, пересчитанные на глубинную область, были рассчитаны с помощью инструмента «Calculator» с применением рассчитанного закона зависимости времени от глубины (рис. 18).

```
NewHor1=-48.9281 + 0.412171 * pow(Seismic_horizon_1,1) - 0.000198373 * pow(Seismic_horizon_1,2)
NewHor2=-48.9281 + 0.412171 * pow(Seismic_horizon_2,1) - 0.000198373 * pow(Seismic_horizon_2,2)
NewHor3=-48.9281 + 0.412171 * pow(Seismic_horizon_3,1) - 0.000198373 * pow(Seismic_horizon_3,2)
NewHor4=-48.9281 + 0.412171 * pow(Seismic_horizon_4,1) - 0.000198373 * pow(Seismic_horizon_4,2)
NewHor2=if( NewHor2>NewHor1, NewHor1,NewHor2)
NewHor3=if( NewHor3>NewHor2, NewHor2,NewHor3)
```

From file:

Рисунок 18. Конвертация структурных карт из временной в глубинную область

На рисунке 19 представлены карты во временной области для горизонтов 1-4 в режиме «3D Window». На рисунках 20-23 представлены карты поверхностей для горизонтов 1-4 в режиме «Map Window».

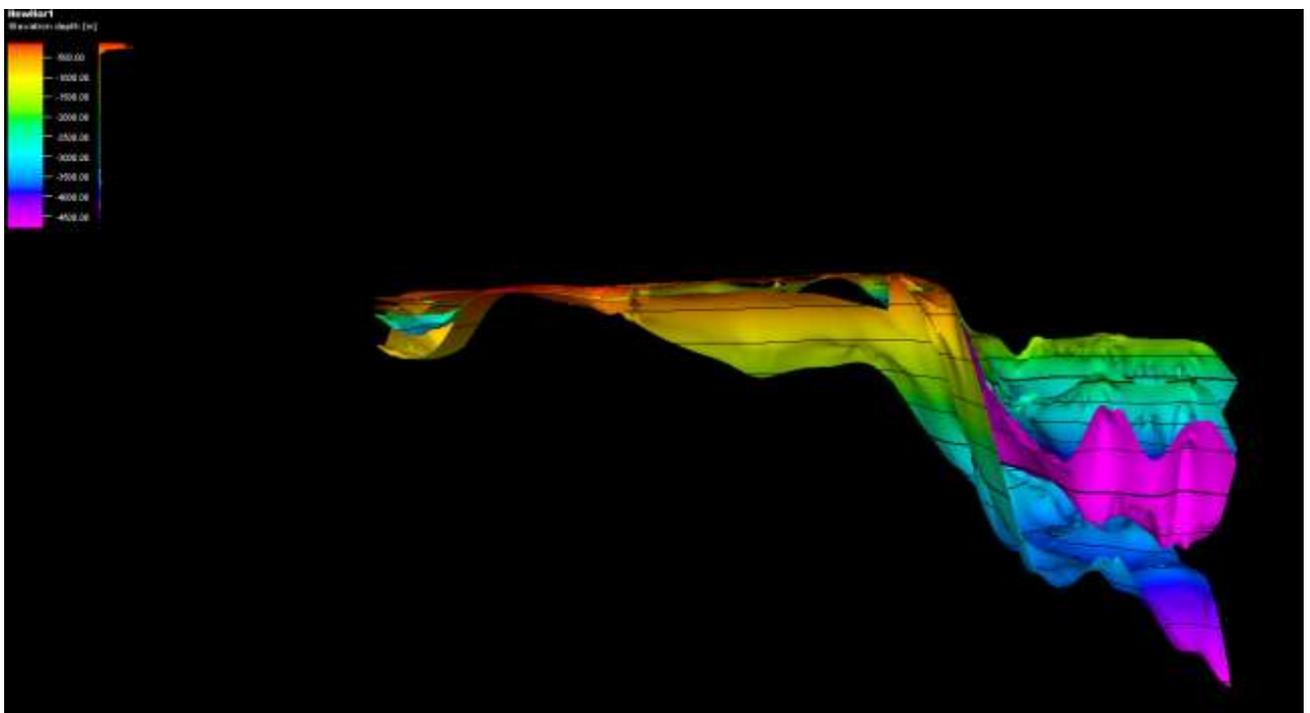


Рисунок 19. Карты горизонтов 1-4, пересчитанные на глубину в режиме «3D Window»

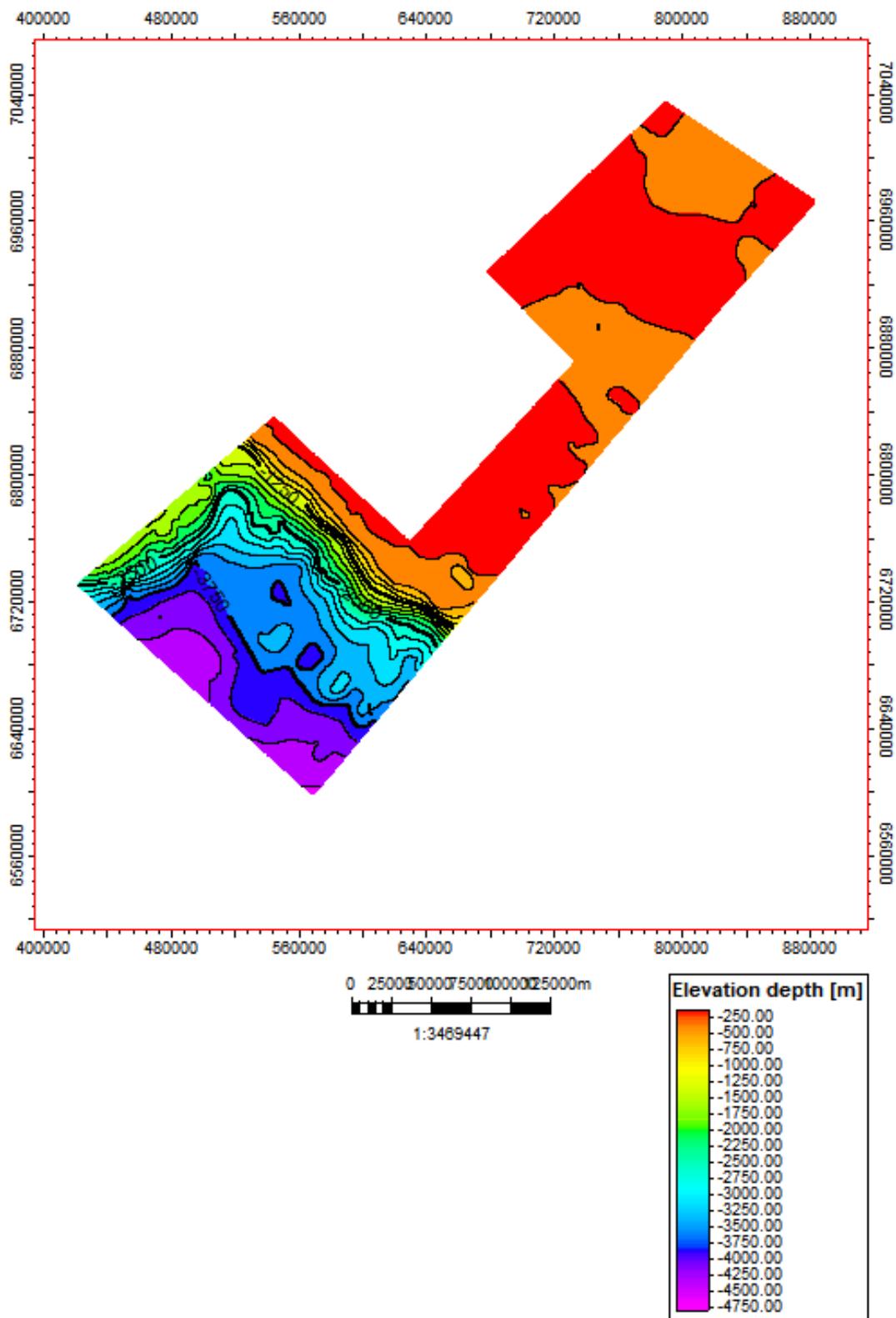


Рисунок 20. Карта первого горизонта в режиме «Map Window»

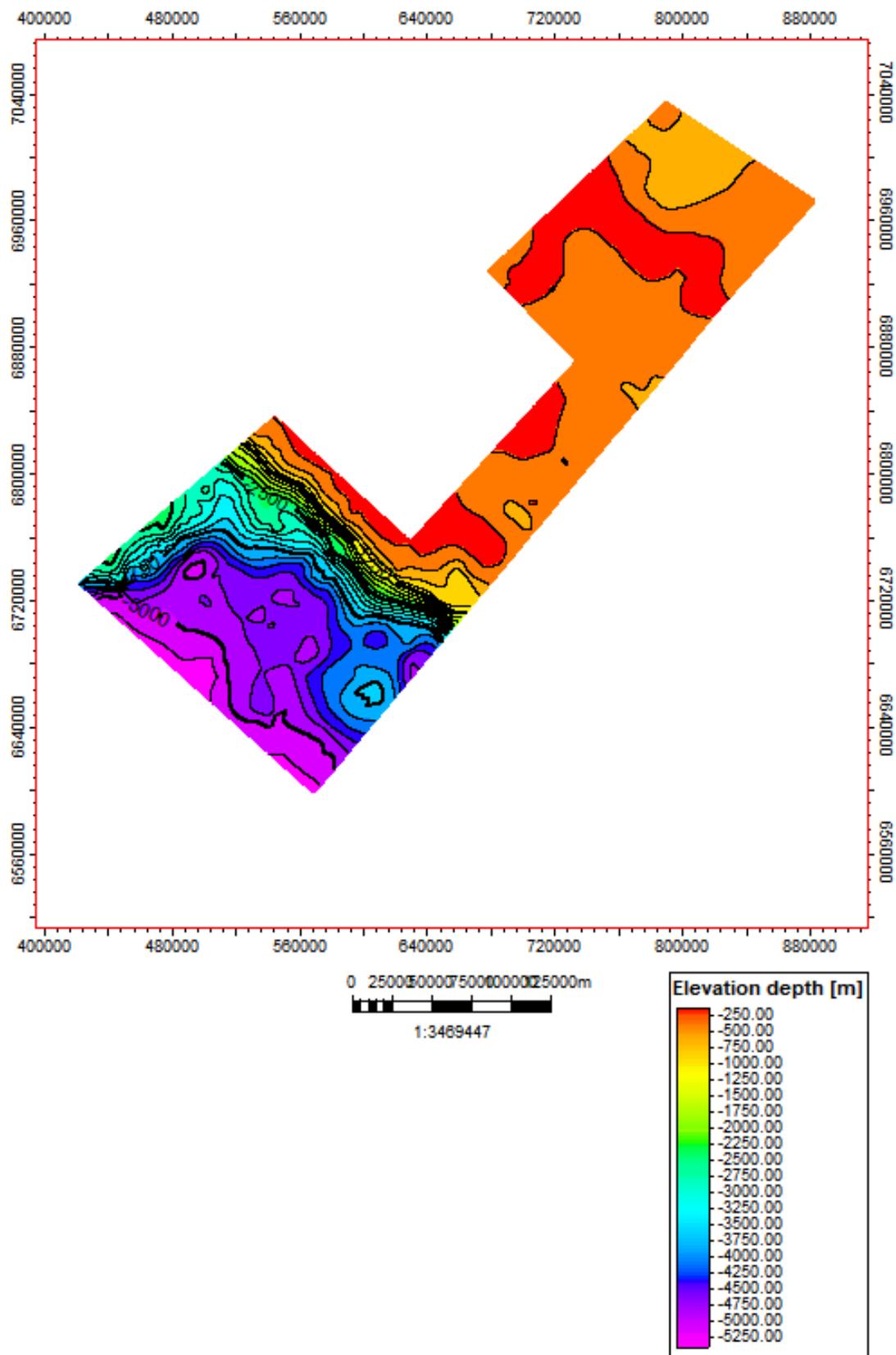


Рисунок 21. Карта второго горизонта в режиме «Map Window»

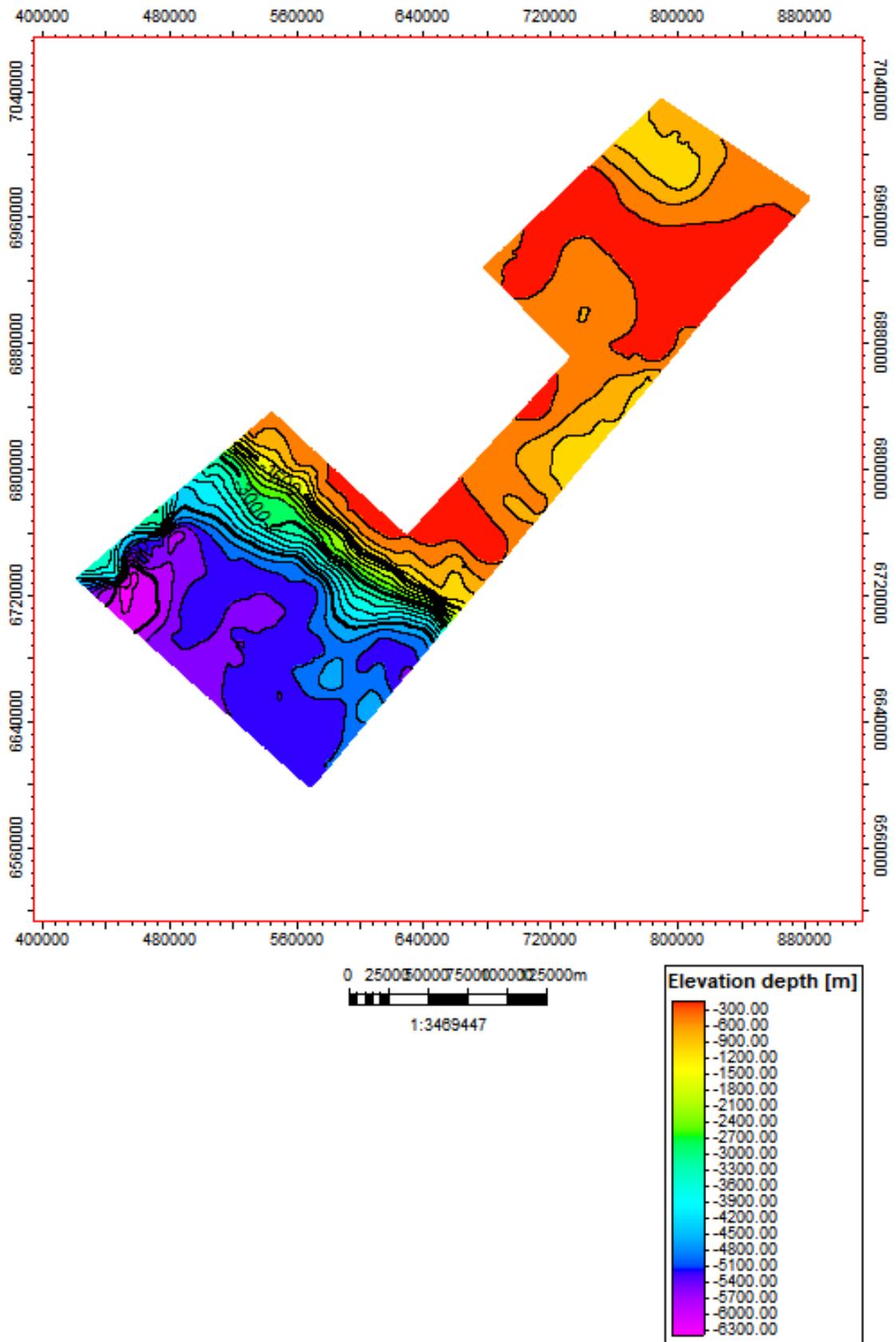


Рисунок 22. Карта третьего горизонта в режиме «Map Window»

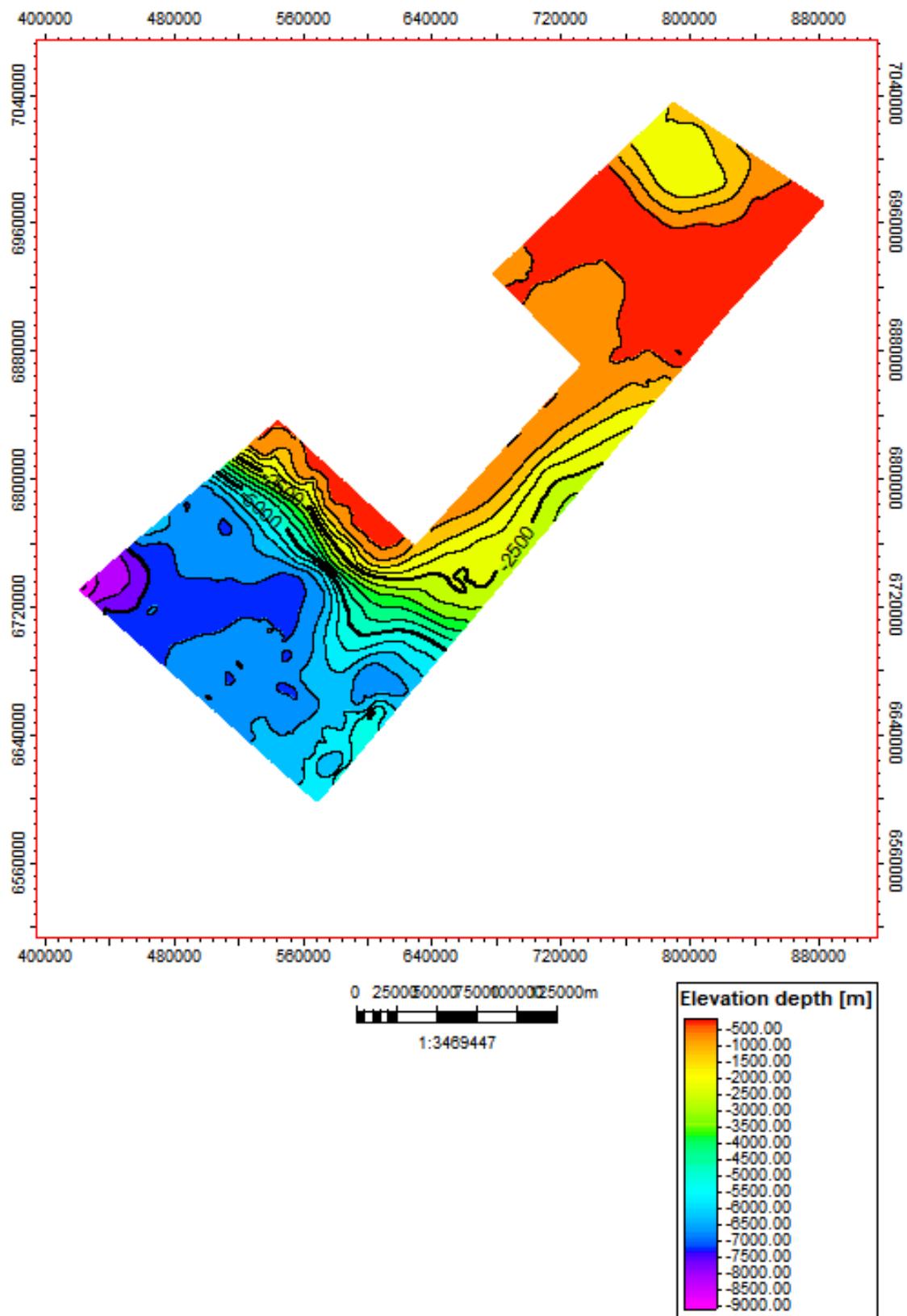


Рисунок 23. Карта четвертого горизонта в режиме «Map Window»

2.4 Создание модели углеводородных систем

Для построения модели УВ систем, были необходимы следующие данные:

- Водонефтяной контакт – 410м для всех слоёв;
- Коэффициент пористости (K_p), принимающий значения от 0.09 до 0.21;
- Отношение эффективной толщины к общей толщине пласта – 0.3;
- Коэффициент нефтенасыщенности (K_n) – 0.525.

Для построения карт с граничными условиями, необходимо было учесть водонефтяной контакт и обрезать его значения по границе. ВНК был подобран по методу замыкающей изогипсы. Мы предполагаем, что в местах структурных перегибов насыщение не происходило. Таким образом отрезаем ВНК в тех местах, где начинается структурный перегиб. Замыкающая изогипса была выбрана по самому верхнему горизонту на отметке 410 м.

На рисунках 24-26 представлены карты с отметкой ВНК для исследуемых горизонтов. На рисунке 27 представлен водонефтяной контакт в «3D Window».

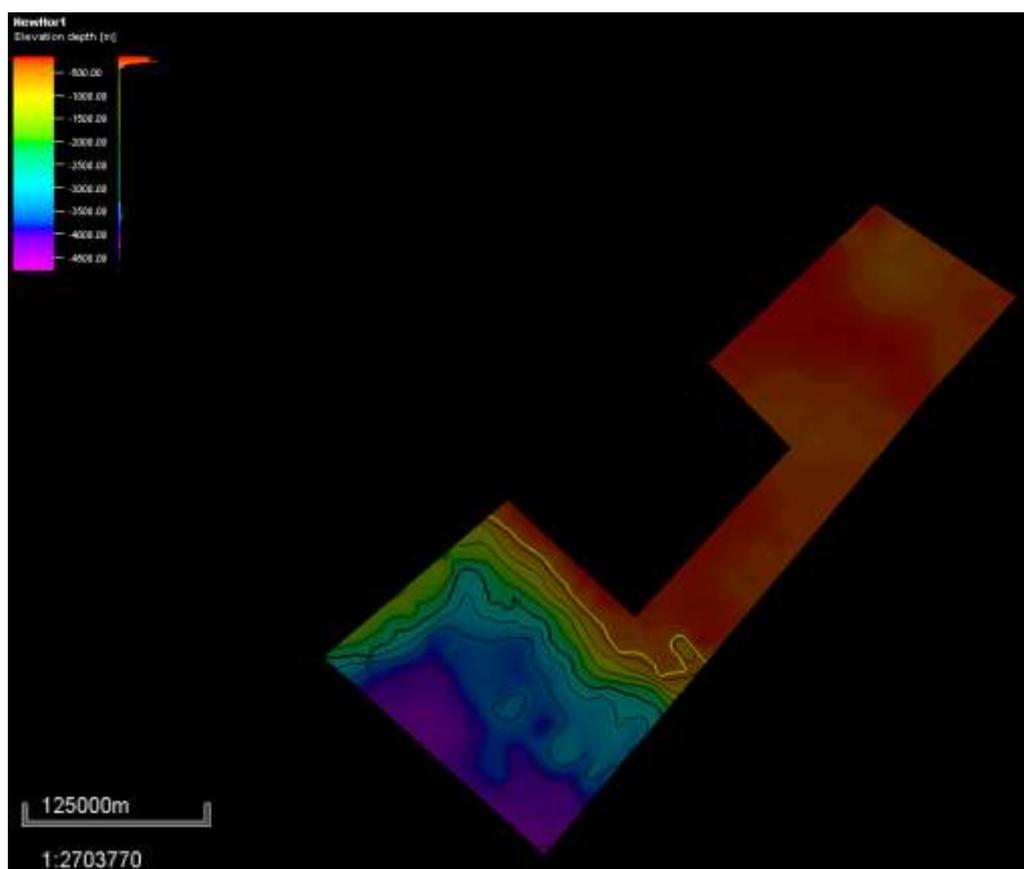


Рисунок 24. Карта первого горизонта с учётом ВНК (желтая линия)

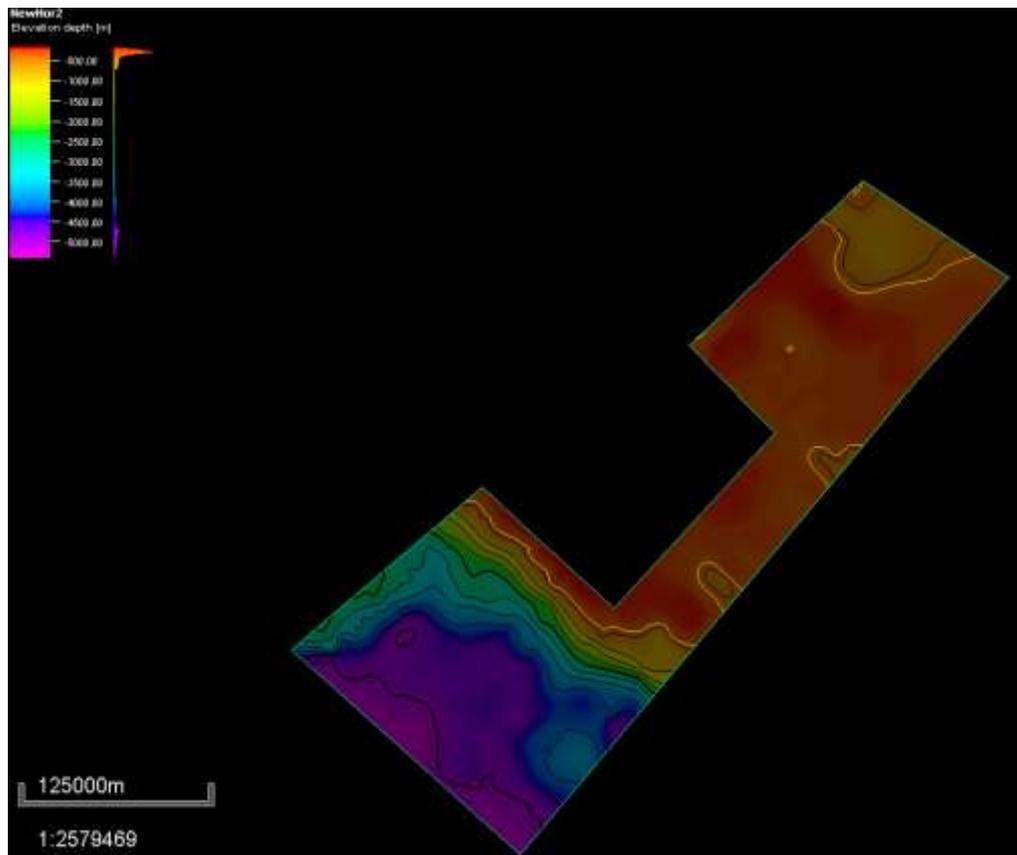


Рисунок 25. Карта второго горизонта с учётом ВНК (желтая линия)

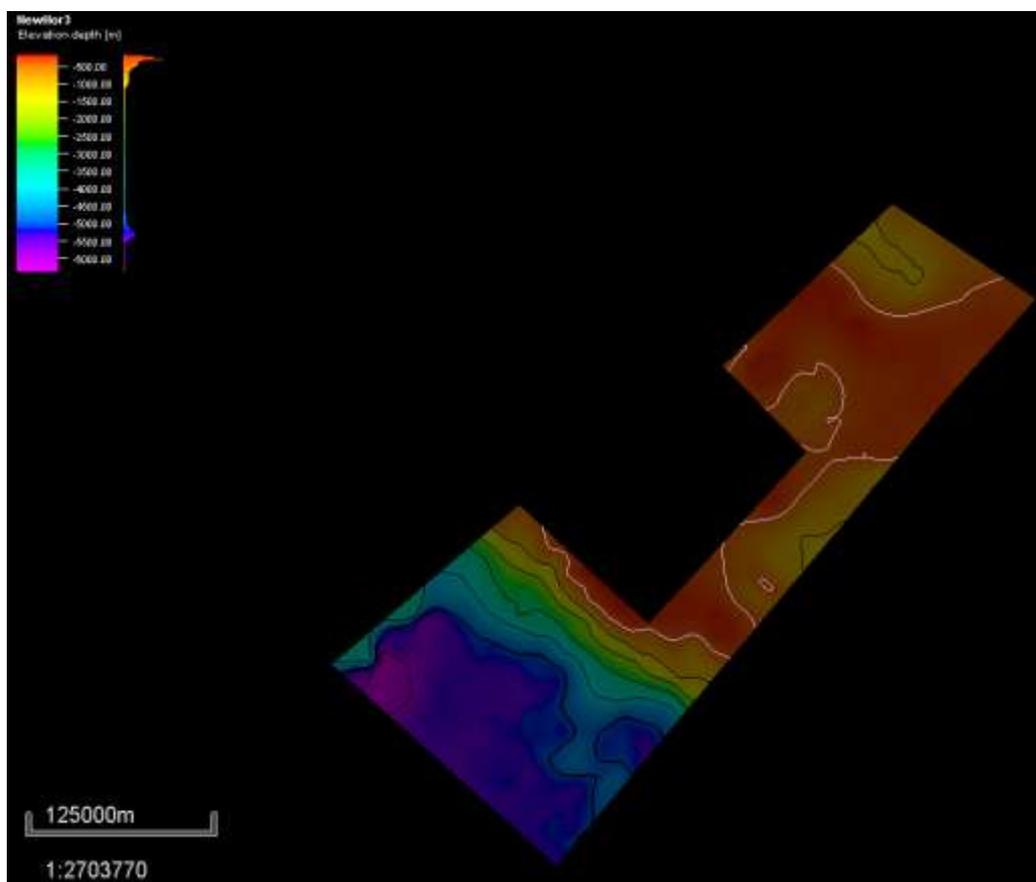


Рисунок 26. Карта третьего горизонта с учётом ВНК (желтая линия)

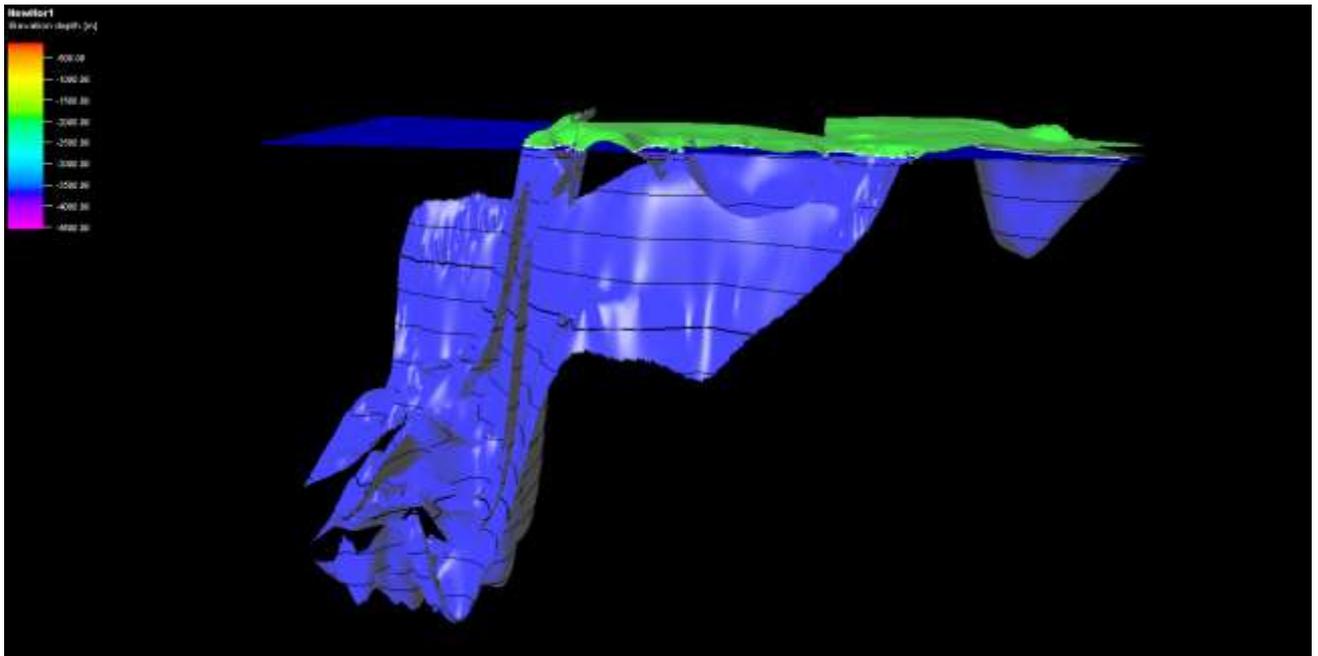


Рисунок 27. Водонефтяной контакт в «3D Window»

Значения коэффициента пористости были подобраны исходя из средних значений в бассейне 0.09 до 0.21. Для этого использовалось распределение Гаусса (нормальное распределение).

На рисунке 28 представлена модель распределения коэффициента пористости, на рисунке 29 – гистограмма значений коэффициента пористости.

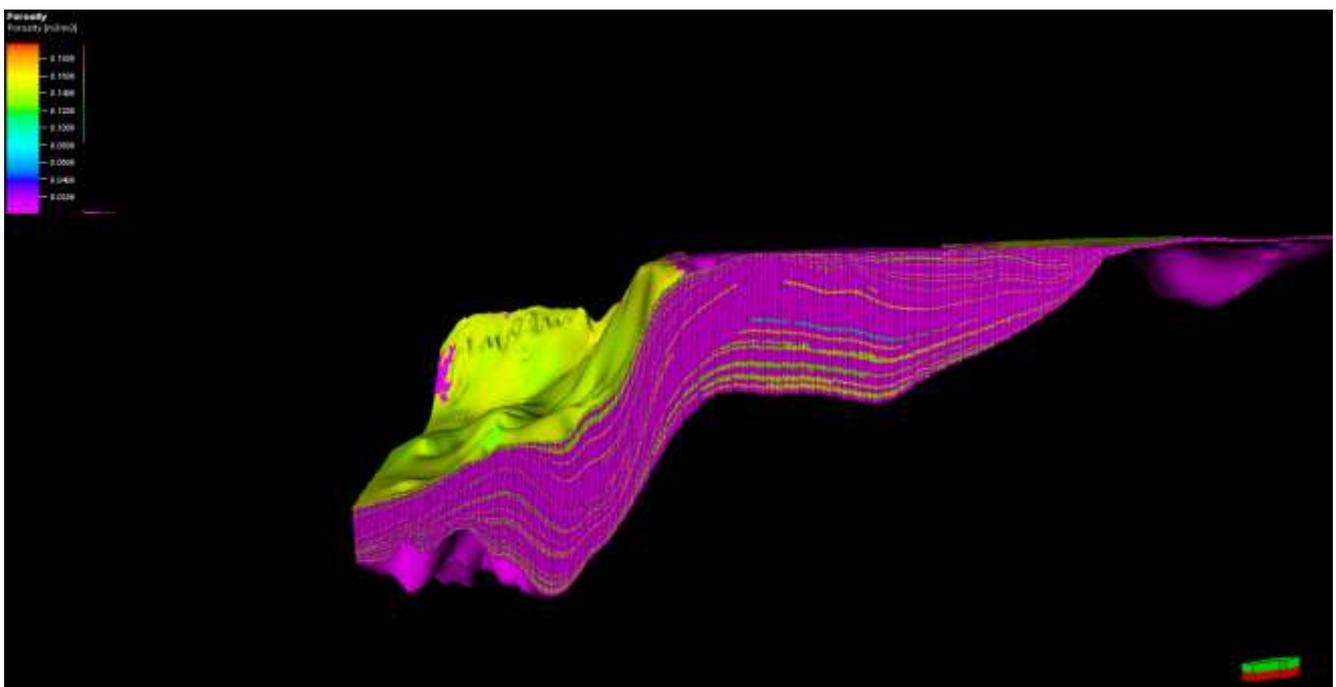


Рисунок 28. Модель распределения коэффициента пористости в «3D Window»

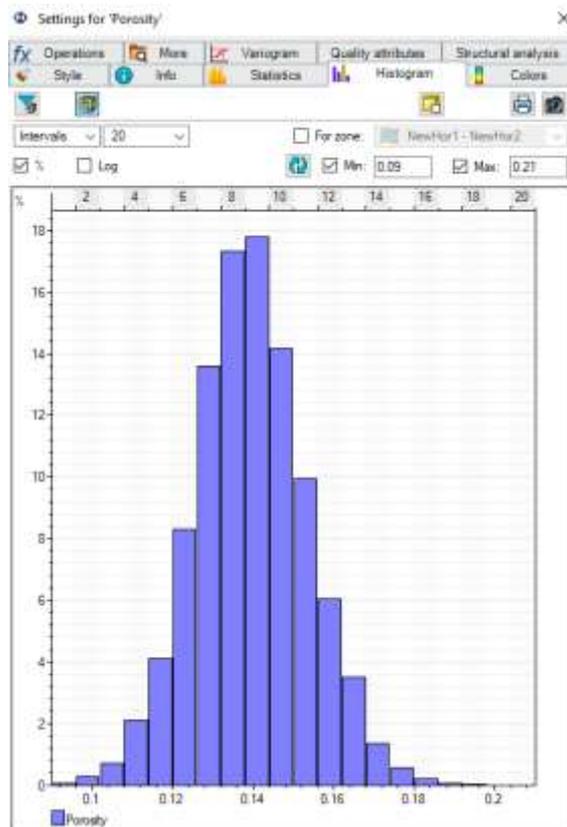


Рисунок 29. Гистограмма значений коэффициента пористости

Значения коэффициента нефтенасыщенности были приняты в интервале от 0.225 до 0.825. Как и для коэффициента пористости, использовалось Гауссово распределение. На рисунке 30 представлена модель распределения коэффициента нефтенасыщенности, на рисунке 31 – гистограмма значений коэффициента нефтенасыщенности.

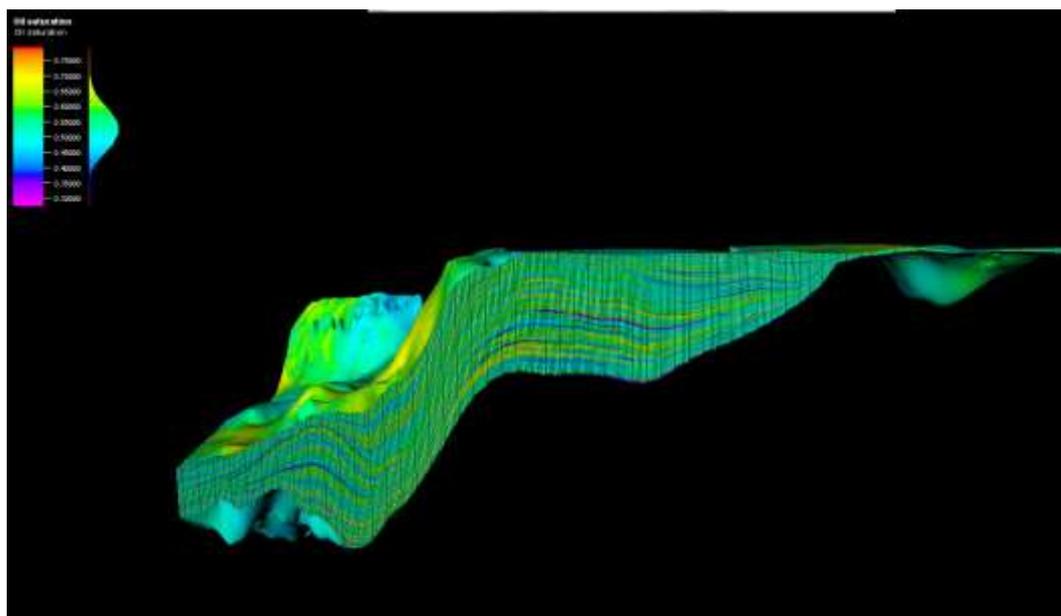


Рисунок 30. Модель распределения коэффициента нефтенасыщенности в «3D Window»

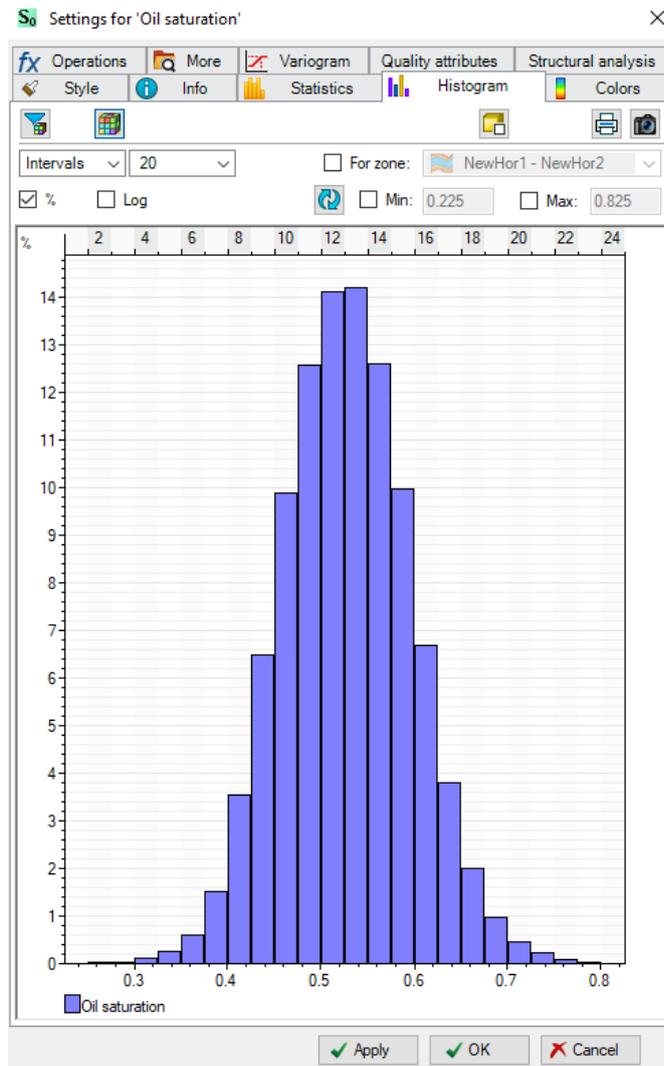


Рисунок 31. Гистограмма значений коэффициента нефтенасыщенности

2.5 Оценка ресурсов углеводородов объемно-генетическим методом

Для подсчёта ресурсов используется следующая формула:

$$\text{Ресурсы} = S * H * K_p * K_n,$$

где S – площадь пласта, H – высота пласта, K_p – коэффициент пористости, K_n – коэффициент нефтенасыщенности.

Для подсчёта ресурсов в Petrel был использован инструмент «Volume Calculation» (рис. 32). При построении модели необходимо было задать все литологические характеристики (коэффициент насыщенности, коэффициент пористости, водонефтяной-контакт).

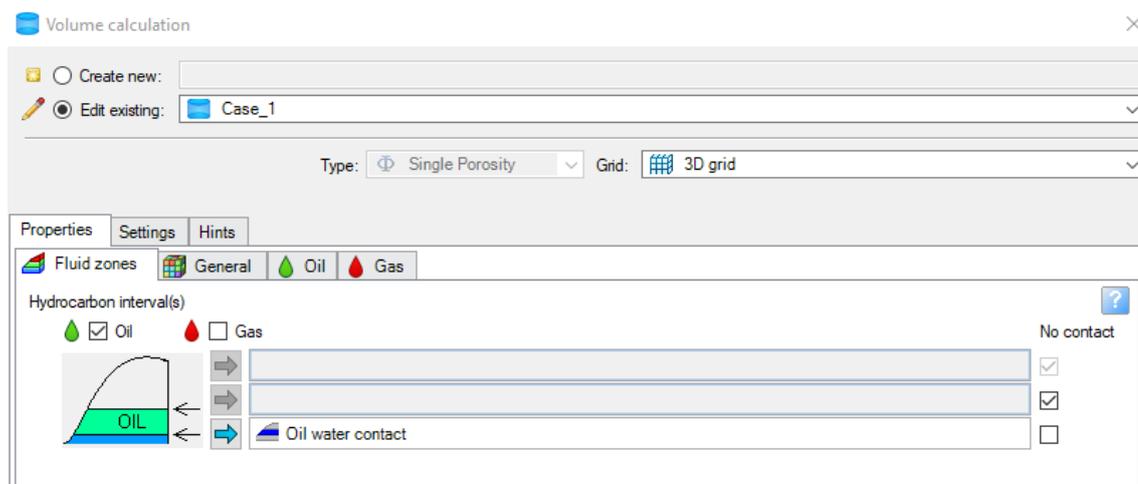


Рисунок 32. Расчёт карты ресурсов «Volume Calculation» в ПО Petrel

В результате подсчета была получена модель распределения коллекторов в бассейне (рис. 33).

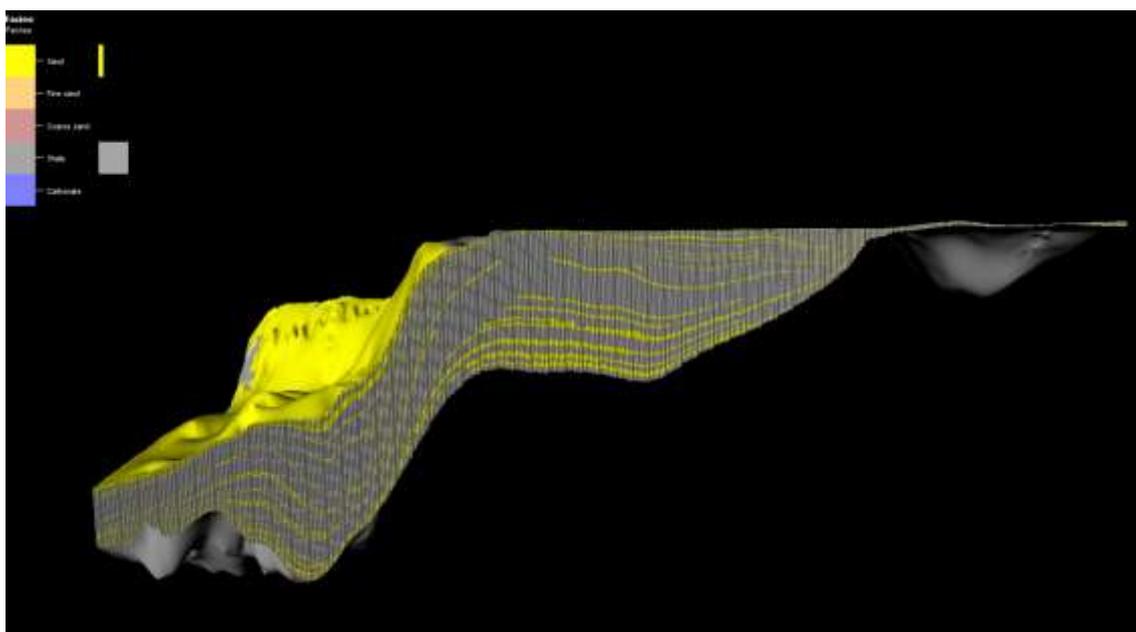


Рисунок 33. Распределение коллекторов в бассейне

Как видно из рисунка, распределение коллекторов в бассейне крайне неравномерно.

По итогам подсчета в Petrel, сумма ресурсов нефти в бассейне составила $9886 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ или 7,9 млрд тонн (таблица 7). Сумма ресурсов нефти в первом слое составила 4,4 млрд тонн, во втором – 2,5 млрд тонн, в третьем – почти 1 млрд тонн.

Таблица 7

Сумма ресурсов

Case	STOIP (in oil)[*10 ⁶ sm ³]	STOIP (in oil), tons
CASE	9886	7 908 800 000
Zones		
NewHor1 - NewHor2	5534	4 427 200 000
NewHor2 - NewHor3	3139	2 511 200 000
NewHor3 - NewHor4	1213	970 400 000

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разрезе Анадырского бассейна с помощью сейсмостратиграфического анализа выделены акустический фундамент и осадочный чехол, разделенные надрегиональным несогласием Фа. Несогласия 3, 2 и 1 разделяют кайнозойский разрез Анадырского бассейна на четыре сейсмокомплекса:

- 1) Палеогеновый (танюерский и майницкий стратиграфические горизонты);
- 2) Нижне-среднемиоценовый (собольковско-автаткульский);
- 3) Средне-верхнемиоценовый (телекайский);
- 4) Плиоцен-четвертичный (александровский).

Органическое вещество в кайнозойских отложениях распределено крайне неравномерно. Пачки пород, обогащенных органическим веществом, присутствуют в гагаринской, майницкой и танюерской свитах.

За время работы мной была проведена корреляция четырёх отражающих горизонтов, построены карты поверхностей и изохрон, выведен скоростной закон по данным скважины, а также сконвертированы структурные карты из временной области в глубинную.

С помощью моделирования в Petrel и литологических характеристик исследуемого района была построена модель углеводородных систем и оценены примерные ресурсы углеводородов в Анадырском бассейне. Песчаные коллектора распределены неравномерно, большая часть песчаников относится к нижним сейсмокомплексам (палеогеновому и нижне-среднемиоценовому).

На площади в 3000 погонных километров по подсчётам в Petrel ресурсы углеводородов приблизительно составляют 9,8 млрд тонн нефти. Сумма ресурсов нефти в первом слое составила 4,4 млрд тонн, во втором – 2,5 млрд тонн, в третьем – почти 1 млрд тонн.

Для уточнения результатов в будущем, необходимы данные вертикального сейсмического профилирования (ВСП) и определение точной глубины водонефтяного контакта.

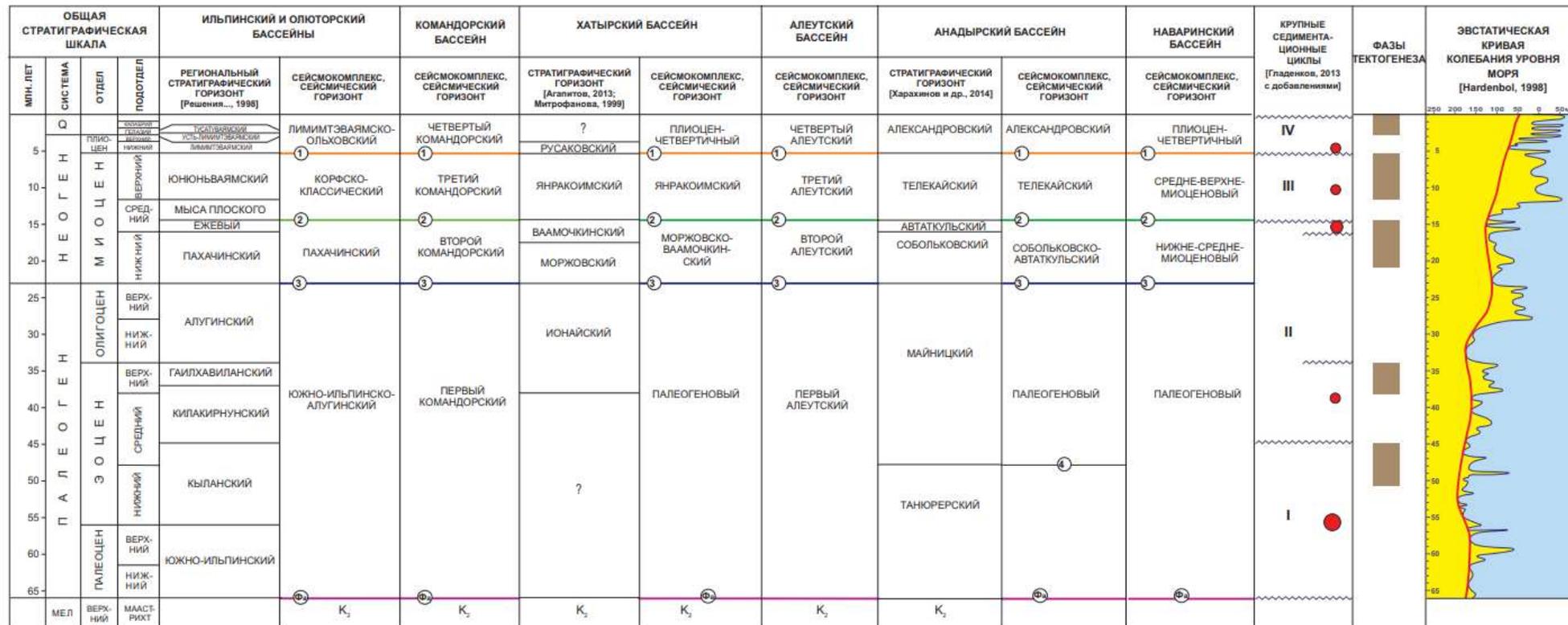
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапитов Д. Д. Геологическое строение и нефтегазоносность Анадырского бассейна: Автореф. дисс. канд геол-мин. наук. М., 2004. – 24 с.
2. Антипов М. П., Бондаренко Г.Е., Бордовская Т.О., Шипилов Э.В. Анадырский бассейн (северо-восток Евразии, Беринговоморское побережье): геологическое строение, тектоническая эволюция и нефтегазоносность // Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2008. – 53 с.
3. Бурлин Ю. К. Состав и условия образования кайнозойских нефтегазоносных отложений Анадырского бассейна // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология, 2008. №1. С. 50-58.
4. Геологическое строение и углеводородный потенциал шельфа Дальнего Востока России. Раздел II Беринговоморский шельф. Книга 2. Хатырский шельф // ОАО ДМНГ, Южно-Сахалинск, 2017. – 175 с.
5. Голубев В.М. Формирование Берингова моря и Тихого океана в свете системной тектоники. Автореф. дисс. доктора геол-мин. наук. СПб., ВНИИОкеангеология, 1999. – 31 с.
6. Заболотников А. А. Тектоника осадочных бассейнов Северо-Беринговоморского шельфа. Диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук. Хабаровск, 1985. –235 с.
7. Маргулис Л. С., Агапитов Д. Д., Маргулис Е. А., Пылина Л. М., Гладенков А. Ю., Жидкова Л. С., Дмитриева Т. В., Федорова В. А., Фрегатова Н. А. Первые данные о кайнозойском разрезе Чукотского шельфа Берингова моря. // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2011. Том 24. № 2. С. 103-114.
8. Мочалов Р. А. Ключевые Проблемы и особенности освоения месторождений углеводородов на шельфе арктических и дальневосточных морей // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2013. №1. С. 148-154.
9. О результатах работ по объекту «Комплексные региональные геофизические исследования на акватории Берингова моря в зоне сочленения Хатырского и Анадырского бассейнов: отчёт ГК 06-18-510-62 / АО «Росгеология»; нач. Хабибулин Р.Р., отв. исп.: Н.А. Петровская. 2017. – 287 с.
10. О проведении тематических и опытно-методических работ, связанных с геологическим изучением недр: отчет / ФГБУ «ВНИИОкеангеология»; отв. исп. А. К. Алексеева – СПб., 2022. – 153 с.
11. Очерки тектоники Корякского нагорья / АН СССР, Геол. ин-т, сев.-вост. комплекс. НИИ; отв. ред. Ю. М. Пущаровский, С. М. Тильман – М., «Наука», 1982. – 217 с.

12. Полудеткина Е. Н. Геохимические предпосылки нефтегазоносности Анадырского бассейна: Автореф. дисс. канд геол-мин. наук. М., МГУ, 2007. – 22 с.
13. Соколов С. Д., Крылов К. А. Структурированные серпентинитовые меланжи Корякско-Камчатской складчатой области // Геотектоника, 2010. № 1. С. 52-68.
14. Супруненко О. Н., Суслов В. В. Перспективы развития ресурсной базы углеводородного сырья на шельфах России // Нефть. Газ. Промышленность, 2008. №2. С. 41-44.
15. Харахинов В.В., Шленкин С.И., Вашкевич А.А., Агапитов Д.Д., Обухов А.Н. Нефтегазоносные бассейны Берингоморского региона – М.: Научный мир, 2014. – 340 с.
16. Берингово море [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://wikiway.com/russia/beringovo-more/>
17. Населения городов и стран мира [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://bdex.ru/naselenie/>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Сейсмостратиграфическая схема осадочных бассейнов Берингова моря

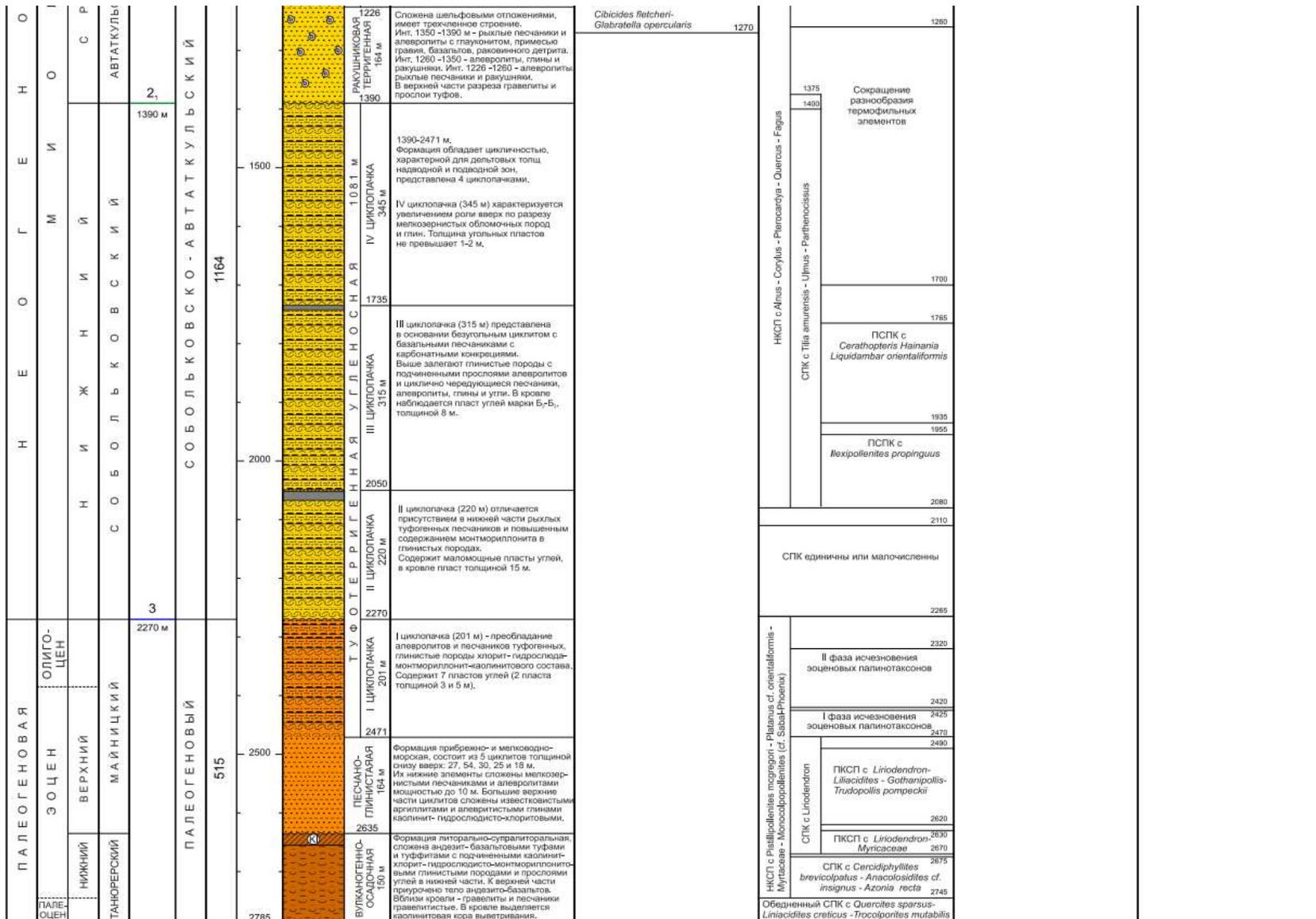


климатический оптимум
 складчато-блоковые дислокации
 II седиментационный цикл
 2 региональные несогласия
 4 сейсмический горизонт (ОАО "Сибнефть")

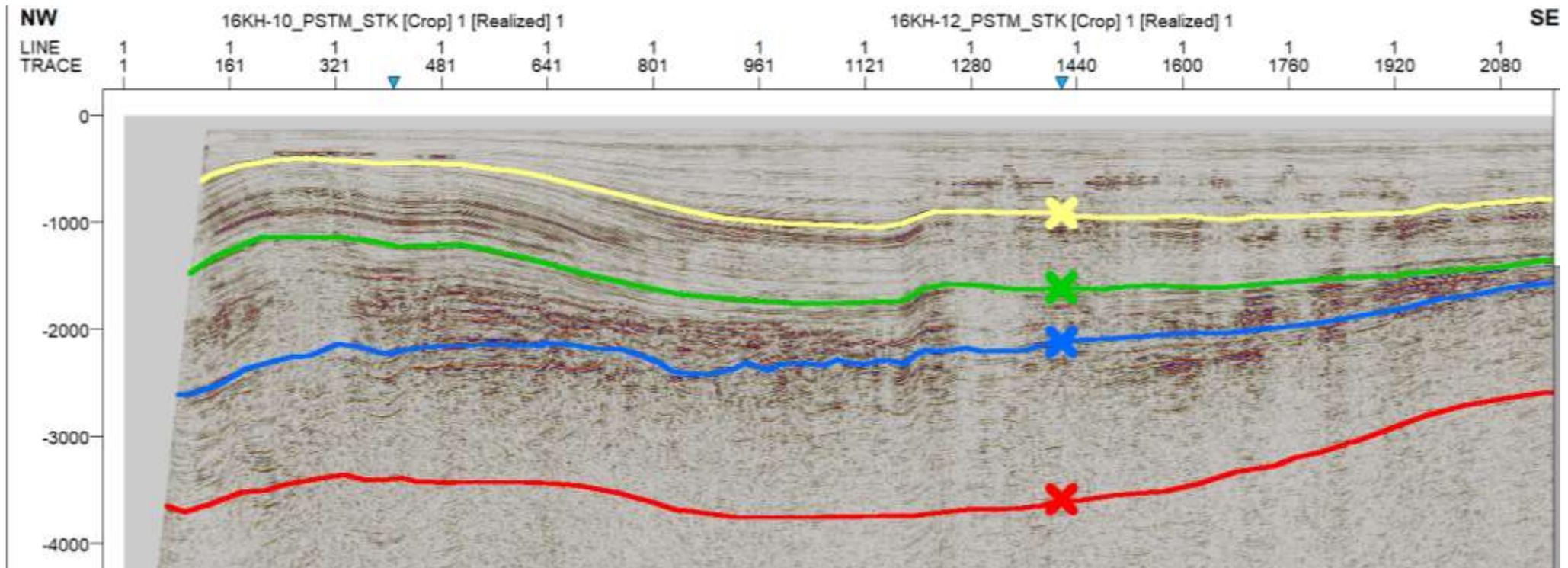
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Литолого-стратиграфический разрез по скважине Центральная-1 Анадырского бассейна

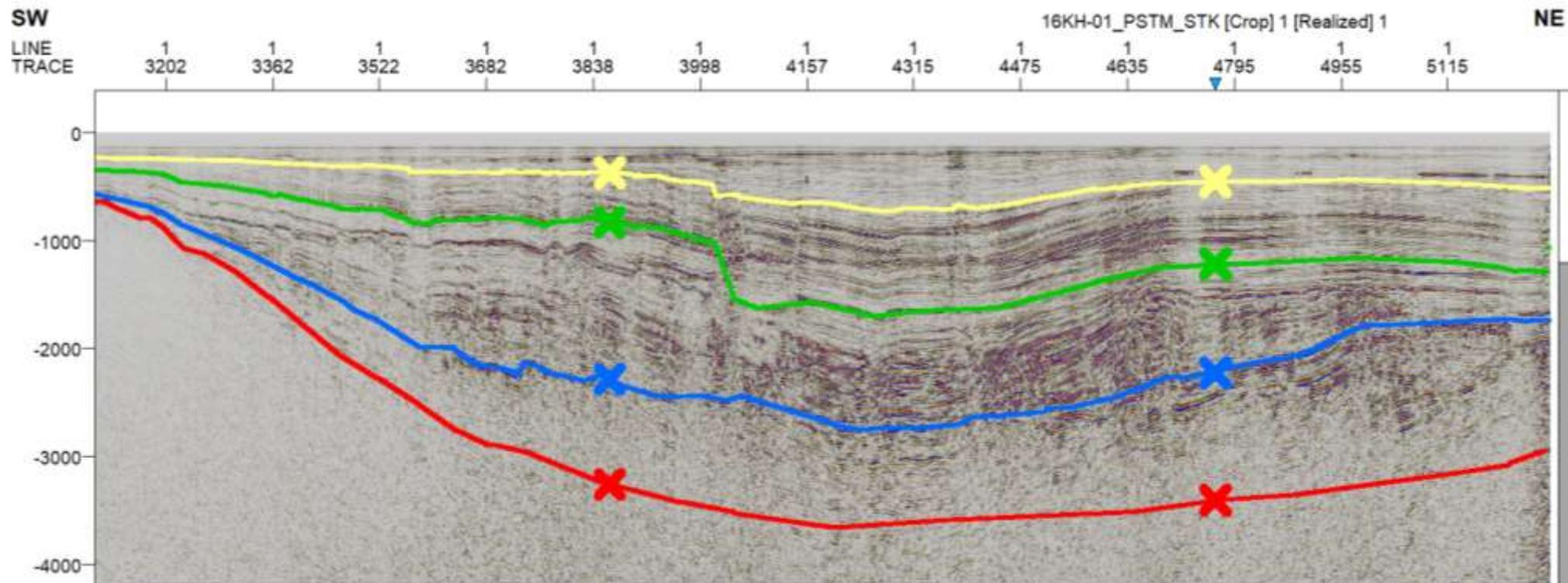
СИСТЕМА	ОТДЕЛ	ПОДОТДЕЛ	ГОРИЗОНТ/ПОДГОРИЗОНТ	СЕКСМОГОРИЗОНТ	СЕКСМОКОМПЛЕКС	МОЩНОСТЬ, м	ГЛУБИНА ИЗМЕРЕНИЯ, м	ОСАДочНЫЕ ФОРМАЦИИ	ЛИТОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОРОД	ФОРАМИНИФЕРЫ	СПОРО-ПЫЛЬЦЕВЫЕ НАДКОМПЛЕКСЫ (НКСП) КОМПЛЕКСЫ (СПК) ПОДКОМПЛЕКСЫ (ПКСП)	ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ	МАКРОФАУНА
В А Р Я	Ц Е Н Т Р А Л Ь Н Ы Й	П Л И О Ц Е Н	В Е Р Х Н И Й	А Л Е К С А Н Д Р О В С К И Й	А Л Е К С А Н Д Р О В С К И Й	268,5	Уровень моря	АЛЕВРО-ПЕСЧАНАЯ	111,5	Инт. 260 - 380 м представлена рыхлыми слабоцементированными отложениями, представляемыми по сейсмической записи и охростным данным.	СПК с <i>Pinus</i> - <i>Corylus</i>		
									380				
В А Р Я	Ц Е Н Т Р А Л Ь Н Ы Й	П Л И О Ц Е Н	Н И Ж Н И Й	А Л Е К С А Н Д Р О В С К И Й	А Л Е К С А Н Д Р О В С К И Й	380 м	500	ПЕСЧАНО-АЛЕВРИТОВАЯ МОЛАССОВАЯ	312 м	I ланка (инт. 600 - 692 м) сложена чередованием (5 - 15 м) алевроитов, глин и песков в прослоях карбонатных пород (32 м). II ланка (инт. 380 - 600 м) представлена тонким переслаиванием алевроитов, глин и песков, сверху известностей с прослоями раковинчатых и единичных слоев угля (220 м).	СПК с <i>Pinus</i> - <i>Tsuga</i> - <i>Betulaceae</i>		
									692	726			
В А Р Я	Ц Е Н Т Р А Л Ь Н Ы Й	П Л И О Ц Е Н	В Е Р Х Н И Й	А Л Е К С А Н Д Р О В С К И Й	А Л Е К С А Н Д Р О В С К И Й	732	1000	ПТМКАСЧЕРАНИСТАЯ ТУБОПЕСЧАНО-АЛЕВРИТОВАЯ	90 м	I ланка (инт. 844 - 905 м) сложена равномерно чередованием алевроитов, глин и туфоалевритов с включением глауконита и глинисто-карбонатных конкреций (61 м). II ланка (инт. 892 - 844 м) характеризуется преобладанием туфоалевритов, появлением песчанков с примесью галитов, тонких прослоев песчаных туфов, известняковых обломков раковин (152 м).	СПК с <i>Tsuga</i> - <i>Pinus</i> - <i>Betulaceae</i> - <i>Engelhardtia</i>		
									207 м	1020			
В А Р Я	Ц Е Н Т Р А Л Ь Н Ы Й	П Л И О Ц Е Н	Н И Ж Н И Й	А Л Е К С А Н Д Р О В С К И Й	А Л Е К С А Н Д Р О В С К И Й	1112 м	1100	ТУБОПЕСЧАНО-АЛЕВРИТОВАЯ	114 м	I ланка (инт. 1000 - 1112 м) представлена алевроито-песчаными твердынями и туфоалевритами с обилием галитов, крупных раковинчатых остатков и тонкостенных раковин моллюсков. II ланка (905 - 1000 м) сложена алевроитистой глинкой с черными битуминозными прослоями и в подчинении алевроитными прослоями.	СПК с <i>Pinus</i> - <i>Betula</i> - <i>sec. Nana</i>		
									207 м	1120			
В А Р Я	Ц Е Н Т Р А Л Ь Н Ы Й	П Л И О Ц Е Н	Н И Ж Н И Й	А Л Е К С А Н Д Р О В С К И Й	А Л Е К С А Н Д Р О В С К И Й	268,5	Уровень моря	АЛЕВРО-ПЕСЧАНАЯ	111,5	III ланка (инт. 1100 - 1112 м) представлена переслаиванием кремнисто-глинистых пород и известняковых алевроитов (18 м). В середине - глины, аргиллиты и алевролиты с гравием и обломками раковин (80 м). Вверху ланка рыхлых песчанков и алевроитов с примесью гравия, обломками раковин и угнетированной древесины (38 м).	СПК с <i>Pinus</i> - <i>Betula</i> - <i>sec. Nana</i>		
									380	1120			



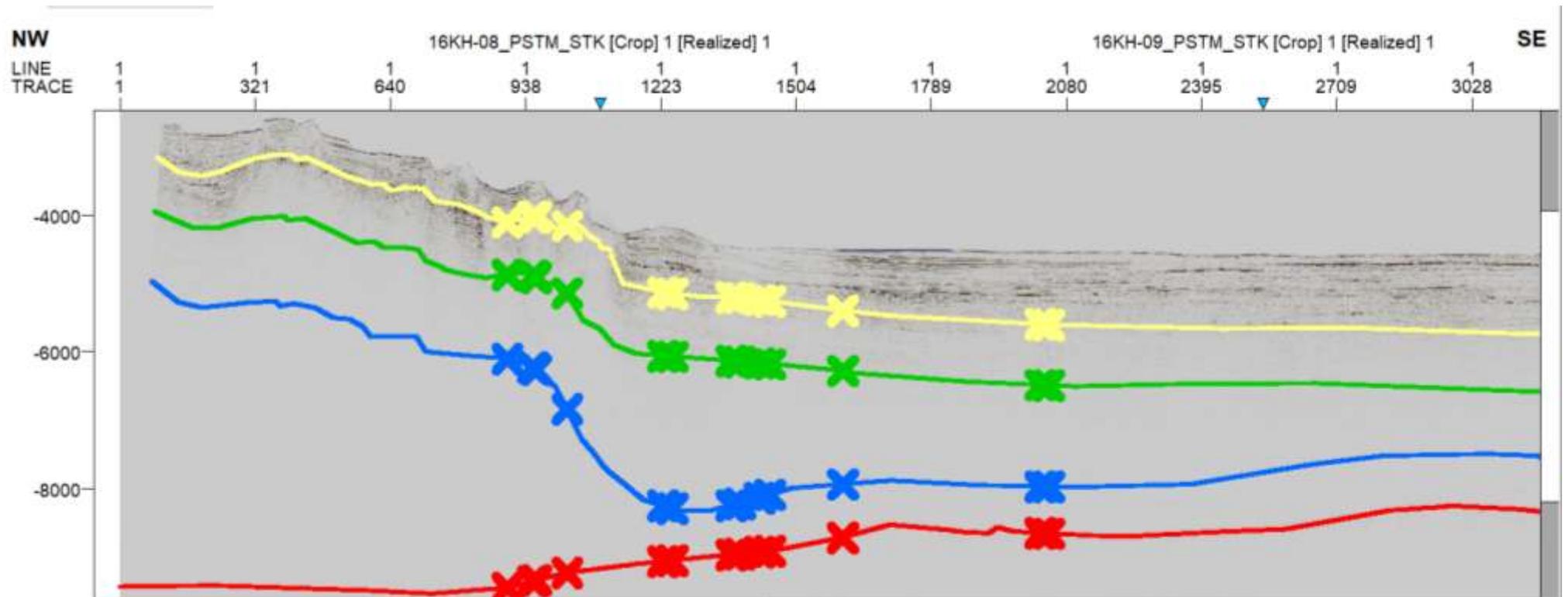
ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Часть профиля 16КН-01



ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Часть профиля 16КН-10



ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Часть профиля 16КН-07



ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Часть профиля 16КН-09

