

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

На правах рукописи



Плюснин Алексей Владимирович

**СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕНДСКИХ
ТЕРРИГЕННО-КАРБОНАТНЫХ ТОЛЩ
ЮГА НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ**

Специальность 25.00.01. – общая и региональная геология

**ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

Научный руководитель
к.г.-м.н., Мотова З.Л.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА РАБОТ	7
1.1. История изучения	7
1.2. Тектонический очерк	8
1.3. Литолого-стратиграфическая характеристика.....	9
ГЛАВА 2. МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ	18
ГЛАВА 3. ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЙ И СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕПСКОЙ И ТИРСКОЙ СВИТ	30
3.1. Литолого-фациальный анализ	30
1.2. Секвенс-стратиграфическое моделирование	44
3.3. Обсуждение результатов	50
ГЛАВА 4. ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ, МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД	53
4.1. Нижнепепская подсвета.....	53
4.2. Верхнепепская подсвета	59
4.3. Нижнетирская подсвета.....	64
4.4. Верхнетирская подсвета	69
4.5. Обсуждение результатов	73
ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД	74
5.1. Нижнепепская подсвета.....	74
5.2. Верхнепепская подсвета	75
5.3. Нижнетирская подсвета.....	77
5.4. Верхнетирская подсвета	78
5.5. Сравнительный анализ данных по результатам U-Pb (LA-ICP-MS) исследования детритовых цирконов из терригенных отложений непской и тирской свит	80
5.6. Геодинамические условия формирования непской и тирской свит юга Непско-Ботуобинской антеклизы	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	87
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	98
СПИСОК ТАБЛИЦ	100
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Таблица 1. Содержание минералов в легкой и тяжелой фракции.	101
Таблица 2. Петрохимический состав.	102
Таблица 3 Концентрации редких и рассеянных элементов.....	106
Таблица 4. Результаты LA-ICP-MS U-Pb исследования детритовых цирконов.	113

ВВЕДЕНИЕ

Литолого-фациальные, петрографические, литогеохимические и геохронологические исследования терригенных пород позволяют восстановить этапы формирования и проследить эволюцию осадочных бассейнов. Объектами комплексного исследования стали терригенные отложения венда юга Непско-Ботуобинской антеклизы юго-восточной части Сибирской платформы.

Актуальность исследования

Всесторонние исследования вендских терригенных толщ Непско-Ботуобинской антеклизы представляют особый интерес в связи с их нефтегазоносностью. Вещественные характеристики этого стратиграфического интервала, фациальные переходы, секвенс-стратиграфический, литогеохимический и геохронологический анализы имеют особую значимость. Результаты исследований вендских терригенных пород Непско-Ботуобинской антеклизы, проведенных с привлечением как классических, так и современных прецизионных методик, позволят получить новые данные об их составе и возрасте, а также реконструировать геодинамические условия формирования этих отложений что, в дальнейшем, может быть использовано как при прогнозировании залежей углеводородного сырья и проведении геологоразведочных работ, так и при воссоздании широких палеогеографических реконструкций.

Цели и задачи исследования

Целью исследования явилось комплексное изучение терригенных отложений венда для уточнения условий формирования, и установления составов и возраста пород источника сноса с последующей реконструкцией геодинамических обстановок, контролировавших процесс накопления вендских терригенных толщ Непско-Ботуобинской антеклизы.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Выполнить литолого-фациальный анализ керн скважин и привести характеристику основных обстановок осадконакопления. Построить концептуальную секвенс-стратиграфическую модель.
2. Выполнить петрографические, минералогические и литогеохимические исследования, для выявления особенностей состава исследуемых пород изучаемых свит.
3. Установить состав пород в области питающей провинции с использованием петрографических, минералогических и литогеохимических данных, полученных в ходе настоящего исследования.
4. Провести геохронологические исследования детритовых цирконов U-Pb методом из терригенных отложений и установить основные возрастные популяции.

5. Восстановить геодинамические режимы бассейна седиментации вендских осадочных толщ и возраст пород в области сноса для терригенных отложений с использованием полученных результатов по комплексу методов (секвенс-стратиграфия, петрография, литогеохимия и геохронология).

Фактический материал

Работа выполнена на основе исследований терригенно-карбонатных отложений венда Непско-Ботуобинской антеклизы, проведенных при участии автора в течение 2016–2022 гг. В ходе данных работ были изучены терригенно-карбонатные породы непской и тирской свит по керну скважин и данным промысловой геофизики. Основой для работы послужили результаты геофизического исследования скважин, а именно гамма-каротаж (ГК) и нейтронный гамма-каротаж (НГК). Данный материал позволил разделить свиты на под-свиты и провести корреляцию скважин. Выполнен комплекс литолого-фациальных и секвенс-стратиграфических исследований. Всего было описано 20 скважин с суммарным выносом керна порядка 500 м. В работе приведены результаты исследований 8 скважин, по которым производился отбор керна для разностороннего изучения. Лабораторные исследования керна включали в себя петрографическое изучение шлифов - 100 штук, полуколичественный иммерсионный минералогический анализ - 13 проб, рентгенофлуоресцентный анализ и масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой – 54 парные пробы, а также геохронологические исследования (U-Pb) методом лазерной абляции - 4 пробы.

Научная новизна

1. Исследования автора являются новым этапом изучения Непско-Ботуобинской антеклизы, который характеризуется высокими объемами бурения, непрерывным отбором керна большого диаметра без его потери в интересующих стратиграфических интервалах. Следовательно, повышена детальность освещенности разреза.

2. На основании литолого-фациальных исследований, проведена генетическая типизация пород, интерпретация обстановок их формирования, а также разработана иерархическая схема фаций для терригенно-карбонатных отложений венда.

3. Впервые для Непско-Ботуобинской антеклизы построена секвенс-стратиграфическая модель непских и тирских отложений.

4. Установлены основные этапы развития бассейна седиментации в непское и тирское время.

5. Впервые проведены детальные петрографические, минералогические, литогеохимические и геохронологические исследования вендских терригенных пород юга Непско-Ботуобинской антеклизы.

6. Определены составы и возрасты пород в области питающих провинций.

Практическая значимость

Разработана генетическая систематика разномасштабных седиментационных объектов, составлены фототаблицы фаций вендских терригенно-карбонатных отложений Непско-Ботуобинской антеклизы. Данная часть работы является своего рода атласом фаций и может быть использована исследователями при проведении работ в данном регионе. Применение секвенс-стратиграфического анализа позволило построить и описать концептуальную фаціальную модель непской и тирской свит, как вертикальную последовательность четырех секвенсов, имеющих закономерную внутреннюю структуру. Коллектора углеводородов приурочены к гравелитам и песчаникам трактов низкого стояния уровня моря, а также песчаникам трактов высокого стояния уровня моря. Новые данные, полученные в ходе выполнения работы, могут быть использованы как при прогнозировании залежей углеводородного сырья, так и при межрегиональных стратиграфических корреляциях и широких палеогеографических реконструкциях позднедокембрийских осадочных комплексов Сибирской платформы.

Защищаемые положения

1. Разрезы непской и тирской свит состоят из четырех секвенсов, системные тракты которых отвечают циклам относительных колебаний уровня моря и отражают переход от терригенной (непской) к терригенно-карбонатной (тирской) молассе, что свидетельствует о общей трансгрессии моря, охватившую юг Сибирской платформы в позднем венде, максимум которой пришелся на тирское время.

2. Для ранненепских осадочных пород реконструируются источники смешанного (кислого и основного) состава, а для поздненепских и тирских осадочных отложений фиксируется преобладание в области источника пород кислого состава.

3. Источниками обломочного материала для непской и тирской свит юга Непско-Ботуобинской антеклизы являлись породы фундамента Сибирской платформы и прилегающих областей Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Апробация работы

По результатам исследования опубликовано 18 работ: 11 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень WoS, Scopus, RSCI и ВАК при Минобрнауки и 7 материалов совещаний и тезисов докладов. Основные положения и результаты исследований докладывались на всероссийских и международных научно-практических конференциях, в том числе: EAGE «Природные процессы в нефтегазовой отрасли» (Тюмень, 2017); VII Всероссийском литологическом совещании (Екатеринбург, 2018); конференции «Новая идея» на лучшую научно — техническую разработку ТЭК (Москва, 2018); EAGE 8-й меж-

дународной геолого-геофизической конференции «Инновации в геонауках — время открытий» (Санкт-Петербург, 2018); конференции студентов и молодых ученых «Нефть и Газ» (Москва, 2019); конференции EAGE «Горизонтальные скважины» (Калининград, 2019); тектоническом совещании «Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики» (Москва, 2020); конференции EAGE «ГеоБайкал» (Иркутск, 2020); Всероссийское совещание «Фундаментальные проблемы изучения вулканогенно-осадочных, терригенных и карбонатных комплексов» (Москва, 2021) и др.

Структура и объем работы

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического списка. Объем работы: 122 страниц, включает 53 рисунка, 2 таблицы и приложения (4 таблицы).

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность и сердечную благодарность своему научному руководителю З.Л. Мотовой, а также выражает благодарность за консультации, рекомендации и ценные советы при подготовке работы профессору кафедры региональной геологии и истории Земли МГУ Л.Ф. Копаевич и старшему научному сотруднику «ПермНИ-ПШнефть» А.И. Сулиме. Своим первым учителям в клубе юных геологов г.Перми: Л.А. Работе, Я.Ш. Брянскому, Р.А. Лядовой, Л.Е. Жадановой и др. за то, что заразили «геологической романтикой», преподали основы геологии, научили самостоятельно работать и ценить время; а также коллективу кафедры региональной и нефтегазовой геологии ПГНИУ в лице Т.В. Карасевой, М.Н. Черных и др. Коллективу ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» филиал «ПермНИПШнефть» в лице Т.И. Коршуновой, Н.А. Попову, М.С. Сергееву и др. Коллективу ООО «ТННЦ» в лице: Н.В. Насоновой, А.П. Вилесова, М.В. Лебедева, Н.А. Аипова, А.И. Кудаманова, А.В. Храмцовой, О.В. Неделько, А.П. Черепковой и др. Коллективу ООО «ИНК» в лице Е.В. Никулина, М.Ю. Никулиной, М.И. Гёкче, О.А. Лукьяновича и др. Коллективу АО «СНИИГГиМС» в лице Н.А. Ивановой. Коллективу центра коллективного пользования «АЦГПС» НИ ТГУ в лице А.В. Хитаровой и И.В. Афонина. Также автор хочет поблагодарить иркутских геологов в лице: Ю.А. Агафонова, О.В. Токаревой, Р.Р. Валеева и И.К. Семинского. Автор выражает благодарность родителям и своей супруге за терпение и всестороннюю поддержку во время написания работы.

ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА РАБОТ

1.1. История изучения

Историю изучения территории, выделяемой с 1975 г. как Непско-Ботуобинская антеклиза (НБА), условно можно разделить на несколько этапов [Непско-Ботуобинская ..., 1986; Конторович и др., 1994].

I этап (50-е годы XIX века – 20-е годы XX столетия). Начиная со второй половины XIX века, на территории изучаемого района выполнялись первые полевые геологические маршруты. К числу первых исследователей, в первую очередь, следует отнести работы В.Г. Меглицкого, Р.К. Маака, А.Л. Чекановского, П.Л. Драверта, А.Г. Ржонсницкого, В.Н. Зверева и др. На этом этапе были описаны обнаженные участки и получены первые сведения о геологическом строении региона.

II этап (30-е – 50-е годы XX столетия). Связан с работами А.Д. Архангельского, И.М. Губкина, Н.С. Шатского и др. Проводились топографическая и геологическая съемки, выполнялись геофизические работы, а также небольшой объем колонкового и глубокого бурения, преимущественно на юге НБА, в пределах Иркутской области. Работы, главным образом, были направлены на поиск углеводородов. В результате геологических и геофизических работ второго этапа были получены новые данные по стратиграфии, литологии, тектонике, геохимии и перспективам нефтегазоносности НБА.

III этап (60-е – 90-е годы XX столетия). Проводился большой объем поискового и разведочного бурения, результатом которого стало уточнение геологического строения, связывания перспектив нефтегазоносности с венд-нижнекембрийскими отложениями НБА и открытие первых месторождений. В 1975 г. учеными СНИИГГиМСа и ИГиГ СО РАН СССР А.Э. Конторовичем, В.С. Сурковым, А.А. Трофимуком и др., рассматриваемая территория выделена в единую крупную положительную структуру – Непско-Ботуобинскую антеклизу и одноименную нефтегазоносную область, как единый крупный объект поисков нефти и газа в отложениях венда и нижнего кембрия [Конторович и др., 1994].

Новый этап изучения НБА, начавшийся условно с 2000 г., характеризуется высокими объемами бурения и сейсморазведкой. Современные керноотборочные снаряды позволяют непрерывно отбирать керн большим диаметром без его потери. В настоящее время изученность НБА является весьма неравномерной и, в целом, относительно низкой, что связано с распределением лицензионных участков между субъектами рынка и изолированности результатов исследований от научного сообщества под действием коммерческой или иной тайны.

1.2. Тектонический очерк

Непско-Ботуобинская антеклизы была выделена в 1975 году [Непско-Ботуобинская антеклизы..., 1986]. На севере НБА граничит с Сюгджерской седловиной; на северо-востоке с Ыгыатинской впадиной; на востоке с Вилючанской седловиной, Нюйско-Джербинской впадиной и Предпатомским региональным прогибом; на юге и юго-западе с Ангаро-Ленской ступенью; на западе отделяется от Байкитской антеклизы Катангской седловиной, осложненной Собинско-Тэтэрским выступом; на севере граничит с Катангской синеклизой, осложнённой на границе с НБА Наканновским выступом (рис. 1.1).

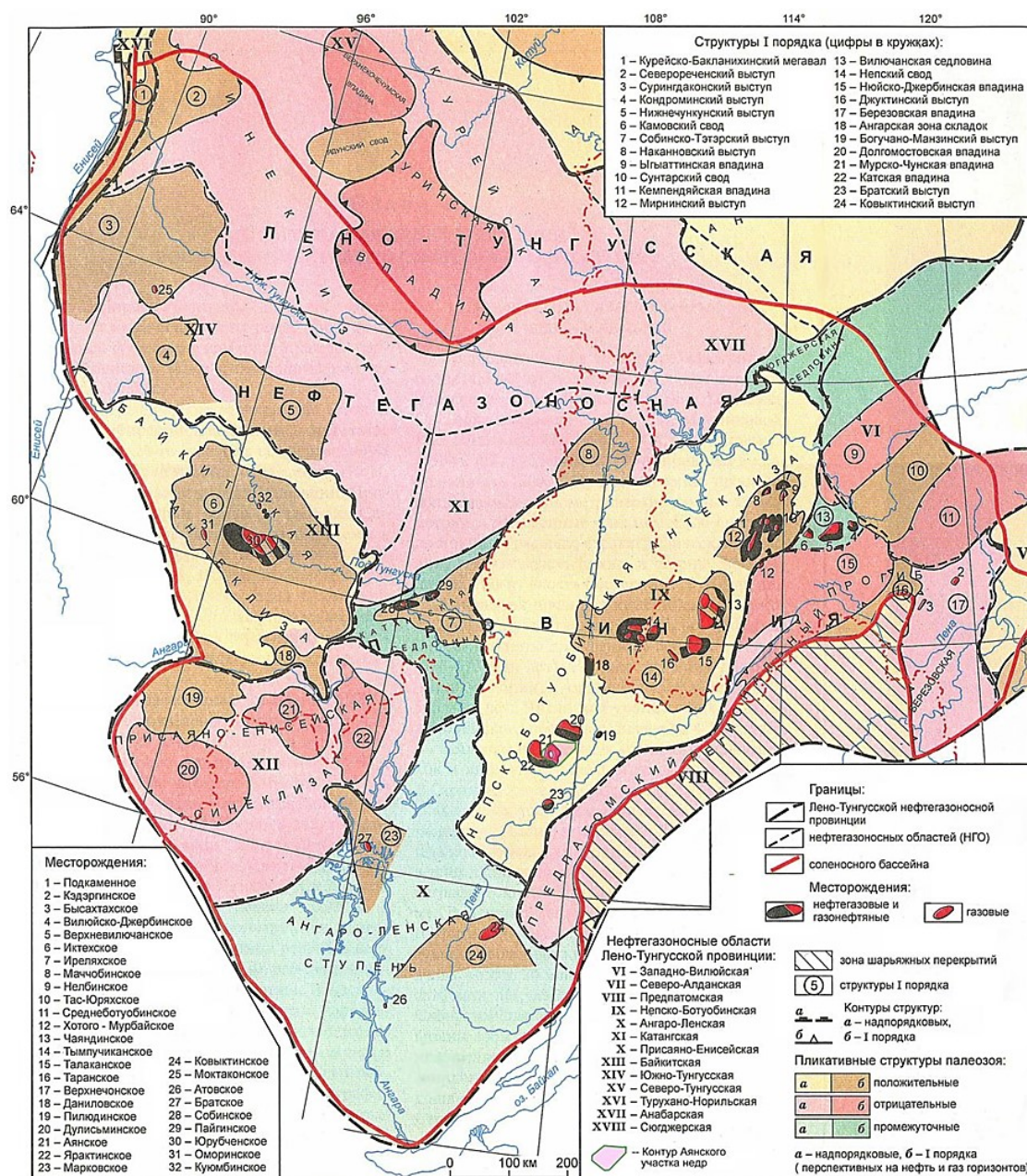


Рисунок 1.1. Фрагмент тектонической карты нефтегазоносных провинций Сибирской платформы [Старосельцев, 2005].

Непско-Ботуобинская антеклиза осложнена, главным образом, двумя положительными структурами I порядка – Непским сводом и Мирнинским выступом.

Наиболее высокое положение в структуре Непско-Ботуобинской антеклизы занимает Непский свод. Эта крупная (площадь около 37 тыс. км²) структура I-го порядка по подошве кембрия оконтуривается изогипсой -1200 м, границы нередко имеют разломный характер. Амплитуда свода превышает 500 м. В целом он имеет правильное изометричное строение.

С севера к Непскому своду примыкает Мирнинский выступ. На севере и востоке его граница проводится по изогипсе кровли венда -1400 м, на западе он ограничен зонами разломов [Конторович и др., 2004]. Площадь выступа составляет около 13.5 тыс. км², амплитуда превышает 300 м, вся его территория интенсивно нарушена дизъюнктивными дислокациями амплитудой 20-50 м. Мирнинский выступ осложнен пятью пологими локальными брахиантиклинальными поднятиями.

1.3. Литолого-стратиграфическая характеристика

Непско-Ботуобинская антеклиза вместе с Предпатомским краевым прогибом входят в Предпатомский осадочный бассейн [Непско-Ботуобинская антеклиза..., 1986] (рис. 1.2а). По геодинамической систематике осадочных бассейнов он принадлежит к краевому прогибу коллизионных поясов (прогиб форланда) [по Белинская и др., 2001; Маслов, Алексеев, 2003]. Предпатомский прогиб значительной своей частью входит в состав складчатого обрамления Сибирской платформы [Шемин, 2018] (рис. 1.2б).

Корреляция внутренних и внешних районов Сибирской платформы сложна, дискуссионна и не является целью данной работы. Но для наиболее полного представления о возрасте исследованных пород непской и тирской свит Непско-Ботуобинского внутреннего района Сибирской платформы, была предпринята попытка их сопоставления с одновозрастными терригенными толщами Присаянского, Прибайкальского и Патомского внешних районов Сибирской платформы. В основу этой схемы были взяты материалы [Решений..., 1983, 1989; Стратиграфия нефтегазоносных ..., 2005; Шемин, 2007]. Таким образом, непская свита сопоставляется с хужирской свитой и нижними частями ушаковской и жербинской свит, а тирская свита с шаманской свитой, верхними частями ушаковской и жербинской свит (рис. 1.3).

Стратиграфия изучаемых отложений разрабатывается и совершенствуется не одно десятилетие [Решения Всесоюзного..., 1983; Решения четвертого..., 1989, Шенфиль, 1991; Стратиграфия нефтегазоносных..., 2005; Шемин, 2007; Мельников, 2018 и др.].

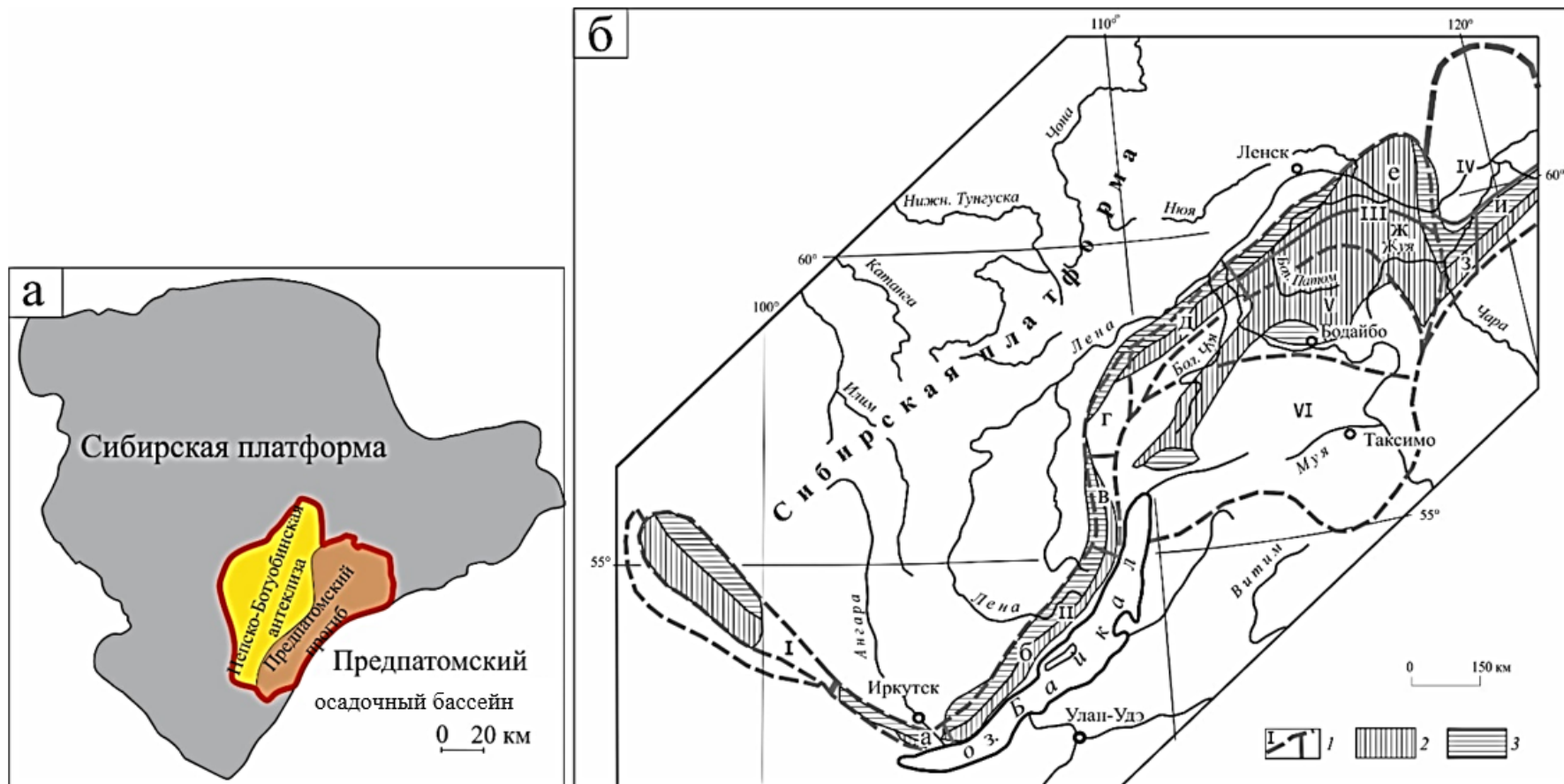


Рисунок 1.2. Положение Непско-Ботубобинской антеклизы в Предпатомском осадочном бассейне (а) (по [Непско-Ботубобинская ..., 1986] с изменениями автора), **Схема районирования Саяно-Байкало-Патомского региона** (б) (составил Станевич А. М. на основе [Решения..., 1983] взята из книги [Шемин, 2018]).

Условные обозначения к схеме районирования Саяно-Байкало-Патомского региона (б): 1 — контуры СБПР и номера структурно-формационных районов и зон: I — Присяянский район, Бирюсинская зона, II — Прибайкальский район, III — Патомский район, IV — Березовский район, V — Бодайбинский район, VI — Байкало-Муйский район; зоны: а — Иркутская, б — Анайско-Голоустенская, в — Ирельская, г — Чая-Миньская, д — Чуйская, е — Уринская, ж — Челончено-Жуинская, з — Ничатская, и — Токкинская; 2, 3 — осадочные и осадочно-вулканогенные отложения: 2 — неопротерозоя нерасчлененного, 3 — венда.

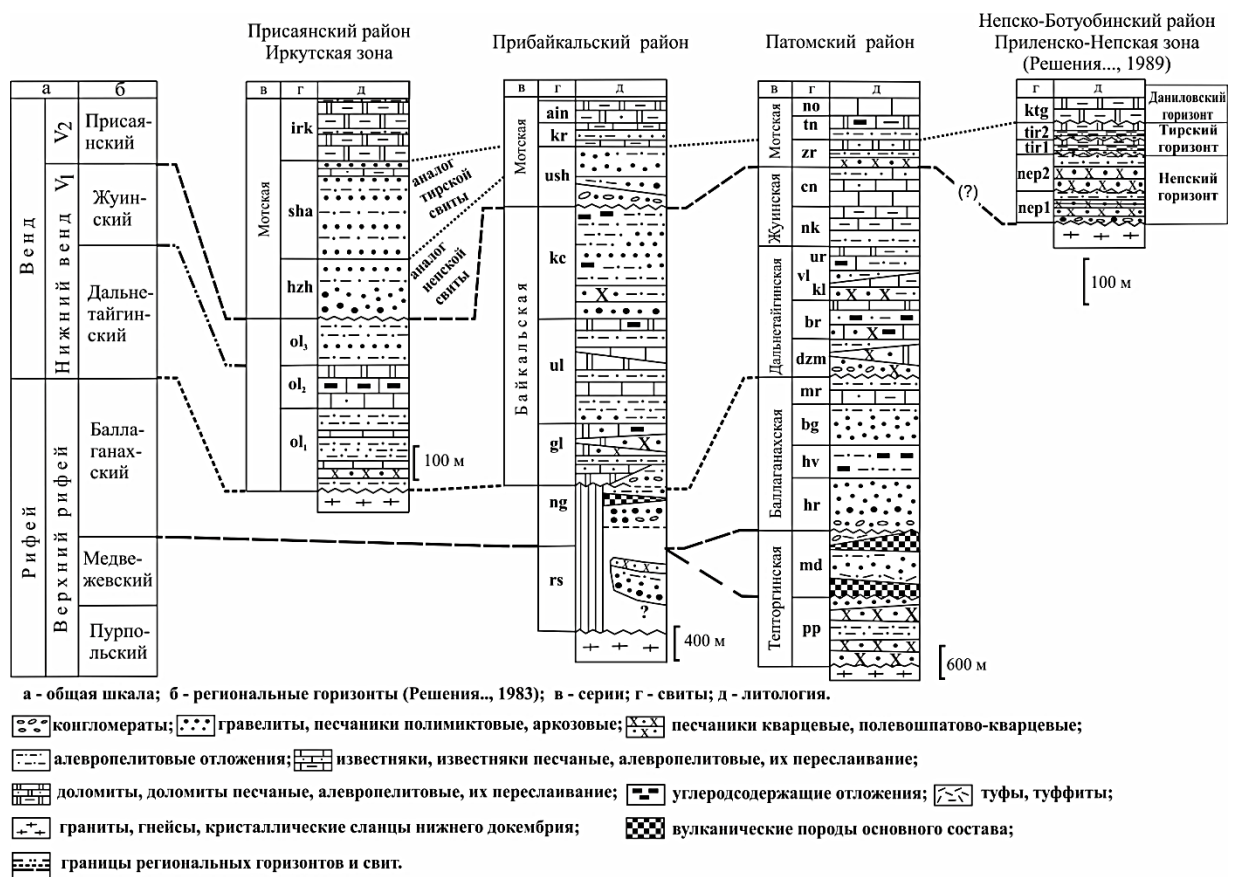


Рисунок 1.3 Корреляция отложений позднего докембрия Саяно-Байкало-Патомского внешнего района с Непско-Ботубинским внутренним районом Сибирской платформы.

Обозначения свит и толщ. Присаянская зона: *ol* – олхинская, *hzh* – хужирская, *sha* – шаманская, *irk* – иркутская. Прибайкальская зона: *rs* – рассохинская, *ng* – нуганская, *gl* – голоустенская, *ul* – улунтуйская, *kc* – качергатская, *ush* – ушаковская, *kr* – куртунская, *ain* – аянканская. Патомская зона: *pp* – пурпольская, *md* – медвежеская, *hr* – харлухтакская, *hv* – хайвергинская, *bg* – бугарихтинская; *mr* – тариинская, *dzm* – джемжуканская, *br* – баракунская, *kl* – каралонская, *vl* – валюхтинская, *ur* – уринская; *nk* – никольская, *sp* – ченчинская, *zr* – жербинская, *tn* – тинновская, *po* – нохтуйская. Приленско-Непская зона: *пер1* – нижненепская подсвита; *пер2* – верхненепская подсвита; *tit1* – нижнетирская подсвита, *tit2* – верхнетирская подсвита, *ktg* – катангская свита.

Согласно действующей стратиграфической схеме, изучаемый стратиграфический интервал непского и тирского горизонтов относится к нерасчленённой толще венда [Решения четвертого..., 1989]. Тирский горизонт во всех модифицированных схемах отнесен к верхнему венду [Стратиграфия нефтегазоносных..., 2005; Мельников, 2018].

Непский горизонт либо полностью соотносится с нижним вендом [Стратиграфия нефтегазоносных..., 2005], либо только его нижний подгоризонт [Мельников, 2018]. Таким образом, возрастное обоснование и корреляция отложений не имеет однозначного решения и является дискуссионной. В предлагаемых вариантах схем региональные и общие стратиграфические подразделения устанавливаются исключительно на основе литолого-фациальных признаков, что противоречит Стратиграфическому кодексу [Стратиграфический кодекс, 1992, 2006, 2019].

В последнее время, в изучаемом регионе активно развиваются биостратиграфические исследования. В работе Е.Ю. Голубковой и Б.Б. Кочнева [Голубкова, Кузнецов, 2014; Кочнев и др., 2018], приведена корреляция вендских (эдиакарских) отложений на основе биостратиграфических и изотопно-хемостратиграфических данных. Эти и другие исследования позволили обосновать границы и объем нижнего и верхнего отделов венда [Голубкова и др., 2012; Голубкова, Кочнев, 2020 и ссылки в данной работе]. Согласно предложенной схеме непский горизонт отнесен к верхнему отделу венда. Данная схема принята автором за основу.

Литолого-стратиграфическому строению изученного района посвящены следующие работы [Авдеева и др., 1978; Колосов, Авдеева, 1980; Воробьев, 1982; Гроссгейм и др, 1984; Рудавская, Кокоулин, 1985; Нефтегазоносные бассейны ..., 1994; Советов, Благовидов, 2004; Советов, 2018 и др.].

Изученный стратиграфический интервал, согласно принятой стратиграфической схемы [Решения четвертого..., 1989], соответствует объёму непского и тирского горизонтов, отвечающих переходу от преимущественно терригенного осадконакопления к карбонатному. Выше по разрезу, со значительным перерывом, отложения тирского горизонта перекрываются карбонатными отложениями даниловского горизонта.

Район исследования приурочен к Катангско-Ботуобинскому региону, расположенному на юго-востоке центральной части Сибирской платформы. В состав Катангско-Ботуобинского региона входит рассматриваемый в работе Непско-Ботуобинский район. В районе выделены три структурно-фациальные зоны (СФЗ): Приленско-Непская, Гаженская и Ботуобинская. Район исследования расположен на юге Приленско-Непской СФЗ (рис. 1.4).

Согласно принятой стратиграфической схемы, непскому горизонту соответствует непская и курсовская свиты, а тирскому горизонту тирская и бюкская свиты. На изучаемой территории фиксируются следующие стратиграфические несогласия: в подошве непского (преднепское), в подошве тирского (предтирское) и даниловского (предданиловское) горизонтов [Решения..., 1989]. В последующих модификациях стратиграфической схемы, пред-

шественниками было выделено внутринепское стратиграфическое несогласие для Приленско-Непской СФЗ [Воробьев, 1982], доказана несостоятельность предтирского стратиграфического несогласия для Ботубобинской СФЗ [Лебедев и др., 2014] (рис. 1.5).

Приленско-Непская СФЗ занимает юго-западную и центральную территорию Непско-Ботубобинской антеклизы, включая Непский свод. Стратотипическим разрезом выбрана скв. Марковская 23 [Тыщенко, 1980; Решения четвертого..., 1989].

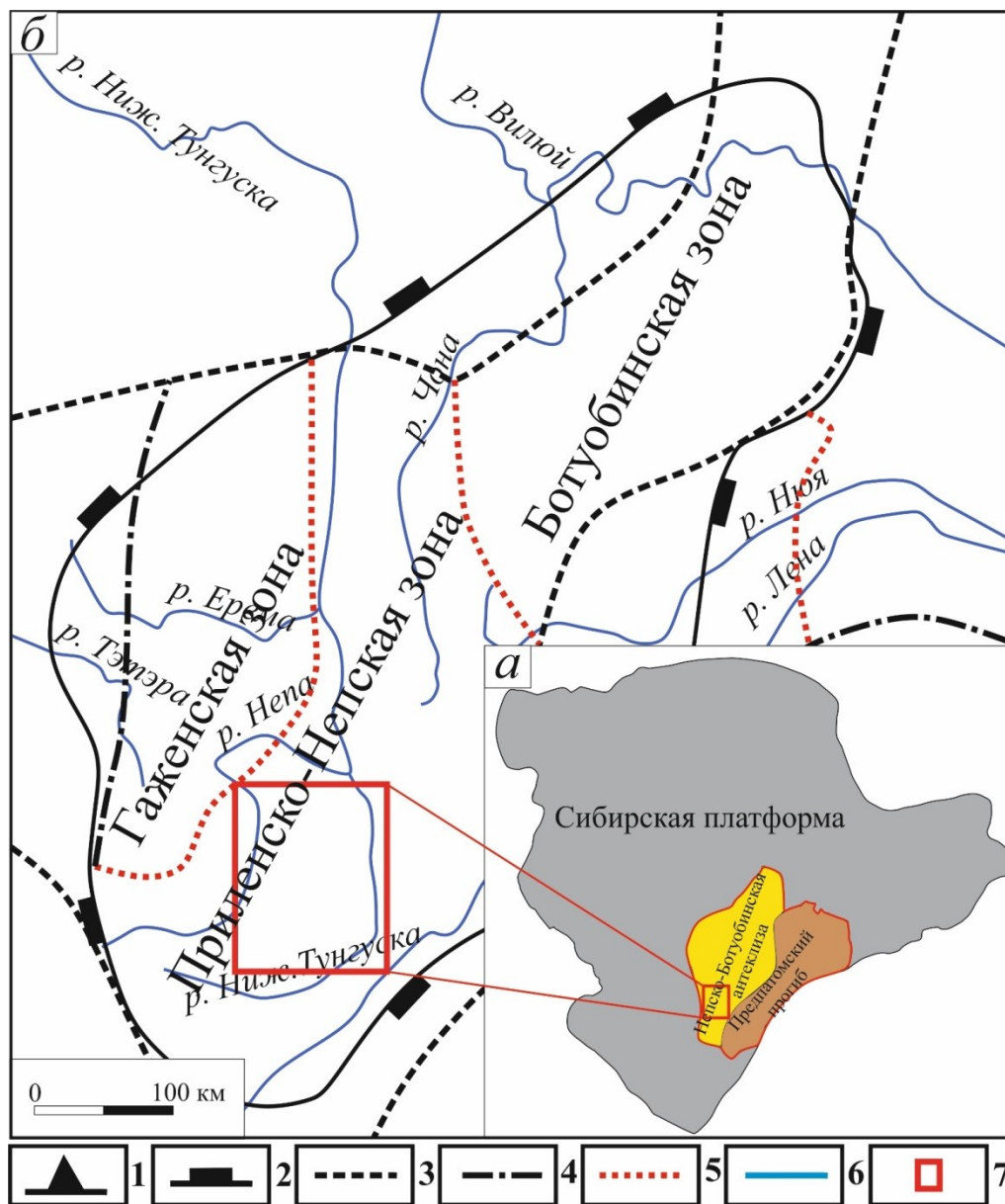


Рисунок 1.4. Район исследований (а) и фрагмент схемы структурно-фациального районирования Сибирской платформы (б) [Стратиграфия нефтегазоносных ..., 2005].

Условные обозначения: 1 — граница Сибирской платформы; 2 — граница Непско-Ботубобинской антеклизы; 3 — границы фациальных регионов; 4 — границы фациальных районов; 5 — границы фациальных зон; 6 — гидросеть; 7 — район исследования.

Согласно принятой стратиграфической схемы, в регионе были выделены следующие свиты: непская (непский горизонт), тирская (тирский горизонт) и, перекрывающая их, катангская свита, нижнего подгоризонта даниловского горизонта [Решения четвертого..., 1989] (рис. 1.6, 1.7).

Породы кристаллического фундамента на исследованной территории вскрыты единичными скважинами и представлены гранитами, гранито-гнейсами красновато-серыми, розовыми, среднекристаллическими, а также габбро-диоритами серыми, темно-серыми мелкокристаллическими.

Система	Отдел	Горизонт	Подгоризонт	Корреляция местных стратиграфических подразделений Непско-Ботуобинского района		
				Приленско-Непская зона	Гаженская зона	Ботуобинская зона
Венд	Верхний	Даниловский	Нижний	Катангская свита 80-150 м		Успунская свита 85-150 м
		Тирский		Тирская свита 40-70 м		Верхняя 85-130 м Нижняя 5-30 м
	Непский	Верхний		Верхняя Непская свита 30-80 м	Непская свита	Бюкская свита
		Нижний		Нижняя Непская свита 0-70 м		
		Подстилающие отложения		Фундамент (AR-PR ₁)		

Рисунок 1.5. Фрагмент региональной стратиграфической схемы вендских отложений НБА [Решения ..., 1989] с исправлениями положения несогласий [Воробьев, 1982; Лебедев и др., 2014].

Непская свита (названа по р. Непа на севере Иркутской области) с региональным несогласием залегает на образованиях фундамента. Стратотип свиты в скв. Марковская 23 (интервал 2556.7–2650.9 м) [Тыщенко, 1980; Решения четвертого..., 1989; Стратиграфический словарь ..., 1994]. Подразделяется на верхненепскую и нижненепскую подсвиту.

Нижненепская подсвита литологически представлена гравийно-глинисто-песчаными

породами. В подошве нижненепской подсвиты отмечаются гравелиты в ассоциации с конгломератами и песчаниками; в средней части разреза залегают песчаники с прослоями алевролитов, которые выше переходят в алевролиты. Мощность подсвиты изменяется от первых метров до 70 м. На территории центральной части СФЗ в отложениях подсвиты выделяется верхнечонский второй продуктивный горизонт (ВЧ2), а на юге — безымянный.

Верхненепская подсвита литологически представлена гравийно-глинисто-песчаными породами с единичными прослоями смешанных терригенно-сульфатно-карбонатных пород. Подсвита представлена песчаниками: в нижней половине разреза — разномерными неравномерно гравелистыми и гравийными, чередующимися с гравелитами, в верхней — мелкозернистыми с прослоями алевролитов. В кровле разреза подсвиты располагаются смешанные терригенно-сульфатно-карбонатные породы. Мощность от первых десятков метров до 80 м. К верхненепской подсвите центральной части СФЗ приурочен верхнечонский первый продуктивный горизонт (ВЧ1), а на юге — ярактинский.

Тирская свита (названа по р. Тира, приток р. Лена, Иркутская область) со стратиграфическим несогласием залегает на верхненепской подсвите. Стратотип свиты в скв. Верхнетирская 1 (интервал 2739.3–2786.3м) [Тыщенко, 1980; Воробьев, 1982; Стратиграфический словарь..., 1994]. Строение свиты в центральной и южной частях Приленско-Непской СФЗ значительно отличается.

Центральная часть. Разделение тирской свиты на подсвиты затруднено из-за наличия многочисленных перерывов. Разделения сделано на основе секвенс-стратиграфического изучения разрезов скважин и региональной корреляции [Плюснин и др., 2019]. Нижнетирская подсвита. Снизу вверх представлена переходом от аргиллитов до алевролитов глинистых, в кровле - до доломитов. Мощность от первых метров до 30 м. Верхнетирская подсвита представлена карбонатными и карбонатно-глинистыми породами, в основном доломитами. Мощность от первых метров до 40 м.

Южная часть. В строении тирской свиты наблюдается четкое разделение на подсвиты: нижнетирскую и верхнетирскую [Плюснин и др., 2020; Плюснин, Гёкче, 2020]. *Нижнетирская подсвита* разделена на две пачки. *Сульфатно-глинисто-песчаная пачка.* Мощность от первых метров до 25 м. К песчаникам приурочен парфеновский продуктивный горизонт. *Сульфатно-глинисто-доломитовая пачка.* Мощность от первых метров до 25 м. *Верхнетирская подсвита.* В разрезе выделены две пачки. *Нижняя сульфатно-карбонатно-глинисто-песчаная пачка.* Мощность от первых метров до 20 м. К песчаникам приурочен верхнетирский продуктивный горизонт. *Глинисто-сульфатно-карбонатная пачка.* Мощность от 10 до 20 м.

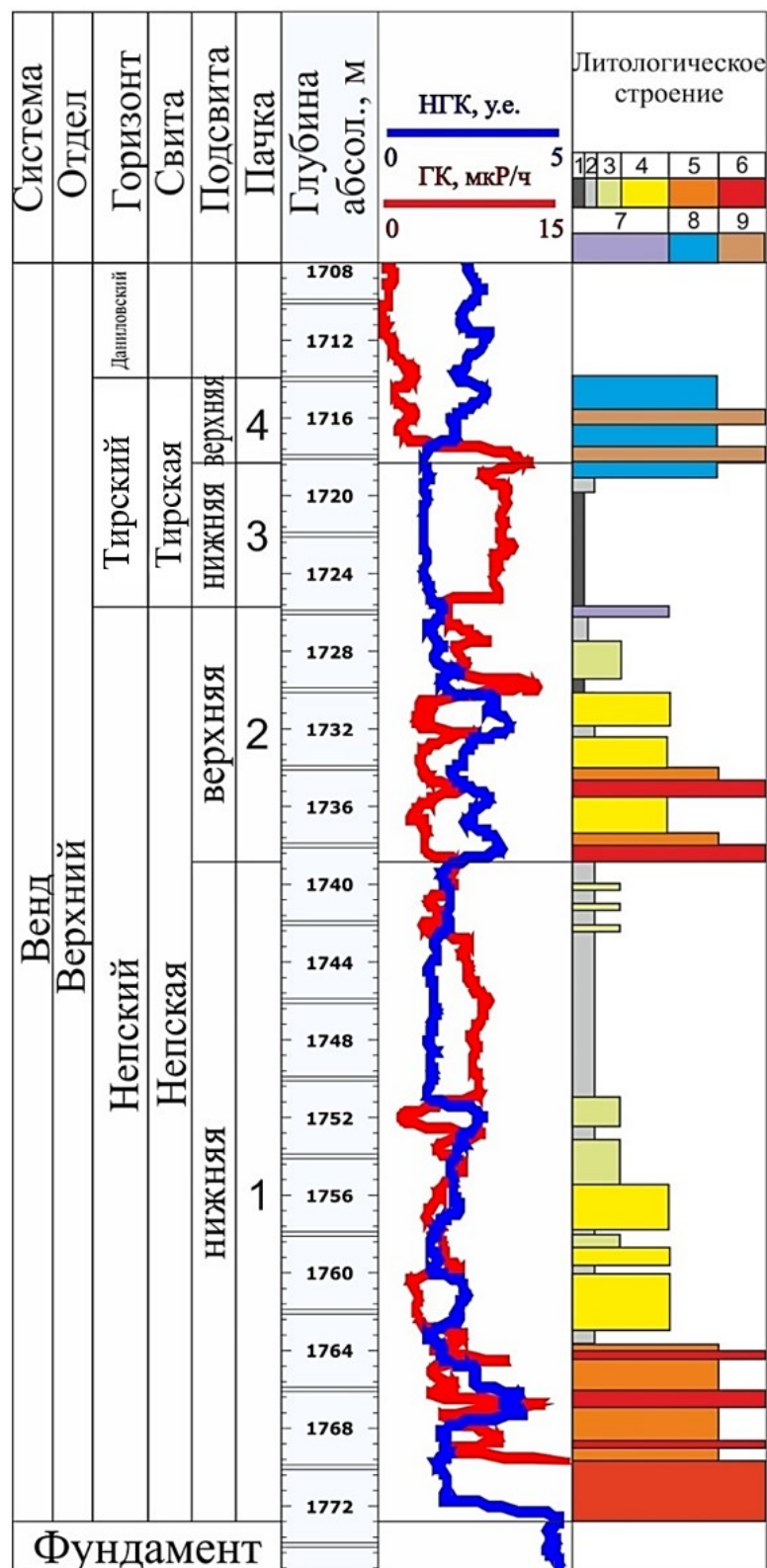


Рисунок 1.6. Сводный геолого-геофизический разрез центральной части Прилененско-Непеской СФЗ [Плюснин, Гёкче, 2020].

Пачки непеской свиты: 1-гравийно-глинисто-песчаная; 2-гравийно-глинисто-песчаная с единичными прослоями смешанных терригенно-сульфатно-карбонатных пород. Пачки тирской свиты: 3- сульфатно-доломитово-глинистая; 4-доломитовая. Литологическое строение: 1-аргиллиты; 2-алевролиты; 3-мелкозернистые песчаники; 4-среднезернистые песчаники; 5-крупнозернистые песчаники; 6-гравелиты и конгломераты; 7-терригенно-сульфатно-карбонатные породы; 8-доломиты; 9-мергель доломитовый.

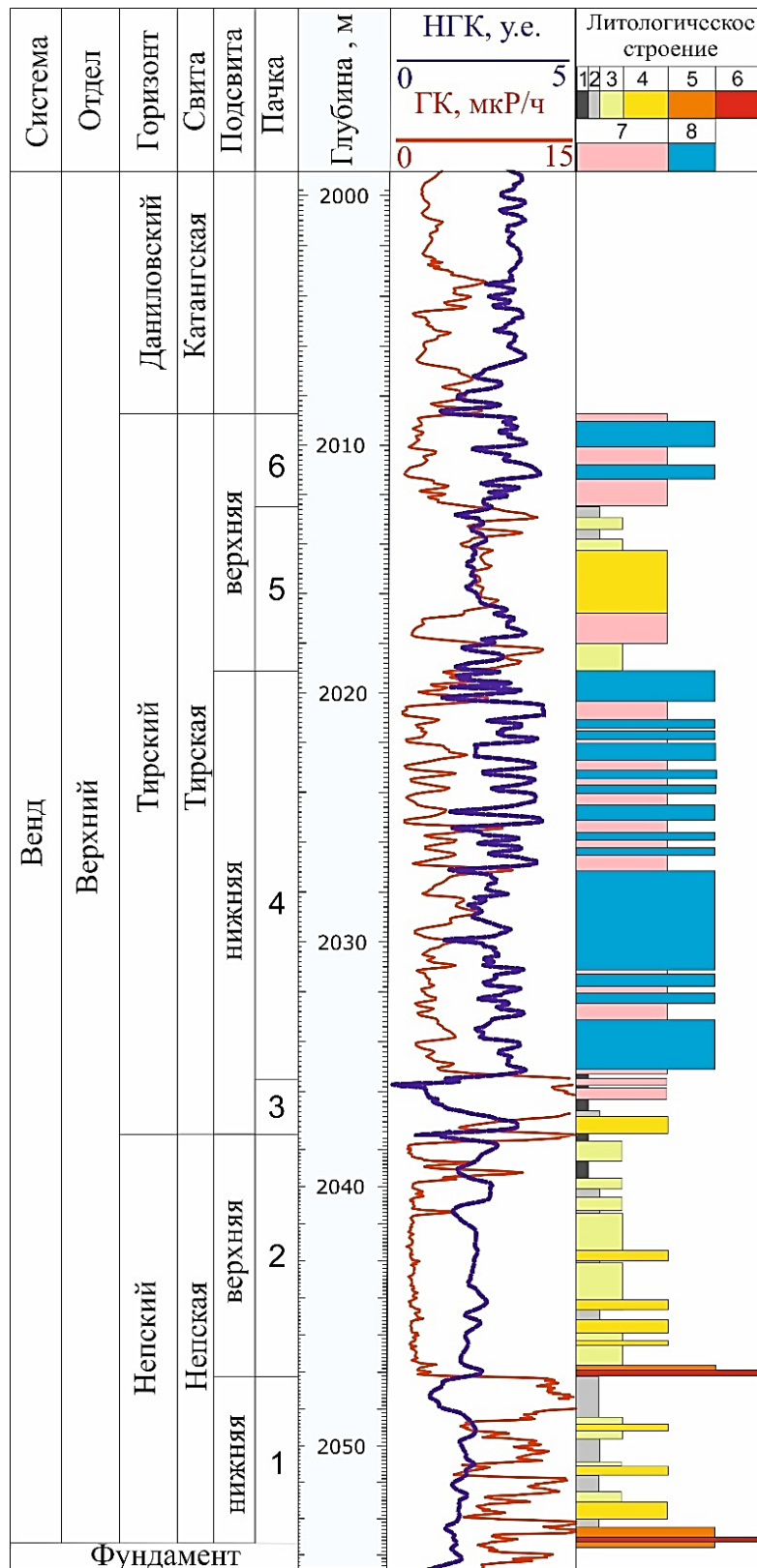


Рисунок 1.7. Сводный геолого-геофизический разрез южной части Приленско-Непской СФЗ [Плюснин, Гёкче, 2020].

Пачки непской свиты: 1,2-гравийно-глинисто-песчаная. Пачки тирской свиты: 3-сульфатно-глинисто-песчаная; 4-сульфатно-глинисто-доломитовая; 5- глинисто-песчаная; 6-глинисто-сульфатно-карбонатная. Литологическое строение: 1-аргиллиты; 2-алевролиты; 3-мелкозернистые песчаники; 4-среднезернистые песчаники; 5-крупнозернистые песчаники; 6-гравелиты; 7-сульфатно-глинисто-карбонатные породы; 8-доломиты.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В ходе исследования были изучены терригенно-карбонатные породы непской и тирской свит по керну скважин и данным промысловой геофизики. Карта фактического материала с точками опробованных скважин показана на рисунке 2.1. Схемы корреляций геолого-геофизических разрезов приведены на (рис. 2.2, 2.3).

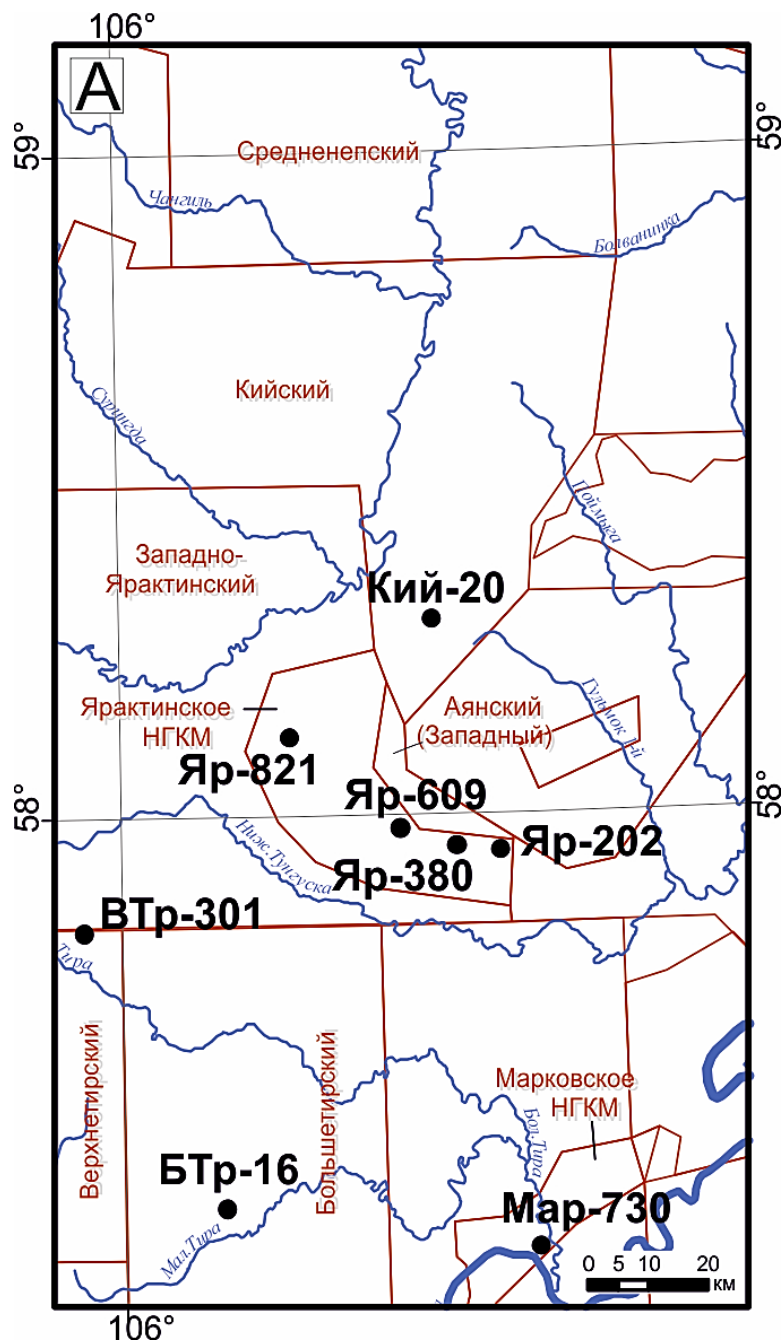


Рисунок 2.1. Обзорная карта района исследований с точками скважин и границами лицензионных участков.

Принятые сокращения скважин: Кий – Кийская; Яр – Ярактинская; ВТр - Верхнетирская; БТр - Большешетирская; Мар - Марковская.

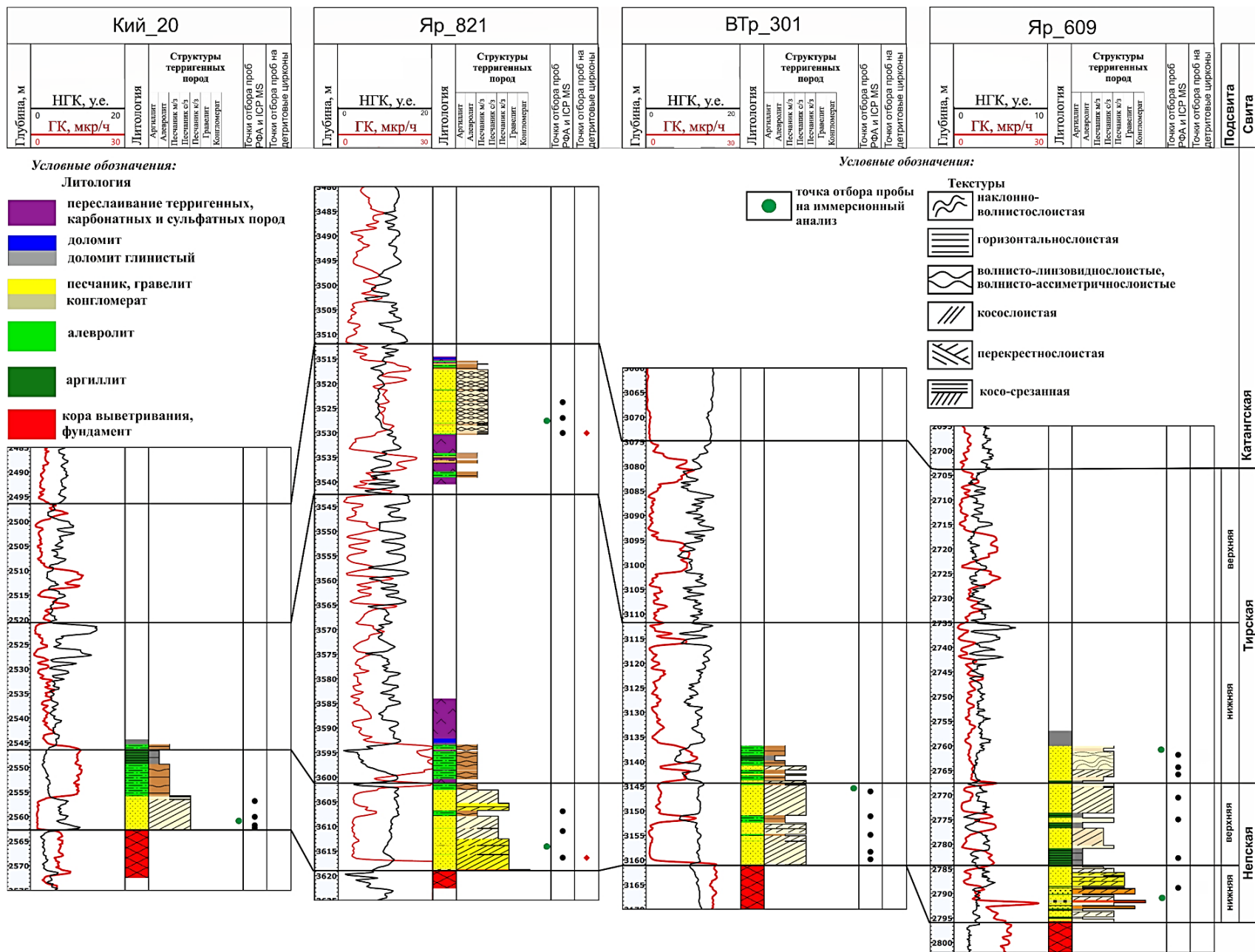


Рисунок 2.2. Геолого-геофизические разрезы изученных скважин с точками отбора проб.

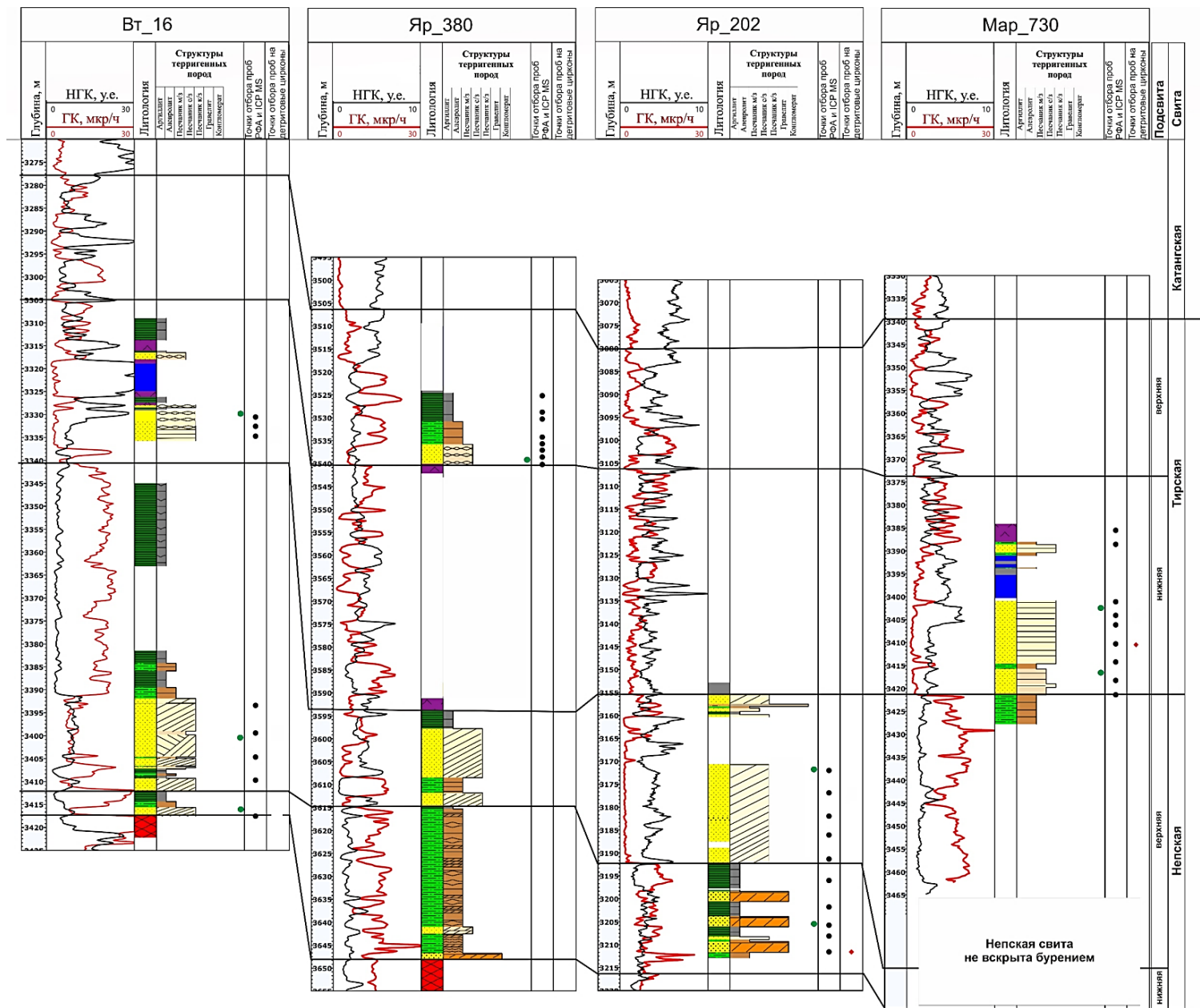


Рисунок 2.3. Геолого-геофизические разрезы изученных скважин с точками отбора проб.
Условные обозначения приведены на рисунке 2.2.

Литолого-фациальный анализ. Методика литолого-фациального анализа довольно подробно освещена как в отечественной [Ботвинкина, 1962, 1965; Романовский, 1977; Цейслер, 1992; Алексеев, 2002; Маслов, 2005; Япаскурт, 1994, 2005; Чернова, 2008; Кузнецов, 2011; Барабоскин, 2011; Жемчугова, 2014 и др.], так и в зарубежной [Allen, 1968; Рейнек, Сингх, 1981; Лидер, 1986; Селли, 1989; Обстановки осадконакопления ..., 1990; Einsele, 2000; The Sedimentary ..., 2003; Olszewski, 2014; Predicting Shallow ..., 2016 и др.] литературе и в повторении не нуждается. Необходимо отметить, что наиболее важным фактором, определяющим успешность выполнения исследований, является обеспеченность работ качественным керновым материалом с полным отбором из всех интересующих стратиграфических интервалов. При изучении терригенных отложений была использована классификация В.Т. Фролова [Фролов, 1993] обломочных и глинистых пород по структурным признакам (размер и форма обломков). Для вещественной характеристики смешанных и карбонатных пород использована классификация С.Г. Вишнякова [Вишняков, 1933]. Для структурно-генетической классификации карбонатов была использована классификация Р.Дж. Данема, дополненная А. Эмбри и Дж. Кловеном, основанная на количественных соотношениях первичных структурных компонентов пород. Различное соотношение илистого и зернистого компонентов свидетельствует о неодинаковой гидродинамической активности среды осадконакопления [Danham, 1962; Embry, Klován, 1971].

Далее приведены основные термины, используемые в работе.

Литотип — это литологически однородная (по составу, структуре и строению) осадочная единица. Типичный слой или устойчивый комплекс первичных литологических признаков, свидетельствующих о способе образования и условиях формирования [Фролов, 1993].

Литогенетический тип — это осадочная единица, выделяется в разрезе по первичным литологическим признакам и отвечает устойчивым и достаточно узким по значениям физико-химическим параметрам среды; характеризуется структурно-текстурными особенностями, вещественным составом и другими генетическими признаками [Ботвинкина, 1965].

Фация — это обстановка осадконакопления, овеществленная в осадке или породе, или, иными словами, не только комплекс физико-географических условий среды осадконакопления, в результате которых сформировались осадки, но и сами осадки, обладающие определенным сочетанием первичных признаков [Жемчужников и др., 1959] или «условия+осадок» [Крашенинников, 1971]; элементарная единица палеоландшафта.

Макрофация (ассоциация фаций) — это комплекс сопряженных фаций, отвечающих крупным участкам ландшафта [Алексеев, 2002].

Укрупненная макрофация (*обстановка осадконакопления*) представлена в виде группы фаций, состоящей, в свою очередь, из закономерно чередующихся литогенетических типов пород,

обладающих характерными генетическими признаками, определенными для каждой фации [Алексеев, 2002].

Секвенс-стратиграфический анализ. При секвенс-стратиграфическом расчленении разреза и построении моделей автор руководствовался следующей литературой [Ковалевский, Маргулис; Габдуллин и др., 2008; Лебедев, 2008; Маргулис, 2008; Зорина и др., 2010; Galloway, 1989; Vail, Mitchum, 1977; Vail, et al., 1991; Posamentier, Allen, 1999; Catuneanu, 2002, 2006; Embry, 2002 и др.].

Концепция секвенс-стратиграфического анализа наиболее полно разработана Д. Ван Вагонером, Г. Позаментьером, П.Р. Вейлом, О. Катуняну и др. [Van Wagoner et al., 1987; Catuneanu et al., 1998 и др.]. Основой концепции секвенс-стратиграфического анализа является понятие аккомодационного (седиментационного) пространства между поверхностью осадконакопления и уровнем моря.

Секвенция – это относительно согласная последовательность генетически взаимосвязанных пластов, ограниченная в кровле и подошве стратиграфическими несогласиями или соответствующими им согласными границами [Mitchum, 1977, Posamentier et al., 1999]. Она сложена последовательностью системных трактов и интерпретируется как геологическое тело, сформированное в период между максимумами скорости падения относительного уровня моря (ОУМ), представляющие собой производные колебаний уровня Мирового океана (эвстатика), скорости погружения или воздымания рассматриваемого участка земной коры (локальная тектоника), а также количество приносимого в приемный бассейн осадочного материала. Эти три фактора определяют объем и скорость изменения аккомодационного пространства, а значит, и стратиграфическую последовательность и особенности распределения полигенных осадков в осадочном комплексе [Жемчугова и др., 2021]. На континенте пространство аккомодации, потенциально доступное для осадконакопления, определяется профилем равновесия и поверхностью земли – подводной или субаэральной; в морских обстановках – дном моря и его поверхностью [Jerveu, 1988].

Системный тракт — это латеральный ряд синхронных седиментационных систем или фаций [Catuneanu et al., 2011]. Выделяются три главных системных тракта: тракт низкого стояния уровня моря (Lowstand system tract – LST = THC), трансгрессивный системный тракт (Transgressive system tract – TST = TCT) и системный тракт высокого стояния уровня моря (Highstand system tract – HST = TBC). Основными являются: граница секвенций (Sequence boundaries - Sb), к которой может быть приурочено субаэральное стратиграфическое несогласие; трансгрессивная поверхность (transgression surface - ts) и поверхность максимального затопления (maximum flooding surface - mfs), выделяемые по смене типов вертикальных последовательностей парасеквенций в период одного цикла седиментации.

В настоящее время используются пять секвенс-стратиграфических моделей, отражающих

альтернативные подходы к изучению осадочных толщ. К ним относятся модели: Depositional Sequence I, Depositional Sequence II, Depositional Sequence III, Depositional Sequence IV, Genetic Sequence и T-R Sequence. Их отличие главным образом состоит в том, где проводить границу секвенсов и какие системные тракты следует выделять на разных этапах изменения относительного уровня моря. Выбор модели в каждой конкретной ситуации обусловлен особенностями строения осадочной толщи [Catuneanu et al., 2011 (Fig.2)].

Петрографические исследования шлифов осадочных пород проводятся с целью качественной и количественной характеристики [Логвиненко, 1974; Фролов, 1993; Маслов, 2005 и др.]. В качестве основной выбрана классификация песчаных и алевритовых пород по Н.В. Логвиненко [Логвиненко, 1974]. К ее достоинствам можно отнести следующие принципы: подразделение на группы пород; соблюдение равноправности всех компонентов входящих в классификацию пород; симметричности [Советов, 1977].

Полуколичественный иммерсионный минералогический анализ. Методика предназначена для анализа в иммерсионных препаратах минерального состава тонкой песчаной фракции терригенных осадочных пород и современных морских осадков. Минеральный состав является одним из основных показателей, характеризующих тип обломочных пород. Диагностика минеральных индивидуумов класса крупности 0.050-0.100 мм и измерение содержания каждой диагностированной минеральной фазы проводится на основе иммерсионного минералогического анализа.

Иммерсионный метод является самостоятельным методом кристаллооптического анализа, в задачи которого входит определение минерального состава природных кристаллических образований [Логвиненко, 1984; Татарский, 1949]. Кристаллооптический метод исследования горных пород и минералов позволяет получить наиболее полную и точную информацию об их минеральном составе, условиях формирования и последующих преобразованиях. Он применим при изучении преимущественно прозрачных минералов рыхлых и сцементированных осадочных и вулканогенно-осадочных пород, породообразующих и акцессорных минералов изверженных пород, продуктов обогащения руд и скелетных остатков организмов. Основой иммерсионного метода диагностики минералов является измерение показателей преломления и определение других оптических свойств минералов.

Особенно велико значение иммерсионного метода в области изучения терригенных осадочных пород. Для рыхлых обломочных пород, изучение минерального состава которых в петрографических шлифах, как правило, невозможно, он является по существу единственным методом оптического исследования, для многих других типов осадочных пород - главнейшим [Лапина, Савинова, 1971; Лапина, 1977; Лисицын, 1986].

Иммерсионный метод минералогического анализа позволяет диагностировать минеральные фазы с подсчётом присутствующего в пробе количества зерен каждого минерального вида, оценивать их процентное соотношение и далее вести количественный подсчет содержания в пробе выделенных минеральных фаз.

Преимуществом метода является возможность его применения для массовых определений в лабораторных условиях, но он оставляет анализ на уровне полуколичественного.

Полуколичественный иммерсионный минералогический анализ необходимо проводить на препаратах, состоящих из минеральных зёрен одного класса крупности. Крупность зерен ограничивается возможностями используемых оптических приборов. В основу данной методики положено изучение класса крупности 0.050–0.100 мм.

Содержание тяжелой фракции в этом классе крупности достигает 2–3% [Рухин, 1953]. Данный класс крупности содержит минимальное количество сростков зерен. В рыхлых терригенных отложениях этот класс крупности содержит, как правило, более полный по сравнению с другими классами набор минералов, сохранивших типоморфные признаки.

Ограничения метода. Настоящая методика не применима для диагностики обломков, представленных тонкоагрегированной минеральной массой, тонкодисперсных глинистых минералов и непрозрачных, рудных минералов, так как определение оптических констант для этих объектов, как правило, не представляется возможным.

Сущность данной методики сводится к решению двух основных задач: диагностика минеральных фаз, составляющих пробу, и оценка их содержания в пробе.

Решение первой задачи иммерсионного минералогического анализа основано на определении показателей преломления минералов. Определение производится путем последовательной смены иммерсионных жидкостей, образующих в наборе ряд по убывающей (или возрастающей) величине их показателей преломления. Задача сводится к тому, чтобы, используя эффект световой полосы (метод Бекке), найти иммерсионную жидкость с показателем преломления равным показателю преломления изучаемого минерала.

Величины показателей преломления минералов являются главными критериями их диагностики. Для идентификации минерального вида необходимо, кроме того, определить оптический знак, величину двупреломления, значение угла $2V$ и другие кристаллооптические характеристики: углы угасания, адсорбцию и плеохроизм, а также учитывать цвет и форму зерен, спайность, вторичные изменения.

После определения всех оптических констант минерал идентифицируется с помощью справочников [Винчелл, Винчелл, 1953; Ларсен и др, 1961; Флейшер и др, 1987 и др.]. Наиболее удобным является определитель-справочник В. Ларсена и Г. Бермана [Ларсен и др, 1961]. В этой книге

минералы разбиты по осности и знаку на 5 групп (оптически изотропные, одноосные положительные, одноосные отрицательные, двuosные положительные, двuosные отрицательные). В каждой из этих групп минералы расположены по степени возрастания показателей преломления. Если определяемый минерал имеет показатели преломления, значения которых могут колебаться в широких пределах, можно воспользоваться справочником Винчелла [Винчелл, Винчелл, 1953], где все минералы сведены в одну таблицу и расположены в порядке возрастания их показателей преломления. Использование таких справочников, как [Винчелл, Винчелл, 1953], [Флейшер и др, 1987] и других, содержащих таблицы оптических свойств, позволяет по иммерсионным определениям показателей преломления и другим оптическим данным быстро и надежно устанавливать минеральную группу, а в пределах группы - минеральный вид или положение минерала в изоморфном ряду.

Вторая задача решается подсчетом всех имеющихся в пробе зерен минералов после их идентификации. Соотношение имеющихся в препарате минералов, выраженное в относительных объемных процентах от общего количества подсчитанных зерен, является результатом полуколичественного иммерсионного минералогического анализа.

По окончании подсчета зерен в препаратах рассчитывается процентное содержание каждого минерала отдельно в легкой и тяжелой фракциях (суммарное содержание минералов в каждой из них принимается за 100%).

Также необходимо ввести основные понятия и термины.

Терригенный минерал (ТМ) — это присутствующие в отложениях неглинистые обломочные минералы, источниками которых были другие горные породы и продукты их выветривания. Они сохраняются в качестве реликтовых при разрушении исходных (материнских) горных пород и попадают в осадок в результате процессов механической транспортировки различными агентами и механического осаждения (седиментации) [Бергер, 1986].

Терригенно-минералогическая ассоциация (ТМА) – это группа парагенезисов терригенных компонентов (минералов).

В работе рассчитаны следующие показатели:

Гидроаэродинамическая зрелость (Mhd) общей ТМА тех или иных отложений, включающей ТМ и легкой, и тяжелой фракций, – суммарное (по массе) процентное содержание в отложениях ТМ тяжелой фракции. Именно терригенных минералов, (а не тяжелой фракции вообще), поскольку в составе тяжелой фракции часто в значительном количестве присутствуют и аутигенные минералы, существенно увеличивающие процентное содержание тяжелой фракции.

Химическая (химико-минералогическая) зрелость обломочного вещества (Mc), которая будет варьировать от 0 в осадке, не содержащем химически устойчивых зерен, до 100 в осадке, где все зёрна представлены химически устойчивыми минералами, то есть $Mc = 100Gs/(Gs+Gu)$, где

Ms – показатель химической зрелости, Gs – объем химически устойчивых зерен, Gu – объем химически неустойчивых зёрен [Бергер, 1986].

Гидроэродинамическая устойчивость - отношение циркон/турмалин (Zr/Turm), которое при повышении гидродинамической активности среды осадконакопления указывает на более ранний и более значительный вынос турмалина по сравнению с цирконом, на то, что минерал, находящийся в числителе (циркон), является гидромеханически более устойчивым (менее подвижным), чем минерал, находящийся в знаменателе (турмалин).

Расчет показателей производится после приведения к 100% тяжелой немагнитной и тяжелой электромагнитной фракций по исключительно терригенным минералам. Интерпретация значений данных коэффициентов осуществлялась по таблицам М.Г. Бергера [Бергер, 1986].

Литогеохимические исследования осадочных пород. Анализ петрогенных оксидов выполнен рентгенофлуоресцентным методом (РФА), включает в себя определение петрогенных оксидов (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, S). Элементы примеси определялись по методу масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ISP-MS), подразделялись на крупноионные литофильные элементы (Rb, Ba, Cs, K), транзитные элементы (Sc, Ti, V, Cu, Mn, Co, Ni), высокозарядные элементы (Zr, Nb, Y, Hf, Ta), радиоактивные элементы (Th, U, Pb) и редкоземельные элементы (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu).

Реконструкция исходной природы тонкой алюмосиликокластики (петрогенная/литогенная), а также химическая классификация осадочных пород проводилась с использованием системы петрохимических модулей по методике [Юдович, Кетрис, 2000], которые представляют собой отношение петрогенных оксидов. Подсчет модулей осуществлялся по данным силикатного анализа пород, выраженного в массовых процентах. Данный метод эффективен как при исследовании рыхлых несцементированных осадков, так и метаморфизованных осадочных пород. Наиболее информативными модулями, для решения указанных выше задач, являются [Юдович, Кетрис, 2000; Скляров и др., 2001; Маслов, 2005]:

- гидролизатный модуль ГМ = $(Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO) / SiO_2$;
- фемический модуль ФМ = $(Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO) / SiO_2$;
- модуль нормированной щелочности НКМ = $(Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$.

Для палеогеодинамической характеристики применена дискриминантная диаграмма DF₁–DF₂ С. Верма и Дж. Армстронга для высококремнистых и низкокремнистых составов пород [Verma, Armstrong-Altrin, 2013]. Таковая является в настоящее время наиболее приемлемой дискриминантной диаграммой и хорошо себя зарекомендовавшей [Маслов и др., 2016, 2018].

Геохронологические исследования осадочных пород. Геохронологические исследования являются одними из важнейших методов изучения осадочных пород. U–Pb геохронология детри-

товых цирконов основана на радиоактивном распаде урана (^{238}U и ^{235}U) с образованием стабильных изотопов свинца (^{206}Pb и ^{207}Pb) [Фор, 1989]. В результате датирования детритовых цирконов получают возрастные спектры.

Применение возрастных спектров, полученных по детритовым цирконам, для определения времени осадконакопления ограничивается типом осадочного бассейна. Так, зерна детритовых цирконов с оценками возраста, близкого ко времени седиментации обнаруживаются только в осадочных бассейнах островодужного типа. Все остальные типы осадочных бассейнов (коллизионные и внутриконтинентальные обстановки) обнаруживают возрастные спектры, которые несут информацию о возрасте пород в области питающих провинций, и не могут быть использованы для оценки возраста седиментации этих бассейнов. Наиболее молодые оценки возраста детритовых цирконов определяют максимальный возраст накопления осадка [Cawood et al., 2012].

Предварительные исследования детритовых цирконов включают изучение внутренней структуры и зональности зерен детритовых цирконов с помощью катодолюминесцентных (CL) и BSE изображений. Такое изучение кристаллов цирконов позволяет осуществить выбор достаточного количества точек (участков) для анализа, свободных от включений, вторичных изменений и механических повреждений зерен.

Использовался метод лазерной абляции совместно с масс-спектрометрами с индуктивно связанной плазмой (LA-ICP-MS) [Fryer et al., 1993; Feng et al., 1993 и др.].

В настоящей работе использовались следующие аналитические методики:

1. Петрографические исследования шлифов из осадочных пород были выполнены в АО «СНИИГГиМС» по методике «Оптико-петрографический анализ осадочных (карбонатных, терригенных, галогенно-сульфатных и смешанных) горных пород» НСОММИ МР № 184, разработанной АО «СНИИГГиМС» и утвержденной ФНМЦ «ВИМС» с использованием поляризационных микроскопов МТ9000 (МЕИЛ, Япония) и Axioskop 40 Pol (Carl Zeiss, Германия) (исполнители Н.А. Иванова, Н.С. Сентякова, А.В. Липянина, А.В. Левина).

2. Полуколичественный иммерсионный минералогический анализ тяжелой фракции терригенных пород по методике НСОММИ МР 158, включая процедуры пробоподготовки и разделение на тяжелую и легкую фракции с применением центрифуги; описание типоморфных характеристик акцессорных минералов проводился в лаборатории Томского регионального центра коллективного пользования Национального исследовательского Томского государственного университета ТРЦКП ТГУ (г.Томск). Подготовка фракций для иммерсионных исследований производилась с использованием магнита РЧМ, валкового сепаратора ЭВС 10/5 и тяжелой жидкости ГПС-В на основе гетерополисоединений вольфрама. Качественные и количественные характеристики определялись при помощи стереомикроскопа Leica EZ4 (LEICA MICROSYSTEMS AG, Германия) и набора иммерсионных жидкостей (аналитик А.О. Корнева).

3. Аналитические работы были выполнены с использованием оборудования Томского регионального центра коллективного пользования Национального исследовательского Томского государственного университета ТРЦКП ТГУ (г.Томск). Определение основных петрогенных оксидов производилось атомно-эмиссионным методом согласно методике «Определение натрия, магния, алюминия, кремния, фосфора, калия, кальция, титана, марганца и железа в горных породах, объектах окружающей среды атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой» НСАМ 487-ХС [Tompson et al., 1988; Bings et al., 2010] (аналитики Е.И. Никитина, М.Ю. Власкина). Анализ выполнялся на эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (Termo Fisher Scientific, США) с использованием внутреннего стандарта (Sc Scandium Standard, Merck, Германия) и внешнего стандарта ГСО горных пород, аналогичных по составу определяемых пород.

4. Определение примесных и микропримесных элементов (с содержанием <5%) проводили с использованием аттестованной методики определения элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой согласно методике СТО ТГУ 048-2012 «Породы горные. Определение элементного состава методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой» ФР.1.31.2017.26326 [Хрущева и др., 2019] (аналитики Е.С. Рабцевич, Д.Е. Бабенков). Пределы обнаружения следовых количеств элементов составляют 0.001 г/т. Анализ выполнялся методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500cx (Agilent Technologies Inc., США) с использованием внутреннего стандарта (In Internal standard, Inorganic Ventures, США) и внешнего стандарта СГД-2А (ГСО 8670-2005).

5. Выделение гравиконцентрата с зёрнами детритовых цирконов из кварцевых песчаников проводилось с использованием гравитационного стола (ГС-1) и стандартных тяжёлых жидкостей. После выделения тяжёлой фракции, из каждой пробы вручную (под бинокляром) отбирались зёрна циркона (не менее 100 штук). Цирконы погружались в шайбы с эпоксидной смолой и, после застывания, подвергались полировке.

6. Геохронологические (U-Pb) исследования детритовых цирконов были проведены в Лаборатории геохронологии и геодинамики Томского государственного университета методом лазерной абляции (LA-ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900 и системе лазерной абляции с эксимерным (ArF) лазером Analyte Excite (Teledyne CETAC Technologies, США) (аналитики А.П. Корнева, Е.А. Агашева, А. Семиряков).

Образец, смонтированный в пашку с эпоксидной смолой, помещался в ячейку HeIEx II, откуда при абляции анализируемое вещество переносится потоком гелия в масс-спектрометр. Диаметр лазерного пучка составлял 25 мкм. Каждая точка анализировалась в течение 20-30 секунд (в ряде случаев выбран временной промежуток с наилучшим сигналом). Для удаления по-

верхностных загрязнений осуществлена преабляция. Время измерения фона между анализом точек составило 20 с. В качестве стандартов использовались международные стандарты цирконов 91500 [Wiedenbeck et al., 1995], FC1 [Paces and Miller, 1993], Temora II [Black et al., 2004], GJ1 [Jackson et al., 2004], OG1 [Stern et al., 2009].

Обработка выполненных измерений проводилась с использованием программного пакета Dezirteer [Powerman, et al, 2021]. Произведен фильтр значений по дискордантности. Был выставлен порог для положительных и отрицательных значений несоответствия (+10%, -10%). Произведен расчет «лучшего возраста (Best age)» из меньшей ошибки: Dezirteer использует изотопную систему ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ или $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) с наименьшим процентом ошибки для каждого анализа.

ГЛАВА 3. ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЙ И СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕПСКОЙ И ТИРСКОЙ СВИТ

Литолого-фациальному строению непского и тирского горизонтов посвящены следующие работы: [Железнова и др., 1986; Фомин, Чернова, 1993; Лебедев, Чернова, 1996; Постникова и др., 2008, 2011; Баженова и др., 2010; Жемчугова и др., 2011; Коновальцева, 2011; Зверев и др., 2012; Пушкарева и др., 2013; Бурова, 2014; Бурова и др., 2017; Бобкова, Лобанова, 2018; Бурова, 2018; Колотовкина, 2018; Изъюрова и др, 2020 и др.].

3.1. Литолого-фациальный анализ

Литолого-фациальная характеристика выполнена в результате многолетних литолого-фациальных исследований керна по всей НБА и прилегающим районам. По результатам проведенных исследований автор опубликовал ряд научных работ [Плюснин, 2019а,б,в; Плюснин и др, 2019; Плюснин, Гёкче, 2010; Плюснин и др., 2020; Мотова и др, 2021а,б]. В настоящей работе рассматриваются только фации характерные для юга НБА.

Выделены группы континентальных, переходных и мелководно-морских обстановок осадконакопления. В свою очередь каждая из них подразделяется на подгруппы и макрофации (таблица 3.1). В каждой макрофации выделен типовой ряд фаций, состоящих из наборов, определенных литогенетических типов пород. Далее по тексту будет приведено их описание.

Континентальные обстановки осадконакопления

Континентальные обстановки представлены элювиальными, аллювиальными, флювиальными и озерными макрофациями (рис. 3.1).

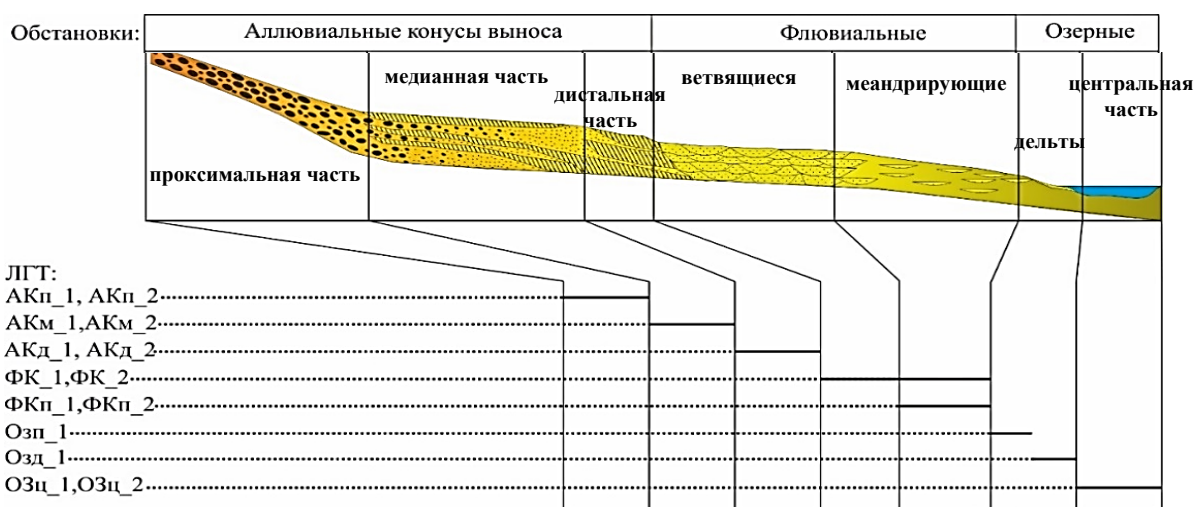


Рисунок 3.1. Распределение выделенных ЛГТ по фациальным зонам континентальных обстановок осадконакопления (составлено по [Steel, Gloppen, 1980; Allen, 1991]).

Таблица 3.1. Иерархическая схема фаций.

Группа	Подгруппа	Макрофации	Фации	Индекс
Континентальные	Аллювиальные	Элювиальные	Элювиальный горизонт	ЭлГ
		АК - Проллювиальные конусы выноса (аллювиальные конусы выноса)	Проксимальная часть конуса выноса	АКп
			Медианная часть конуса выноса	АКм
			Дистальная часть конуса выноса	АКд
		ФК - Речные (флювиальные)	Флювиальный канал	ФК
	Поймы/старицы		ФКп/с	
	Озерные	Оз - Озерные	Проксимальные песчаные покровы	Озп
			Дистальные алевритовые покровы	Озд
Центральная часть озера			Озц	
Переходные	Прибрежной равнины	ПО - Приливно-отливные	Себха (береговая)	ПОсх
			Песчаная приливно-отливная отмель	ПОоп
			Смешанная приливно-отливная отмель	ПОос
			Илистая приливно-отливная отмель	ПОои
			Приливно-отливный канал	ПОк
		ДП - Дельтовые (приливно-отливного типа)	Распределительный канал (с влиянием приливно-отливных течений)	ДПОрк
			Приливно-отливной бар	ДПОб
			Иловая равнина верхнелиторальной зоны	ДПовли
			Иловая равнина нижнелиторальной зоны	ДПонли
Мелководно-морские	Внутреннего шельфа	ПЛ - Пляжа и подводного берегового склона	Верхняя предфронтальная зона пляжа	ПЛвп
			Нижняя предфронтальная зона пляжа	ПЛнп
		ШЛ - Шельфовые	Переходная зона	ПЛп
			Супралитораль	ШЛсл
			Литораль верхняя	ШЛлв
			Литораль нижняя	ШЛлн
			Супралитораль верхняя	ШЛсв
			Супралитораль нижняя	ШЛсн

Макрофация элювиального горизонта. Для нее установлена единственная фация элювиального горизонта (ЭлГ) и литогенетический тип (ЛГТ).

ЭлГ. Карбонатные элювиальные брекчии. Мощность брекчий может изменяться от 10 до 30 см. Обычно обломки брекчии угловатые, различных размеров. По структуре – микрокристаллические и строматолитовые. Сцементированы глинисто-карбонатным материалом (рис. 3.9А).

Положение в разрезе. Отложения фации элювиальных горизонтов, как правило, завершают высокочастотные циклиты в кровельной части отложений тирской свиты. Ниже элювиальных горизонтов по керну фиксируются признаки подповерхностного карста.

Условия седиментации. Формирование элювиальных брекчий происходило во время длительного осушения карбонатных отложений. В эти периоды доломиты были подвержены физическому выветриванию.

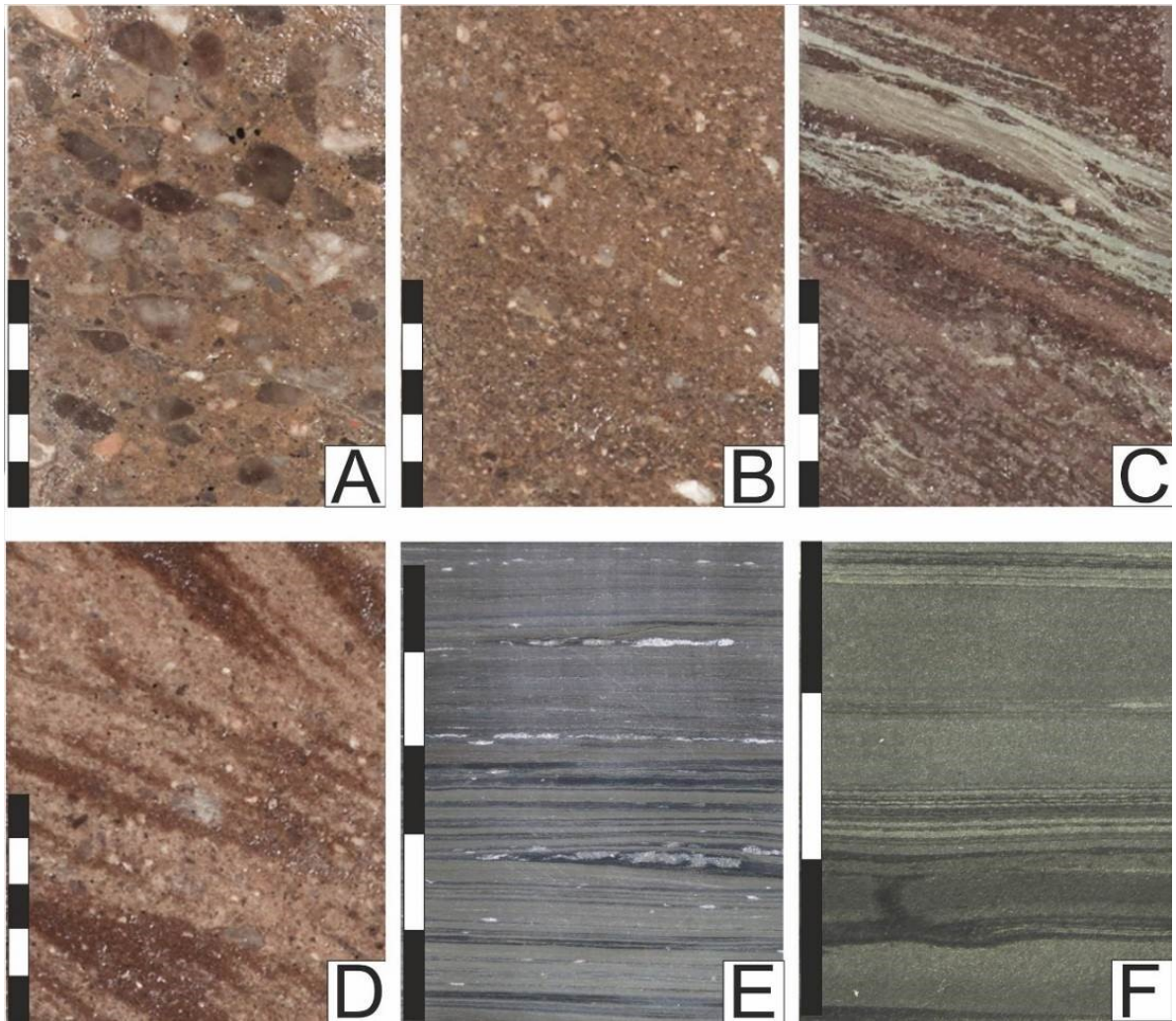


Рисунок 3.2. Фототаблица континентальных макрофаций.

A — песчаники средне-грубо-крупнозернистые гравийные, с примесью гальки (размер обломков до 1x1,5 см), участками переходящие в гравелиты песчаные мелкогалечные, с нечетко выраженной средней слоистостью. Проксимальная часть аллювиального конуса выноса; B — песчаники средне-крупнозернистые с примесью зерен псефитовой размерности, с нечетко выраженной тонкой пологой слоистостью. Медианная часть аллювиального конуса выноса; C — песчаники средне-тонко-мелкозернистые, с прерывистыми и протяженными слабо волнистыми глинистыми прожилками. Дистальная часть аллювиального конуса выноса; D — песчаники крупно-мелко-среднезернистые, с примесью крупно-грубозернистого песчаного материала; с ко-сой однонаправленной слоистостью. Флювиальный канал; E — алевролиты разнозернистые прожилками от крупно-мелкозернистых глинистых до мелко-крупнозернистых и песчаных, с линзами мелкозернистого песчаного материала, с горизонтальной и слабой волнистой слоистостью. Пойма; F — переслаивание аргиллита темно-серого, алевролита глинистого темно-зеленовато-серого, алевролита крупнозернистого зеленовато-серого, с горизонтальной слоистостью. Центральная часть озера. Длина масштабной линейки 5 см.

Макрофации аллювиальных конусов выноса. Макрофация сложена гравелитами, конгломератами и песчаниками разнозернистыми. Для отложений характерна плохая сортировка и

слабая окатанность зерен. Распределение осадков в конусе выноса обеспечивается осадочной дифференциацией: в его проксимальной части преобладают грубозернистые разности, гравелиты, в дистальной - песчаники различной зернистости до алевролитов.

Положение в разрезе. Расположены в базальных частях нижненепской подсвиты. Залегают непосредственно на фундаменте.

Проксимальная часть аллювиальных конусов выноса (АКп) имеет наиболее грубозернистый состав и представлена двумя ЛГТ.

АКп_1. Конгломераты и гравелиты плохо сортированные, разнообломочные, (галька 1-4 см кварца, полевых шпатов, гнейсов, кристаллических сланцев) с песчаным разнозернистым матриксом, с массивной и крупной кривой слоистостью.

АКп_2. Песчаники гравийно-галечные плохосортированные, с массивной и пологой кривой слоистостью, с прослоями и интракластами алевролитов и аргиллитов (рис. 3.2 А).

Условия осадконакопления. Формирование аллювиального конуса выноса происходило за счет гравитационного оползания, перемещения обломочного материала дождевыми и тальными водами, для чего необходимы условия резко контрастного рельефа.

Медианная часть аллювиального конуса выноса (АКм).

АКм_1. Песчаники гравийные, крупно-грубозернистые, плохо сортированные, массивные и крупно-косослоистые.

АКм_2. Песчаники разнозернистые с кривой (таблитчатой) реже кривой разнонаправленной слоистостью, с тонкими слойками и прослоями до 10 см алевролитов и аргиллитов с тонкой горизонтальной и пологой слоистостью (рис. 3.2 В).

Условия осадконакопления. Образование массивных и косослоистых песчаников и гравелитов было связано с отложением гравийно-песчаных осадков, низко- и высокоплотными струйными течениями в медианной части аллювиального конуса выноса. Песчаный состав отложений свидетельствует о преобладании в этой зоне процессов эрозии и седиментации, связанных с активной транспортировкой и отложением осадков.

Дистальная часть аллювиальных конусов выноса (АКд).

АКд_1. Песчаники разнозернистые от мелко-среднезернистых до крупнозернистых гравелитистых, плохосортированные; с крупной и мелкой кривой однонаправленной слоистостью; с прослоями (до 5-20, реже 70 см) алевропесчаников, алевролитов глинистых с мелкой троговой кривой слоистостью, реже горизонтальной с прожилками аргиллитов толщиной до 1 мм (рис. 3.2 С).

АКд_2. Аргиллиты и алевролиты глинистые, массивные и тонкослоистые.

Условия осадконакопления. Отложения различной размерности формировались на завершающейся стадии образования аллювиального комплекса фаций. Осадки данного типа распространены локально.

Макрофации флювиальных систем. Системы ветвящихся рек характеризуются отсутствием пойменных отложений, а для меандрирующих – наличием хорошо развитой поймы. Для упрощения всего разнообразия приводится характеристика двух основных фаций: флювиального канала и поймы.

Положение в разрезе. Макрофации флювиальных систем приурочены к верхненепской подсвите, а также к базальным отложениям верхне- и нижнетирской подсвиты. Эрозионно залегают на нижележащих отложениях.

Флювиальный канал (речное русло) (ФК) представлен двумя ЛГТ.

ФК_1. Песчаники крупнозернистые, гравелитистые, массивные и косослоистые, с прослоями и интракластами глинистых алевролитов (рис. 3.2 D).

ФК_2. Песчаники разнозернистые от мелко- до крупнозернистых, с мелкой и крупной троговой косой слоистостью, с прослоями и интракластами глинистых алевролитов.

В разрезах песчаных тел наблюдаются закономерные тенденции изменения гранулометрического состава снизу-вверх по разрезу. Характерны поверхности врезания с резкой сменой гранулометрического состава на таких контактах. Встречаются интракласты алевролита, фиксирующие эпизоды формирования промоин.

Условия осадконакопления. Песчаный состав, незначительное присутствие алевроглинистых разностей пород, косая однонаправленная слоистость, резкая эрозионная подошва свидетельствует о формировании осадков в пределах речных русел.

Пойма (ФКп).

ФКп_1. Песчаники мелкозернистые, с прослоями и линзами разнозернистых алевролитов. Слоистость тонкая пологоволнистая, линзовидная и прерывистая.

ФКп_2. Алевролиты разнозернистые с прослоями заиливания и линзами мелкозернистого песчаника, с тонкой слоистостью (рис. 3.2 E).

Условия осадконакопления. Осадки поймы отлагаются в речных долинах в пределах пойменной равнины выше уреза воды, преимущественно во время паводков.

Макрофации озерных систем. Достоверно озерные отложения диагностированы в районе Аянского (Западного) лицензионного участка в разрезе скважины № 3, пробуренной в кратере Непский-1, с подробным описанием которого можно познакомиться в работе [Гёкче, Плюснин, 2020].

Положение в разрезе. Макрофации озерных систем достоверно диагностированы в непской свите.

Проксимальные песчаные покровы (озёрная дельта) (ОЗп).

ОЗп_1. Песчаники мелкозернистые, с прослоями алевролитов разнозернистых, с разнообразной волнистой, реже косоволнистой слоистостью. От подошвы к кровле наблюдается уменьшение размеров зерен и увеличение доли тонких алевритовых прослоев. Встречаются мелкие глинисто-алевритовые интракласты.

Дистальные алевритовые покровы (озёрная дельта) (ОЗд).

ОЗд_1. Алевролиты с тонкой и волнистой слоистостью, иногда ритмично слоистые.

Условия седиментации: озерная дельта, при активных гидродинамических условиях в периоды паводков.

Центральная часть озера (ОЗц).

ОЗц_1. Алевролиты с тонкой и горизонтальной слоистостью, с ритмами (за счет сезонной градации осадочного материала).

ОЗц_2. Аргиллиты часто известковистые, обогащенные органическим веществом, с горизонтальной слоистостью. Характерно ритмичное мелкомасштабное переслаивание маломощных слоев (от 1-2 мм до 1 см толщиной). Присутствуют мелкие и крупные кристаллы, стяжения пирита (рис. 3.2 F).

Условия седиментации: накопление осадков озер происходило в спокойных гидродинамических условиях, при застойном придонном режиме.

Переходные обстановки осадконакопления

Переходные обстановки осадконакопления представлены приливно-отливными и дельтовыми макрофациями (рис. 3.3).

Макрофации приливно-отливных систем. Приливно-отливные отложения выделяются как в зоне побережья, так и на участках развития эстуариев. В комплексе приливно-отливной илисто-терригенной равнины выделены следующие фации: себха, песчаная приливно-отливная отмель, смешанная приливно-отливная отмель, илистая приливно-отливная отмель, приливно-отливный канал.

Положение в разрезе. Присутствуют в отложениях всех изучаемых свит.

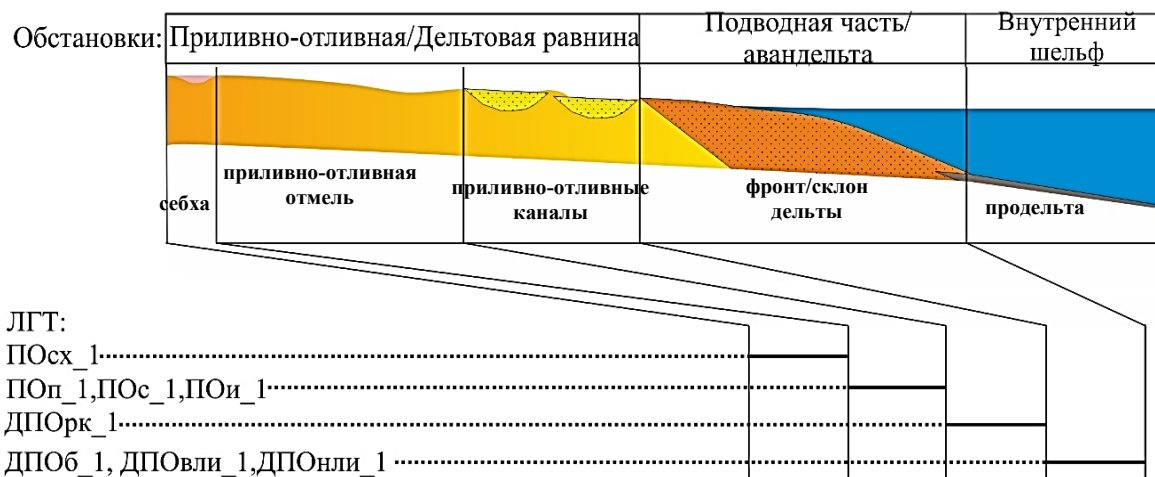


Рисунок 3.3. Распределение выделенных ЛГТ по фациальным зонам переходных обстановок осадконакопления (составлено по [Рединга и др., 1990; Allen, 1991]).

Себха (береговая себха) (ПОсх) представлена следующим ЛГТ.

ПОсх1. Песчаники и алевролиты разномерные с обильным доломитовым и сульфатным цементом, волнисто - и тонкослоистые, с включениями и желваками ангидритов и трещинами усыхания. В породах образованы разнообразные карбонатно-сульфатные стяжения пластовой и неправильной желваковой формы, с включениями алевролитов и песчаников (рис. 3.4 А).

Условия седиментации. Отложения формировались в условиях субаэральной равнины, при редких высоких приливах и штормах, затапливающих супралитораль. В результате интенсивного испарения поровых вод и повышения концентрации солей в подповерхностных слаболитифицированных осадках происходило образование и разрастание карбонатно-сульфатных желваков.

Песчаная приливно-отливная отмель (ПОп) представлена следующим ЛГТ.

ПОп1. Песчаники мелкозернистые, алевритистые, с тонкой волнистой и линзовидной слоистостью, с глинистыми драпировками сдвоенных слоев (рис. 3.4 В).

Условия седиментации. Умеренная гидродинамика с ритмичными проявлениями приливно-отливных течений при поступлении терригенного материала.

Смешанная приливно-отливная отмель (ПОс) представлена следующим ЛГТ.

ПОс1. Тонкое переслаивание песчаников и алевролитов. Характерна тонкая слабоволнистая и линзовидная слоистость (рис. 3.4 С). Песчаники мелкозернистые, неравномерно алевритистые. Алевролиты разномерные, песчаные.

Условия седиментации. Умеренная гидродинамика с ритмичными проявлениями приливно-отливных процессов, поступление глинисто-терригенного материала.

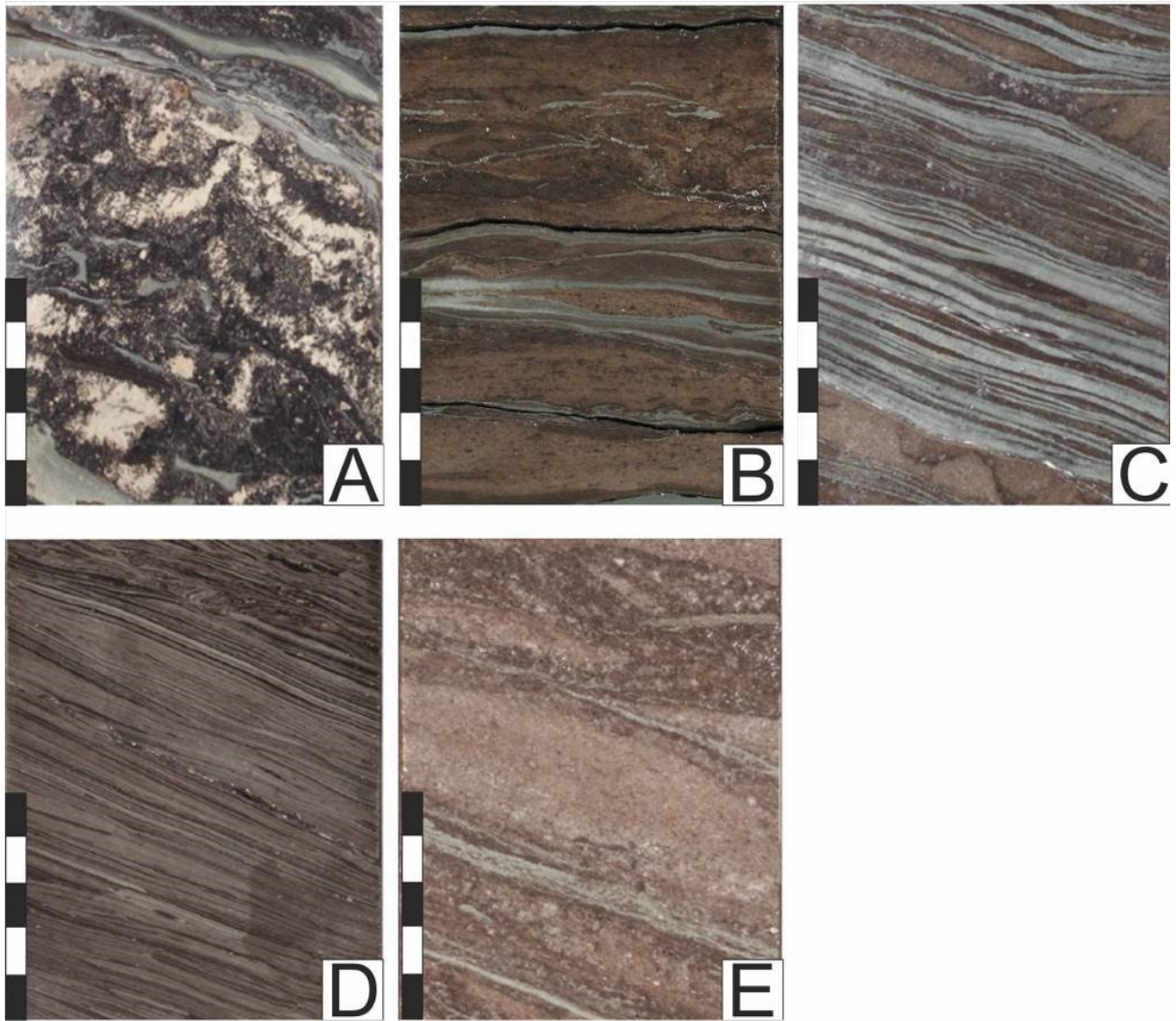


Рисунок 3.4. Фототаблица приливо-отливных макрофаций.

A — ангидриты желваковые с реликтовыми включениями доломитов, магнезитов с прожилками и включениями алевролитов. Береговая себха; B — песчаники мелкозернистые, с тонкой волнистой слоистостью, с частыми тонкими слабо волнистыми глинистыми прожилками и прослоями. Песчаная приливо-отливная отмель; C — тонко-волнистое переслаивание песчаников и алевролитов. Смешанная приливо-отливная отмель; D — алевролиты мелко-крупнозернистые, с единичными прослоями мелкозернистого песчаного материала, с горизонтальной слоистостью. Илистая приливо-отливная отмель; E — песчаники крупно-средне-мелкозернистые, с косой разнонаправленной слоистостью, сдвоенными глинистыми слойками и угловато-окатанными интракластами. Приливо-отливный канал. Длина масштабной линейки 5 см.

Илистая приливо-отливная отмель (ПОи).

ПОи_1. Тонкое переслаивание алевролитов разномерных, алевролитов мелкозернистых с прослоями мелкозернистого песчаного материала, иногда с деформационными текстурами (рис. 3.4 D).

Условия седиментации. Накопление алевролитов илистых приливо-отливных отмелей происходило в условиях крайнего мелководья при весьма слабой гидродинамике разнонаправленных приливо-отливных процессов.

Приливо-отливной канал (ПОк).

ПОк_1. Песчаники разномерные, с пологой и мелкой косою разнонаправленной слоистостью, со сдвоенными глинистыми слойками и интракластами алевролитов в подошвенной части (рис. 3.4 E).

Условия седиментации. В приливо-отливных каналах во время отлива были условия аналогичные, протекающим в речных руслах. Основным диагностическим признаком является наличие сдвоенных глинистых слойков и косою разнонаправленной слоистости.

Макрофации дельтовых систем. Дельтовые отложения сложены разнообразными осадками - от континентальных до мелководно-морских. В пределах изучаемой территории в поздне-непское время существовала дельта приливо-отливного типа.

Распределительный канал (с влиянием приливо-отливных течений) (ДПОрк) представлен следующим ЛГТ.

ДПОрк_1. Песчаники разномерные, преимущественно среднезернистые с прослоями и примесью крупного и грубозернистого песчаного материала, с косою разнонаправленной и срезанной слоистостью (рис. 3.5 A).

Условия седиментации. Активная гидродинамика, изменчивость суточной направленности, интенсивный транспорт терригенного материала.

Приливо-отливной бар (ДПОб).

ДПОб_1. Песчаники мелко-среднезернистые с разномерной примесью, с косою однонаправленной слоистостью, со сдвоенными слойками, с сериями косою срезанной слоистости. Слоистость подчёркивается чередованием слойков с различным гранулометрическим составом и с различным количеством тонких глинистых слойков (рис. 3.5 B).

Условия седиментации. Формирование осадков происходило в субаквальной части дельты (приливо-отливной зоне) при преобладании разнонаправленных течений, которые перерабатывают, поступающий речным стоком, обломочный материал в продолговатые гряды, перпендикулярные береговой линии.

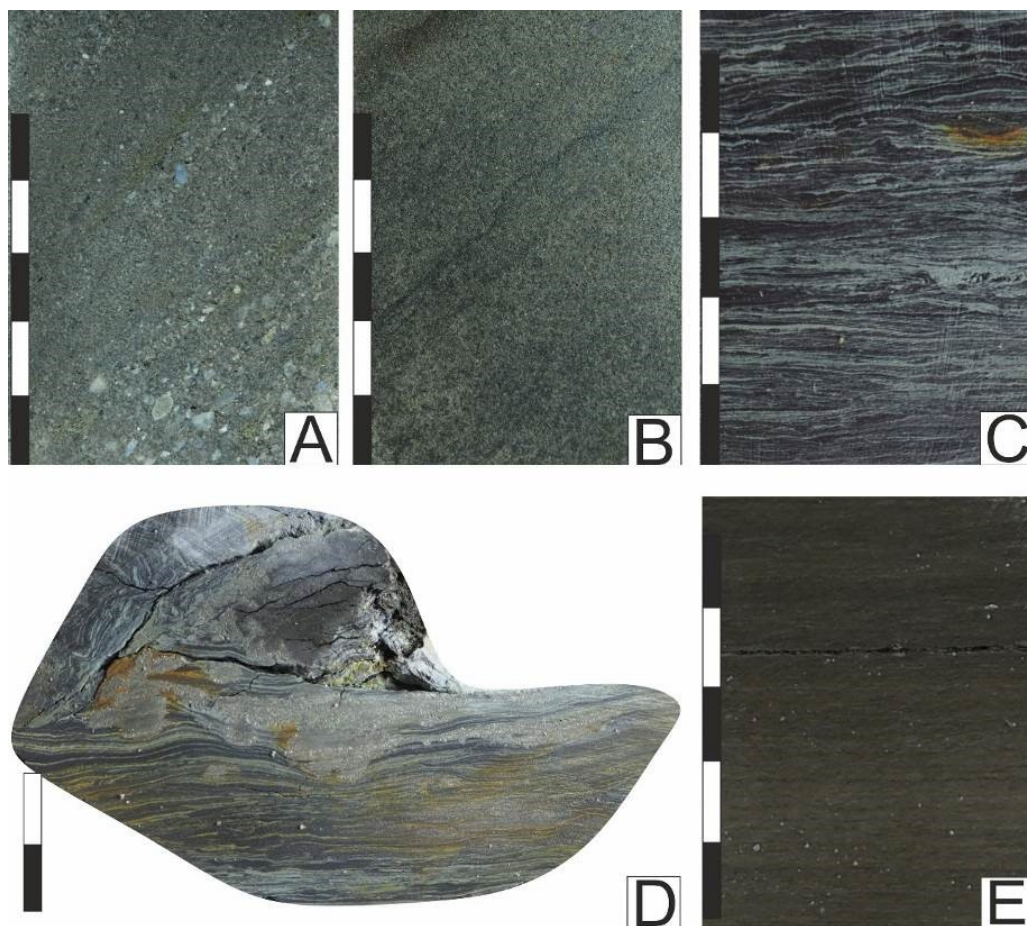


Рисунок 3.5. Фототаблица макрофаций дельты приливно-отливного типа.

A — песчаники разномерные, с косой слоистостью. Распределительный канал (с влиянием приливно-отливных течений); *B* — песчаники мелко-среднезернистые, с косой однонаправленной слоистостью. Приливно-отливной бар; *C, D* — переслаивание алевролитов различного гранулометрического состава, с тонкой горизонтальной и слабовыраженной волнистой и нарушенной (*D*) слоистостью. Иловая равнина верхнелиторальной зоны; *E* — алевро-аргиллиты с тонкой горизонтальной слоистостью. Иловая равнина нижнелиторальной зоны. Длина масштабной линейки 5 см (*A, B, C, E*), 2 см (*D*).

Иловая равнина верхнелиторальной зоны (ДПОВли).

ДПОВли_1. Переслаивание алевролитов различного гранулометрического состава, с тонкой горизонтальной и слабовыраженной волнистой и нарушенной (рис. 3.5 *D*) слоистостью (рис. 3.5 *C*). Нарушения слоистости представлены: с многочисленными пакетами оплывания, смятия пластичного осадка, смещения осадка и разрыва слойков.

Условия седиментации. Умеренная гидродинамика с ритмичными проявлениями приливно-отливных процессов, поступление песчано-глинистого материала.

Иловая равнина нижнелиторальной зоны (ДПОнли).

ДПОнли_1. Алевролиты мелкозернистые и аргиллиты темно-зеленовато-серые и темно-серые, с тонкой горизонтальной слоистостью, с редкими участками пластичной деформации (рис. 3.5 Е).

Условия седиментации. Спокойная придонная гидродинамика, обильное поступление глинистого материала.

Мелководно-морские обстановки осадконакопления

Мелководно-морские обстановки осадконакопления представлены макрофациями пляжа и подводного берегового склона, а также карбонатным шельфом.

Макрофации пляжа и подводного берегового склона представлены фациальным комплексом подводного берегового склона, который включает следующий ряд фаций: верхняя предфронтальная часть пляжа, нижняя предфронтальная часть пляжа, переходная зона (рис. 3.6).

Положение в разрезе. Макрофации присутствуют в непской свите и нижнетирской под-свите.

Верхняя предфронтальная зона пляжа (ПЛвп).

ПЛвп_1. Песчаники мелкозернистые, песчаники алевритистые и алевролиты песчаные; с тонкой и мелкой косою разнонаправленной слоистостью (рис. 3.7А).

Условия седиментации. Активная гидродинамика, незначительные глубины (первые метры), поступление глинисто-терригенного материала.

Нижняя предфронтальная зона пляжа (ПЛнп).

ПЛнп_1. Алевролиты мелкозернистые, с единичными прослоями мелкозернистого песчаного материала, с горизонтальной слоистостью, участками деформированной (рис. 3.7 В).

ПЛнп_2. Песчаники алевритистые разнозернистые, неясно-слоистые, участками горизонтально слоистые, участками деформированные.

Условия седиментации. Осадки формировались в условиях умеренной придонной волновой гидродинамики.

Переходная зона (Плп).

Плп_1. Песчаники алевритистые, с горизонтальной и волнистой слоистостью.

Плп_2. Алевролиты разнозернистые, с горизонтальной слоистостью, участками деформированной (рис. 3.7 С).

Плп_3. Аргиллиты с горизонтальной слоистостью, участками деформированной.

Условия седиментации. Осадки формировались в условиях спокойной придонной гидродинамики.

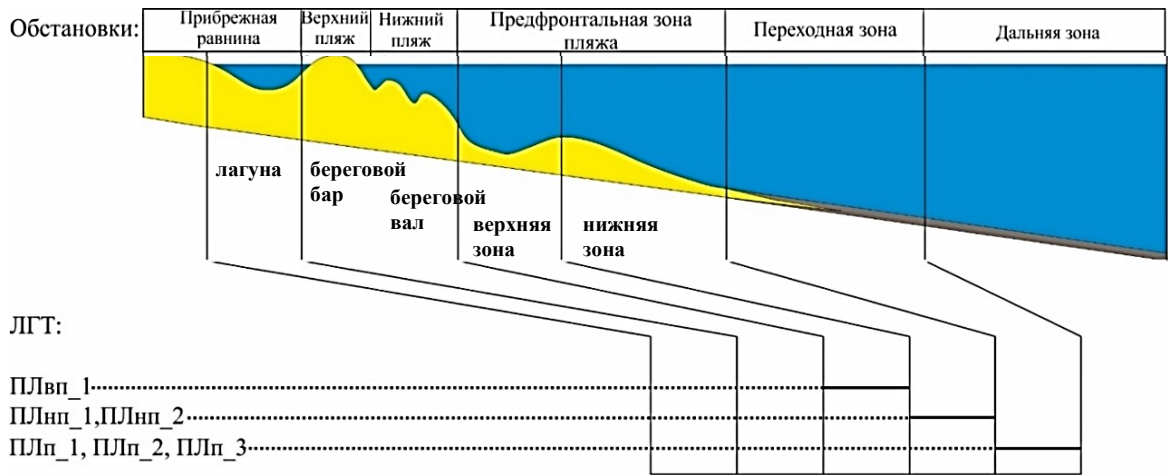


Рисунок 3.6. Распределение выделенных ЛГТ по фаціальным зонам переходных и мелководно-морских обстановок осадконакопления (составлено по [Рединга и др., 1990; Allen, 1991]).

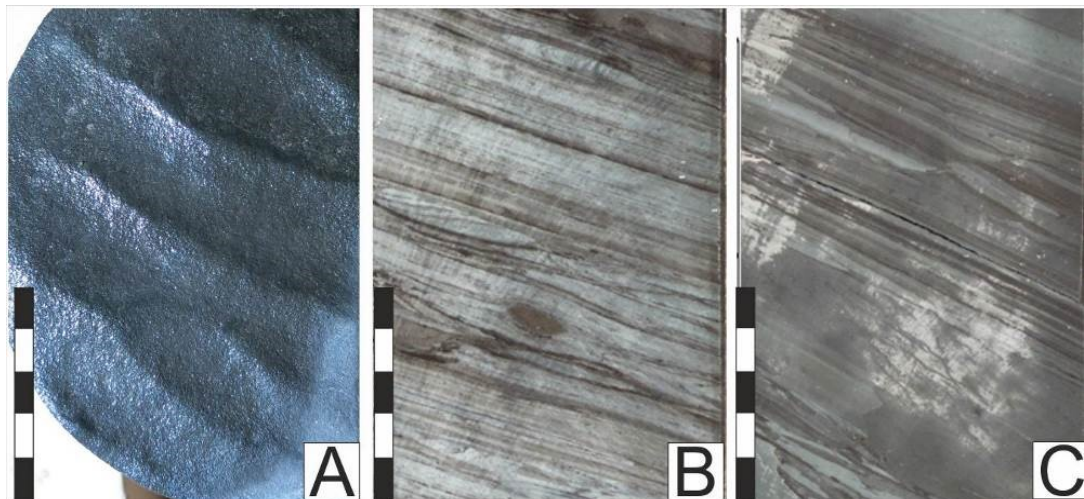


Рисунок 3.7. Фототаблица макрофаций пляжа и берегового склона.

Длина масштабной линейки 5 см.

Макрофации шельфа представлены комплексом карбонатных отложений внутреннего шельфа (рис. 3.8).

Положение в разрезе. Макрофации изучены в тирской свите.

Супралитораль (ШЛсл).

ШЛсл_1. Ангидриты разнокристаллические, желваковые, с включения и прослоями доломитов (рис. 3.9 В).

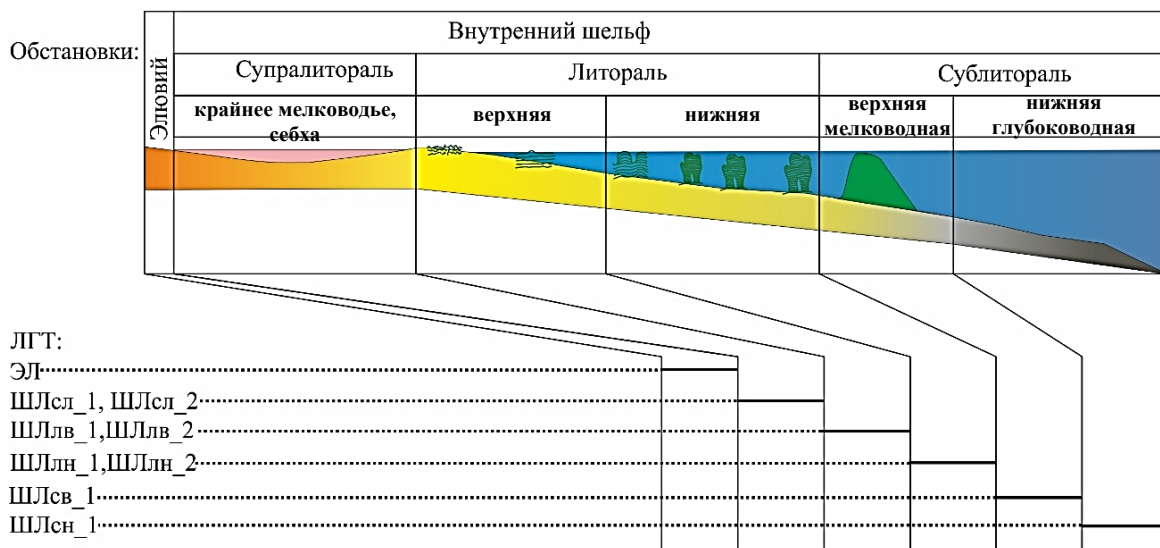


Рисунок 3.8. Распределение выделенных ЛГТ по фаціальным зонам шельфа (составлено по [Einsele, 2000]).

ШЛсл_2. Доломиты глинистые, кристаллические, реже со структурой строматолитовый баундстоун (корковые формы), с многочисленными желваками сульфатов (рис. 3.9 С).

Условия седиментации. Формирование желваковых ангидритов и ангидритизированных доломитов происходило в условиях себховых равнин при кратковременных затоплениях их солеными водами морского бассейна. Инфильтрация соленых вод приводила к эпигенетическому замещению доломитов гипсами, которые впоследствии перешли в ангидрит.

Литораль верхняя (ШЛлв).

ШЛлв_1. Доломиты разнокристаллические, с несохранившейся первичной структурой, с терригенной примесью.

ШЛлв_2. Доломиты тонкокристаллические, разномзернистые (пелоиды, ооиды, литокласты, фитокласты) (рис. 3.9 Е).

ШЛлв_3. Доломиты тонкокристаллические, строматолитовые (слоистые/пластовые формы) (рис. 3.9 D).

Породы разнокристаллические, преимущественно тонкокристаллические, с редкими прослоями литокластов, неравномерно сульфатизированные и трещиноватые. Сульфатизация представлена в виде мелких включений таблитчатых кристаллов ангидрита, до включений мелких желваков.

Условия седиментации. Формирование осадков происходило в условиях крайнего мелководья, при периодических суточных колебаниях уровня моря, при крайне низком поступлении терригенно-глинистого материала.

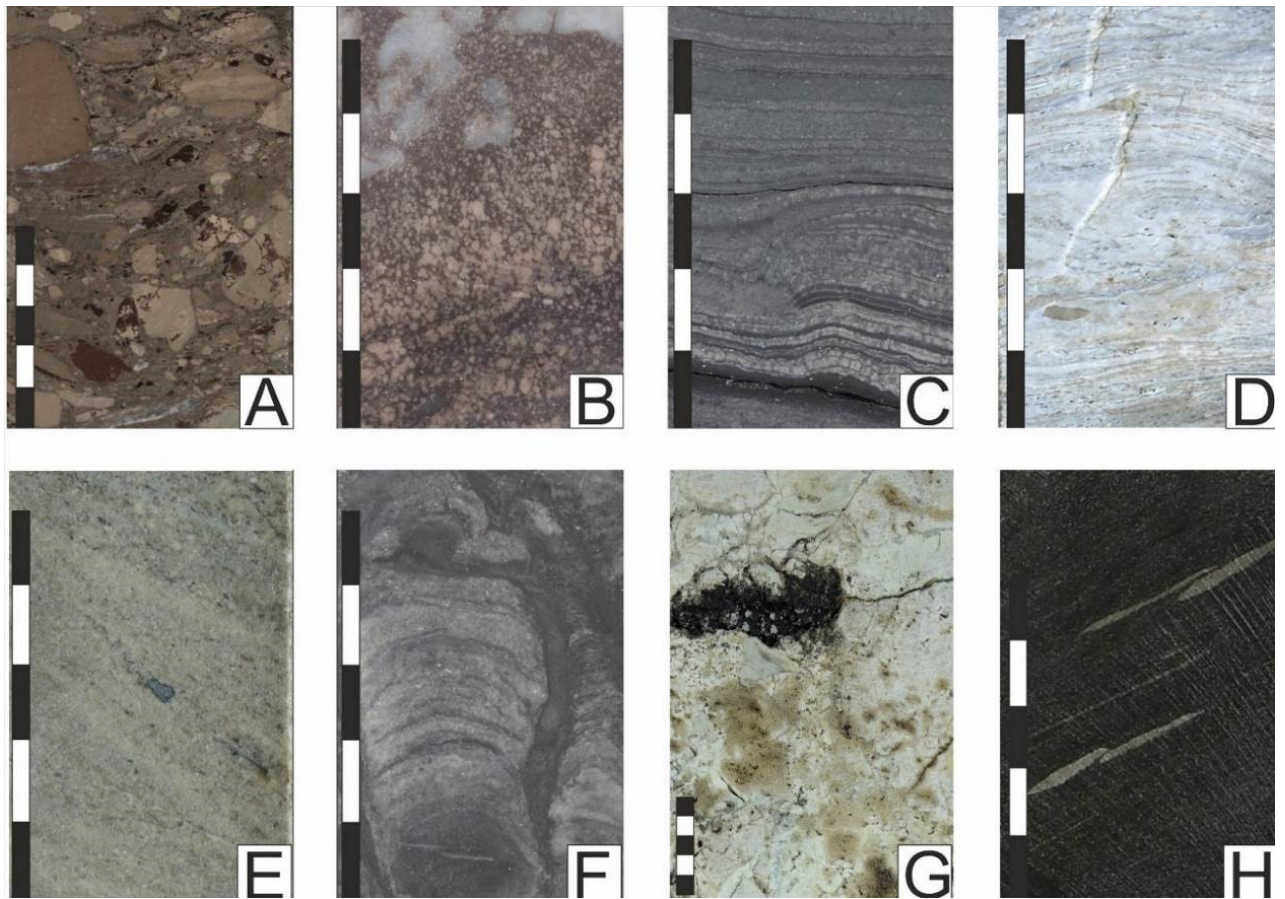


Рисунок 3.9. Фототаблица макрофаций шельфа.

A — доломитовая брекчия разнообломочная, плотная, крепкая. Обломки ориентированы по слоистости, окатанной и полуокатанной формы, различного размера, от 3x7 мм, до 2x4 см, представлены тонко-микрористаллическим доломитом. Элювиальный горизонт; *B* — доломиты сульфатизированные, серые и коричневато-серые, тонкокристаллические, со структурой мадстоун, тонко волнисто- и микростроистые, с глазковой текстурой, плотные, крепкие. Сульфатизация развита в виде многочисленных округлых и продолговатых желвачков ангидрита, ориентированных по слоистости, размером до 1x0.5 см. Супралитораль; *C* — доломиты глинистые, тонко-микрористаллические, строматолитовые (корковые формы), со структурой баундстоун, сульфатизированные с прожилками глинистого материала. Супралитораль; *D* — доломиты тонкокристаллические, строматолитовые (слоистые/пластовые формы) со структурой баундстоун, слабоволнистые. Литораль верхняя; *E* — доломиты тонкокристаллические. Доломиты тонкокристаллические, разнозернистые со структурой грейнстоун. Литораль верхняя; *F* — доломиты разнокристаллические, строматолитовые, со структурой байндстоун, с терригенно-литокластовым заполнением между столбиками, органично-слоистые. Литораль нижняя; *G* — доломиты разнокристаллические, водорослево-микробийальные со структурой баундстоун, с многочисленными мелкими фенестрами, с крупной каверной выщелачивания, неравномерно пористые, нефтенасыщенные. Супралитораль верхняя; *H* — аргиллиты массивные, с неравномерным доломитовым цементом, со стяжениями доломита параллельно напластованию. Сублитораль нижняя. Длина масштабной линейки 5 см.

Литораль нижняя (ШЛлн).

ШЛлн_1. Доломиты тонкокристаллические, строматолитовые (столбчатые формы), с неравномерным зернистым (ооиды и литокласты) заполнением между столбиками (рис. 3.9 F).

Условия седиментации. Умеренная и активная придонная гидродинамика, небольшие глубины, хорошая освещенность, нормальная соленость, отсутствие поступления терригенного материала.

Сублитораль верхняя (ШЛсв).

ШЛсв_1. Доломиты тонкокристаллические, водорослевые, в том числе с зернистым заполнением (рис. 3.9 G).

Условия седиментации. Осадки формировались в условиях нормальной солености, умеренной и активной гидродинамики и освещенности, при средних и относительно небольших глубинах.

Сублитораль нижняя (ШЛсн).

ШЛсн_1. Доломиты микрокристаллические глинистые со структурами мадстоун, неясно- и тонкослоистые, участками переходящие в аргиллиты микрослоистые и массивные черного цвета (рис. 3.9 H).

Условия седиментации. Осадки формировались в условиях нормальной солености, слабой освещенности, спокойной придонной гидродинамики, на глубинах ниже волновой активности.

1.2. Секвенс-стратиграфическое моделирование

Секвенс-стратиграфический анализ непского и тирского горизонтов практически не освещен в литературе. Отдельно стоит выделить диссертационную работу М.В. Лебедева, посвященную фациальному моделированию терригенных отложений венда северо-востока НБА [Лебедев, 2016]. В работе продемонстрированы секвенс-стратиграфические модели, а также палеофациальные разрезы. Автором рассматривались региональные секвенс-стратиграфические разрезы по СФЗ НБА в работах [Плюснин и др., 2019; Плюснин и др., 2020; Плюснин, Копаевич, 2021].

Секвенс-стратиграфический метод является одним из вариантов геосистемного подхода к изучению осадочных бассейнов. Его эффективность доказана при исследовании объектов различного возраста и генезиса во многих осадочных бассейнах мира [Catuneanu et al., 2011].

Для перехода к описанию модели необходимо выделить основные группы отложений и соответствующие им макрофаии, составляющие основу изучаемых стратоподразделений. Для этого рассмотрим вертикальный фациальный ряд, описанный на примере сводного разреза Ярактинский площади (рис. 3.10) (табл. 3.2).

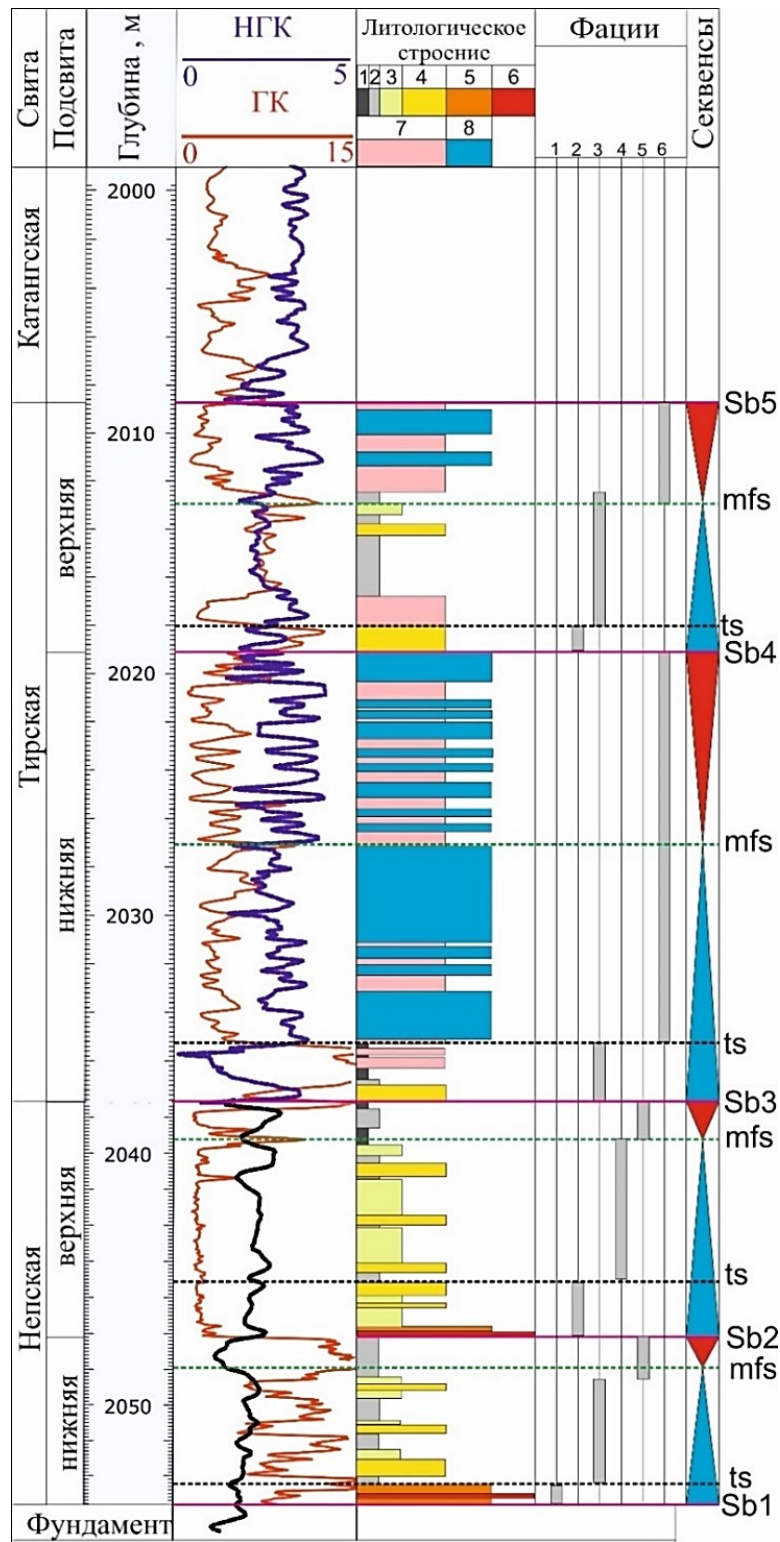


Рисунок 3.10. Сводный геолого-геофизический разрез Ярактинской площади, составленный по результатам литолого-седиментологического описания керна юга Приленско-Непской СФЗ.

Лито-строение: 1 — аргиллиты; 2 — алеволиты; 3 — мелкозернистые песчаники; 4 — среднезернистые песчаники; 5 — крупнозернистые песчаники; 6 — гравелиты; 7 — сульфатно-глинисто-карбонатные породы; 8 — доломиты. *Фашии:* 1 — пролювиальные конусы выноса; 2 — флювиальные; 3 — приливо-отливные; 4 — дельтовые; 5 — пляжа и подводного берегового склона; 6 — шельфовые.

Таблица 3.2. Краткое описание основных макрофаций к сводному разрезу.

Под-свита	Группа отложений	Подгруппа	Макрофации	Краткое описание
Верхнегирская	Мелководно-морские	Внутреннего шельфа	Шельфовые	Доломиты микрокристаллические глинистые и сульфатизированные неясно- и тонкослоистые, участками переходящие в аргиллиты микрослоистые и массивные черного цвета. Смешанные сульфатно-карбонатно-глинистые породы темно-серые, мелкозернистые, массивные, неясно-слоистые, реже тонкослоистые, плотные. Сульфатизация представлена в виде стяжений и включений неправильной формы ангидрита.
	Переходные	Прибрежной равнины	Приливно-отливные	В нижней части. Сульфатно-глинисто-карбонатные породы, кристаллические, неправильно и желваково-слоистые, с прожилками и линзами глинистого и песчаного материала. В средней части. Алевролиты разнозернистые, с линзовидной волнистой слоистостью. В верхней части. Песчаники средне- и мелкозернистые, с мелкой волнистой слоистостью, с парными глинистыми слойками.
	Континентальные	Аллювиальные	Речные	Песчаники мелко-среднезернистые, с крупной косою однонаправленной слоистостью, участками массивные, в подошве с интракластами алевролитов.
Нижнегирская	Мелководно-морские	Внутреннего шельфа	Шельфовые	Доломиты микрокристаллические глинистые и сульфатизированные неясно- и тонкослоистые. Тонкое переслаивание сульфатно-карбонатных пород и аргиллитов. Сульфатизация представлена в виде стяжений и включений неправильной формы ангидрита.
	Переходные	Прибрежной равнины	Приливно-отливные	В нижней части. Песчаники мелко-среднезернистые, с крупной косою однонаправленной слоистостью. В верхней части. Тонкое переслаивание аргиллитов, алевролитов, и сульфатно-карбонатных пород с прожилками и линзами глинистого и песчаного материала.
Верхнецепская	Мелководно-морские	Внутреннего шельфа	Пляжа и подводного берегового склона	Переслаивание аргиллитов и алевролитов. Породы с горизонтальной слоистостью.
	Переходные	Прибрежной равнины	Дельтовые	Песчаники от мелко до среднезернистых, с косою однонаправленной слоистостью, со сдвоенными слойками, с сериями косою срезанной слоистости, с прослоями алевролитов разнозернистых, с волнистой и горизонтальной слоистостью.
	Континентальные	Аллювиальные	Речные	Песчаники разнозернистые от крупно до мелкозернистых, с единичным прослоем гравелитов, с крупной косою однонаправленной слоистостью, с интракластами алевролитов в подошве слоя.
Нижнецепская	Мелководно-морские	Внутреннего шельфа	Пляжа и подводного берегового склона	Алевролиты мелкозернистые, с горизонтальной слоистостью.
	Переходные	Прибрежной равнины	Приливно-отливные	Переслаивание песчаников и алевролитов. Песчаники от средне до мелкозернистых, с косою разнонаправленной слоистостью, сдвоенными глинистыми слойками и интракластами алевролитов в подошве среднезернистых песчаников. Алевролиты разнозернистые, с прожилками мелкозернистого песчаного материала, с тонкой слоистостью.
	Континентальные	Аллювиальные	Проллювиальные конусы выноса	Крупнозернистые песчаники с прослоями гравелитов, с крупной косою слоистостью.

Нижнепепская подсвита. В составе подсвиты выделен один секвенс SQ1. Секвентная граница Sb1 проведена по контакту гравелитов и пород фундамента (рис. 3.11А). Соответствует преднепскому стратиграфическому перерыву. В составе SQ1 выделены три системных тракта – тракт низкого стояния (ТНС), трансгрессивный системный тракт (ТСТ) и тракт высокого стояния (ТВС). ТНС представлен грубообломочными отложениями пролювиальных конусов выноса. Поверхность ts фиксирует начало трансгрессии. ТСТ представлен переслаиванием песчаников приливо-отливного канала, глинистых и песчано-глинистых отложений приливо-отливной отмели. Поверхность максимального msf затопления проведена по пику ГК: смена ретроградационного на аградационный пакет парасеквенсов. ТВС представлен глинистыми мелководно-морскими отложениями (переходная зона).

Таким образом, первый секвенс представлен следующими группами отложений: континентальные → переходные → мелководно-морские (терригенные).

Верхнепепская подсвита. В составе подсвиты выделен один секвенс – SQ2. Секвентная граница Sb2 проведена по контакту гравелитов песчаных и аргиллитов (рис. 3.11В). Соответствует внутринепскому стратиграфическому перерыву. В составе SQ2 выделены три системных тракта. ТНС представлен отложениями флювиального канала. Поверхность ts фиксирует начало трансгрессии. ТСТ представлен песчаными дельтовыми отложениями. Поверхность максимального затопления msf проведена по пику ГК смена ретроградационного на аградационный пакет парасеквенсов. ТВС представлен глинистыми мелководно-морскими отложениями (переходная зона).

Таким образом, второй секвенс представлен следующими группами отложений: континентальные → переходные → мелководно-морские (терригенные).

Нижнетирская подсвита. В составе подсвиты выделен один секвенс – SQ3. Секвентная граница Sb3 проведена по контакту песчаников и алевролитов (рис. 3.11С). Соответствует предтирскому стратиграфическому перерыву. В составе SQ3 выделены три системных тракта. ТНС представлен глинистыми, песчаными и сульфатно-глинисто-карбонатными приливо-отливными отложениями. Поверхность ts фиксирует начало трансгрессии. ТСТ представлен доломитами с прослоями сульфатно-глинисто-карбонатных пород внутреннего шельфа. Поверхность максимального затопления проведена по пику ГК. Выше нее идет ТВС, в котором значительно увеличивается доля сульфатно-глинисто-карбонатных прослоев, свидетельствующая о более глубоководных условиях осадконакопления.

Таким образом, данный секвенс представлен следующими группами отложений: переходные → мелководно-морские (карбонатные).

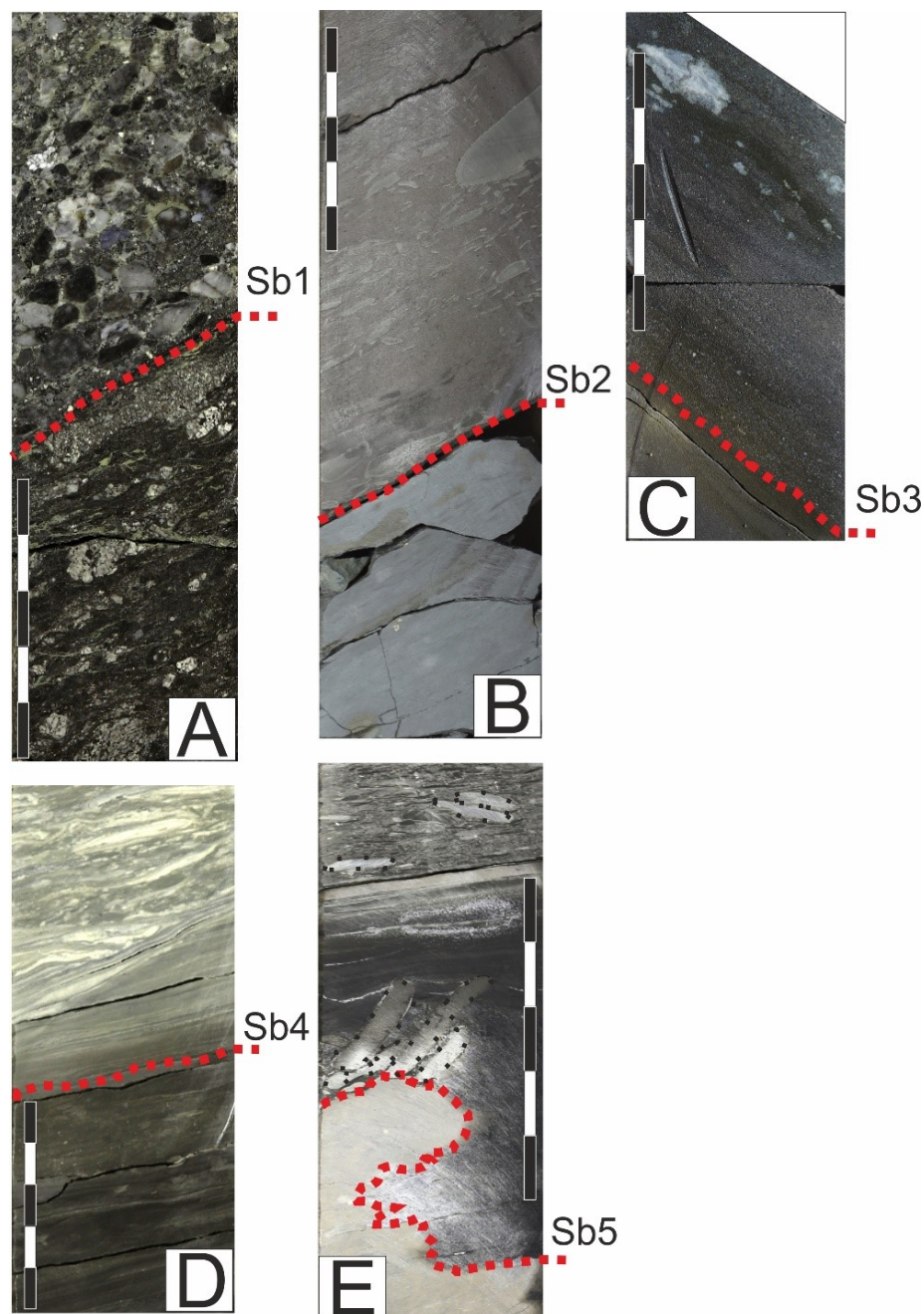


Рисунок 3.11. Фото керн скважин Ярактинской площади с выделенными секвенс-стратиграфическими границами.

A - секвенс-стратиграфическая поверхность Sb1. Эрозионный контакт гравелитов нижненепской подсвиты (вверху) с породами коры выветривания и кристаллического фундамента (внизу); B - секвенс-стратиграфическая поверхность Sb2. Резкий эрозионный контакт песчаников с глинистыми окатанными интракластами верхненепской подсвиты и глинистых отложений нижненепской подсвиты (внизу); C - секвенс-стратиграфическая поверхность Sb3. Резкий эрозионный контакт песчаников с прослоями глинисто-сульфатных пород нижнетурской подсвиты, и глинистых отложений верхненепской подсвиты (внизу); D - секвенс-стратиграфическая поверхность Sb4. Резкий эрозионный контакт песчаников нижнетурской подсвиты и глинисто-карбонатных пород нижнетурской подсвиты (внизу); E - секвенс-стратиграфическая поверхность Sb5. Контакт карбонатной брекчии с глинистым цементом катангской свиты и закарстованной поверхности доломитов верхнетурской подсвиты. Границы показаны красной пунктирной линией. Длина масштабной линейки – 5 см.

Верхнетирская подсвета. В составе подсветы выделен один секвенс – SQ4. Секвентная граница Sb4 проведена по контакту песчаников и глинисто-карбонатных пород (рис. 3.11D). Соответствует внутритирскому стратиграфическому перерыву, впервые описанному в Приленско-Непской СФЗ в работах [Плюснин и др., 2019; Плюснин и др., 2020]. В составе SQ3 выделены три системных тракта. ТНС представлен песчаными флювиальными отложениями. Поверхность ts фиксирует начало трансгрессии. ТСТ представлен сульфатно-глинисто-карбонатными породами с прослоями глинистых и песчанистых пород приливно-отливной зоны. Поверхность максимального затопления msf проведена по пику ГК, резкой смене состава отложений. ТВС представлен переслаиванием доломитов и сульфатно-глинисто-карбонатных пород внутреннего шельфа.

Таким образом, этот секвенс представлен следующими группами отложений: континентальные → переходные → мелководно-морские (карбонатные).

Выше залегают карбонатные отложения, относящиеся к катангской свите даниловского горизонта. В их подошве также фиксируется предданиловский перерыв (Sb5) (рис. 3.11E). В керне наблюдается налегание карбонатной брекчии с глинистым цементом (катангская свиты) на закарстованную поверхность доломитов (верхнетирская подсвета).

Секвенс-стратиграфическая модель осадконакопления. Основой настоящего моделирования является понятие «осадочный секвенс» в версии «Depositional sequence II», в которой базальный член секвенса является ТНС [Catuneanu, 2006] (рис. 3.12).

Подошва ТНС является поверхностью несогласия и границей секвенса. ТНС формируется в начальный этап прироста аккумулятивного пространства в районе береговой линии, когда его перекомпенсирует поступление осадочного материала. Для ТНС характерен проградационный пакет парасеквенсов. В условиях мелководного поздневендского бассейна ТНС может быть представлен следующей латеральной последовательностью отложений: мелководно-морские → прибрежной равнины → континентальные (пролювиальные и флювиальные).

Выше залегает ТСТ, в котором наблюдается ретроградационный пакет парасеквенсов. ТСТ формируется в период интенсивного прироста аккумулятивного пространства в районе береговой линии при нехватке осадочного материала для его компенсации. Его подошвой является трансгрессивная эрозионная поверхность TS. В условиях мелководного поздневендского бассейна ТСТ может быть представлен: следующей латеральной последовательностью отложений: мелководно-морские → прибрежной равнины → континентальные (флювиальные).

Разрез секвенса завершает ТВС, который характеризуется агградационным и проградационным пакетом парасеквенсов. Он формируется в период замедления прироста аккумулятивного пространства в районе береговой линии, когда поступление осадочного материала вновь его пе-

рекомпенсирует. Его подошвой является поверхность максимального затопления mfs. В условиях мелководного поздневендского бассейна ТВС может быть представлен следующей латеральной последовательностью отложений: мелководно-морские → прибрежной равнины → континентальные (флювиальные). Заканчивается секвенс падением уровня моря и формированием ТНС, с которого начинается новый секвенс [Posamentier, Allen, 1999].

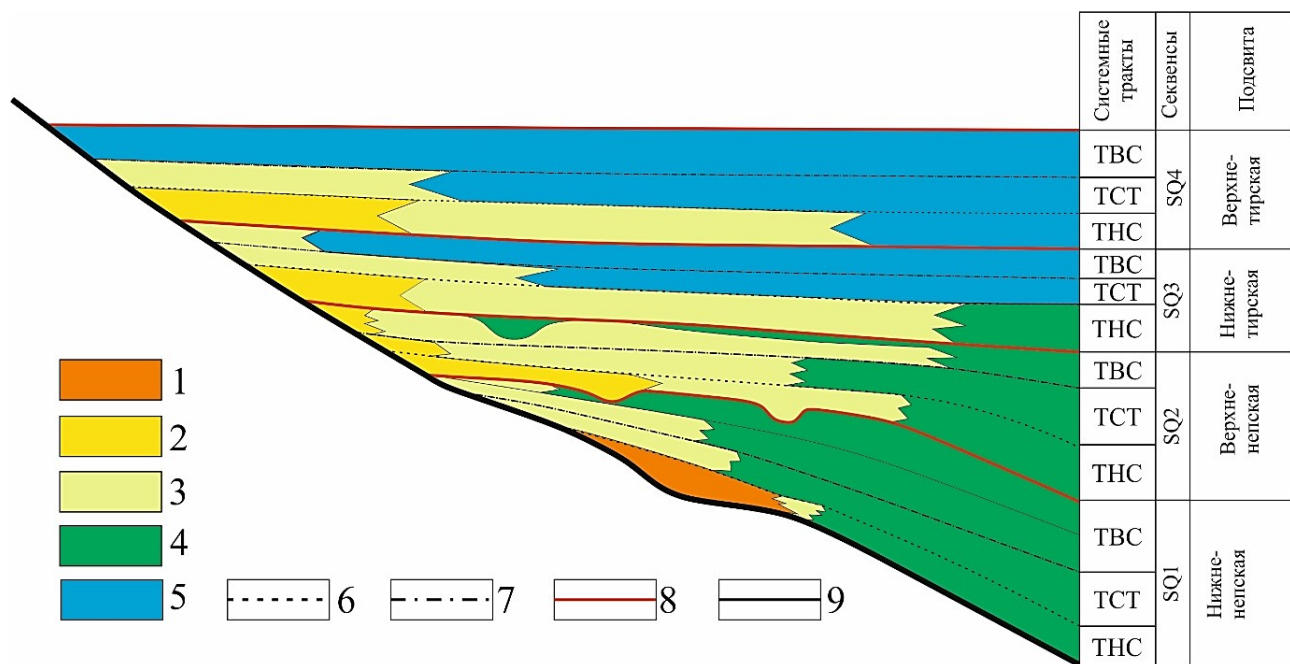


Рисунок 3.12. Концептуальная секвенс-стратиграфическая модель непских и тирских отложений юга НБА.

Фациальные комплексы: 1 – континентальные (пролювиальные) отложения; 2 – континентальные (флювиальные) отложения; 3 – прибрежно-морские отложения; 4 – мелководно-морские (терригенные); 5 – мелководно-морские (карбонатные). Секвенс-стратиграфические поверхности: 6 – трансгрессивная поверхность; 7 – поверхность максимального затопления; 8 – граница секвенций; 9 – граница с породами фундамента.

3.3. Обсуждение результатов

В результате проведённых литолого-фациальных исследований установлено, что изучаемые отложения накапливались в континентальных, переходных и мелководно-морских обстановках осадконакопления. Структурированы представления о фациальной принадлежности изучаемых отложений: выделены 8 макрофаций: элювиальные, пролювиальные (конусы выноса), флювиальные (речные), озерные; приливно-отливные, дельтовые (приливно-отливного типа); пляжа и подводного берегового склона и шельфовые (см. табл. 3.1). В каждой макрофации выделен типовой ряд фаций, состоящих из наборов, определенных литогенетических типов пород. Всего описано 37 ЛГТ. Представлено их латеральное распределение по описанным выше обстановкам

осадконакопления. Составлены фототаблицы с характерными текстурами, которые могут являться атласом-определителем по вендским отложениям НБА. Безусловно, в процессе последующей деятельности данная классификационная схема будет уточняться и дополняться.

Приведенные в работе результаты секвенс-стратиграфических исследований керна и региональная корреляция скважин позволили создать концептуальную модель формирования непской и тирской свит для юга Приленско-Непской СФЗ. К подошвам секвенсов приурочены стратиграфические несогласия (преднепское, внутринепское, предтирское, внутритирское), которые не противоречат текущим представлениям [Мельников, 2018 и др.]. Стратиграфическое несогласие в подошве SQ4 (внутритирское) для юга Приленско-Непской СФЗ выделено впервые. На территории юга Приленско-Непской СФЗ в разрезе непской и тирской свит стратиграфические перерывы фиксируются четко, с возрастанием диапазона в северном и северо-западном направлении.

Нижнепская подсвита. Ее объёму соответствует выделенный *секвенс SQ1*, образующий базальную часть осадочного чехла, который залегает на породах коры выветривания и фундаменте. Картируется в самых погруженных частях фундамента. Мощность, как и для вышележащего секвенса, увеличивается в южном и юго-восточном направлении. Выклинивается в северном и северо-западном направлении. Подошва секвенции отвечает преднепскому стратиграфическому несогласию. Секвенс состоит из трех системных трактов, которые характеризуются латеральной и вертикальной сменой континентальных (флювиальные макрофации), переходных (приливно-отливные макрофации) и мелководно-морских (макрофации пляжа и подводного берегового склона) обстановок осадконакопления.

Верхнепская подсвита. Ей соответствует *секвенс SQ2*, залегающий на породах нижнепской подсвиты или коры выветривания и фундамента (зона выклинивания SQ1). Подошва секвенции отвечает внутринепскому стратиграфическому несогласию. Мощность уменьшается в северном и северо-западном направлении. Секвенс состоит из трех системных трактов, которые характеризуются латеральной и вертикальной сменой континентальных (флювиальные макрофации), переходных (дельтовых макрофаций) и мелководно-морских (макрофации пляжа и подводного берегового склона) обстановок осадконакопления. Отложения ТНС SQ2 эрозионно врезаются в глинистые мелководно-морские отложения ТВС SQ1, участками полностью размывая их. Основная часть терригенного материала формируется в дельтовых условиях. По кровле ТВС наблюдается латеральное замещение песчаных прибрежно-морских осадков глинистыми мелководно-морскими отложениями.

Нижнетирская подсвита выделена в объеме *секвенса SQ3*. Развита равномерно на всей изучаемой территории. Подошва секвенции отвечает предтирскому стратиграфическому несогласию.

сию. Секвенс состоит из трех системных трактов, которые характеризуются латеральной и вертикальной сменой континентальных (флювиальные макрофации), переходных (приливно-отливные макрофации) и мелководно-морских (макрофации пляжа и подводного берегового склона, шельфа) обстановок осадконакопления. Особенностью секвенса является то, что на ТСТ и ТВС начинают преобладать карбонатные отложения. Происходит смена терригенного осадконакопления на преимущественно карбонатное, что свидетельствует о важной перестройке в бассейне седиментации. Это связано с тем, что объёмы поступления терригенного материала резко сократились, продолжавшаяся трансгрессия способствовала началу карбонатного осадконакопления, что позволило на этапе ТВС в центральной части НБА сформироваться карбонатным рифогенным образованиям, первой «тирской» карбонатной платформе в венд-кембрийском разрезе НБА [Плюснин и др., 2019].

Верхнетирская подсвита выделена в объёме SQ4, образующий базальную часть осадочного чехла. Развита повсеместна. Подошва секвенции отвечает внутритирскому стратиграфическому несогласию. Секвенс состоит из трех системных трактов, которые характеризуются латеральной и вертикальной сменой континентальных (флювиальные макрофации), переходных (приливно-отливные макрофации) и мелководно-морских (шельфовые макрофации) обстановок осадконакопления. Важным здесь является то, что регрессия моря привела к формированию ТНС по южной периферии НБА, с преобладанием флювиальных (врезанная речная долина) и приливно-отливных макрофаций в нижней части разреза. В верхней части разреза - мелководно-морские карбонатные породы.

Таким образом, результаты секвенс-стратиграфических исследований керн и региональная корреляция скважин позволили создать концептуальную модель формирования непской и тирской свит, для юга Приленско-Непской фациальной зоны, состоящей из четырёх секвенсов (трансгрессивно-регрессивных циклов). К подошвам секвенсов приурочены стратиграфические несогласия, которые не противоречат современным представлениям. Стратиграфическое несогласие в подошве SQ4 (внутритирское) для юга Приленско-Непской СФЗ выделено впервые. Коллектора главным образом приурочены к трактам низкого и высокого стояния уровня моря. Непские секвенсы (SQ1-SQ2) - терригенные. Уже в SQ3, выделенном в разрезе нижнетирской подсвиты, происходит смена терригенного осадконакопления на преимущественно карбонатное, что свидетельствует о важной смене режима бассейна седиментации. Это может быть связано с тем, что объёмы поступления терригенного материала резко сократились, продолжавшаяся трансгрессия моря способствовала началу карбонатного осадконакопления.

ГЛАВА 4. ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ, МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД

4.1. Нижненепская подсвета

Петрография. Изученные породы нижненепской подсветы представлены алевролитами, песчаниками, гравелитами и конгломератами. В соответствии с классификацией по Н.В. Логвиненко [Логвиненко, 1974] изученные породы принадлежат следующим группам: аркозы, аркозо-граувакки, граувакки и полевошпат-кварцевые (рис. 4.1).

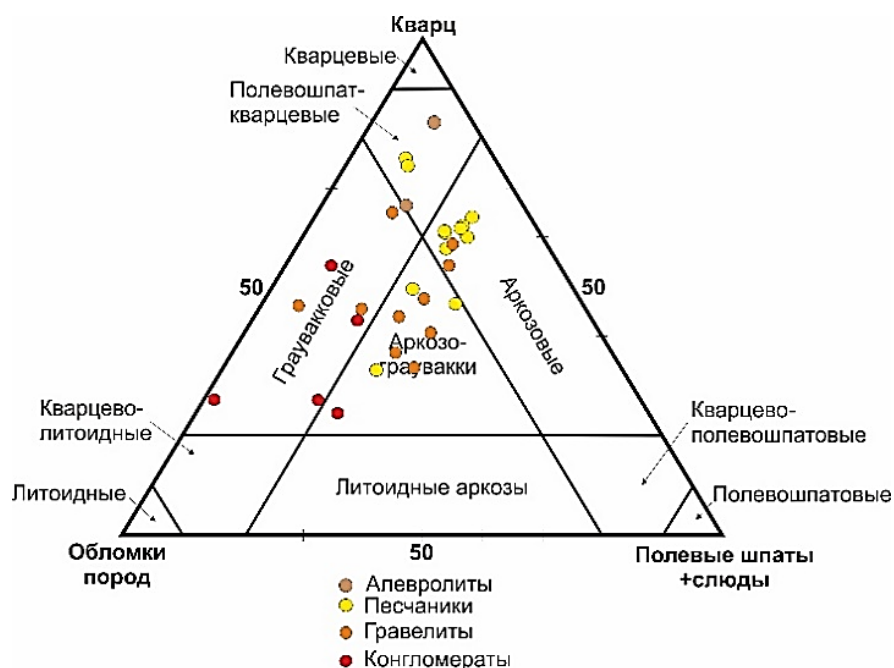


Рисунок 4.1. Классификация терригенных пород нижненепской подсветы.

Аркозы нижненепской подсветы.

Текстура неясно-слоистая, косослоистая.

Структура псаммитовая, псефитовая. Размер зерен изменяется от 0.25–0.1 мм до 10–5 мм. Обломочный материал плохой степени сортировки (рис. 4.2а). Среди обломков различаются полуокатанные (55%), неокатанные (35%), изредка отмечаются окатанные обломки (5-10%).

Состав обломочной части: кварц (53–63%), полевые шпаты (23–28%), слюды (0-3%) и обломки пород (5-11%). Обломки пород представлены микрокварцитами и кварцитами.

Второстепенные минералы: пирит, лейкоксен и гематит.

Акцессорные минералы: турмалин, анатаз, пироксены, циркон и сфен.

Цемент глинистый (гидрослюдистый) пленочный и регенерационный кварцевый.

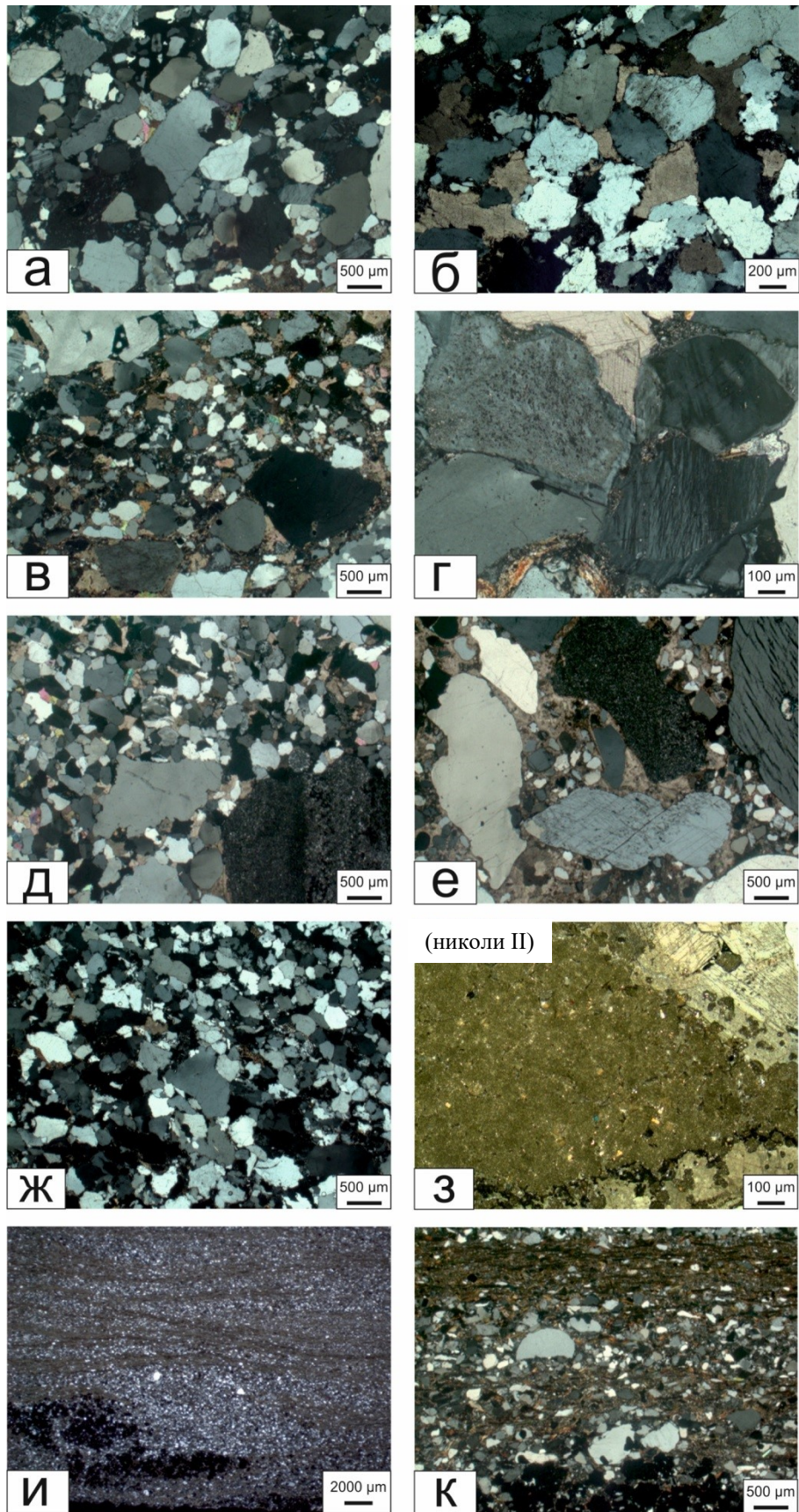


Рисунок 4.2. Микрофотографии шлифов терригенных пород нижненепской подсвиты (николи ×).

Вторичные изменения: галитизация, доломитизация и пиритизация порового пространства, регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов (рис. 4.2б), пелитизация, серицитизация и выщелачивание обломочных зерен калиевого полевого шпата с образованием глинисто-гидрослюдистых агрегатов, коррозия и уплотнение пород.

Аркозо-граувакки нижненепской подсвиты.

Текстура косослоистая.

Структура псаммитовая, псефитовая. Размер зерен изменяется от 0.25–0.1 мм до 10–5 мм. Обломочный материал плохой и средней степени сортировки (рис. 4.2в). Среди обломков различаются полуокатанные (65%), неокатанные (25%), изредка отмечаются окатанные обломки (5–10%).

Состав обломочной части: кварц (23–49%), полевые шпаты (22–32%), слюды (0–1%) и обломки пород (1–44%). Обломки пород представлены микрокварцитами и кварцитами.

Второстепенные минералы: пирит, лейкоксен и гематит.

Акцессорные минералы: турмалин, анатаз, сфен, эпидот, амфиболы и магнетит.

Цемент глинистый (гидрослюдистый) пленочный и регенерационный кварцевый.

Вторичные изменения: галитизация, доломитизация, сульфатизация и пиритизация порового пространства, регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов (рис. 4.2г), коррозия и уплотнение пород.

Граувакки нижненепской подсвиты.

Текстура косослоистая.

Структура псаммитовая, псефитовая. Размер зерен изменяется от 0.5–0.25 мм до 10 и более мм. Обломочный материал плохой и средней степени сортировки (рис. 4.2д). Среди обломков различаются полуокатанные (75%), неокатанные (20%), изредка отмечаются окатанные обломки (1–5%).

Состав обломочной части: кварц (19–64%), полевые шпаты (2–19%), слюды (0–1%) и обломки пород (14–70%). Обломки пород представлены микрокварцитами и кварцитами.

Второстепенные минералы: пирит, лейкоксен и гематит.

Акцессорные минералы: анатаз, сфен, турмалин, пироксен, циркон и магнетит.

Цемент глинистый (гидрослюдистый) пленочный и регенерационный кварцевый.

Вторичные изменения: галитизация, доломитизация (рис. 4.2е), сульфатизация и пиритизация порового пространства, регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов, коррозия и уплотнение пород.

Полевошпат-кварцевые породы нижненепской подсвиты.

Текстура волнистая, косослоистая.

Структура псаммитовая. Размер зерен изменяется от 0.05–0.25 мм до 1 мм. Обломочный материал средней степени сортировки (рис. 4.2ж,и). Среди обломков различаются полуокатанные (85%), неокатанные (15%), изредка отмечаются окатанные обломки (5-10%).

Состав обломочной части: кварц (50–83%) полевые шпаты (6–10%), слюды (0-4%) и обломки пород (2-8%). Обломки пород представлены микрокварцитами, кварцитами, реже кремнисто-глинистыми сланцами.

Второстепенные минералы: пирит и лейкоксен.

Акцессорные минералы: турмалин, анатаз и циркон.

Цемент глинистый (гидрослюдистый), пленочный (рис. 4.2к), и регенерационный кварцевый.

Вторичные изменения: галитизация, доломитизация и пиритизация (рис. 4.2з), порового пространства, регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов, коррозия и уплотнение пород.

Иммерсионный анализ нижненепской подсветы приведен по результатам изучения 2 проб (Таблица 1). Литологически исследуемые образцы представлены песчаниками с преобладающим глинистым цементом с локальным развитием карбонатного цемента. Проба из скважины Ярактинская 202 – гравелит с прослоями песчаника и алевролита.

Соотношение легкой и тяжелой фракции варьирует в узких пределах: легкая (98.2-98.8%), тяжелая (1.2-1.8%). Легкая фракция представлена кварцем (70-80%), полевыми шпатами (12%), слюдами (5%), обломками пород (3-20%) и карбонатами (10%). Состав тяжелой фракции в пределах подсветы является однородным. Основными минералами являются: циркон (13.3-70.3%), турмалин (26.3-53.3%) и рутил (3.3-33.3%).

Циркон представлен призматическими агрегатами различной степенью окатанности и обломками призм, иногда трещиноватыми с включениями других минералов. Цвет варьирует от прозрачного до розовато-чайного. Турмалин представлен призматическими зернами либо их обломками различной степени окатанности. Цвет преимущественно зеленовато-коричневый, темно-коричневый, редко отмечаются прозрачные разности. Рутил – окатанные обломки столбчатой и короткопризматической формы черного и черно-серебристого цвета.

Опираясь на полученные результаты, был выделен рутил-турмалин-цирконовый терригенно-минералогический комплекс.

Коэффициент гидроаэродинамической зрелости (**Mhd**) варьирует в пределах от 0.8 до 2.7 (максимум достигается в скважине 16 Большетирской площади), что соответствует весьма низкой и средней степени зрелости обломочного материала исследуемых отложений. В образцах отмечаются минералы с различной степенью окатанности. Показатель химической зрелости (**Mc**)

изменяется от 46.6 до 64, соответствуя от средней до высокой степени зрелости. Коэффициент гидроаэродинамической устойчивости, представленный отношением циркон/турмалин, характеризует дальность перемещения минералов от коренных источников. Для рассматриваемого интервала отложений $Zrn/Turm = 0.2-2.6$, что свидетельствует о различной степени удаленности от источника сноса. Максимальной дальностью характеризуются отложения Большетирской, 16.

Петрогенные элементы. Содержания петрогенных оксидов и рассчитанные значения петрохимических модулей для пород непской и тирской свит приведены в Таблице 2.

Значения гидролизатного модуля в исследуемых породах нижненепской подсвиты, варьируются в широком диапазоне ($ГМ = 0.08-0.63$), и позволяют классифицировать их, как гипо-, нормо-, и суперсилиты. Все проанализированные образцы характеризуются пониженным модулем нормированной щелочности ($НКМ = 0.20-0.87$) (таблица 2). Для них отмечается положительная корреляция $ГМ-ФМ$ ($r = 0.9$) и отрицательная $НКМ-ГМ$ ($r = -0.8$) (рис. 4.3).

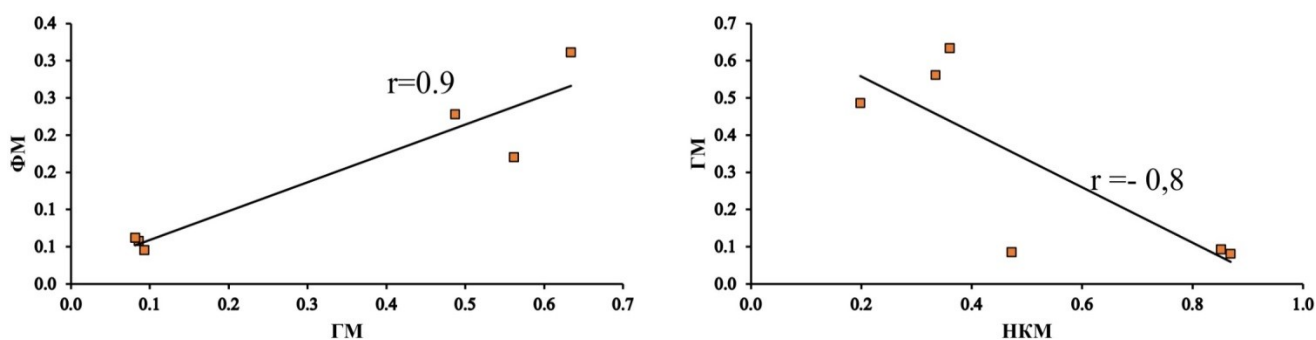


Рисунок 4.3. Диаграммы $ГМ-ФМ$ и $НКМ-ГМ$ для нижненепской подсвиты по [Юдович, Кетрис, 2000].

Редкие и рассеянные элементы. Концентрации редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) для пород непской и тирской свит приведены в Таблице 3. Для наглядного представления особенностей распределения этих элементов в изученных породах приведено их сопоставление со средним протерозойским кратонным песчаником [по Condie, 1993] (далее по тексту - СПКП). Терригенные породы нижненепской подсвиты в целом характеризуются близкими концентрациями РЗЭ относительно СПКП. В единичных образцах обнаруживаются повышенные значения Sc, Co, Ni относительно СПКП. Концентрации V, Y, Zr, Nb, Ta и Pb в исследуемых породах ниже, чем в СПКП (рис. 4.4).

Для пород нижненепской подсвиты обнаруживаются фракционированные спектры распределения редкоземельных элементов ($La_n/Yb_n = 5.88-10.69$) и обогащение легкими лантаноидами

($La_n/Sm_n = 2.25-5.62$) относительно тяжелых ($Gd_n/Yb_n = 0.78-2.05$) (рис. 4.5). Для изученных образцов фиксируется как отрицательная, так и положительная европиевая аномалия ($Eu/Eu^* = 0.53-1.16$).

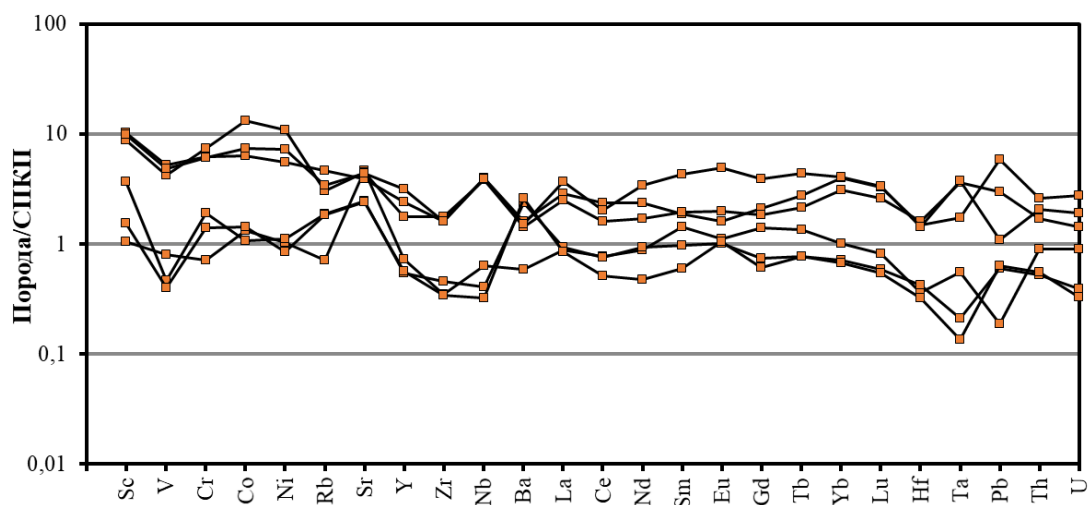


Рисунок 4.4. Спектры распределения РЗЭ для нижненепской подсвиты, нормированные на СПКП [Condie, 1993].

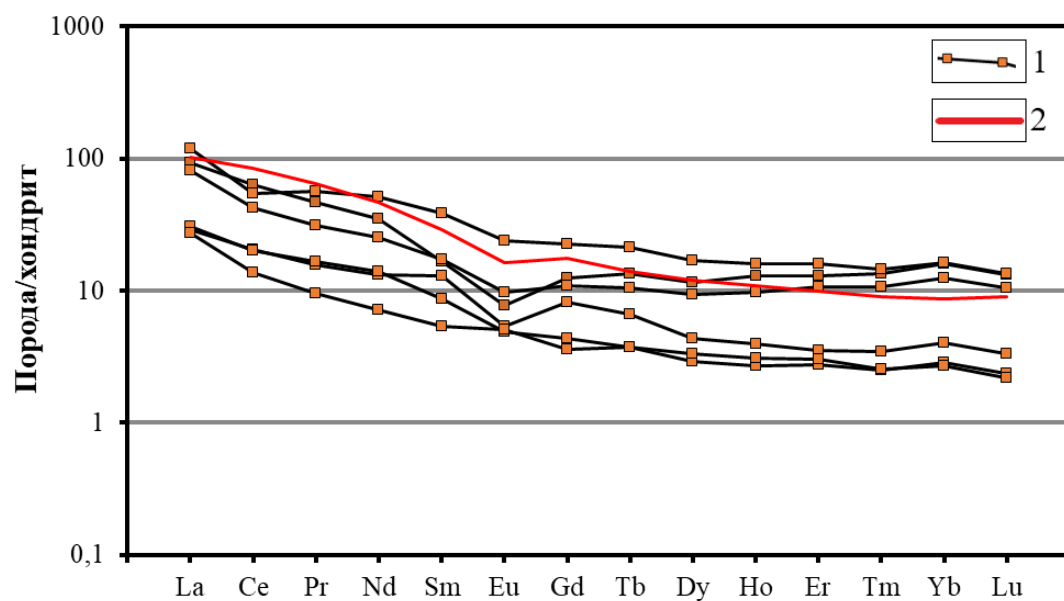


Рисунок 4.5. Спектры распределения РЗЭ для нижненепской подсвиты, нормированные по хондриту [Boynnton, 1984].

Условные обозначения: 1 – спектры распределения РЗЭ в терригенных отложениях нижненепской подсвиты; 2 – спектры распределения РЗЭ в среднем протерозойском кратонном песчанике [Condie, 1993].

4.2. Верхненепская подсвета

Петрография. Изученные породы верхненепской подсветы представлены песчаниками и гравелитами. На диаграмме Н.В. Логвиненко точки составов этих пород расположились преимущественно в поле значений полевошпат-кварцевых пород, некоторые образцы попали в поле граувакк (рис. 4.6).



Рисунок 4.6. Классификация терригенных пород верхненепской подсветы.

Граувакки верхненепской подсветы.

Текстура нечеткослоистая, косослоистая.

Структура псаммитовая и псефитовая. Размер зерен изменяется от 0.25–0.1 мм до 5 мм. Обломочный материал плохой и средней степени сортировки (рис. 4.7а). Среди обломков различаются полуокатанные (70%), неокатанные (25%), изредка отмечаются окатанные обломки (5–10%).

Состав обломочной части: кварц (56–72%) полевые шпаты (5–14%), слюды (до 1–2%) и обломки пород (4–26%). Обломки пород представлены микрокварцитами, кварцитами и кремнисто-глинистыми сланцами.

Второстепенные минералы: пирит и лейкоксен.

Акцессорные минералы: турмалин, сфен и анатаз.

Цемент глинистый (гидрослюдистый) пленочный и регенерационный кварцевый.

Вторичные изменения: галитизация, доломитизация и пиритизация порового пространства, регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов, пелитизация, серицитизация и выщелачивание полевых шпатов (рис. 4.7б), коррозия и уплотнение пород.

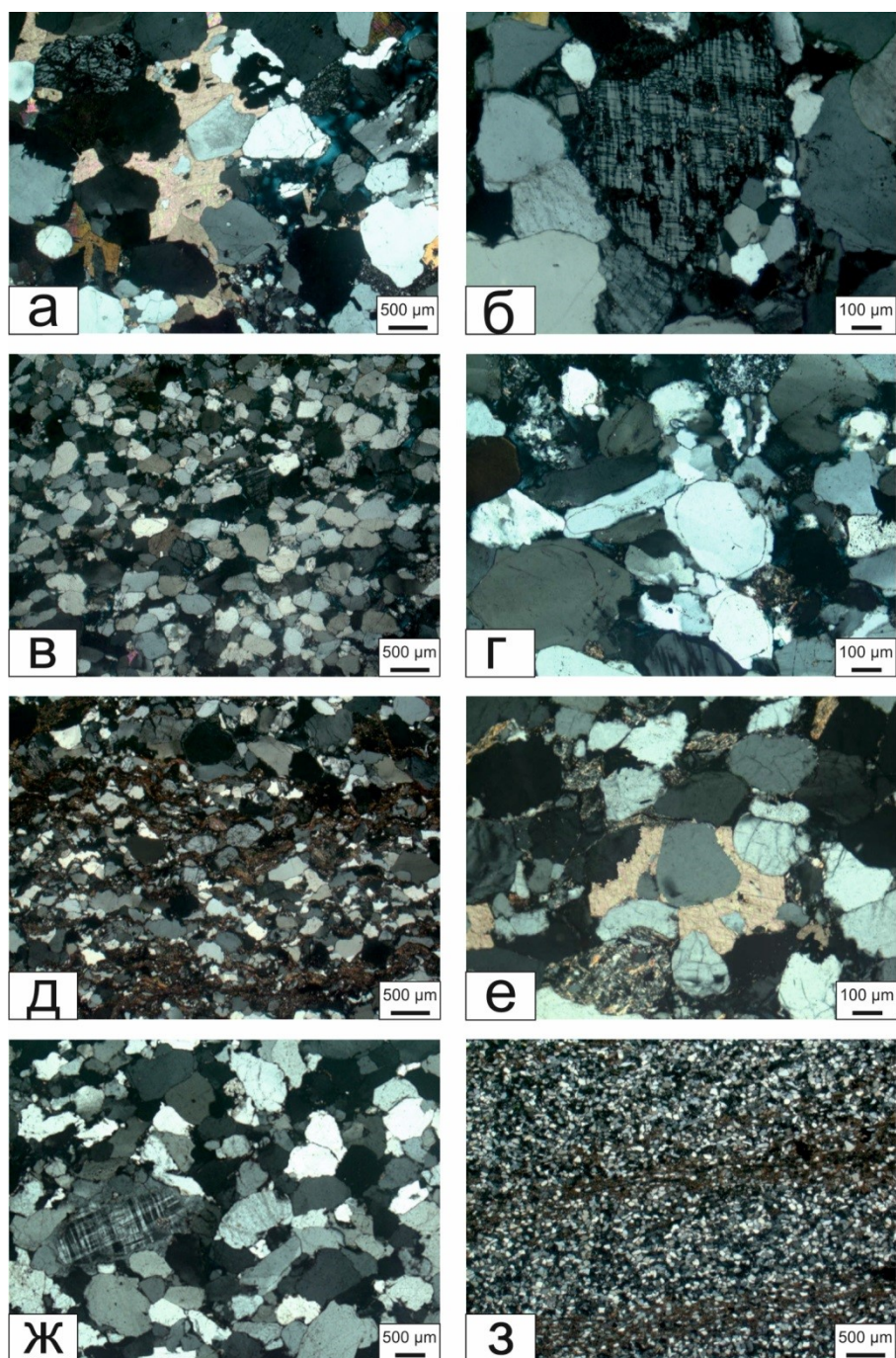


Рисунок 4.7. Микрофотографии шлифов терригенных пород верхненепской подсвиты (николи ×).

Полевошпат-кварцевые породы верхненепской подсвиты.

Текстура волнистая, косослоистая.

Структура псаммитовая. Размер зерен изменяется от 0.05–0.25 мм до 1 мм. Обломочный материал средней степени сортировки (рис. 4.7в). Среди обломков различаются окатанные (85%), неокатанные (15%), изредка отмечаются угловато-окатанные обломки (5-10%).

Состав обломочной части: кварц (64–87%) полевые шпаты (2–15%) и обломки пород (1-14%). Обломки пород представлены микрокварцитами и кварцитами.

Второстепенные минералы: пирит, лейкоксен и гематит.

Аксессуарные минералы: в основном это турмалин и циркон.

Цемент глинистый (гидрослюдистый) пленочный (рис. 4.7д) и регенерационный кварцевый.

Вторичные изменения: галитизация, доломитизация (рис. 4.7е), сульфатизация и пиритизация порового пространства, регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов (рис. 4.7г, ж, з), коррозия и уплотнение пород.

Иммерсионный анализ пород верхнепепкой подсвиты приведен по результатам исследований 6 проб (Таблица 1). Литологически исследуемые образцы представлены песчаниками с преобладающим глинистым цементом и алевролитами с локальным развитием карбонатного и сульфатного цемента.

Соотношение легкой и тяжелой фракции варьирует в узких пределах: легкая (86.8-99.3%), тяжелая (0.7-13.2%). Наиболее высокие содержания тяжелой фракции отмечаются в образцах Ярактинской, 609. Состав легкой фракции представлен кварцем (50-90%), полевыми шпатами (от 2 до 10%), слюдами (от 3 до 7.5%), обломками пород (от 5 до 40%). Основной объем тяжелой фракции составляют: турмалин (от 36.7 до 78.7%) единично до 100%, циркон (до 34.6%) и рутил (до 42,6%). Также в образцах отмечаются следующие минералы: лейкоксен до 20.6% (Ярактинская, 821, Большетирская, 16, Кийская, 20), апатит до 20.4% – Ярактинская 202.

Цирконы представлены призматическими, дипирамидальными зернами и их обломками различной степени окатанности. Цвет зерен варьирует в широких пределах: прозрачные, зелено-буроватые, различных оттенков розового, реже чайные и смоляно-черные. Турмалин – призматические гексагональные зерна и их обломки различной степени окатанности, иногда полупрозрачные. Цвет изменяется в широких диапазонах: зеленовато-коричневый, болотно-зеленый, медовый, коричневато-желтый, черный. Рутил представлен призматическими зернами различной степени окатанности бурого и смоляно-черного цвета. Апатит – бурые окатанные дипирамидальные зерна, бесцветные столбчатые зерна, прозрачные бесцветные окатанные столбчатые, бочонковидные зерна. Лейкоксен представлен окатанными приплюснутыми зернами серо-серебристого цвета.

Опираясь на полученные результаты, были выделены следующие терригенно-минералогические комплексы: турмалиновый (Верхнетирская, 301); рутил-циркон-турмалиновый (Ярактинская 609, 202) и смешанного (рутил-циркон-турмалиновый с лейкоксеном) состава.

Коэффициент гидроаэродинамической зрелости (**Mhd**) варьирует в широких пределах от 0 до 1.5. В целом пробы характеризуются весьма низкой и низкой степенью аэрогидродинамической зрелости. Показатель химической зрелости (**Mc**) изменяется от 0 до 56.3. По площади материал характеризуется от весьма низкой до средней степени химической зрелости. Коэффициент гидроаэродинамической устойчивости, для рассматриваемого интервала отложений изменяется от 0 до 0.9, что свидетельствует о различной степени удаленности от источника сноса.

Петрогенные элементы. Значения гидролизатного модуля в исследуемых породах, варьирующиеся в широком диапазоне ($ГМ = 0.02-0.59$), позволяют классифицировать их как гипо-, нормо-, и суперсилиты. Проанализированные образцы характеризуются различным модулем нормированной щелочности ($НКМ = 0.27-7.77$) в единичной пробе до 120.87 (таблица 2). Для терригенных пород верхненепской подсветы обнаруживается положительная корреляция между $ГМ-ФМ$ ($r = 0.5$) и отрицательная $НКМ-ГМ$ ($r = -0.4$) (рис. 4.8).

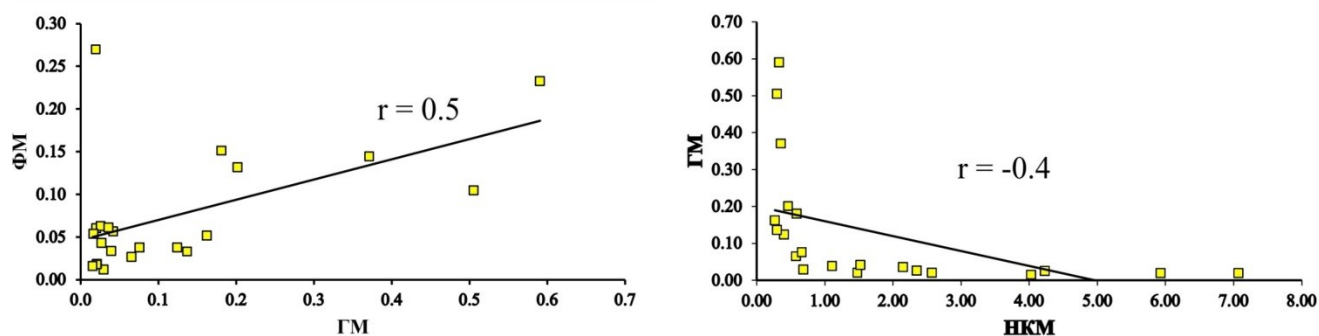


Рисунок 4.8. Диаграммы $ГМ-ФМ$ и $НКМ-ГМ$ для верхненепской подсветы по [Юдович, Кетрис, 2000].

Редкие и рассеянные элементы. Терригенные породы верхненепской подсветы в целом характеризуются близкими концентрациями РЗЭ относительно СПКП. В единичных образцах обнаруживаются повышенные значения Cr , Co и Sr относительно СПКП. Концентрации Sc , V , Rb , Ba , Ta и Pb в исследуемых породах ниже, чем в указанном эталоне (рис. 4.9).

Для этих пород характерны фракционированные спектры распределения редкоземельных элементов ($La_n/Yb_n = 2.40-21.85$) и обогащение легкими лантаноидами ($La_n/Sm_n = 1.19-11.72$) относительно тяжелых ($Gd_n/Yb_n = 1.00-2.16$). Для всех образцов фиксируется отрицательная европиевая аномалия ($Eu/Eu^* = 0.44-0.85$) (рис. 4.10).

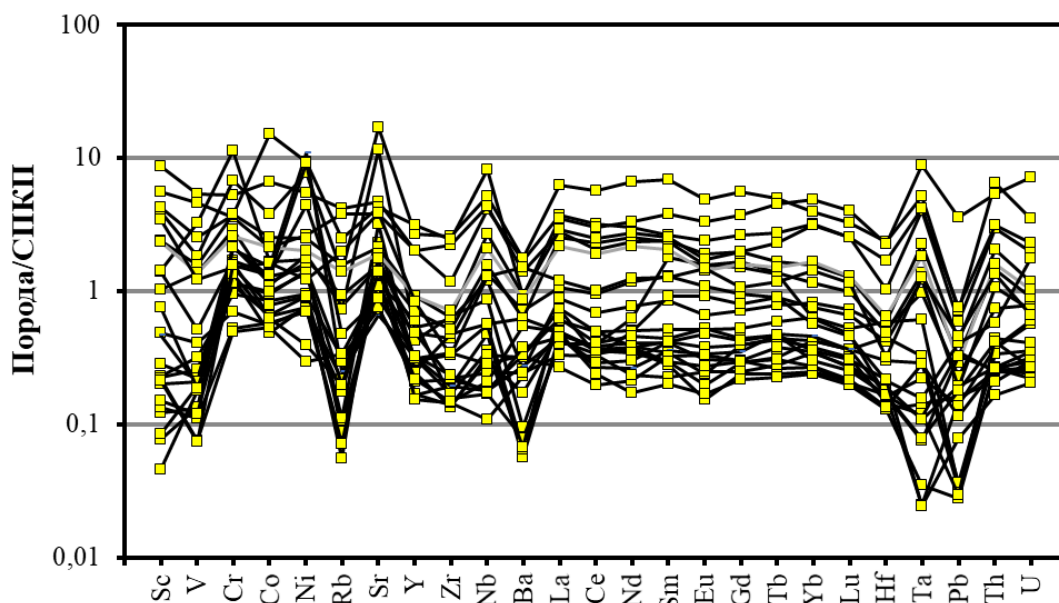


Рисунок 4.9. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород верхненепской подсвиты, нормированные на СПКП [Condie, 1993].

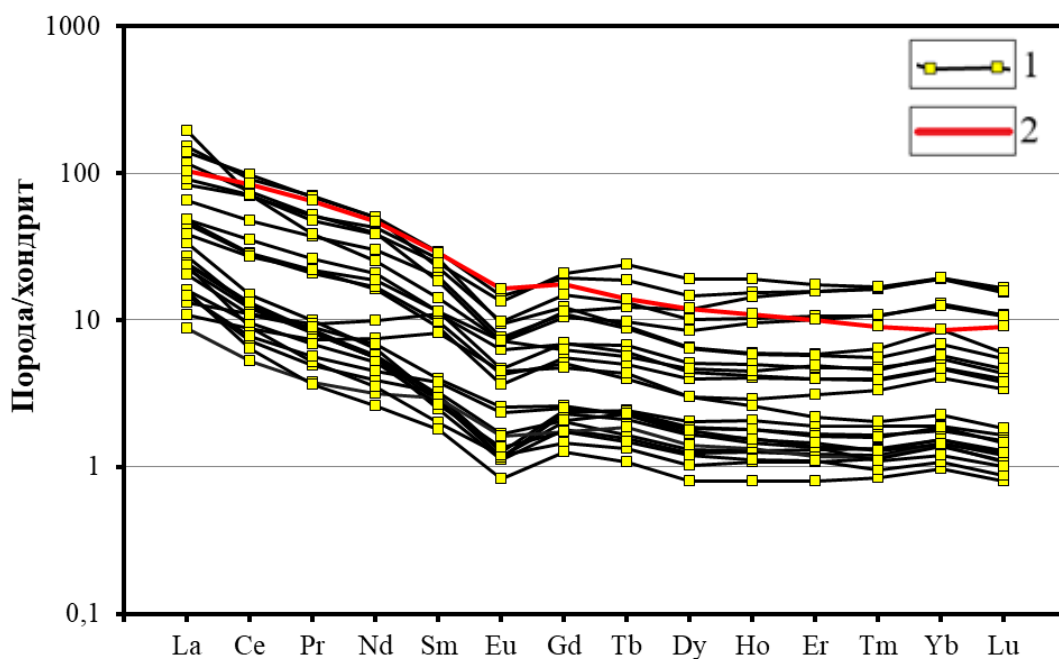


Рисунок 4.10. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород верхненепской подсвиты, нормированные по хондриту [Boynnton, 1984].

Условные обозначения: 1 – спектры распределения РЗЭ в терригенных отложениях верхненепской подсвиты; 2 – спектры распределения РЗЭ в среднем протерозойском кратонном песчанике [Condie, 1993].

4.3. Нижнетирская подсвета

Петрография. Минеральный состав терригенных пород нижнетирской подсветы в соответствии с классификацией по Н.В. Логвиненко отвечает грауваккам и полевошпат-кварцевым алевролитам и песчаникам (рис. 4.11).



Рисунок 4.11. Классификация терригенных пород нижнетирской подсветы.

Граувакки нижнетирской подсветы.

Текстура мелко-тонко-волнисто-прерывисто-неправильно-волнистослоистая, обусловленная тонкими слойками глинистого материала, подчеркивается послойным распределением обломочного материала различного гранулометрического состава

Структура псаммитовая, псефитовая. Размер зерен изменяется от 0.01–0.05 мм до 1 и более мм. Обломочный материал имеет различные степени сортировки: послойно хорошо сортированный, послойно средне сортированный (рис. 4.12а,в). Среди обломков различаются полуокатанные (80%), неокатанные (20%), реже окатанные обломки (5-10%).

Состав обломочной части: кварц (48–76%) полевые шпаты (1–12%), слюды (до 1-4%) и обломки пород (1-16%). Обломки пород представлены микрокварцитами и кремнисто-глинистыми сланцами.

Второстепенные минералы: пирит.

Акцессорные минералы: циркон, турмалин, анатаз, сфен.

Цемент глинистый (гидроглинистый) пленочный.

Вторичные изменения: галитизация, доломитизация, сульфатизация и пиритизация порового пространства, регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов, пелитизация, серицитизация и выщелачивание полевых шпатов (рис. 4.12б,г), коррозия и уплотнение пород.

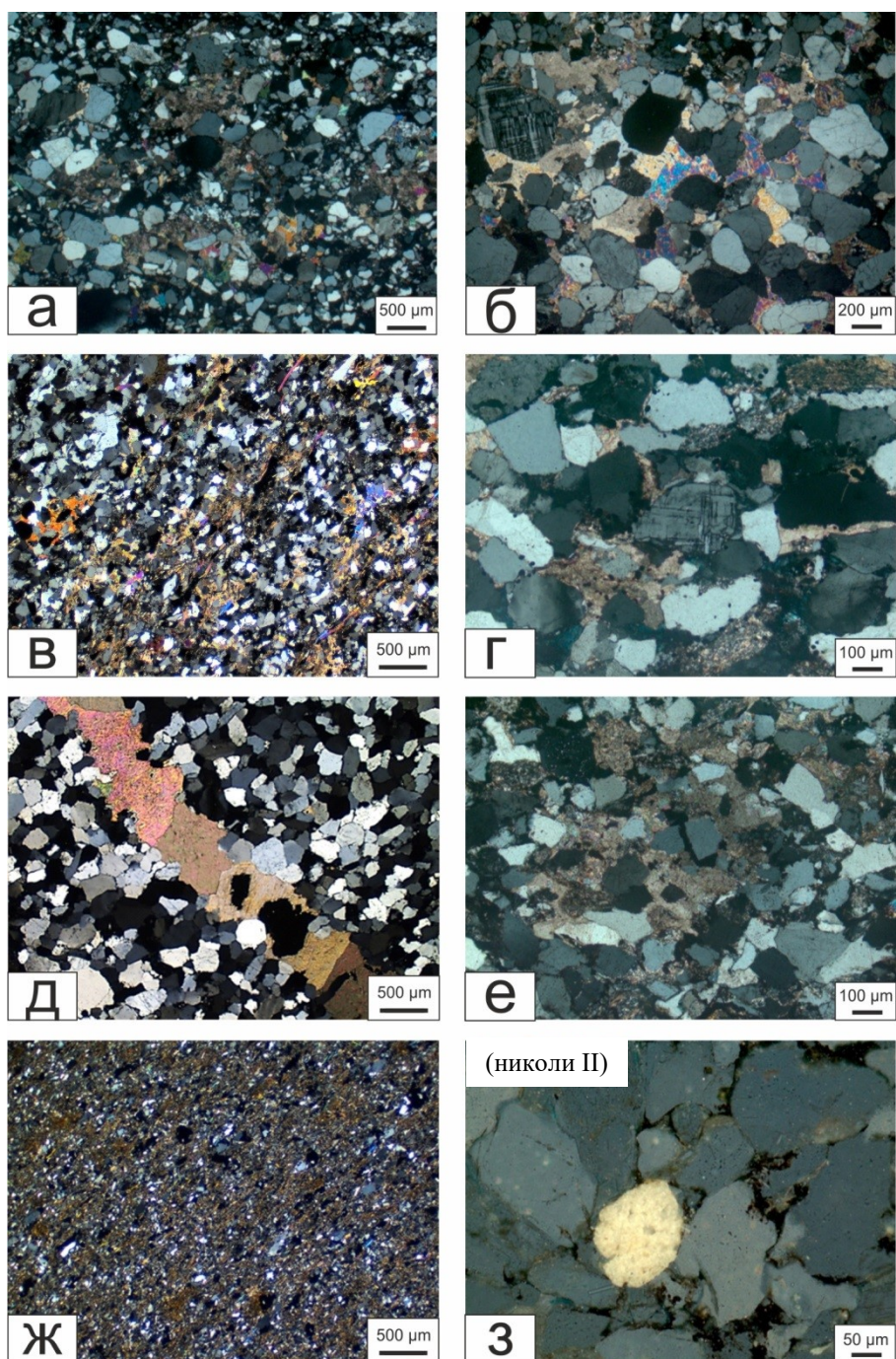


Рисунок 4.12. Микрофотографии шлифов терригенных пород нижнетирской под-
свиты (николи ×).

Полевошпат-кварцевые породы нижнетирской подсвиты.

Текстура косослоистая, обусловленная тонкими намывами глинистого материала.

Структура псаммитовая. Размер зерен изменяется от 0.05–0.25 мм до 1 мм. Обломочный материал средней степени сортировки (рис. 4.7в). Среди обломков различаются окатанные (85%), неокатанные (15%), изредка отмечаются угловато-окатанные обломки (5-10%).

Состав обломочной части: кварц (61–87%) полевые шпаты (1–21%) и обломки пород (1-19%). Обломки пород представлены микрокварцитами и кремнисто-глинистыми сланцами.

Второстепенные минералы: пирит и лейкоксен.

Акцессорные минералы: в основном это турмалин и циркон.

Цемент глинистый (гидрослюдистый) пленочный (рис. 4.7д) и регенерационный кварцевый.

Вторичные изменения: галитизация, доломитизация, сульфатизация (рис. 4.12е) и пиритизация порового пространства, регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов, коррозия и уплотнение пород.

Иммерсионный анализ терригенных пород нижнетирской подсвиты приведен по результатам исследований 3 проб (Таблица 1). Литологически исследуемые образцы представлены песчаниками и алевролитами с преобладающим глинистым цементом с локальным развитием карбонатного и сульфатного цемента.

Соотношение легкой и тяжелой фракции варьирует в узких пределах: легкая (94-99.8%), тяжелая (0.2-6%). Состав легкой фракции представлен кварцем (69.0-97.0%), полевыми шпатами (от 1 до 15.3%), слюдами (до 15%), обломками пород (до 10%), карбонатами (единично до 10%). Основной объем тяжелой фракции составляют турмалин (до 81%), рутил (до 17.5%) и циркон (до 9.7%).

Цирконы представлены призматическими, дипирамидальными зернами и их обломками различной степени окатанности. Цвет зерен варьирует от прозрачных, зелено-буроватых, различных оттенков розового, реже чайных до смоляно-черных. Турмалин – призматические гексагональные зерна и их обломки различной степени окатанности, иногда полупрозрачные. Цвет изменяется в широких диапазонах: зеленовато-коричневый, болотно-зеленый, черный. Рутил представлен призматическими зернами различной степени окатанности бурого и смоляно-черного цвета.

Опираясь на полученные результаты, был выделен циркон-рутил-турмалиновый терригенно-минералогический комплекс.

Коэффициент гидроаэродинамической зрелости (**Mhd**) варьирует в широких пределах 0.2-0.3. В целом, породы нижнетирской подсвиты характеризуются весьма низкой степенью гидроаэродинамической зрелости. Показатель химической зрелости (**Mc**) изменяется от 0 до 20.2. По

площади материал определяется от весьма низкой и низкой степенью химической зрелости. Коэффициент гидроаэродинамической устойчивости изменяется от 0.08 до 0.13, что свидетельствует о примерно одинаковой степени удаленности от источника сноса.

Петрогенные элементы. Значения гидролизатного модуля в породах нижнетирской подсвиты составляет от 0.01 до 0.35, и позволяет классифицировать их как гипо- и нормосилиты. Порода характеризуется различным модулем нормированной щелочности ($\text{НКМ} = 0.32\text{--}31.31$) (таблица 2). Наблюдается положительная корреляция ГМ-ФМ ($r = 0.8$) и отрицательная НКМ-ГМ ($r = -0.4$) (рис. 4.13).

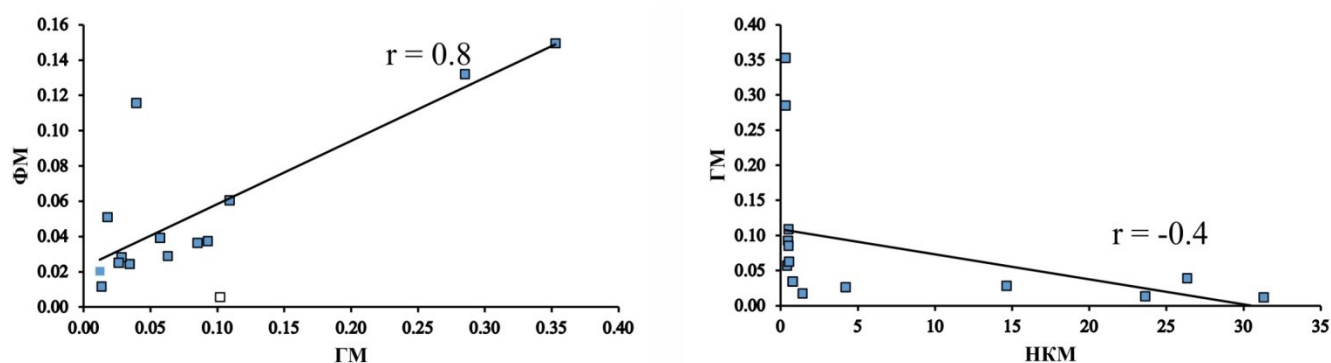


Рисунок 4.13. Диаграммы ГМ-ФМ и НКМ-ГМ для нижнетирской подсвиты по [Юдович, Кетрис, 2000].

Редкие и рассеянные элементы. Терригенные породы нижнетирской подсвиты в целом характеризуются близкими концентрациями РЗЭ относительно СПКП. В единичных образцах обнаруживаются повышенные значения Sr, Co относительно СПКП. Концентрации Sc, Rb, Ba, Ta, и Pb в исследуемых породах значительно ниже, чем в указанном эталоне (рис. 4.14).

Для всех изученных образцов характерны фракционированные спектры распределения редкоземельных элементов ($\text{La}_n/\text{Yb}_n = 5.29\text{--}17.96$), обогащение легкими лантаноидами ($\text{La}_n/\text{Sm}_n = 1.22\text{--}13.99$) относительно тяжелых ($\text{Gd}_n/\text{Yb}_n = 0.92\text{--}3.59$), а также фиксируется наличие отрицательной европиевой аномалии ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.41\text{--}0.66$) (рис. 4.15).

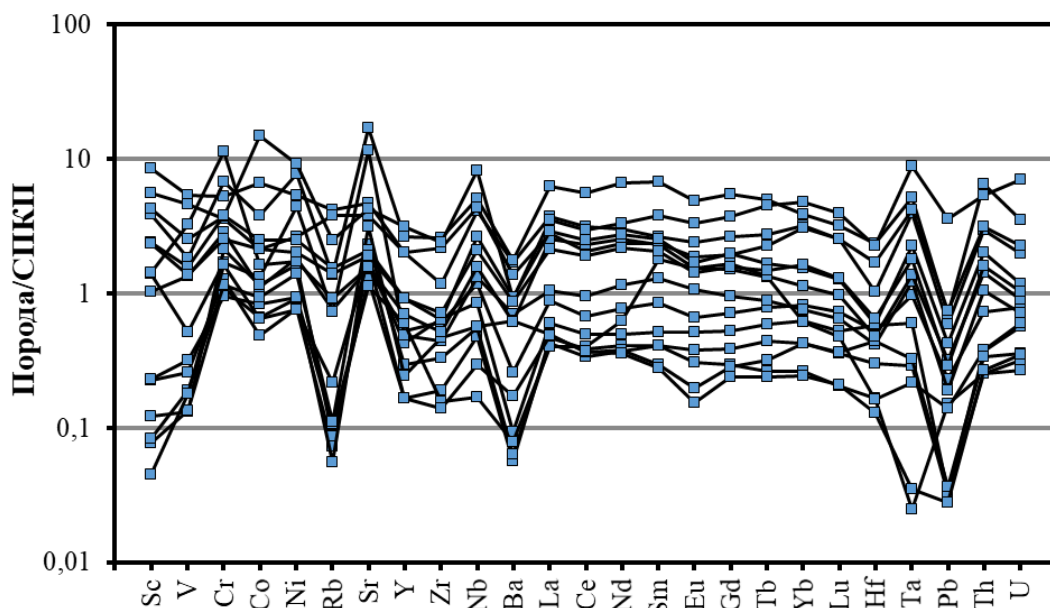


Рисунок 4.14. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород нижнетирской подсвиты, нормированные на СПКП [Condie, 1993].

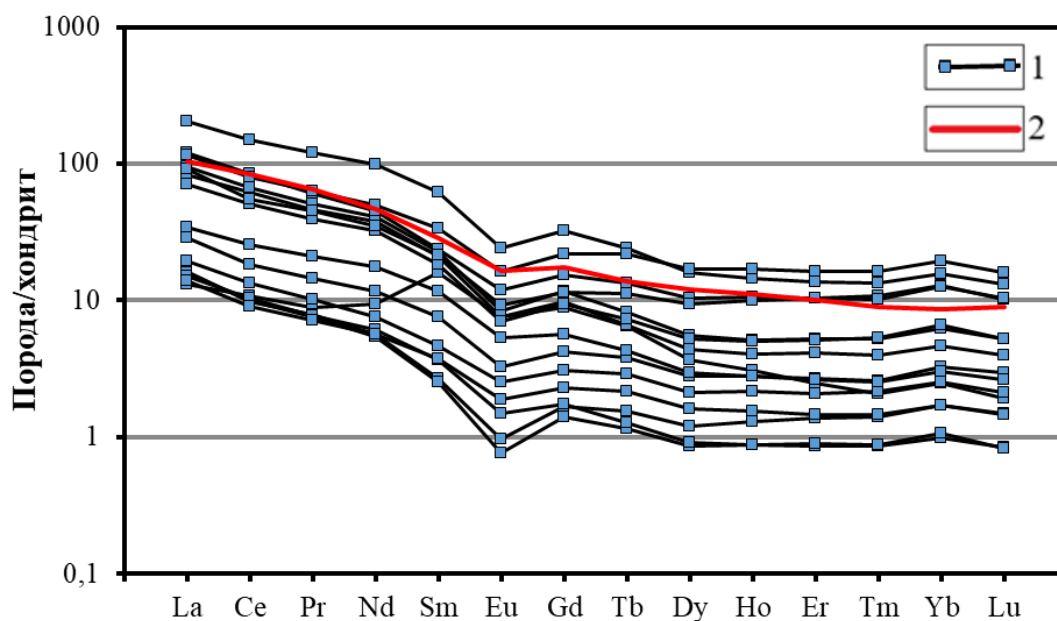


Рисунок 4.15. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород нижнетирской подсвиты, нормированные по хондриту [Boynnton, 1984].

Условные обозначения: 1 – спектры распределения РЗЭ в терригенных отложениях нижнетирской подсвиты; 2 – спектры распределения РЗЭ в среднем протерозойском кратонном песчанике [Condie, 1993].

4.4. Верхнетирская подсвита

Петрография. Фигуративные точки изученных пород верхнетирской подсвиты на классификационной диаграмме Н.В. Логвиненко расположились в поле значений полевошпат-кварцевых алевролитов и песчаников (рис. 4.16).



Рисунок 4.16. Классификация терригенных пород верхнетирской подсвиты.

Полевошпат-кварцевые породы верхнетирской подсвиты.

Текстура волнисто-слоистая, нечетко-косослоистая.

Структура псаммитовая. Размер зерен изменяется от 0.05–0.25 мм. Обломочный материал хорошей степени сортировки (рис. 4.17а,в). Среди различаются окатанные (90%), неокатанные (10%), редко угловато окатанные обломки (1-5%).

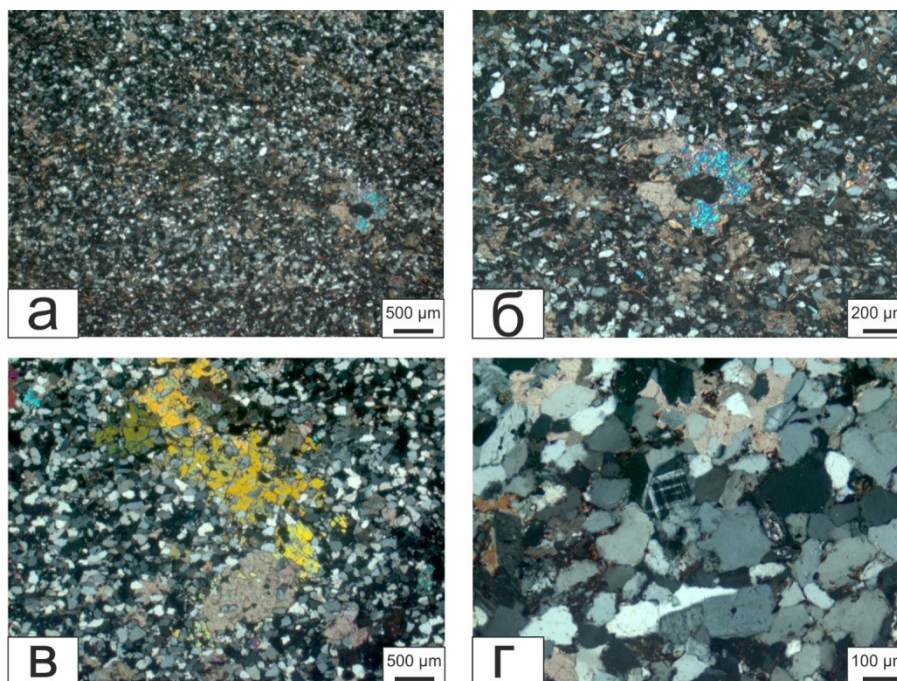
Состав обломочной части: кварц (65–83%) полевые шпаты (2–17%), слюды (до 1-3%) и обломки пород (1-2%). Обломки пород представлены микрокварцитами и кремнисто-глинистыми сланцами.

Второстепенные минералы: пирит и лейкоксен.

Акцессорные минералы: в основном это турмалин и циркон.

Цемент глинистый (гидрослюдистый) пленочный.

Вторичные изменения: галитизация, доломитизация, сульфатизация (рис. 4.17б) и пиритизация порового пространства, регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов (рис. 4.17г), коррозия и уплотнение пород.



**Рисунок 4.17. Микрофотографии шлифов терригенных пород верхнетирской под-
свиты (николи ×).**

Иммерсионный анализ терригенных пород верхнетирской подсвиты приведен по результатам изучения 2-х образцов (Таблица 1). Литологически исследуемые образцы представлены песчаниками с преобладающим глинистым цементом и редкой пиритизацией.

Соотношение легкой и тяжелой фракции варьирует в узких пределах: легкая (98.8-99.7%), тяжелая (0.3-1.2%). Состав легкой фракции представлен кварцем (91.5-95%), полевыми шпатами (до 2%), слюдами (до 5%), обломками пород (до 1%), карбонатами (до 2%). Основной объем тяжелой фракции составляют турмалин (до 88.6%), рутил (до 15.1%) и циркон (от полного отсутствия до единично 11,8%).

Цирконы представлены призматическими, дипирамидальными зернами и их обломками различной степени окатанности. Цвет зерен варьирует от прозрачных, зелено-буроватых, различных оттенков розового, реже чайных до смоляно-черных. Турмалин – призматические гексагональные зерна и их обломки различной степени окатанности, иногда полупрозрачные. Цвет изменяется в широких диапазонах: зеленовато-коричневый, болотно-зеленый, черный. Рутил представлен призматическими зернами различной степени окатанности бурого и смоляно-черного цвета.

Опираясь на полученные результаты, можно выделить условно циркон-рутил-турмалиновый комплекс.

Коэффициент гидроаэродинамической зрелости (**Mhd**) изменяется от 0.13 до 0.37. В целом, породы характеризуются весьма низкой степенью гидроаэродинамической зрелости. Показатель химической зрелости (**Mc**) изменяется от 11 до 25. По площади материал характеризуется весьма низкой и низкой степенью химической зрелости. Коэффициент гидроаэродинамической устойчивости изменяется от 0 до 0.1, что свидетельствует о различной степени удаленности от источника сноса.

Петрогенные элементы. Значения гидролизатного модуля (ГМ) в исследуемых породах, варьируются в широком диапазоне (ГМ = 0.04–0.53) и позволяют классифицировать их как гипо- и нормосилиты. Образцы характеризуются различным модулем нормированной щелочности (НКМ) от = 0.39–1.14, для них отмечается положительная корреляция ГМ-ФМ ($r = 0.9$) и отрицательной НКМ-ГМ ($r = -0.3$) (таблица 2) (рис. 4.18).

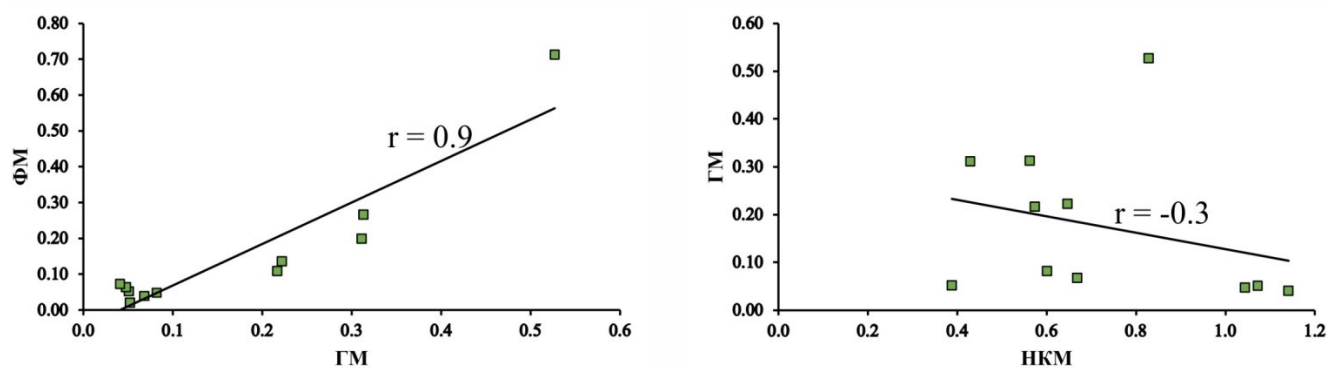


Рисунок 4.18. Диаграммы ГМ-ФМ и НКМ-ГМ для верхнетирской подсвиты по [Юдович, Кетрис, 2000].

Редкие и рассеянные элементы. Терригенные породы верхнетирской подсвиты в целом характеризуются близкими концентрациями РЗЭ относительно СПКП. В единичном образце обнаруживаются повышенные значения Sr относительно СПКП. Концентрации Pb в исследуемых породах ниже, чем в СПКП (рис. 4.19).

Для всех изученных пород обнаруживаются фракционированные спектры распределения редкоземельных элементов ($La_n/Yb_n = 4.94-15.61$), обогащение легкими лантаноидами ($La_n/Sm_n = 3.48-10.73$) относительно тяжелых ($Gd_n/Yb_n = 0.74-1.78$) и наличие отрицательной европейской аномалии ($Eu/Eu^* = 0.56-0.76$) (рис. 4.20).

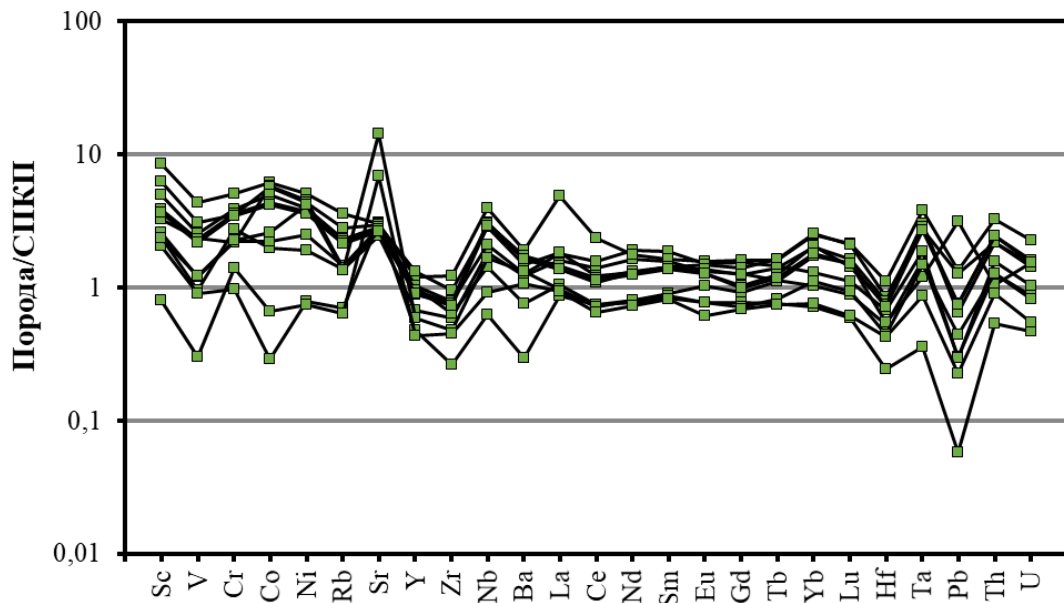


Рисунок 4.19. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород верхнетирской подсвиты, нормированные на СПКП [Condie, 1993].

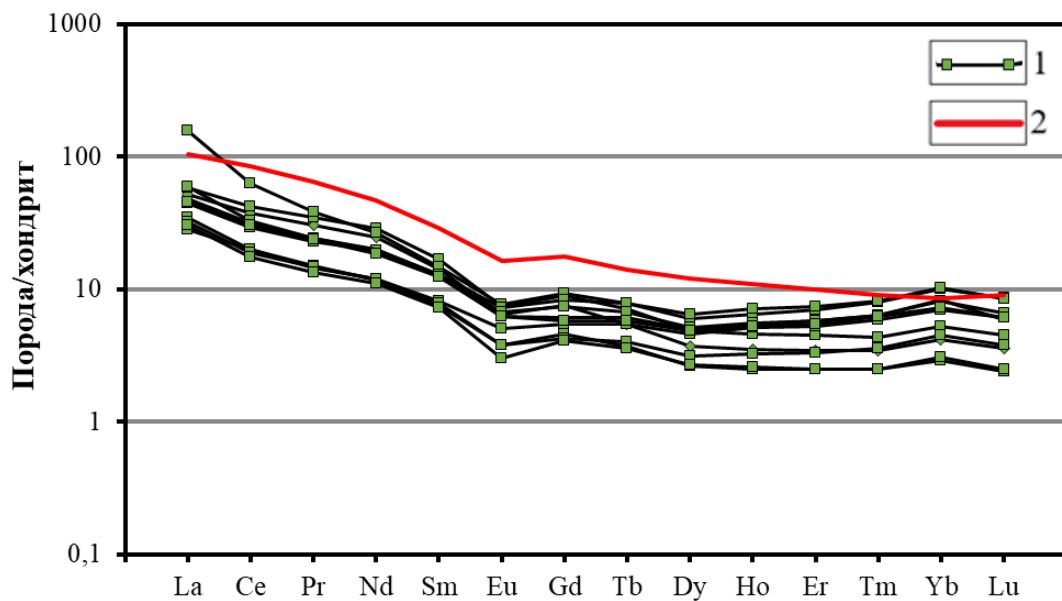


Рисунок 4.20. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород верхнетирской подсвиты, нормированные по хондриту [Boynnton, 1984].

Условные обозначения: 1 – спектры распределения РЗЭ в терригенных отложениях верхнетирской подсвиты; 2 – спектры распределения РЗЭ в среднем протерозойском кратонном песчанике [Condie, 1993].

4.5. Обсуждение результатов

В ходе проведенных петрографических исследований установлено, что в минеральном составе пород изученных свит преобладают кварц и полевые шпаты. Содержание слюд достигает 4 %. На классификационной диаграмме Н.В. Логвиненко образцы терригенных пород нижненепской подсвиты отвечают грауваккам, аркозо-грауваккам и аркозам. Точки составов верхненепской подсвиты и тирской свиты располагаются преимущественно в поле значений полевошпат-кварцевых песчаников. Обломки пород в непской свите представлены микрокварцитами, кварцитами, и кремнисто-слюдистыми сланцами. В тирской свите преобладают обломки микрокварцитов и кремнисто-слюдистых сланцев.

Снизу вверх по разрезу *непской свиты* отмечается смена степени сортировки и окатанности пород от плохой до средней, что свидетельствует о малой дальности переноса обломочного материала. Здесь отмечается наличие глинистого (гидрослюдистого) пленочного, регенерационного кварцевого, сульфатно-карбонатного, галитового и др. цемента. В результате петрографических исследований и иммерсионного анализа терригенных пород нижненепской подсвиты, были диагностированы минералы тяжелой фракции, характерные для магматических пород кислого и основного состава. Для терригенных пород верхненепской подсвиты были диагностированы минералы преимущественно гранитной специфики.

Вверх по разрезу *тирской свиты* наблюдается увеличение степени сортировки и окатанности обломочного материала, что указывает на увеличение дальности переноса обломочного материала в бассейн седиментации этой свиты. Цементы идентичны вышеописанным в непской свите. Диагностированы минералы тяжелой фракции, характерные для кислых магматических пород.

Генетическая типизация терригенных пород непской и тирской свит, проведенная с использованием системы петрохимических модулей по [Юдович, Кетрис, 2000], позволила аттестовать их как петрогенные осадочные образования, т.е. породы, образованные за счет разрушения первично-магматических и метаморфических пород.

Анализ спектров распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) показал, что для изученных пород нижненепской подсвиты фиксируется как наличие отрицательной европиевой аномалии, так и ее отсутствие. Породы верхненепской подсвиты, а также тирской свиты обнаруживают отчетливую европиевую аномалию.

Таким образом, характер распределения спектров РЗЭ подтверждает ранее сделанные выводы о смешанном составе пород в области источника для отложений нижненепской подсвиты и преимущественно кислом составе пород в источнике обломочного материала для отложений верхненепской подсвиты и тирской свиты.

ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД

Уран-свинцовые геохронологические исследования детритовых цирконов были проведены по четырем пробам, по одной пробе из песчаников ниже- и верхненепской подсвет и по одной пробе из песчаников ниже- и верхнетирской подсвет.

5.1. Нижненепская подсвета

Из пробы № INK-18 было выделено 127 зерен детритовых цирконов (табл. 4), представленных призматическими агрегатами различной степени окатанности и обломками призм, иногда трещиноватыми с включениями других минералов. Конкордантные значения были получены для 108 зерен. Возраст самого молодого детритового циркона составил 774 ± 9 млн лет, самого древнего - 2735 ± 7 млн лет. Архейскому возрасту соответствуют 34 зерна (31%), 42 зерна (39%) имеют раннепротерозойские оценки возраста, 32 обломочных циркона (30%) обнаруживают позднепротерозойские оценки возраста (рис. 5.1).

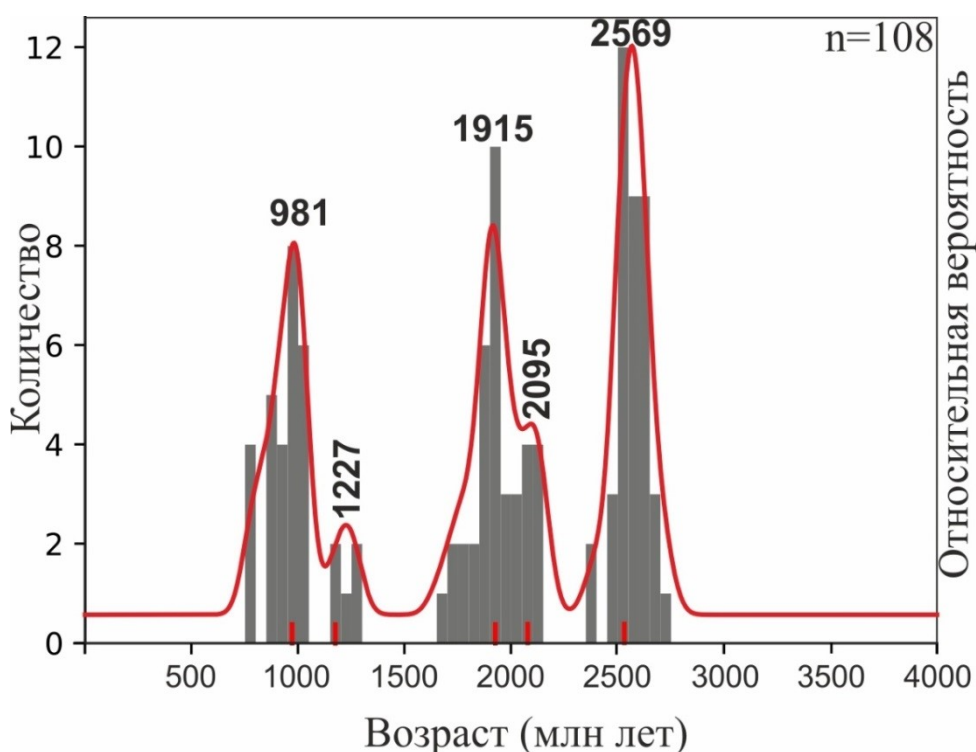


Рисунок 5.1. Гистограмма и кривая относительной вероятности возраста детритовых цирконов нижненепской подсветы проба № INK-18.

Архейские детритовые цирконы отвечают оценкам возраста в интервале от 2505 до 2735 млн лет, основной возрастной пик приходится на 2569 млн лет (12 зерен). Раннепротерозойские

детритовые цирконы имеют возрасты от 1660 до 2495 млн лет, основной возрастной пик приходится на 1915 млн лет (10 зерен). Позднепротерозойские оценки возраста детритовых цирконов охватывают возрастной интервал от 774 до 1265 млн лет с основным пиком на 981 млн лет (8 зерен) (рис. 5.2).

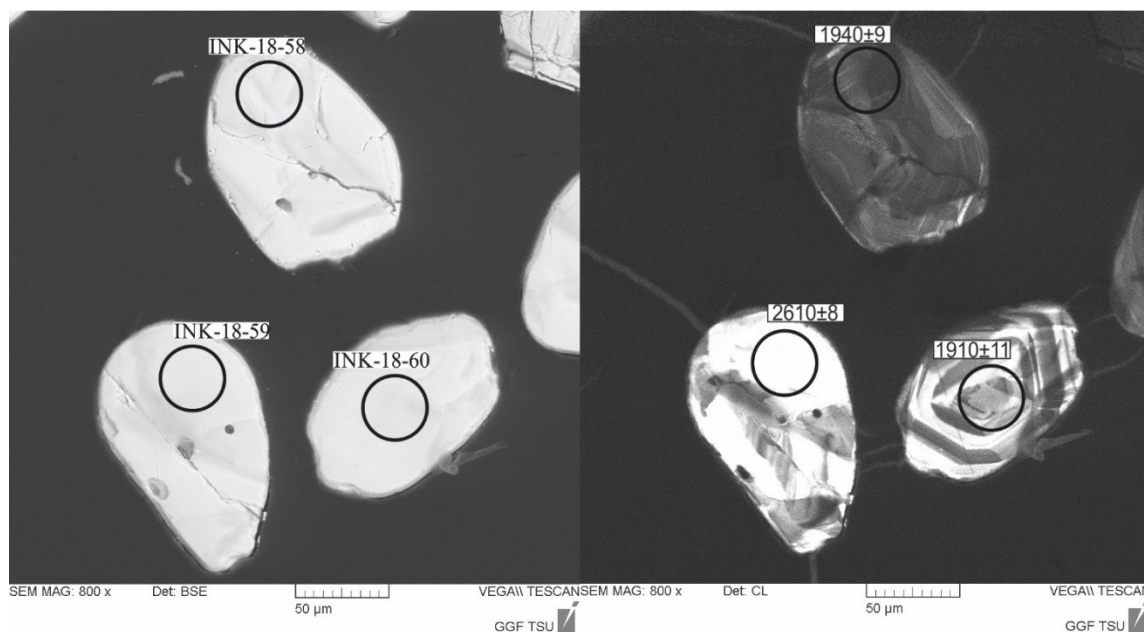


Рисунок 5.2. Католюминесцентные изображения детритовых цирконов из нижненепской подсветы проба № INK-18.

5.2. Верхненепская подсвета

Из пробы № INK-3 было выделено 136 зерен (табл. 4) детритовых цирконов, представленных призматическими, дипирамидальными зернами и их обломками различной степени окатанности. Конкордантные значения были получены для 122 зерна. Возраст самого молодого детритового циркона составил 635 ± 3 млн лет, самого древнего - 2840 ± 24 млн лет. Архейские оценки возраста получили 39 зерен (32%), 60 зерен (49%) отвечают раннепротерозойскому возрасту, возраст 23 детритовых цирконов (19%) соответствуют позднему протерозою (рис. 5.3). Архейские оценки возраста детритовых цирконов охватывают интервал от 2500 до 2840 млн лет с основным пиком на 2549 млн лет (14 зерен). Раннепротерозойские детритовые цирконы охватывают интервал от 1730 до 2495 млн лет, с основным пиком на 1911 млн лет (12 зерен). Позднепротерозойские детритовые цирконы охватывают возрастной интервал от 635 до 1605 млн лет, с основным пиком на 893 млн лет (8 зерен) (рис. 5.4).

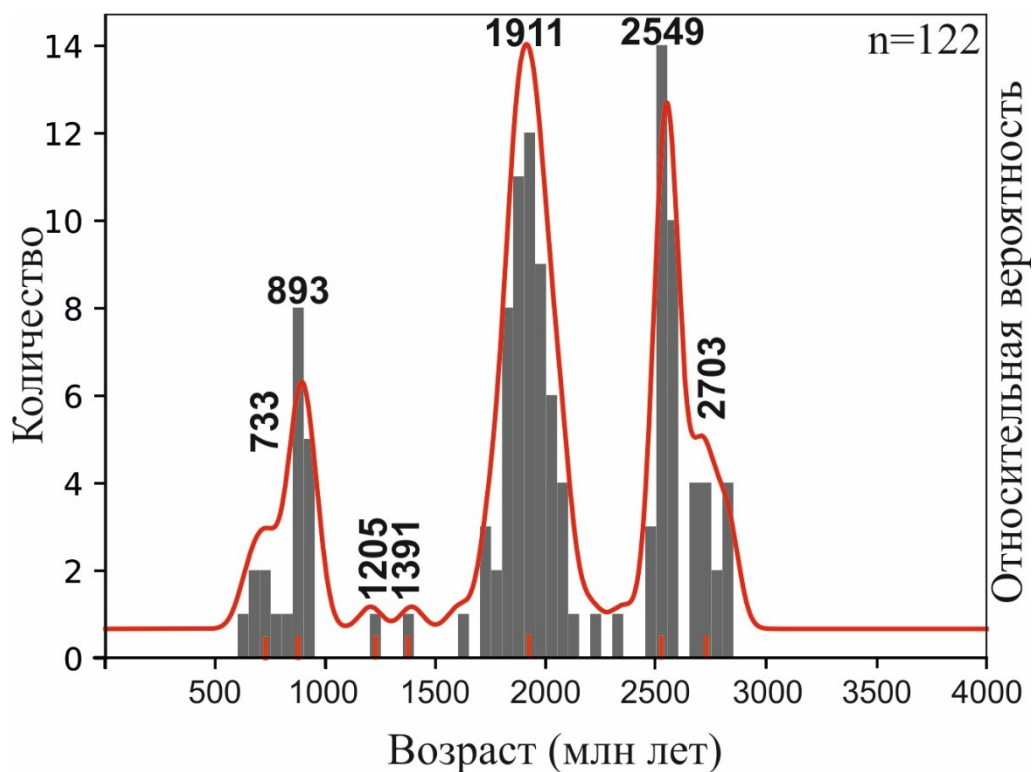


Рисунок 5.3. Гистограмма и кривая относительной вероятности возраста детритовых цирконов верхненепской подсвиты проба № INK-3.

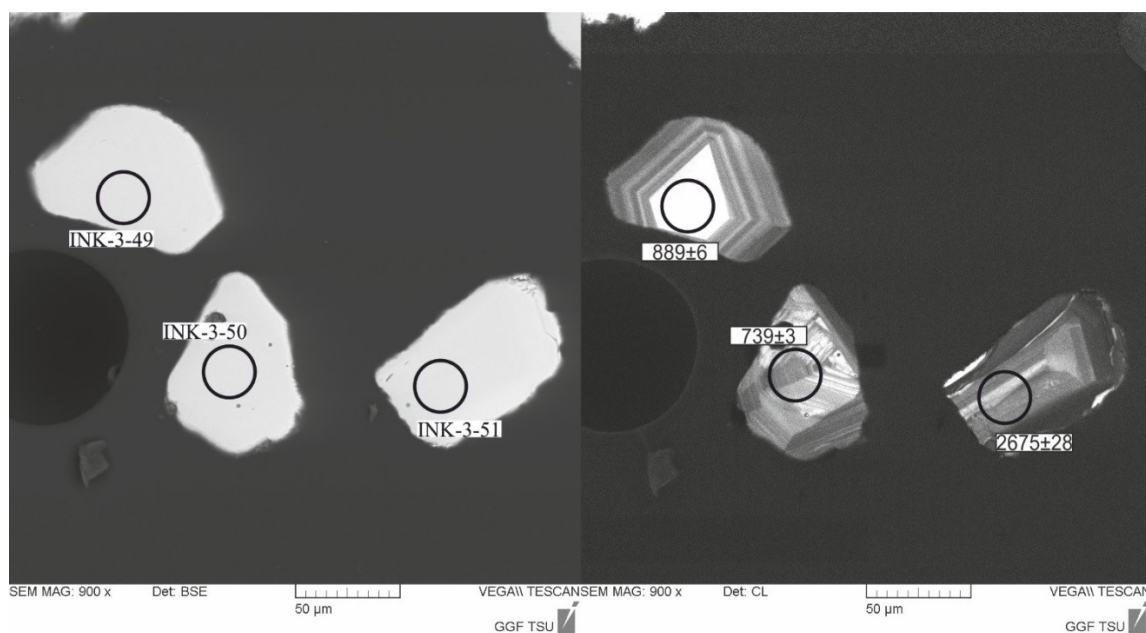


Рисунок 5.4. Катодоллюминесцентные изображения детритовых цирконов верхненепской подсвиты проба № INK-3

Следует отметить, что полученные оценки возраста детритовых цирконов согласуются с ранее опубликованными данными по аналогичным исследованиям возраста детритовых цирконов из терригенных пород непской свиты [Изъюрова и др., 2020].

5.3. Нижнетирская подсвета

Из пробы № INK-6 было выделено 101 зерен (табл. 4) детритовых цирконов, представленных призматическими, дипирамидальными зернами и их обломками различной степени окатанности. Конкордантные значения были получены для 92 зерен. Возраст самого молодого детритового циркона составил 647 ± 7 млн лет, самого древнего - 2700 ± 17 млн лет. Архейские оценки возраста получили 15 зерен (16%), 31 зерно (34%) отвечает раннепротерозойскому возрасту, 46 зерен детритовых цирконов (50%) обнаруживают позднепротерозойские оценки возраста (рис. 5.5). Архейские оценки возраста отвечают интервалу от 2505 до 2700 млн лет, основной возраст-ной пик приходится на 2561 млн лет (6 зерен). Раннепротерозойские детритовые цирконы имеют возрасты от 1784 до 2470 млн лет, с основным пиком на 1935 млн лет (6 зерен). Преобладающая популяция детритовых цирконов позднепротерозойского возраста охватывает интервал от 647 до 1606 млн лет с основными пиками на 901 млн лет (10 зерен) и 781 млн лет (9 зерен) (рис. 5.6).

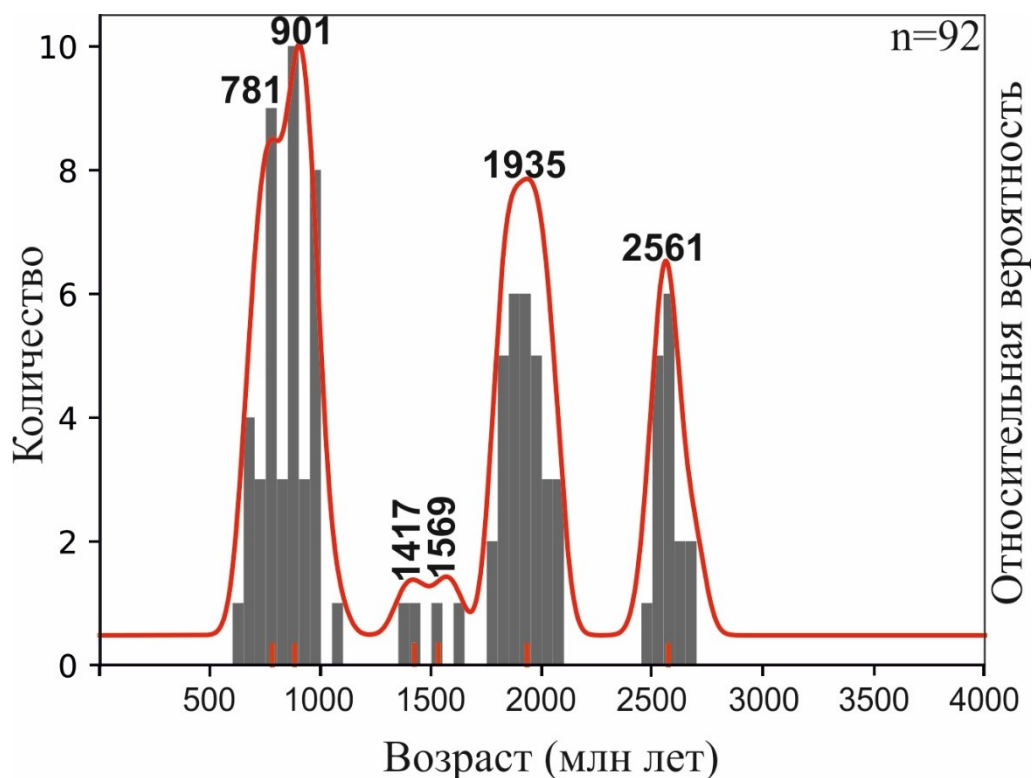


Рисунок 5.5. Гистограмма и кривая относительной вероятности возраста детритовых цирконов нижнетирской подсветы проба № INK-6.

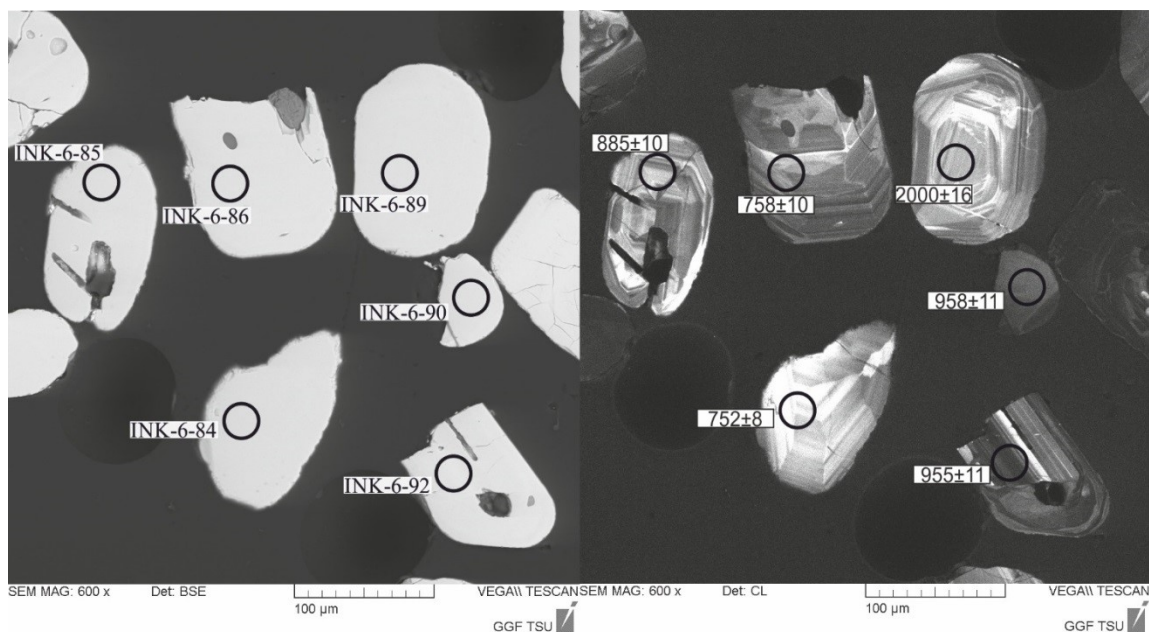


Рисунок 5.6. Катодолуминесцентные изображения детритовых цирконов нижнетирской подсветы проба № INK-6.

5.4. Верхнетирская подсвета

Из пробы № INK-2 было выделено и проанализировано 105 зерен (табл. 4) детритовых цирконов, представленных призматическими, дипирамидальными зернами и их обломками различной степени окатанности. Конкордантные значения были получены для 95 зерен. Возраст самого молодого циркона составил 702 ± 15 млн лет, самого древнего - 3045 ± 20 млн лет. Архейские оценки возраста получили 8 зерен (8%), 50 зерен (53%) соответствуют раннепротерозойским оценкам возраста, для 37 обломочных зерен цирконов (39%) установлены позднепротерозойские возрасты (рис. 5.7). Архейские возрасты отвечают интервалу от 2525 до 3045 млн лет, основной возрастной пик приходится на 2909 млн лет (2 зерна). Раннепротерозойские детритовые цирконы являются преобладающей популяцией и имеют возрасты от 1650 до 2450 млн лет, основной возрастной пик приходится на 1771 млн лет (11 зерен). Позднепротерозойская популяция детритовых цирконов охватывает возрастной интервал от 702 до 1635 млн лет (37 зерен – 39%) с основным пиком на 867 млн лет (7 зерен) (рис. 5.8).

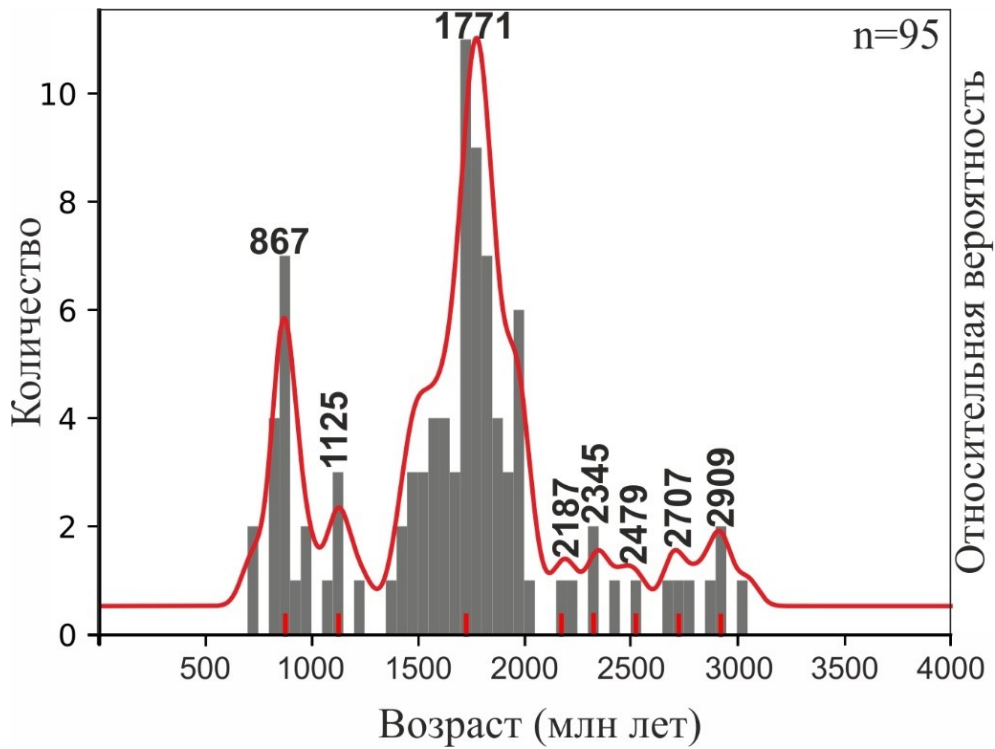


Рисунок 5.7. Гистограмма и кривая относительной вероятности возраста детритовых цирконов верхнетирской подсветы проба № INK-2.

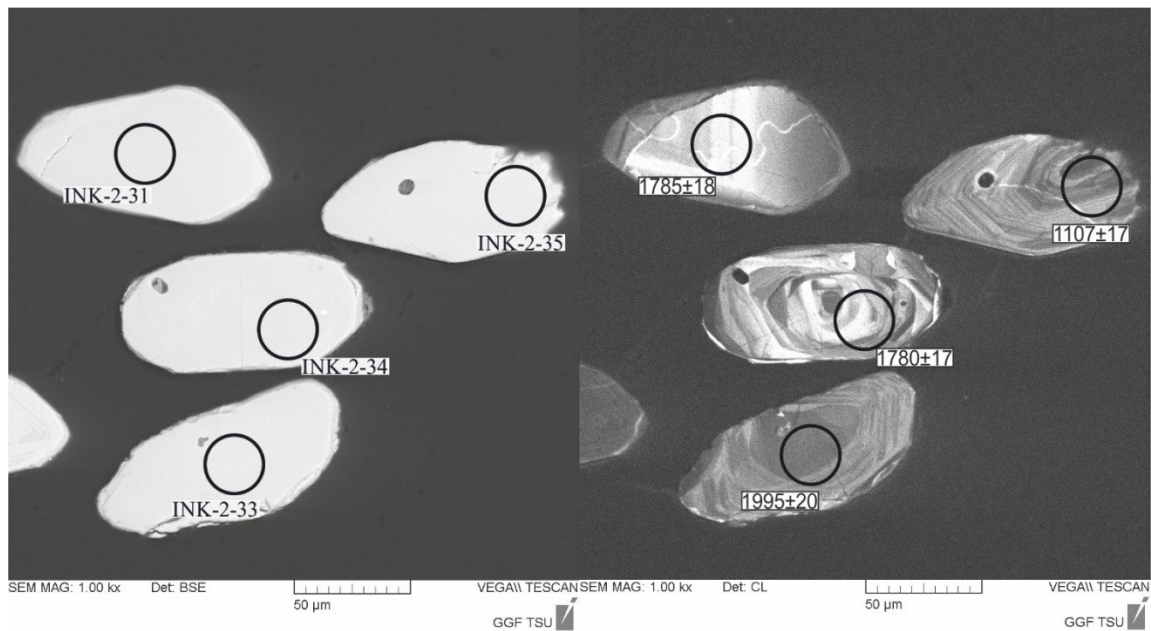


Рисунок 5.8. Катодолюминесцентные изображения детритовых цирконов верхнетирской подсветы проба № INK-2.

5.5. Сравнительный анализ данных по результатам U-Pb (LA-ICP-MS) исследования детритовых цирконов из терригенных отложений непской и тирской свит.

Как уже упоминалось выше, в разделе «Введение» к настоящей работе, U-Pb (LA-ICP-MS) геохронологические исследования детритовых цирконов из терригенных отложений непской и тирской свит южной части Непско-Ботуобинской антеклизы проведены впервые. В результате этих исследований, для всех изученных стратоподразделений, были получены как архейские, так и ранне- и позднепротерозойские оценки возраста детритовых цирконов. На (рис. 5.9) приведено сопоставление полученных результатов U-Pb (LA-ICP-MS) исследования возраста детритовых цирконов из терригенных отложений ниже- и верхненепской и ниже- верхнетирской подсвит с опубликованными результатами по изучению возраста цирконов из магматических и метаморфических пород, слагающих террейны, входящих в структуру северного сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса (по [Donskaya et al., 2017 и ссылки в ней], а также с оценками возраста пород, слагающих фундамент южной окраины Сибирской платформы (по [Rojas-Agramonte et al., 2011]).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в области источника обломочного материала вендских терригенных толщ юга Непско-Ботуобинской антеклизы разрушались как породы фундамента Сибирской платформы, так и магматические и метаморфические образования прилегающих областей Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Таким образом, накопление терригенных пород непской свиты происходило в результате заполнения осадками дна бассейна за два цикла (SQ1 и SQ2) колебания относительного уровня моря. В бассейн седиментации обломочный материал поступал как за счет разрушения архейских (32% оценок возраста детритовых цирконов) и раннепротерозойских (44% оценок возраста) магматических и метаморфических пород фундамента Сибирской платформы, так и при участии позднепротерозойских (24% оценок возраста) пород северного сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Седиментация пород тирской свиты происходила в результате заполнения осадками дна бассейна за два цикла (SQ3 и SQ4) колебания относительного уровня моря. При этом в тирское время начинают преобладать глинисто-сульфатно-карбонатные мелководно-морские (шельфовые макрофации), песчаники приурочены только к трактам низкого стояния уровня моря. В области источника наблюдается существенное уменьшение количества архейских пород фундамента (12% оценок возраста детритовых цирконов), при этом отмечается увеличение вклада раннепротерозойских (43% оценок возраста детритовых цирконов) и позднепротерозойских источников (45% оценок возраста детритовых цирконов).

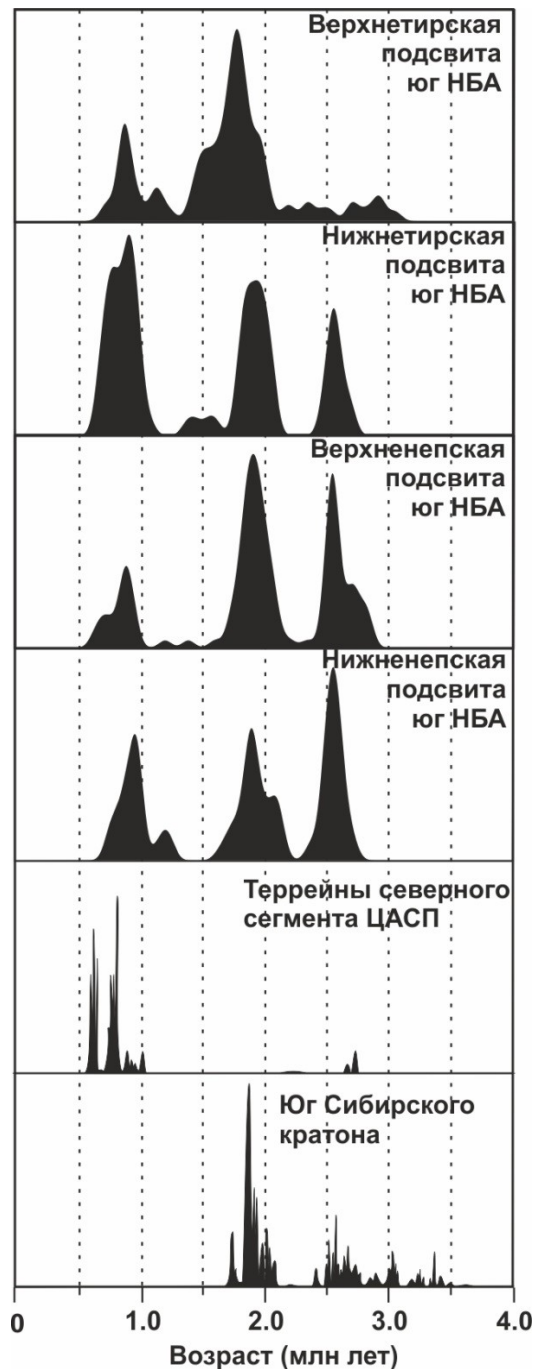


Рисунок 5.9. Сопоставление возрастных спектров для обломочных цирконов непского и тирского горизонтов внутренних районов Сибирской платформы со спектрами по террейнам Центрально-Азиатского складчатого пояса и фундаменту южной окраины Сибирского платформы.

U-Pb (LA-ICP-MS) геохронологические исследования детритовых цирконов позволили ограничить время накопления изученных толщ. Конкордантное значение возраста, полученное по наиболее молодому циркону в нижненепской подсвите (774 ± 9 млн лет), позволяет ограничить время накопления этих пород не древнее позднего рифея. В отложениях верхненепской подсвиты и тирской свиты возрасты самых молодых детритовых цирконов составил 635 ± 3 млн лет, что позволяет ограничить время седиментации этих пород не древнее раннего венда.

5.6. Геодинамические условия формирования непской и тирской свит юга Непско-Ботубинской антеклизы

Согласно современным палеогеографическим построениям, Сибирский палеоконтинент полностью отделился и отошел от Родинии в позднем рифее [Li et al., 2008; Pisarevsky et al., 2013; Meredith et al., 2017; Gladkochub et al., 2019 и ссылки в ней]. В позднем рифее пассивная континентальная окраина Сибирского платформы была преобразована в активную, с образованием форландового бассейна [Немеров, Станевич, 2001; Станевич и др., 2006, 2007; Gladkochub et al., 2019 и ссылки в ней]. В это время происходило закрытие Палеоазиатского океана вдоль южной окраины Сибири, была сформирована серия прогибов, снос обломочного материала в которые происходил как с территории Сибирской платформы, так и с орогена [Powerman et al., 2015; Gladkochub et al., 2019 и ссылки в этих работах].

Поздняя фаза закрытия океанического бассейна, связанного с субдукцией океанической коры и формированием орогенного пояса, обычно характеризуется переходом от остаточных бассейнов к периферийным осадочным бассейнам. При этом, в остаточных бассейнах обычно накапливаются преимущественно континентальные (непская свита) и мелководно-морские (тирская свита) молассы. Моласса включает отложения крупных пролювиальных конусов выноса, фэн-дельт, речных, озерных и мелководно-морских обстановок [Einsele, 2000], которые как раз и характеризуют разрез непской и тирской свит [Плюснин, Гекче, 2020; Плюснин и др., 2020] (рис. 5.10).

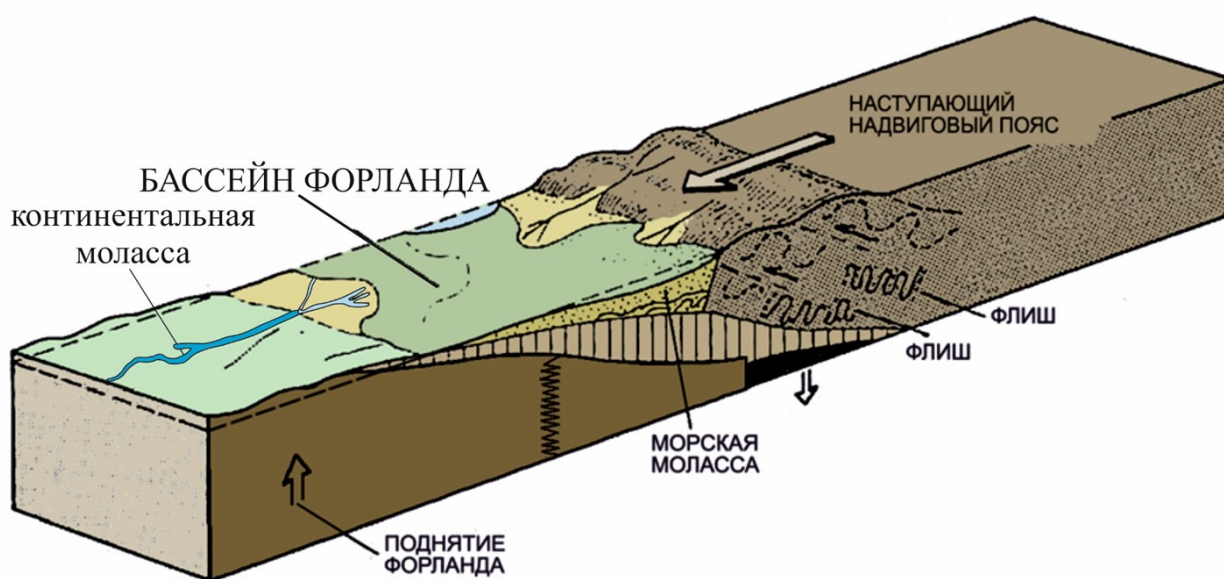


Рисунок 5.10. Завершающие стадии развития бассейна форланда (по [Einsele, 2000]).

Предполагается, что седиментация нижненепской подсвиты происходила в остаточном бассейне, при этом снос обломочного материала осуществлялся как с Сибирского континента так и с орогена. Далее, происходила трансформация в периферийный осадочный бассейн, накапливались породы верхненепской подсвиты, затем имела место трансгрессия моря, что способствовало седиментации преимущественно карбонатных пород тирской свиты. Данный вывод согласуется с мнением предшественников. В частности, Ю.К. Советов [Советов, 2018], на основании седиментологических и стратиграфических исследований осадочных толщ юго-западной окраины Сибирской платформы предположил, что в позднем венде, на юге Сибирской платформы, седиментация происходила в два этапа. На первом этапе происходило формирование терригенных полимиктовых пород. На втором этапе имела место трансгрессия моря, что способствовало формированию смешанных - терригенных и карбонатных пород. Приведенные в работе вещественные характеристики подтверждают вывод о геодинамической природе исследованных терригенных пород. Так, большинство фигуративных точек непской и тирской свит, на палеогеодинамической дискриминационной диаграмме для высоко- и низкокремнистых пород $DF_1 - DF_2$ [Verma, Armstrong-Altrin, 2013], расположились в поле значений, характерных для коллизионных обстановок (рис. 5.11).

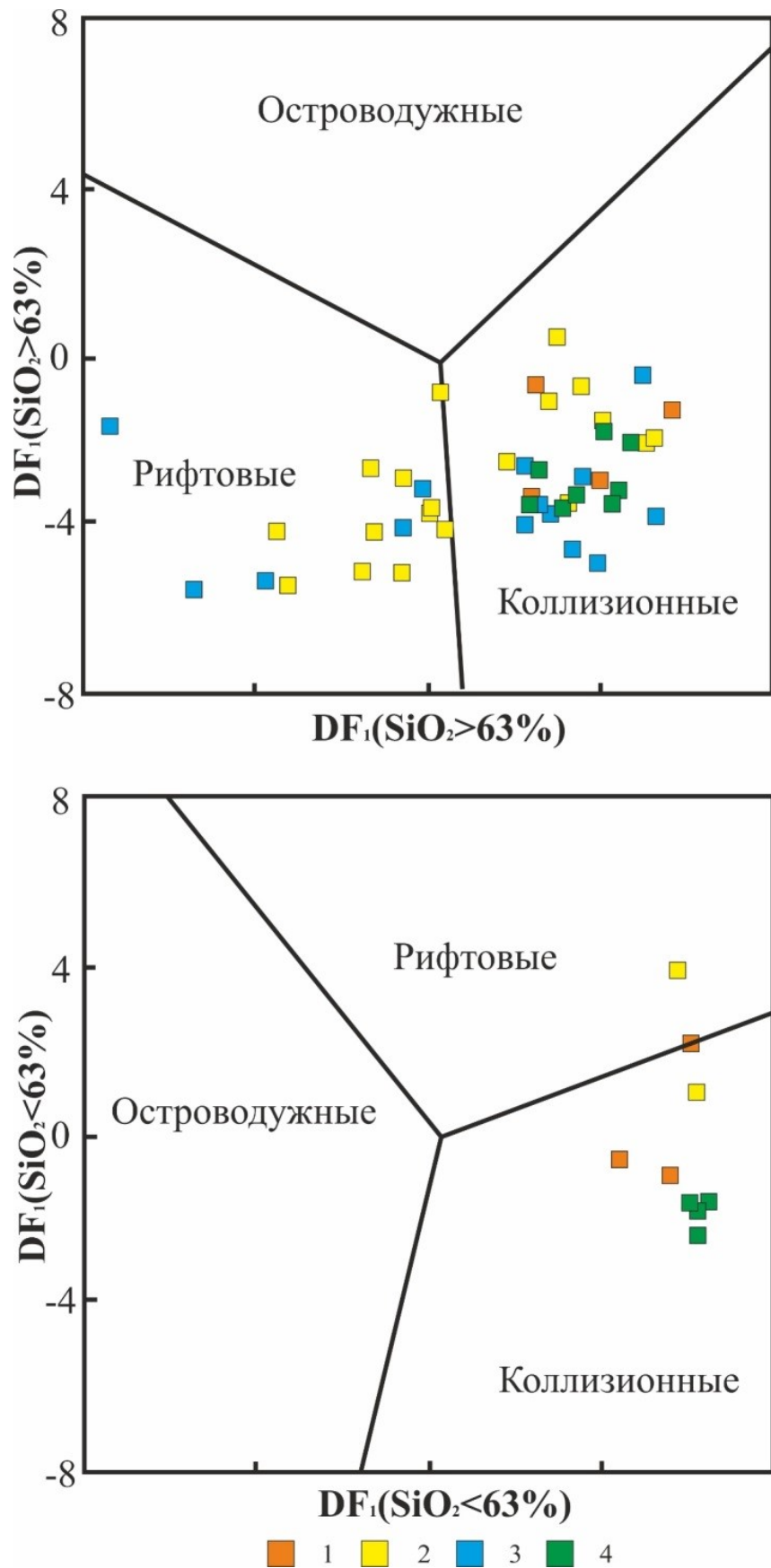


Рисунок 5.11. Палеогеодинамическая дискриминационная диаграмма $DF_1 - DF_2$ [Verma, Armstrong-Altrin, 2013] осадочных пород нижненепской (1), верхненепской (2), нижнетирской (3), верхнетирской (4) подсуит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования были впервые проведены комплексные геологические, литолого-фациальные, петрографические, минералогические, литогеохимические и U-Pb (LA-ICP-MS) геохронологические исследования позднедокембрийских осадочных толщ непской и тирской свит юга Непско-Ботубинской антеклизы юго-востока Сибирской платформы. На основании полученных данных сделаны выводы об условиях формирования, составе пород в области источника сноса, а также проведена реконструкция геодинамических режимов накопления этих отложений.

Наиболее важные результаты:

1. На основании литолого-фациального анализа керн структурированы представления о фациальной принадлежности изученных отложений, выделены 8 макрофаций: элювиальные, пролювиальные (конусы выноса), флювиальные (речные), озерные; приливно-отливные, дельтовые (приливно-отливного типа); пляжа и подводного берегового склона и шельфовые. В каждой макрофации выделен типовой ряд фаций, состоящих из наборов, определенных литогенетических типов пород (всего описано 37 ЛГТ). Представлено их латеральное распределение по описанным выше обстановкам осадконакопления. Составлены фототаблицы с характерными текстурами, которые могут являться атласом-определителем по вендским отложениям НБА.

2. Секвенс-стратиграфический анализ керн скважин и региональная корреляция позволили впервые представить концептуальная секвенс-стратиграфическая модель непской и тирской свит, состоящую из четырех секвенсов связанных с циклами относительного колебания уровня моря. К подошвам секвенсов приурочены стратиграфические несогласия (преднепское, внутринепское, предтирское, внутритирское), не противоречащее текущим представлениям. Стратиграфическое несогласие в подошве SQ4 для юга Приленско-Непской СФЗ выделено впервые. Непские секвенсы - терригенные. Уже в секвенсе SQ3, выделенном в разрезе нижнетирской подсвиты, происходит смена терригенного осадконакопления на преимущественно карбонатное, что свидетельствует о смене режима бассейна седиментации. Это может быть связано с тем, что объёмы поступления терригенного материала резко сократились, продолжавшаяся трансгрессия моря способствовала началу карбонатного осадконакопления.

3. В результате петрографического исследования шлифов, иммерсионного анализа и литогеохимических исследований сделаны следующие выводы:

- источником обломочного материала для отложений нижнепской подсвиты являлись породы смешанного состава, для отложений верхнепской подсвиты – преимущественно кислого состава.

- источником обломочного материала для отложений тирской свиты являлись породы преимущественно кислого состава.

4. На основании результатов геохронологических (U-Pb) исследований сделаны следующие выводы:

- в непский и тирский бассейн седиментации поступал обломочный материал, как за счет разрушения магматических и метаморфических пород фундамента Сибирской платформы, так и за счет разрушения пород Центрально-Азиатского складчатого пояса. В породах непской свиты преобладают раннепротерозойские и архейские возрастные популяции детритовых цирконов над позднепротерозойскими. Для пород тирской свиты обнаруживается преобладание ранне- и позднепротерозойских возрастных популяций детритовых цирконов.

Таким образом, совокупность вещественных характеристик непской и тирской свит, а также результаты изучения возраста детритовых цирконов, с учетом опубликованных данных о литолого-фациальных особенностях этих пород, позволили предположить, что седиментация нижненепской подсвиты происходила в остаточном бассейне, при поступлении обломочного материала как с Сибирского континента так и с орогена, сформированного в результате вендских аккреционно-коллизийных событий, известных вдоль юга Сибири, и, в настоящее время, входящего в структуру северного сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса. Затем, имела место трансформация в периферийный осадочный бассейн, при этом накапливались породы верхненепской подсвиты. Далее произошла трансгрессия моря, и накапливались преимущественно карбонатные породы тирской свиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авдеева В.И., Драгунов О.Д., Ковтун А.С. и др. Стратиграфия позднедокембрийских отложений Ботуобинского газоносного района // Отв. ред. Хоментовский В.В. Сб. научн. тр. "Новое в стратиграфии и палеонтологии позднего докембрия Сибирской платформы". Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1978. С. 78-84.
2. Алексеев В.П. Литолого-фациальный анализ. Екатеринбург, 2002. 147 с.
3. Баженова Т.К., Дахнова М.В., Можегова С.В. Нефтегазообразование в верхнем протерозое Сибирской платформы (источники, масштабы, время, свидетельства) // Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса Востока России. Санкт-Петербург: ВНИГРИ, 2010. С. 81-85.
4. Барабошкин Е.Ю. Практическая седиментология. Терригенные резервуары. Пособие по работе с керном. Тверь: ГЕРС, 2011. 152 с.
5. Бергер М.Г. Терригенная минералогия. М.: Недра, 1986. 227 с.
6. Бобкова Е.В., Лобанова Е.В. Комплексный подход к восстановлению обстановок осадконакопления терригенных пород парфеновского горизонта Ангаро-Ленской и горизонта В10 Непско-Ботуобинской нефтегазоносных областей // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2018. Т.13. № 1. 22 с.
7. Ботвинкина Л.Н. Слоистость осадочных пород. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. 542 с.
8. Ботвинкина Л.Н. Методическое руководство по изучению слоистости. М.: Наука, 1965. 260 с.
9. Бурова И.А. Палеогеографические реконструкции венд-нижекембрийских карбонатных отложений западного склона северной части Непско-Ботуобинской антеклизы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т.9. № 4. 31 с.
10. Бурова И.А., Шибина Т.Д., Корвет Н.А. Литолого-генетический аспект формирования отложений тирской свиты на территории Непского свода // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т.12. № 1. 25 с.
11. Бурова И.А. Влияние колебательных движений блоков фундамента Сибирской платформы на формирование нефтегазоносных комплексов в отложениях венд-кембрийского осадочного чехла // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2018. Т.13. № 1. 25 с.
12. Вишняков С.Г. Карбонатные породы и полевое исследование их пригодности для известкования почвы // Карбонатные породы Ленинградской области, Северного Края и Карельской АССР. М.; Л., Госгоргеонефтеиздат, 1933. Вып. 2. С. 3-22.
13. Винчелл А., Винчелл Г. Оптическая минералогия. М.: Иностранная литература, 1953. 561 с.

14. Воробьев В.Н. Стратиграфические несогласия в южных и центральных районах Сибирской платформы // Новые данные по геологии и нефтегазоносности Лено-Тунгусской провинции. Новосибирск: СНИИГИМС, 1982. С. 4-8.
15. Габдуллин Р.Р., Копаевич Л.Ф., Иванов А.В. Секвентная стратиграфия: Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2008. 113 с.
16. Гёкче М.И., Плюснин А.В. Импактный кратер Непский-1 и осадки, выполняющие его на поверхности фундамента Сибирской платформы // Геодинамика и тектонофизика. 2020. №11(4). С. 710-721.
17. Голубкова Е.Ю., Раевская Е.Г., Ивановская А.В. Закономерности латерального распространения микрофоссилий в вендских нефтегазоносных отложениях Непского свода Непско-Ботуобинской антеклизы Восточной Сибири // Проблемы зарождения и эволюции биосферы. Ч. 2. Под. ред. Э.М. Галимова. М.: УРСС, 2012. С. 591-595.
18. Голубкова Е.Ю., Кузнецов А.Б. Таксономическое разнообразие и корреляция эдиакарских комплексов акантоморфной палинофлоры мира // Водоросли в эволюции биосферы. Отв. ред. С.В. Рожнов. Сер. "Гео-биологические процессы в прошлом" Москва. ПИН РАН. 2014. С. 119-140.
19. Голубкова Е.Ю., Кочнев Б.Б. Нитчатые цианобактерии из вендских отложений непского горизонта внутренних районов Сибирской платформы // Палеонтологический журнал. 2020. №. 5. С. 102-110.
20. Гордиенко И.В. Геодинамическая эволюция поздних байкалид и палеозоид складчатого обрамления юга Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2006. Т. 47 (1). С. 53-70.
21. Гроссгейм В.А. Бескровная О.В., Геращенко И.Л. Окнова Н.С., Рожков Г.Ф. Методы палеогеографических реконструкций (при поисках залежей нефти и газа). Л.: Недра, 1984. 271 с.
22. Железнова А.П., Кулькова А.А., Царев А.В. Условия седиментации песчаных тел и характер развития пород-коллекторов на примере Ярактинско-Аянской и Дулисьминско-Аянской зон Непско-Ботуобинской антеклизы // Нефтегазоносность юга Сибирской платформы / Под ред. П.М. Хренова и др. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1986. С. 48-56.
23. Жемчугова В.А., Некрасов И.А., Аманов Г.Г. Особенности седиментогенеза вендских нефтегазоносных отложений Непского свода. Минеральные индикаторы литогенеза. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 137-138.
24. Жемчугова В.А. Практическое применение резервуарной седиментологии при моделировании углеводородных систем. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. 342 с.
25. Жемчугова В.А., Рыбальченко В.В., Шарданова Т.А. Секвенс-стратиграфическая модель нижнего мела Западной Сибири // Георесурсы. 2021. № 23(2). С. 179-191.

26. Жемчужников Ю.А., Яблоков В.С., Боголюбова Л.И. и др. Строение и условия накопления основных угленосных свит и угольных пластов среднего карбона Донецкого бассейна // Труды ГИН АН СССР. М.: АН СССР. 1959. Вып.15. Ч. 1. 331 с.
27. Зверев К.В., Лебедев М.В., Хохлов Г.А. Принципиальная фациально-стратиграфическая модель терригенных отложений венда Верхнечонского месторождения (Сибирская платформа) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2012. № 9. С. 31-42.
28. Зорина С.О., Жабин А.В. Основные направления и уровни секвенс-стратиграфических исследований в России и за рубежом // Вестник ВГУ. Серия: геология. 2010. № 2. С. 83-93.
29. Изъюрова Е. С. Постникова О.В., Постников Л.В., Зуева О.А. Фациально- палеогеографические реконструкции для постгляциальных отложений венда юго-востока Непско-Ботуобинской антеклизы // Литология и полезные ископаемые. 2020. № 5. С. 419-437.
30. Интерпретация геохимических данных: Учебное пособие / Е.В. Складов, Д.П. Гладкочуб, Т.В. Донская, А.В. Иванов, Е.Ф. Летникова, А.Г. Миронов, И.Г. Бараш, В.А. Буланов, А.И. Сизых / Под ред. Е.В. Складова. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
31. Ковалевский О.П., Маргулис Л.С. Дополнение 1. Секвенс-стратиграфические подразделения // Дополнения к стратиграфическому кодексу России. Санкт–Петербург: ВСЕГЕИ, 2000. С. 59-66.
32. Колосов П.Н., Авдеева В.И., Бакин В.Е. и др. Стратиграфия верхнедокембрийских и нижнекембрийских отложений Ботуобинского газоносного района Юго-Западной Якутии // Отв. ред. Колосов П.Н. Стратиграфия нефтегазоносных отложений Якутии. Сб. научн. тр. Ан СССР. Якутский филиал СО АН СССР. 1980. С. 3-35.
33. Колотовкина М.Ю. Фациальное районирование продуктивных отложений венда Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2018. № 3. С. 14-25.
34. Коновальцева Е.С. Литологические особенности и условия осадконакопления базальных отложений венда склонов Непско-Ботуобинской и Байкитской антеклиз // Концептуальные проблемы литологических исследований в России // Концептуальные проблемы литологических исследований в России // Материалы 6-го Всероссийского литологического совещания (Казань, 26–30 сентября 2011 г.). Казань: Казанский университет, 2011. Т.1. С. 388-391.
35. Конторович. А.Э., Беляев С.Ю., Конторович А.А. и др. Тектоника венд-силурийского структурного яруса осадочного чехла Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (Сибирская платформа) // Геология и геофизика. 2004. Т.45. № 1. С. 100-109.
36. Кочнев Б.Б., Покровский Б.Г., Кузнецов А.Б., Марусин В.В. С- и Sr хемотратиграфия карбонатных отложений венда-нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2018, т. 59, № 6, с. 731-755.

37. Крашенинников Г.Ф. Учение о фациях. М.: Высшая школа, 1971. 367 с.
38. Кузнецов В.Г. Литология-основы общей (теоретической) литологии. М.: Научный мир, 2011. 360 с.
39. Лапина Н.Н., Савинова А.И. Методика комплексного исследования вещественного состава терригенных морских осадков // Геология моря. Л.: НИИГА, 1971. Вып. 1. С. 92-114.
40. Лапина Н.Н. Методика изучения вещественного состава донных отложений (на примере Северного Ледовитого океана). Л.: НИИГА, 1977. 56 с.
41. Лебедев М.В., Чернова Л.С. Фациальные модели терригенных отложений венда северо-востока Непско-Ботуобинской антеклизы (Сибирская платформа) // Геология и геофизика. 1996. Т.37. № 10. С. 51-64.
42. Лебедев М.В. Фациальные серии в осадочных бассейнах // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2008. № 3. С. 8-16.
43. Лебедев М.В., Моисеев С.А., Топешко В.А. и др. Стратиграфическая схема терригенных отложений венда северо-востока Непско-Ботуобинской антеклизы // Геология и геофизика. 2014. № 5-6. С. 874-890.
44. Лебедев М.В. Теоретические основы построения фациальных моделей осадочных нефтегазоносных бассейнов и опыт фациального моделирования терригенных отложений венда северо-востока Непско-Ботуобинской НГО (Сибирская платформа): диссертация ... доктора геолого-минералогических наук: 25.00.12. Новосибирск, 2016. 281 с.
45. Лидер М.Р. Седиментология. Процессы и продукты. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 439 с.
46. Лисицын А.П. Вопросы морского геологического картирования (на примере континентальной окраины Африки) // Докл. ЮНЕСКО, 1986. 91 с.
47. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. М.: Высшая школа, 1974. 400 с.
48. Маргулис Л.С. Секвенсная стратиграфия в изучении строения осадочных чехлов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. Т.3. № 3.
49. Маслов А.В., Алексеев В.П. Осадочные формации и осадочные бассейны: Учебное пособие. - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 203 с
50. Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретация полученных данных. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 289 с.
51. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Михенс Г.А., Ножкин А.Д., Фазлиахметов А.М., Малиновский А.И., Худолей А.К., Котова Л.Н., Купцова А.В., Гареев Э.З., Зайнуллин Р.И. Дискриминантные палеогеодинамические диаграммы для терригенных пород: опыт сопоставления // Геохимия. 2016. №7. С. 579-595.

52. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Сергеева Н.Д. Синрифтовые песчаники: особенности валового химического состава и положение на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т.9. №1. С. 59-80.
53. Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (Стратиграфия, история развития). Изд. 2-е, доп. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2018. 177 с.
54. Мотова З.Л., Плюснин А.В., Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Хубанов В.Б. Возраст и условия седиментации терригенно-карбонатных пород мотской серии (Иркутское Присяянье) // Стратиграфия верхнего докембрия: проблемы и пути решения. Санкт-Петербург, 2021. С. 125-128.
55. Мотова З.Л., Плюснин А.В., Никулин Е.В. Литолого-фациальные особенности, вещественный состав и условия седиментации терригенно-карбонатных пород мотской серии ("Шаманский утес", Иркутское Присяянье) // Геодинамика и тектонофизика. 2021. №3. С. 628-644.
56. Немеров В.К., Станевич А.М. Эволюция рифей-вендских обстановок биолитогенеза Байкальской горной области // Геология и геофизика. 2001 Т.42(3). С. 456-470.
57. Непско-Ботуобинская антеклиза-новая перспективная область добычи нефти и газа на Востоке СССР / А.С. Анциферов, В.Е. Бакин, В.Н. Воробьев и др.; под ред. А.Э. Конторовича др.; АН СССР, Сибирское отд-ние, Ин-т геологии и геофизики, СНИИГГиМС. Новосибирск: Наука, 1986. 243 с.
58. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Вып. 7. Непско-Ботуобинский регион / под ред. А.Э. Конторовича. Новосибирск: ОИГГиМ СО РАН, 1994. 76 с.
59. Обстановки осадконакопления и фации: В 2-х Т. // Под реакцией Рединга. М.: Мир, 1990. Т.1. 352 с.; Т.2. 384 с.
60. Петтиджон Ф.Дж. Осадочные породы (пер. с англ.). М.: Недра, 1981. 751 с.
61. Постникова О.В., Фомичева Л.Н, Соловьева Л.В. Палеогеографические и палеогеодинамические условия формирования рифей-вендского осадочного бассейна юга Сибирской платформы в связи с его нефтегазоносностью // Геология нефти и газа. 2008. № 1.С. 8-15.
62. Постникова О.В., Постников А.В., Коновальцева Е.С. Вторичные процессы в породах-коллекторах ярактинского горизонта юго-восточного склона Непско-Ботуобинской антеклизы // Литология и полез. ископаемые. 2011. № 5. С. 447-456.
63. Плюснин А.В. Вещественный состав курсовской свиты венда Мирнинского выступа Непско-Ботуобинской антеклизы по результатам изучения кернового материала // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. Москва. 2019. № 6. С. 45-52.
64. Плюснин А.В. Концептуальная седиментологическая модель ботуобинского продуктивного горизонта Среднеботуобинского месторождения // Вестник ВГУ. Геология. 2019. №2. С. 61-69.

65. Плюснин А.В. Модель строения венда северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы по результатам изучения опорных разрезов и секвенс-стратиграфического моделирования Непского свода и Мирнинского выступа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т.14. №3. 39 с
66. Плюснин А.В., Неделько О.В., Вилесов А.П. и др. Секвенс-стратиграфическая модель непской и тирской свит венда центральной части Непского свода (Непско-Ботуобинская антеклиза, Сибирская платформа) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т.14. №2. 30 с
67. Плюснин А.В. Гёкче М.И. Состав и строение непского и тирского горизонтов Приленско-Непской литолого-фациальной зоны Непско-Ботуобинской антеклизы по результатам изучения кернового материала // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. №1. С. 75-89.
68. Плюснин А.В., Ибрагимов Р.Р., Гёкче М.И. История геологического развития юга Непско-Ботуобинской антеклизы в непское и тирское время // Нефтяное хозяйство. 2020. № 9. С. 21-25.
69. Плюснин А.В., Копаевич Л.Ф. Секвенс-стратиграфия верхнего венда для северо-востока Непско-Ботуобинской антеклизы Сибирской платформы (на основе изучения керна скважин и анализа данных ГИС) // Вестник МГУ. Серия Геология. 2021. №2. С. 11-19.
70. Пушкарева М.М., Хабаров Е.М., Варакина И.В. Литологическая характеристика парфеновского и ботуобинского продуктивных горизонтов венда Ангаро-Ленской ступени и Непско-Ботуобинской антеклизы // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т.323. № 1. С. 78-83.
71. Рейнек Г.Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенного осадконакопления. М.: Недра, 1981. 440 с.
72. Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР. 1983. Ч.1. 214 с.
73. Решения четвертого межведомственного регионального совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. С. 40.
74. Романовский С.И. Седиментологические основы литологии. Л.: Недра, 1977. 408 с.
75. Рудавская В.А., Кокоулин М.Л. Аналогии венда в центральных и северных районах Сибирской платформы // Стратиграфия позднего докембрия и раннего палеозоя Сибирской платформы. Л.: ВНИГРИ, 1985. С. 31-37.
76. Рухин Л.Б. Основы литологии. М.: Гостоптехиздат, 1953. 671 с.
77. Селли Р.Ч. Древние обстановки осадконакопления. М.: Недра, 1989. 294 с.
78. Советов Ю.К. Верхнедокембрийские песчаники юго-запада Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1977. 295 с.

79. Советов Ю.К., Благовидов В.В. Реконструкция бассейна осадконакопления (на примере вендского передового прогиба — «форландового бассейна» юго-запада Сибирской платформы) // Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция. М.: Научный мир, 2004. С. 159-210.
80. Советов Ю.К. Седиментология и стратиграфическая корреляция вендских отложений на юго-западе Сибирской платформы: выдающийся вклад внешнего источника кластического материала в образовании осадочных систем. Литосфера. 2018. Т.18(1). С. 20-45.
81. Станевич А.М., Немеров В.К., Чатта Е.Н. Микрофоссилии протерозоя Саяно-Байкальской складчатой области. Обстановки обитания, природа и классификация. Новосибирск: Гео, 2006. 204 с.
82. Станевич А.М., Мазукабзов А.М., Постников А.А., Немеров В.К., Писаревский С.А., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Корнилова Т.А. Северный сегмент Палеоазиатского океана в неопротерозое: история седиментогенеза и геодинамическая интерпретация // Геология и геофизика. 2007. Т.8 (1). С. 60-79.
83. Старосельцев В.С. Тектоническая карта нефтегазоносных провинций Сибирской платформы. М 1:5 000 000 / В.С. Старосельцев, Н.В. Мельников, М.П. Гришин и др. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2005.
84. Стратиграфический словарь: Верхний докембрий (Северная Евразия в границах бывшего СССР). М.: Наука, 1994. 351 с.
85. Стратиграфический кодекс. Издание третье. СПб.: МСК., 1992. 120 с.
86. Стратиграфический кодекс России. Издание второе, дополненное. СПб.: ВСЕГЕИ., 2006. 96 с.
87. Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб.: ВСЕГЕИ., 2019. 96 с.
88. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Ред. А.Е. Конторович. Новосибирск: Гео, 2005. 432 с.
89. Татарский В.Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод определения вещества Л: ЛГУ, 1949. 268 с.
90. Тыщенко Л.Ф. Региональная корреляция отложений мотской свиты в Иркутском амфитеатре // Проблемные вопросы литостратиграфии. Новосибирск. 1980. С. 149-158.
91. Флейшер М., Уилкоккс Р., Матцко Дж. Микроскопическое определение прозрачных минералов. Л.: Недра, 1987. 647 с.
92. Фомин А.М., Чернова Л.С. Вендские терригенные формации на территории Непско-Ботубинской антеклизы // Геология и геофизика. 1993. Т.34. С. 16-23.
93. Фор Г. Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989. 590 с.

94. Фролов В.Т. Литология: Учебное пособие. М.: МГУ. 1993. 432 с.
95. Хрущева М. О., Тишин П.А., Чернышов А.И. Геохимическая характеристика рассолов и современных эвапоритов урочища Талое Озеро (Республика Хакасия) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 30. С. 130–140.
96. Цейслер В.М. Анализ геологических формаций. М.: Недра, 1992. 136 с.
97. Чернова О.С. Литолого-фациальный и формационный анализ нефтегазоносных толщ: Учебное пособие по короткому курсу. Томск: ЦППС НД, 2008. 250 с.
98. Шемин Е.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина). Новосибирск: СО РАН, 2007. 467 с.
99. Шенфиль В.Ю. Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1991. 185 с.
100. Юдович Я.Э. Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 497 с.
101. Япаскурт О.В. Стадиальный анализ литогенеза. М.: МГУ, 1994. 142 с.
102. Япаскурт О.В. Основы учения о литогенезе. М.: МГУ, 2005. 379 с.
103. Allen J.R.L. Current ripples. Their relation to patterns of water and sediment motion. North-Holland Publishing Company. Amsterdam. 1968. 433 p.
104. Allen G.P. Sedimentary processes and facies in the Gironde estuary: a recent model for macro-tidal estuarine systems. *Clastic Tidal Sedimentology. Memoir.* 1991. V. 16. P. 29-39.
105. Bings N.H., Bogaerts A., Broekart J.A. C. Atomic Spectroscopy: A Review // *Anal. Chem.* 2010. Vol. 82. N 15. P 4653-4681.
106. Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Davis D.W., Aleinikoff J.N., Valley J.W., Mundil Roland, Campbell I.H., Korsch R.J., Williams I.S., Foudoulis, C. Improved $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology.* 2004. V. 205. P. 115-140.
107. Catuneanu O., Willis A., Miall A. Temporal significance of sequence boundaries. *Sedimentary Geolog.* 1998. V. 121. P. 157-178.
108. Catuneanu O. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *African Earth Sci.* 2002. V. 35. P. 1-43.
109. Catuneanu O. Principles of sequence stratigraphy. Elsevier. 2006. 375 p.
110. Catuneanu O., Galloway, W.E., Kendall, C.G.S.T.C., Miall, A.D., Posamentier, H.W., Strasser, A. and Tucker, M.E. Sequence stratigraphy: methodology and nomenclature. *Newsletters on Stratigraphy.* 2011. V. 44. P. 173-245.

111. Cawood P.A., Hawkesworth C.J., Dhuime B. Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology*. 2012. V.40. № 10. P. 875-878.
112. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*. 1993. V. 104. P. 1-37.
113. Danham R.J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture *Classification of carbonate rocks: Symposium Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem / Ed. by V.E. Ham*. 1962. V. 1. P. 108-121
114. Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Fedorovsky V.S., Sklyarov E.V., Cho M., Sergeev S.A., Demonterova E.I., Mazukabzov A.M., Lepekhina E.N., Cheong W., Kim J. Pre-collisional (> 0.5 Ga) complexes of the Olkhon terrane (southern Siberia) as an echo of events in the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*. 2017. V. 42. P. 243-263.
115. Einsele G. *Sedimentary basins: Evolution, facies, and sediment budget*. Berlin: Springer-Verlag. 2000. 792 p.
116. Embry A.F. Transgressive-regressive (T-R) sequence stratigraphy. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*. 2002. V. 52. P. 151-172.
117. Feng R., Machado N., Ludden J. Lead geochronology of zircon by Laser Probe – Inductively Coupled Mass Spectrometry (LP-ICP-MS). *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1993. V. 57. P. 3479-3486.
118. Fryer B.J., Jackson S.E., Longerich H.P. The Application of Laser - Ablation Microprobe – Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (LAM-ICP-MS) to in situ (U)-Pb Geochronology. *Chemical Geology*. 1993. V. 109. P. 1-8.
119. Galloway W.E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis. I. Architecture and genesis of floodingsurface bounded depositional units. *AAPG Bull*. 1989. V. 73. P. 125-142.
120. Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Stanevich A.M., Pisarevsky S.A., Zhang S., Motova Z.L., Mazukabzov A.M., Li H. U-Pb detrital zircon geochronology and provenance of Neoproterozoic sedimentary rocks in southern Siberia: New insights into breakup of Rodinia and opening of Paleo-Asian Ocean. *Gondwana Research*. 2019. V.65. P. 1-16.
121. Jackson S. E., Pearson N. J., Grifn W. L., Belousova E. A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*. 2004. V. 211. P. 47-69.
122. Jervey M.T. *Quantitative Geological Modeling of Siliciclastic Rock Sequences and Their Seismic Expression*. SEPM Special Publication. 1988. V. 42. P. 47-69.
123. Merdith A.S., Collins A.S., Williams S.E., Pisarevsky S., Foden J.D., Archibald D.B., Blades M.L., Alessio B.L., Armistead S., Plavsa D., Clark C., Müller R.D. A full-plate global reconstruction of the Neoproterozoic. *Gondwana Research*. 2017. V.50. P. 84-134.

124. Mitchum R.M. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 1: Glossary of terms used in seismic stratigraphy. *Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa, Oklahoma. AAPG. 1977. P. 205-212.
125. Li Z.X., Bogdanova S.V., Collins F.S., Davidson A., De Waele B., Ernst R.E., Fitzsimons I.C.W., Gladkochub D.P., Jacobs J., Karlstrom K.E., Lu S., Natapov L.M., Pease V., Pisarevsky S.A., Thrane K., Vernikovsky V. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis // *Precam. Res.* 2008. V.160. P.179-210.
126. Paces J.B., Miller, J.D. Precise U-Pb Ages of the Duluth Complex and Related Mafic Intrusions, Northeastern Minnesota: Geochronological Insights to Physical, Petrogenetic, Paleomagnetic, and Tectonomagmatic Processes Associated With the 1.1 Ga Midcontinent Rift System. *Journal of Geophysical Research*. 1993. V. 98. P. 13997-14013.
127. Pisarevsky S. A., Gladkochub D. P., Konstantinov K. M., Mazukabzov A.M., Stanevich A.M., Murphy J.B., Tait J.A., Donskaya T.V., Konstantinov I.K. Paleomagnetism of Cryogenian Kitoi Mafic Dykes in South Siberia: Implications for Neoproterozoic Paleogeography. *Precambrian Research*. 2013. V.231. P. 372-82.
128. Posamentier H.W., Allen G.P. Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications. *SEPM. Concepts Sedimentol. Paleontol.* 1999. V. 7. 210 p.
129. Powerman V., Shatsillo A., Chumakov N., Kapitonov I., Hourigane J. Interaction between the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) and the Siberian craton as recorded by detrital zircon suites from Transbaikalia // *Precambrian Research*. 2015. V. 267. P. 39-71.
130. Powerman V.I., Buyantuev M.D., Ivanov A.V. A Review of Detrital Zircon Data Treatment, and Launch of a New Tool ‘Dezirteer’ along with the Suggested Universal Workflow. *CHEMICAL GEOLOGY*. 2021. V. 583. P. 119-139.
131. Rojas-Agramonte Y. Kröner A., Demoux A., Xia X., Wang W., Donskaya T., Liu D., Sun M. Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: Significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*. 2011. V. 19(3). P. 751-763.
132. Roser B.P. Korsh R.J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*. 1988. V. 67. P. 119-139.
133. Steel R. J., Gloppen T.G. In Sedimentation in Oblique-slip Mobile Zones, Late Caledonian (Devonian) basin formation, western Norway: signs of strike-slip tectonics during infilling. *Sedimentation in Oblique-Slip Mobile Zones*. 1980. C. 79-103.
134. Stern R. A., Bodorkos S., Kamo S. L., Hickman A. H., Corfu F.: Measurement of SIMS Instrumental Mass Fractionation of Pb Isotopes During Zircon Dating. *Geostandards and Geoanalytical Research*. 2009. V. 33. P. 145–168.

135. Thompson M., Uolsh D.N. Rukovodstvo po spektrometricheskomu analizu s induktivno-svyazanoi plazmoi. M.: Nedra, 1988. 288 p.
136. Vail P.R., Mitchum R.M., Thompson S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Seismic stratigraphy – Applications to hydrocarbon exploration. American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1977. № 26. P. 83-97.
137. Vail P.R., Audemard F., Bowman S.A. et al. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology — an overview. Cycles and events in stratigraphy. New York. Springer-Verlag. 1991. P. 617-659.
138. Van Wagoner J.C., Mitchum R.M., Posamentier H.W. et al. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 2: Key definitions of sequence stratigraphy. Atlas of seismic stratigraphy. AAPG Studies in Geology. 1987. V. 1. № 27. P. 11-14.
139. Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // Chem. Geol. 2013. V. 355. P. 117-133.
140. Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick, J.C., and Spiegel, W., Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. Geostandards Newsletter. 1995. V. 19. P. 1-23.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Рисунок 1.1. Фрагмент тектонической карты нефтегазоносных провинций Сибирской платформы	8
Рисунок 1.2. Положение Непско-Ботуобинской антеклизы в Предпатомском осадочном бассейне.....	10
Рисунок 1.3 Корреляция отложений позднего докембрия Саяно-Байкало-Патомского внешнего района с Непско-Ботуобинским внутренним районом Сибирской платформы.	11
Рисунок 1.4. Район исследований (а) и фрагмент схемы структурно-фациального районирования Сибирской платформы (б).....	13
Рисунок 1.5. Фрагмент региональной стратиграфической схемы вендских отложений НБА	14
Рисунок 1.6. Сводный геолого-геофизический разрез центральной части Приленско-Непской СФЗ	16
Рисунок 1.7. Сводный геолого-геофизический разрез южной части Приленско-Непской СФЗ .	17
Рисунок 2.1. Обзорная карта района исследований с точками скважин и границами лицензионных участков.....	18
Рисунок 2.2. Геолого-геофизические разрезы изученных скважин с точками отбора проб.	19
Рисунок 2.3. Геолого-геофизические разрезы изученных скважин с точками отбора проб	20
Рисунок 3.1. Распределение выделенных ЛГТ по фациальным зонам континентальных обстановок осадконакопления	30
Рисунок 3.2. Фототаблица континентальных макрофаций.....	32
Рисунок 3.3. Распределение выделенных ЛГТ по фациальным зонам переходных обстановок осадконакопления	36
Рисунок 3.4. Фототаблица приливно-отливных макрофаций.....	37
Рисунок 3.5. Фототаблица макрофаций дельты приливно-отливного типа.....	39
Рисунок 3.6. Распределение выделенных ЛГТ по фациальным зонам переходных и мелководно-морских обстановок осадконакопления.....	41
Рисунок 3.7. Фототаблица макрофаций пляжа и берегового склона.....	41
Рисунок 3.8. Распределение выделенных ЛГТ по фациальным зонам шельфа.....	42
Рисунок 3.9. Фототаблица макрофаций шельфа.....	43
Рисунок 3.10. Сводный геолого-геофизический разрез Ярактинской площади, составленный по результатам литолого-седиментологического описания керна юга Приленско-Непской СФЗ...	45
Рисунок 3.11. Фото керна скважин Ярактинской площади с выделенными секвенс-стратиграфическими границами.....	48

Рисунок 3.12. Концептуальная секвенс-стратиграфическая модель непских и тирских отложений юга НБА.....	50
Рисунок 4.1. Классификация терригенных пород нижненепской подсвиты	53
Рисунок 4.2. Микрофотографии шлифов терригенных пород нижненепской подсвиты (николи ×).	54
Рисунок 4.3. Диаграммы ГМ-ФМ и НКМ-ГМ для нижненепской подсвиты	57
Рисунок 4.4. Спектры распределения РЗЭ для нижненепской подсвиты, нормированные на СПКП.....	58
Рисунок 4.5. Спектры распределения РЗЭ для нижненепской подсвиты, нормированные по хондриту.....	58
Рисунок 4.6. Классификация терригенных пород верхненепской подсвиты.....	59
Рисунок 4.7. Микрофотографии шлифов терригенных пород верхненепской подсвиты (николи ×).	60
Рисунок 4.8. Диаграммы ГМ-ФМ и НКМ-ГМ для верхненепской подсвиты.....	62
Рисунок 4.9. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород верхненепской подсвиты, нормированные на СПКП.....	63
Рисунок 4.10. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород верхненепской подсвиты, нормированные по хондриту	63
Рисунок 4.11. Классификация терригенных пород нижнетирской подсвиты.....	64
Рисунок 4.12. Микрофотографии шлифов терригенных пород нижнетирской подсвиты (николи ×).	65
Рисунок 4.13. Диаграммы ГМ-ФМ и НКМ-ГМ для нижнетирской подсвиты	67
Рисунок 4.14. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород нижнетирской подсвиты, нормированные на СПКП.....	68
Рисунок 4.15. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород нижнетирской подсвиты, нормированные по хондриту	68
Рисунок 4.16. Классификация терригенных пород верхнетирской подсвиты.....	69
Рисунок 4.17. Микрофотографии шлифов терригенных пород верхнетирской подсвиты (николи ×).	70
Рисунок 4.18. Диаграммы ГМ-ФМ и НКМ-ГМ для верхнетирской подсвиты.....	71
Рисунок 4.19. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород верхнетирской подсвиты, нормированные на СПКП.....	72
Рисунок 4.20. Спектры распределения РЗЭ для терригенных пород верхнетирской подсвиты, нормированные по хондриту	72

Рисунок 5.1. Гистограмма и кривая относительной вероятности возраста детритовых цирконов нижненепской подсвиты проба № INK-18.	74
Рисунок 5.2. Катодоллюминесцентные изображения детритовых цирконов из нижненепской подсвиты проба № INK-18.	75
Рисунок 5.3. Гистограмма и кривая относительной вероятности возраста детритовых цирконов верхненепской подсвиты проба № INK-3.	76
Рисунок 5.4. Катодоллюминесцентные изображения детритовых цирконов верхненепской подсвиты проба № INK-3	76
Рисунок 5.5. Гистограмма и кривая относительной вероятности возраста детритовых цирконов нижнетирской подсвиты проба № INK-6.	77
Рисунок 5.6. Катодоллюминесцентные изображения детритовых цирконов нижнетирской подсвиты проба № INK-6.	78
Рисунок 5.7. Гистограмма и кривая относительной вероятности возраста детритовых цирконов верхнетирской подсвиты проба № INK-2.	79
Рисунок 5.8. Катодоллюминесцентные изображения детритовых цирконов верхнетирской подсвиты проба № INK-2.	79
Рисунок 5.9. Сопоставление возрастных спектров для обломочных цирконов непского и тирского горизонтов внутренних районов Сибирской платформы со спектрами по террейнам Центрально-Азиатского складчатого пояса и фундаменту южной окраины Сибирского платформы.	81
Рисунок 5.10. Завершающие стадии развития бассейна форланда	82
Рисунок 5.11. Палеогеодинамическая дискриминационная диаграмма $DF_1 - DF_2$	84

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 3.1. Иерархическая схема фаций	31
Таблица 3.2. Краткое описание основных макрофаций к сводному разрезу.	46

Таблица 1. Содержание минералов в легкой и тяжелой фракции

№ пробы	Площадь, скважина	Подевита	Легкая фракция, %					Выход легкой фракции, %	Выход тяжелой фракции, %	Тяжелая фракция, %								Показатели		
			Кварц	Полевые шпаты	Слюда	Обломки пород	Доломит/кальцит			Циркон	Рутил	Апатит	Турмалин	Амфиболы	Пироксены	Лейкоксен	Монацит	Zr/Tur*	Mhd*	Mc*
1	Большетирская, 16	Нижнетирская	80.00	12.00	5.00	3.00	-	98.20	1.80	70.33	3.30	-	26.37	-	-	-	-	2.67	2.79	64.03
2	Ярактинская, 202		70.00	-	-	20.00	10	98.80	1.20	13.33	33.33	-	53.33	-	-	-	-	0.25	0.87	46.66
3	Ярактинская, 821	Верхнетирская	83.50	3.00	7.50	6.00	-	98.90	1.10	3.42	11.64	-	78.77	-	-	6.16	-	0.04	0.27	19.83
4	Большетирская, 16		50.00	10.00	-	40.00	-	99.30	0.70	10.34	0.00	-	68.97	-	-	20.69	-	0.15	0.45	29.14
5	Ярактинская, 609		90.00	2.00	3.00	5.00	-	86.80	13.20	30.93	4.12	-	64.95	-	-	-	-	0.48	0.54	32.30
6	Верхнетирская, 301		85.00	5.00	-	10.00	-	97.70	2.30	-	-	-	100	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00
7	Ярактинская, 202		75.00	-	5.00	20.00	-	97.90	2.10	34.69	8.16	20.41	36.73	-	-	-	-	0.94	0.75	48.43
8	Кийская, 20		80.00	5.00	5.00	10.00	-	98.20	1.80	12.67	42.67	-	39.33	-	-	5.33	-	0.32	1.54	56.38
9	Марковская, 730	Нижнетирская	71.40	15.30	8.90	4.40	-	99.80	0.20	8.94	10.02	-	81.04	-	-	-	-	0.11	0.23	18.96
10	Марковская, 730		69.00	6.00	15.00	10.00	-	94.00	6.00	9.71	17.49	-	72.8	-	-	-	-	0.13	0.37	0.00
11	Большетирская, 16		97.00	1.00	2.00	-	-	99.80	0.20	5.99	14.97	-	79.04	-	-	-	-	0.08	0.27	20.25
12	Ярактинская, 821	Верхнетирская	91.50	2.00	3.50	1.00	2	99.70	0.30	11.82	15.15	-	73.03	-	-	-	-	0.16	0.37	25.09
13	Ярактинская, 380		95.00	-	5.00	-	-	98.80	1.20	-	11.43	-	88.57	-	-	-	-	0.00	0.13	11.04

Примечание: Гидроаэродинамическая зрелость: $Mhd = (\text{рутил} + \text{циркон} + \text{монацит} + \text{лейкоксен}) / (\text{турмалин} + \text{апатит} + \text{группа амфиболов} + \text{пироксены})$. Химическая зрелость: $Mc = (100 \times (\text{рутил} + \text{циркон} + \text{монацит} + \text{лейкоксен} + \text{турмалин}) / ((\text{рутил} + \text{циркон} + \text{монацит} + \text{лейкоксен} + \text{турмалин}) + (\text{турмалин} + \text{группа амфиболов} + \text{группа пироксенов}))$. Гидроаэродинамическая устойчивость (Zr/Tur_{tm}) = циркон/турмалин.

Таблица 2. Петрохимический состав

№ по порядку	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Компонент (масс, %)	Нижнепепская подсвета						Верхнепепская подсвета									
	Большетирская, 16	Ярактинская, 202					Ярактинская, 821			Большетирская, 16				Ярактинская, 609		
Лабораторный №	69	114	115	116	117	118	26	27	28	65	66	67	68	85	86	87
SiO ₂	80.23	52.91	79.81	76.13	48.52	54.84	92.49	92.26	94.58	55.79	81.12	79.01	81.17	87.78	75.74	61.20
TiO ₂	0.11	1.01	0.13	0.08	1.31	1.29	0.50	0.10	0.14	1.47	0.62	0.55	0.53	0.27	0.30	1.00
Al ₂ O ₃	3.25	22.02	5.39	4.33	20.36	18.76	1.36	0.28	0.19	22.18	6.84	8.78	8.85	3.55	3.39	15.62
Fe ₂ O ₃	3.47	6.68	1.88	1.74	9.03	6.61	0.83	1.51	1.57	4.54	2.59	3.46	1.70	1.88	10.00	6.05
MnO	0.05	0.00	0.01	0.04	0.05	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
MgO	1.14	2.33	1.74	2.94	6.03	5.86	0.26	0.20	0.13	1.29	0.47	0.63	0.97	0.47	1.46	2.77
CaO	3.09	1.03	2.48	4.17	1.20	1.13	1.06	2.61	1.24	1.12	1.16	1.25	0.14	0.80	2.15	1.01
Na ₂ O	0.24	0.31	0.22	0.27	0.26	0.25	0.32	0.18	0.19	0.23	0.17	0.15	0.24	0.21	0.10	0.18
K ₂ O	1.29	7.06	4.37	3.49	7.08	3.47	0.61	0.23	0.30	6.34	2.55	2.20	2.37	1.83	1.87	5.34
P ₂ O ₅	0.01	0.04	0.01	0.02	0.09	0.42	0.00	0.00	0.00	0.03	0.08	0.03	0.02	0.02	0.29	0.02
п.п.п.	5.80	5.80	2.82	5.83	4.75	6.34	1.62	1.02	1.08	5.75	3.21	3.19	3.55	2.75	3.28	5.91
Сумма	98.67	99.20	98.85	99.05	98.67	99.01	99.05	98.41	99.44	98.75	98.82	99.25	99.55	99.58	98.59	99.12
K ₂ O/Na ₂ O	5.28	22.84	20.14	12.99	27.70	13.83	1.87	1.27	1.53	27.47	15.44	15.05	9.88	8.60	18.51	29.12
ГМ	0.09	0.56	0.09	0.08	0.63	0.49	0.03	0.02	0.02	0.51	0.12	0.16	0.14	0.07	0.18	0.37
ФМ	0.06	0.17	0.05	0.06	0.31	0.23	0.01	0.02	0.02	0.10	0.04	0.05	0.03	0.03	0.15	0.14
НКМ	0.47	0.33	0.85	0.87	0.36	0.20	0.68	1.48	2.57	0.30	0.40	0.27	0.29	0.57	0.58	0.35

№ по порядку	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Компонент (масс,%)	Верхненепская подсвита												Нижнетирская под- свита		
	Верхнетирская, 301					Ярактинская, 202			Кийская, 20				Большетирская, 16		
Лабораторный №	101	102	103	104	105	109	110	111	135	136	137	138	62	63	64
SiO ₂	86.22	51.47	89.54	84.74	87.79	80.62	82.32	84.44	70.18	95.40	59.35	84.27	67.32	93.76	90.16
TiO ₂	0.35	1.08	0.29	0.14	0.09	0.04	0.02	0.04	0.50	0.05	0.06	0.04	0.04	0.12	0.06
Al ₂ O ₃	3.18	18.55	0.29	0.26	0.17	0.11	0.16	0.35	9.60	0.19	0.06	0.03	0.01	0.08	0.17
Fe ₂ O ₃	2.98	10.76	2.92	3.09	2.01	1.44	1.89	2.59	4.00	1.21	0.91	1.28	2.47	2.25	0.97
MnO	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.09	0.03	0.13	0.01	0.01
MgO	0.30	1.22	0.10	1.68	1.73	3.41	3.28	2.57	5.23	0.34	15.02	3.22	5.19	0.09	0.08
CaO	0.95	1.12	0.72	2.71	2.82	4.55	4.60	3.59	1.02	0.48	8.25	2.45	9.41	1.03	0.89
Na ₂ O	0.13	0.30	0.05	0.15	0.25	0.13	0.07	0.19	0.39	0.18	0.05	2.75	0.03	0.08	3.56
K ₂ O	1.97	5.77	0.27	0.24	0.16	0.50	0.61	0.57	4.00	0.57	0.38	0.76	0.17	0.25	0.51
P ₂ O ₅	0.04	0.23	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.21	0.00	0.00
п.п.п.	3.29	8.51	5.57	5.50	3.73	8.07	6.08	4.83	3.87	0.51	14.97	4.98	14.23	2.22	3.15
Сумма	99.41	99.01	99.77	98.56	98.80	98.88	99.07	99.20	98.94	98.94	99.15	99.81	99.20	99.89	99.55
K ₂ O/Na ₂ O	15.11	19.28	5.35	1.63	0.62	3.94	8.56	3.04	10.23	3.15	7.59	0.28	5.41	3.07	0.14
ГМ	0.08	0.59	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04	0.20	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.01
ФМ	0.04	0.23	0.03	0.06	0.04	0.06	0.06	0.06	0.13	0.02	0.27	0.05	0.12	0.03	0.01
НКМ	0.66	0.33	1.11	1.52	2.34	5.93	4.23	2.15	0.46	4.03	7.07	120.87	26.36	4.22	23.64

№ по порядку	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
Компонент (масс,%)	Нижнетирская подсвита												Верхнетирская под- свита		
	Марковская, 730						Ярактинская, 609						Ярактинская, 821		
Лабораторный №	53	54	55	56	57	58	59	60	61	82	83	84	23	24	25
SiO ₂	61.92	78.40	86.53	86.91	78.90	83.30	94.40	91.73	68.57	84.79	83.04	83.14	85.32	81.40	86.36
TiO ₂	0.85	0.98	0.20	0.17	0.24	0.25	0.08	0.10	1.33	0.33	0.47	0.40	0.32	0.38	0.15
Al ₂ O ₃	15.31	4.70	2.21	0.14	1.64	1.73	0.02	0.01	9.98	3.50	5.06	4.91	3.55	4.12	3.27
Fe ₂ O ₃	5.64	2.84	2.50	1.19	0.82	0.86	2.56	0.98	8.22	1.49	2.16	1.77	1.91	2.13	1.05
MnO	0.04	0.04	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
MgO	3.57	1.86	0.87	3.20	1.10	1.16	0.10	0.86	0.80	0.95	0.94	1.24	1.38	1.73	0.71
CaO	1.69	3.43	1.88	5.58	5.86	6.19	1.07	2.36	1.26	1.39	1.06	1.53	1.48	1.70	1.90
Na ₂ O	0.23	0.14	0.10	0.12	0.10	0.10	0.09	0.22	0.22	0.17	0.14	0.18	0.21	0.18	0.08
K ₂ O	4.78	2.31	0.81	0.08	1.22	1.28	0.14	0.08	3.00	1.71	2.25	2.37	2.16	2.30	1.19
P ₂ O ₅	0.14	0.10	0.01	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.00
п.п.п.	4.55	3.78	3.84	1.88	7.28	2.65	0.79	3.09	5.52	5.14	4.22	3.75	2.58	4.98	4.65
Сумма	98.72	98.58	98.99	99.33	97.19	97.58	99.26	99.46	98.97	99.50	99.38	99.34	98.96	98.98	99.38
K ₂ O/Na ₂ O	20.92	16.23	7.83	0.66	12.59	12.59	1.48	0.35	13.32	9.93	15.96	13.07	10.10	12.86	14.72
ГМ	0.35	0.11	0.06	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.29	0.06	0.09	0.09	0.07	0.08	0.05
ФМ	0.15	0.06	0.04	0.05	0.02	0.02	0.03	0.02	0.13	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.02
НКМ	0.33	0.52	0.41	1.42	0.80	0.80	14.64	31.31	0.32	0.54	0.47	0.52	0.67	0.60	0.39

№ по порядку	47	48	49	50	51	52	53	54
Компонент (масс,%)	Верхнетирская подсвета							
	Ярактинская, 380							
<i>Лабораторный №</i>	<i>45</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>	<i>49</i>	<i>50</i>	<i>51</i>	<i>52</i>
SiO ₂	55.24	27.00	47.22	61.72	64.93	81.75	79.01	76.58
TiO ₂	0.69	0.31	0.54	0.59	0.66	0.25	0.12	0.16
Al ₂ O ₃	11.62	7.34	9.92	9.13	9.58	1.68	1.49	1.17
Fe ₂ O ₃	4.81	6.48	4.25	3.95	3.77	2.20	2.12	1.76
MnO	0.06	0.10	0.06	0.03	0.04	0.01	0.02	0.02
MgO	6.10	12.67	8.25	4.40	3.22	2.04	2.92	3.72
CaO	4.79	14.30	7.94	4.73	3.88	3.96	4.90	5.77
Na ₂ O	0.19	0.18	0.20	0.28	0.37	0.34	0.25	0.25
K ₂ O	4.80	5.90	5.37	5.62	5.13	1.46	1.31	1.09
P ₂ O ₅	0.09	0.09	0.09	0.12	0.11	0.01	0.01	0.01
п.п.п.	10.00	22.97	14.52	8.23	6.89	4.63	6.39	8.22
Сумма	98.38	97.34	98.37	98.81	98.59	98.35	98.52	98.75
K ₂ O/Na ₂ O	25.62	32.46	26.34	19.73	13.90	4.31	5.29	4.33
ГМ	0.31	0.53	0.31	0.22	0.22	0.05	0.05	0.04
ФМ	0.20	0.71	0.27	0.14	0.11	0.05	0.06	0.07
НКМ	0.43	0.83	0.56	0.65	0.57	1.07	1.04	1.14

Таблица 3 Концентрации редких и рассеянных элементов

№ по порядку	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Элемент. отношение	Нижненепская подсвита						Верхненепская под-свита		
	Большетирская, 16	Ярактинская, 202					Ярактинская, 821		
Лабораторный №	69	114	115	116	117	118	26	27	28
Rb, г/г	21.27	140.31	56.32	55.24	91.35	102.21	12.27	4.55	4.06
Ba	110.93	306.78	452.24	491.85	272.92	286.73	41.06	16.28	18.25
Sr	124.27	105.62	66.24	65.06	121.28	117.83	48.68	83.11	35.16
Y	7.52	24.77	5.59	5.86	18.10	32.33	8.35	2.66	2.80
Zr	31.23	144.03	40.38	30.69	158.16	143.63	90.99	22.25	17.50
Hf	0.91	3.68	1.06	0.80	4.04	3.56	2.29	0.56	0.41
Nb	2.35	14.66	1.49	1.18	14.18	14.33	8.86	1.64	1.95
La	28.92	93.58	30.70	27.55	81.09	119.12	47.38	27.10	33.23
Ce	20.57	63.09	20.23	13.75	42.73	54.24	28.29	12.22	14.90
Pr	15.68	47.08	16.51	9.47	31.24	56.60	21.74	8.61	9.84
Nd	13.31	35.10	13.99	7.15	25.29	51.11	16.19	5.52	6.33
Sm	12.84	16.65	8.72	5.37	17.42	38.92	8.94	2.47	2.83
Eu	5.42	7.80	4.91	5.11	9.80	23.98	3.65	1.11	1.17
Gd	8.25	12.44	4.38	3.59	10.82	22.71	5.50	1.79	2.02
Tb	6.60	13.40	3.72	3.75	10.49	21.35	5.02	1.56	1.65
Dy	4.35	11.63	2.94	3.32	9.35	16.88	3.97	1.25	1.30
Ho	3.99	12.93	2.71	3.08	9.73	15.92	4.04	1.26	1.29
Er	3.51	12.93	2.73	3.02	10.74	16.04	3.93	1.22	1.30
Tm	3.46	13.36	2.49	2.53	10.65	14.63	4.00	1.21	1.33
Yb	4.03	15.92	2.87	2.70	12.47	16.21	4.75	1.47	1.52
Lu	3.32	13.22	2.37	2.18	10.54	13.39	3.93	1.19	1.23
Th	3.78	10.97	2.18	2.32	7.12	8.66	4.07	1.33	1.31
U	1.07	3.33	0.47	0.39	1.70	2.28	1.57	0.36	0.40
Ni	11.28	60.47	12.20	9.42	119.86	78.91	67.06	12.30	10.27
Co	3.70	17.61	3.02	4.02	36.84	20.54	2.42	2.14	3.29
Sc	2.52	24.56	8.86	3.71	21.06	23.74	2.30	0.89	0.51
Eu/Eu*	0.53	0.54	0.79	1.16	0.71	0.81	0.52	0.53	0.49
(La/Yb) _n	7.18	5.88	10.69	10.20	6.50	7.35	9.97	18.48	21.85
(La/Sm) _n	2.25	5.62	3.52	5.13	4.66	3.06	5.30	10.96	11.74
(Gd/Yb) _n	2.05	0.78	1.53	1.33	0.87	1.40	1.16	1.22	1.33
Th/Sc	1.50	0.45	0.25	0.63	0.34	0.36	1.77	1.50	2.56
Zr/Sc	12.41	5.86	4.56	8.27	7.51	6.05	39.56	24.98	34.21
Th/U	3.53	3.30	4.68	5.89	4.18	3.79	2.60	3.67	3.29
ΣREE	134.26	369.13	119.29	92.58	292.36	481.09	161.35	67.96	79.97

№ по порядку	10	11	12	13	14	15	16
Элемент. отношение	Верхнепепская подсвита						
	Большетирская, 16				Ярактинская, 609		
<i>Лабораторный №</i>	65	66	67	68	85	86	87
Rb, г/г	155.20	58.07	51.35	106.56	31.36	20.31	90.61
Ba	384.13	198.38	171.91	265.85	117.02	60.58	168.26
Sr	154.09	162.33	133.71	186.01	28.38	26.11	91.50
Y	29.60	11.11	10.88	19.61	5.32	9.49	17.90
Zr	214.45	65.03	61.78	109.05	47.26	43.58	181.33
Hf	5.43	1.69	1.65	2.79	1.19	1.11	4.76
Nb	27.24	11.79	11.58	15.31	5.18	3.64	14.26
La	152.18	82.96	64.69	138.62	45.08	13.16	116.88
Ce	91.91	69.75	47.38	97.92	28.23	10.94	74.91
Pr	69.71	51.30	36.89	68.77	20.61	9.33	51.51
Nd	49.76	42.87	30.17	50.18	16.71	9.93	39.29
Sm	28.90	25.89	19.80	22.57	9.73	11.04	18.20
Eu	14.55	9.47	7.66	9.76	4.26	6.32	7.09
Gd	19.42	12.27	10.99	14.98	5.10	6.89	10.40
Tb	18.62	9.13	8.73	13.15	3.98	6.68	9.76
Dy	14.70	6.48	6.38	10.02	2.99	5.04	8.47
Ho	15.32	5.94	5.82	10.30	2.88	4.99	9.58
Er	15.59	5.89	5.72	10.67	3.10	4.72	10.04
Tm	16.25	6.34	5.50	10.70	3.33	4.76	10.75
Yb	19.39	8.58	6.90	13.01	4.03	5.49	12.55
Lu	16.50	6.00	5.46	10.78	3.37	4.32	10.62
Th	20.21	9.46	12.58	11.65	4.10	4.00	8.97
U	5.39	2.37	1.98	4.17	1.04	2.13	2.01
Ni	132.71	18.85	31.71	32.46	16.26	53.84	57.37
Co	43.69	6.13	13.77	11.14	4.93	16.52	21.25
Sc	22.82	6.86	6.83	17.87	2.86	5.66	15.49
Eu/Eu*	0.61	0.53	0.52	0.53	0.60	0.73	0.52
(La/Yb) _n	7.85	9.67	9.38	10.66	11.20	2.40	9.31
(La/Sm) _n	5.27	3.20	3.27	6.14	4.63	1.19	6.42
(Gd/Yb) _n	1.00	1.43	1.59	1.15	1.27	1.26	0.83
Th/Sc	0.89	1.38	1.84	0.65	1.43	0.71	0.58
Zr/Sc	9.40	9.48	9.05	6.10	16.51	7.71	11.71
Th/U	3.75	3.99	6.35	2.79	3.94	1.88	4.48
ΣREE	542.81	342.86	262.11	481.43	153.39	103.60	390.06

№ по порядку	17	18	19	20	21	22	23	24
Элемент. отношение	Верхненепская подсвета							
	Верхнетирская, 301					Ярактинская, 202		
Лабораторный №	101	102	103	104	105	109	110	111
Rb, г/г	33.51	120.35	2.74	2.82	2.13	7.46	9.67	8.76
Ba	121.02	209.82	16.19	12.49	12.70	52.19	59.94	63.21
Sr	46.77	71.96	10.26	49.40	35.93	17.92	19.68	20.58
Y	8.19	38.12	4.20	3.75	3.21	3.25	2.52	2.14
Zr	33.25	160.34	33.36	25.70	14.91	17.20	12.02	19.36
Hf	0.85	4.05	0.79	0.68	0.37	0.42	0.41	0.48
Nb	6.05	17.46	3.67	1.91	1.31	0.67	1.22	0.67
La	48.00	91.04	22.28	23.82	24.25	14.75	8.71	23.57
Ce	34.99	70.94	11.96	12.69	13.22	7.21	5.30	8.89
Pr	26.16	47.57	8.13	8.17	8.39	4.91	3.79	5.15
Nd	20.63	38.26	5.55	5.52	5.75	3.93	3.18	3.52
Sm	11.51	24.44	2.81	3.03	3.10	3.20	2.93	2.01
Eu	4.63	13.46	1.17	1.26	1.16	1.66	1.62	1.20
Gd	7.00	20.81	2.34	2.44	2.29	2.07	1.75	1.46
Tb	6.09	23.81	2.40	2.39	2.12	2.31	1.85	1.34
Dy	4.38	18.89	2.02	1.85	1.63	1.82	1.41	1.03
Ho	4.19	19.01	2.05	1.80	1.55	1.81	1.34	1.08
Er	3.94	17.36	1.90	1.67	1.38	1.62	1.19	1.08
Tm	3.92	16.86	1.88	1.64	1.31	1.60	1.15	1.13
Yb	4.63	19.27	1.90	1.76	1.53	1.85	1.40	1.37
Lu	3.78	15.67	1.64	1.50	1.29	1.46	1.08	1.10
Th	5.87	12.93	2.38	1.57	1.85	1.04	1.09	1.12
U	1.76	3.39	0.63	0.54	0.49	0.29	0.30	0.35
Ni	26.49	64.12	17.72	9.72	8.19	120.31	10.05	16.11
Co	7.42	15.35	2.61	1.99	1.54	4.28	2.18	3.64
Sc	3.62	24.96	0.80	0.84	1.16	1.12	0.68	0.48
Eu/Eu*	0.52	0.60	0.45	0.46	0.44	0.65	0.72	0.70
(La/Yb) _n	10.37	4.72	11.72	13.50	15.89	7.96	6.23	17.18
(La/Sm) _n	4.17	3.72	7.93	7.86	7.83	4.61	2.97	11.72
(Gd/Yb) _n	1.51	1.08	1.23	1.38	1.50	1.12	1.25	1.06
Th/Sc	1.62	0.52	2.96	1.87	1.60	0.93	1.61	2.32
Zr/Sc	9.19	6.42	41.47	30.65	12.91	15.37	17.75	40.16
Th/U	3.33	3.81	3.80	2.91	3.74	3.56	3.57	3.18
ΣREE	183.84	437.40	68.04	69.54	68.97	50.20	36.70	53.93

№ по порядку	25	26	27	28	29	30	31
Элемент. отношение	Верхнепепская подсвита				Нижнетирская подсвита		
	Кийская, 20				Большетирская, 16		
Лабораторный №	135	136	137	138	62	63	64
Rb, г/г	59.13	10.10	5.92	14.29	126.03	41.50	113.72
Ba	288.99	103.15	63.23	71.42	321.93	336.53	263.20
Sr	103.41	29.14	37.99	23.91	125.96	458.27	102.92
Y	8.54	2.25	3.22	3.35	20.82	27.41	20.74
Zr	29.44	13.25	30.63	20.74	104.43	229.34	195.77
Hf	0.80	0.34	0.41	0.54	2.56	5.84	4.25
Nb	4.77	0.77	1.06	0.64	15.19	18.91	16.09
La	38.74	16.08	20.50	14.57	13.12	16.17	16.03
Ce	26.84	9.61	10.87	7.80	10.69	9.76	9.91
Pr	21.93	6.88	8.84	5.68	8.88	7.91	7.57
Nd	18.53	5.17	6.90	4.48	9.36	5.68	5.42
Sm	11.47	2.66	3.96	3.76	16.03	2.66	2.50
Eu	7.19	1.34	2.57	2.35	7.63	0.97	0.76
Gd	6.27	1.72	2.59	2.50	8.92	1.68	1.40
Tb	5.68	1.48	2.25	2.28	6.48	1.54	1.16
Dy	4.63	1.19	1.69	1.78	3.67	1.21	0.87
Ho	4.47	1.11	1.45	1.54	3.05	1.31	0.88
Er	4.93	1.09	1.35	1.45	2.50	1.36	0.86
Tm	4.57	0.96	1.09	1.29	2.07	1.40	0.87
Yb	5.70	1.09	1.20	1.44	2.48	1.71	0.99
Lu	4.66	0.87	1.01	1.24	1.93	1.48	0.84
Th	5.64	1.11	1.74	0.69	12.51	27.21	13.25
U	0.79	0.26	0.32	0.25	2.36	4.21	2.74
Ni	13.43	3.26	4.36	100.60	59.58	85.22	29.20
Co	4.57	1.49	1.73	3.72	18.51	10.63	5.94
Sc	8.25	0.53	0.36	0.51	20.64	9.36	13.46
Eu/Eu*	0.85	0.63	0.80	0.77	0.64	0.46	0.41
(La/Yb) _n	6.80	14.80	17.07	10.14	5.29	9.45	16.17
(La/Sm) _n	3.38	6.05	5.17	3.87	0.82	6.08	6.41
(Gd/Yb) _n	1.10	1.59	2.16	1.74	3.59	0.98	1.41
Th/Sc	0.68	2.10	4.77	1.36	0.61	2.91	0.98
Zr/Sc	3.57	25.10	84.24	40.79	5.06	24.51	14.55
Th/U	7.10	4.20	5.43	2.81	5.29	6.46	4.84
ΣREE	165.61	51.25	66.26	52.14	96.83	54.85	50.04

№ по порядку	32	33	34	35	36	37	38	39
Элемент. отношение	Нижнетирская подсвита							
	Ярактинская, 609			Марковская, 730				
Лабораторный №	82	83	84	53	54	55	56	57
Rb, г/г	22.87	2.19	21.76	2.62	1.67	74.66	3.18	3.31
Ba	49.17	17.86	134.52	10.80	12.20	174.99	15.02	118.92
Sr	41.29	47.49	312.13	34.54	62.47	114.83	30.88	85.50
Y	5.47	4.39	5.00	1.70	3.06	32.41	6.19	2.53
Zr	54.16	57.45	39.54	17.08	29.50	215.59	13.87	42.15
Hf	1.33	1.46	1.05	0.41	0.75	5.63	0.40	1.12
Nb	4.40	3.17	4.93	1.78	2.07	30.37	0.63	2.10
La	82.51	94.35	70.30	120.68	203.20	91.06	28.57	19.58
Ce	61.39	66.57	51.10	84.79	150.60	55.12	18.21	13.28
Pr	45.72	50.82	39.33	60.85	121.49	44.89	14.35	10.21
Nd	37.89	40.98	32.50	44.97	98.97	35.04	11.57	7.53
Sm	20.86	22.83	18.31	23.73	61.32	21.31	7.58	4.64
Eu	7.60	8.38	6.97	11.80	23.97	9.25	3.25	2.51
Gd	9.70	11.55	9.31	15.47	32.39	11.48	4.17	3.08
Tb	6.60	8.12	7.27	13.34	24.22	11.10	3.80	2.88
Dy	4.36	5.55	5.21	10.28	15.91	9.34	2.76	2.11
Ho	4.03	5.11	5.03	10.47	14.38	9.96	2.76	2.14
Er	4.09	5.24	5.15	10.36	13.71	10.29	2.67	2.06
Tm	3.93	5.17	5.28	10.68	13.24	10.26	2.59	2.17
Yb	4.59	6.25	6.61	12.82	15.71	12.50	3.28	2.53
Lu	3.97	5.17	5.22	10.19	12.99	10.30	2.93	2.13
Th	3.09	1.56	4.44	1.07	1.06	22.61	1.58	1.43
U	0.94	0.68	0.87	0.32	0.38	8.51	0.73	0.43
Ni	20.29	8.44	49.00	17.98	10.06	102.09	10.38	15.51
Co	3.12	1.37	3.74	3.22	1.85	41.99	2.35	2.64
Sc	2.46	0.54	3.36	0.29	0.18	10.30	0.55	0.20
Eu/Eu*	0.53	0.52	0.53	0.62	0.54	0.59	0.58	0.66
(La/Yb) _n	17.97	15.09	10.63	9.41	12.93	7.28	8.70	7.73
(La/Sm) _n	3.95	4.13	3.84	5.09	3.31	4.27	3.77	4.22
(Gd/Yb) _n	2.11	1.85	1.41	1.21	2.06	0.92	1.27	1.22
Th/Sc	1.25	2.87	1.32	3.63	5.75	2.20	2.86	7.09
Zr/Sc	22.02	105.49	11.77	57.95	159.69	20.94	25.01	209.26
Th/U	3.27	2.31	5.13	3.31	2.77	2.66	2.18	3.33
ΣREE	297.25	336.08	267.59	440.44	802.11	341.89	108.51	76.84

№ по порядку	40	41	42	43	44	45	46
Элемент. отношение	Нижнетирская подсвита				Верхнетирская подсвита		
	Марковская, 730				Ярактинская, 821		
<i>Лабораторный №</i>	<i>58</i>	<i>59</i>	<i>60</i>	<i>61</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>
Rb, г/г	6.51	27.75	46.58	42.15	41.18	43.67	20.92
Ba	32.68	117.35	178.54	163.71	234.13	241.09	55.89
Sr	48.40	42.32	56.95	51.11	65.52	75.72	83.34
Y	1.72	7.19	9.51	9.51	6.91	9.18	4.93
Zr	12.39	45.68	56.54	63.19	52.64	70.33	23.59
Hf	0.32	1.20	1.47	1.61	1.31	1.69	0.61
Nb	1.10	5.85	9.86	7.79	6.81	7.75	2.33
La	34.46	15.18	13.88	114.86	52.15	58.62	28.21
Ce	25.55	10.31	9.04	79.95	37.39	42.03	19.80
Pr	20.80	7.71	7.07	63.04	30.58	34.98	15.11
Nd	17.50	6.15	5.64	50.02	24.65	28.59	11.65
Sm	11.65	3.70	3.70	33.84	14.01	16.82	7.50
Eu	5.29	1.50	1.87	16.15	6.44	7.45	3.76
Gd	5.59	1.75	2.29	21.82	7.47	9.02	4.56
Tb	4.32	1.27	2.15	21.93	5.47	7.08	3.70
Dy	2.97	0.91	1.59	16.95	3.74	4.87	2.63
Ho	2.80	0.87	1.56	16.98	3.53	4.55	2.50
Er	2.61	0.89	1.47	16.22	3.43	4.48	2.49
Tm	2.53	0.87	1.47	16.40	3.45	4.35	2.48
Yb	3.04	1.07	1.71	19.42	4.19	5.24	2.90
Lu	2.64	0.83	1.46	16.10	3.56	4.52	2.39
Th	1.13	6.04	8.53	6.75	5.39	6.55	2.25
U	0.42	1.08	1.42	1.23	1.05	1.25	0.57
Ni	8.37	19.04	27.46	22.20	21.17	27.28	8.60
Co	1.82	4.62	7.05	5.95	5.55	6.28	0.82
Sc	0.11	3.40	5.72	5.64	5.74	6.18	4.96
Eu/Eu*	0.66	0.59	0.64	0.59	0.63	0.60	0.64
(La/Yb) _n	11.34	14.20	8.11	5.92	12.46	11.18	9.74
(La/Sm) _n	2.96	4.11	3.75	3.39	3.72	3.49	3.76
(Gd/Yb) _n	1.84	1.64	1.34	1.12	1.78	1.72	1.57
Th/Sc	10.40	1.77	1.49	1.20	0.94	1.06	0.45
Zr/Sc	113.84	13.42	9.89	11.21	9.17	11.38	4.75
Th/U	2.70	5.59	6.01	5.47	5.13	5.25	3.96
ΣREE	141.76	53.00	54.90	503.68	200.06	232.60	109.67

№ по порядку	47	48	49	50	51	52	53	54
Элемент. отношение	Верхнетирская подсвита							
	Ярактинская, 380							
Лабораторный №	45	46	47	48	49	50	51	52
Rb, г/т	108.83	42.25	83.57	69.45	66.74	64.11	40.53	19.32
Ba	364.13	145.15	282.82	317.64	329.55	311.25	252.49	202.66
Sr	81.12	71.78	79.75	77.07	73.59	71.08	388.26	186.21
Y	12.40	10.48	13.70	10.57	9.84	9.29	6.07	4.47
Zr	109.88	56.49	85.30	70.24	67.87	65.50	42.79	40.48
Hf	2.76	1.37	2.13	1.97	1.85	1.78	1.10	1.06
Nb	14.60	5.33	10.58	11.46	11.20	10.66	6.16	3.39
La	157.72	34.49	59.73	44.86	47.89	45.23	31.88	30.37
Ce	62.45	19.94	32.70	28.95	31.43	30.45	18.99	17.42
Pr	38.40	14.42	24.09	22.86	23.95	23.47	14.60	13.37
Nd	26.63	11.97	19.47	19.42	19.94	18.57	11.97	11.05
Sm	14.70	8.17	12.84	12.89	12.78	12.26	7.78	7.31
Eu	7.73	5.04	7.27	6.68	6.23	6.19	3.77	3.03
Gd	9.34	5.43	8.25	7.41	6.09	5.81	4.23	4.05
Tb	7.79	5.45	7.87	6.76	6.10	5.77	3.98	3.60
Dy	5.97	4.56	6.46	5.14	4.98	4.87	3.10	2.67
Ho	6.43	5.18	7.13	5.55	5.41	5.21	3.23	2.56
Er	6.92	5.28	7.35	5.76	5.73	5.48	3.34	2.47
Tm	7.92	5.82	8.18	6.37	6.28	6.23	3.56	2.50
Yb	10.11	6.98	10.13	8.11	8.27	7.19	4.47	3.07
Lu	8.64	6.11	8.49	6.61	5.83	6.09	3.77	2.50
Th	13.64	4.38	9.22	9.14	10.37	10.37	5.37	3.79
U	2.71	1.86	1.83	1.73	1.91	1.85	0.99	0.66
Ni	55.78	49.80	48.29	43.49	40.94	39.17	46.38	8.23
Co	17.35	16.27	15.96	14.05	12.21	11.84	7.26	1.85
Sc	20.47	7.88	14.99	11.95	9.25	8.87	5.64	1.93
Eu/Eu*	0.66	0.76	0.71	0.68	0.71	0.73	0.66	0.56
(La/Yb) _n	15.61	4.94	5.90	5.53	5.79	6.29	7.13	9.89
(La/Sm) _n	10.73	4.22	4.65	3.48	3.75	3.69	4.10	4.15
(Gd/Yb) _n	0.92	0.78	0.81	0.91	0.74	0.81	0.95	1.32
Th/Sc	0.67	0.56	0.61	0.76	1.12	1.17	0.95	1.96
Zr/Sc	5.37	7.17	5.69	5.88	7.33	7.39	7.59	20.93
Th/U	5.03	2.35	5.04	5.30	5.43	5.61	5.42	5.78
ΣREE	370.75	138.86	219.97	187.37	190.93	182.84	118.67	105.96

Примечание: нормирование по хондриту [по Boynton, 1984]; $Eu / Eu^* = (Eu_n) / ((Sm_n) \times (Gd_n)^{1/2})$; $\Sigma R E E = \Sigma (La-Lu)$.

Таблица 4. Результаты LA-ICP-MS U-Pb исследования детритовых цирконов

Номер точки анализа	Возраст, млн лет									
	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	Best age	±1σ	D, %
Нижнепепская подсвета. Скважина Ярактинская 202, глубина 3212 м										
INK-18-11	0.595	873	13	910	26	1000	11	1000	11	4
INK-18-12	0.262	889	11	899	24	920	8	920	8	1
INK-18-13	0.413	1071	13	1122	38	1220	9	1220	9	4
INK-18-14	0.396	1138	16	1180	45	1255	9	1255	9	3
INK-18-15	0.667	1058	18	1129	51	1265	9	1265	9	6
INK-18-16	0.714	743	28	809	58	995	11	995	11	8
INK-18-17	0.645	2359	53	2443	239	2510	8	2510	8	3
INK-18-18	0.692	2310	44	2446	224	2560	8	2560	8	5
INK-18-19	0.568	2426	47	2492	228	2545	7	2545	7	2
INK-18-20	0.778	2535	38	2554	217	2565	8	2565	8	0
INK-18-23	0.564	801	10	837	23	930	11	801*	10	4
INK-18-24	0.386	680	11	724	27	860	9	860	9	6
INK-18-31	0.424	1860	30	1879	104	1900	9	1900	9	1
INK-18-36	0.569	1850	31	1941	117	2040	8	2040	8	4
INK-18-36	0.529	933	15	1017	52	1200	9	1200	9	9
INK-18-37	0.561	930	13	943	30	970	11	970	11	1
INK-18-38	0.417	947	17	963	43	1000	11	1000	11	1
INK-18-39	0.440	908	13	906	30	900	8	900	8	0
INK-18-42	0.383	1895	29	1881	93	1865	9	1865	9	0
INK-18-43	0.519	1779	30	1844	96	1915	9	1915	9	3
INK-18-44	0.477	1895	31	1894	101	1890	9	1890	9	0
INK-18-45	0.470	1976	29	1931	101	1880	9	1880	9	-2
INK-18-47	0.801	2080	37	2028	137	1970	8	1970	8	-2
INK-18-48	0.674	1816	31	1913	120	2020	8	2020	8	5
INK-18-49	0.368	2376	32	2491	175	2585	8	2585	8	4
INK-18-50	0.248	1021	14	1021	33	1020	11	1020	11	0
INK-18-51	0.415	913	12	921	32	935	11	935	11	0
INK-18-52	0.711	2665	42	2670	319	2670	8	2670	8	0
INK-18-53	0.503	2605	41	2605	209	2605	8	2605	8	0
INK-18-55	0.982	2355	44	2505	238	2625	8	2625	8	6
INK-18-57	0.219	1520	19	1635	65	1785	8	1785	8	7
INK-18-58	0.467	1989	26	1966	91	1940	9	1940	9	-1
INK-18-59	0.539	2609	41	2610	212	2610	8	2610	8	0
INK-18-60	0.890	864	11	906	25	1010	11	1010	11	4
INK-18-61	0.840	2325	28	2357	129	2385	8	2385	8	1
INK-18-63	1.245	967	31	1027	78	1155	10	1155	10	6
INK-18-64	0.497	2003	30	1966	108	1925	9	1925	9	-1
INK-18-65	1.104	1593	32	1741	95	1920	9	1920	9	9
INK-18-66	0.789	2131	29	2114	122	2095	9	2095	9	0
INK-18-67	0.516	1829	25	1877	89	1930	9	1930	9	2
INK-18-68	0.590	2514	41	2560	225	2595	8	2595	8	1
INK-18-69	0.635	1963	26	1972	96	1980	8	1980	8	0
INK-18-71	0.774	1874	22	1894	80	1915	9	1915	9	1

Номер точки анализа	Возраст, млн лет									
	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	Best age	±1σ	D,%
INK-18-72	0.618	1854	27	1891	105	1930	9	1930	9	2
INK-18-74	0.314	1796	19	1809	66	1820	9	1820	9	0
INK-18-75	0.737	899	11	929	28	1000	11	899*	11	3
INK-18-76	0.585	2522	38	2565	190	2595	8	2595	8	1
INK-18-78	0.665	889	13	923	30	1000	11	1000	11	3
INK-18-79	0.576	2001	28	2042	110	2080	8	2080	8	2
INK-18-80	0.962	2483	34	2514	173	2535	7	2535	7	1
INK-18-81	0.651	2652	44	2631	223	2615	8	2615	8	0
INK-18-82	0.671	2570	38	2571	217	2570	8	2570	8	0
INK-18-83	0.655	2253	28	2382	139	2495	8	2495	8	5
INK-18-85	0.660	1906	33	2002	155	2100	9	2100	9	5
INK-18-87	0.672	920	13	949	32	1015	11	1015	11	3
INK-18-88	0.990	2033	31	2089	148	2145	9	2145	9	2
INK-18-89	0.897	2549	38	2570	183	2585	8	2585	8	0
INK-18-90	0.154	1012	15	1012	31	1010	11	1010	11	0
INK-18-93	0.318	1535	23	1590	65	1660	9	1660	9	3
INK-18-95	0.512	2152	32	2142	125	2130	9	2130	9	0
INK-18-97	0.645	618	9	658	17	795	9	795	9	6
INK-18-98	0.401	879	11	893	25	930	11	879*	11	1
INK-18-99	0.433	2470	41	2512	192	2545	7	2545	7	1
INK-18-100	0.638	1724	23	1732	72	1740	8	1740	8	0
INK-18-101	1.170	1934	34	2039	164	2145	9	2145	9	5
INK-18-102	0.291	1946	25	1985	94	2025	8	2025	8	2
INK-18-103	0.820	1776	23	1753	84	1725	8	1725	8	-1
INK-18-105	0.929	2435	38	2492	189	2540	7	2540	7	2
INK-18-106	0.571	2483	38	2498	190	2510	8	2510	8	0
INK-18-107	0.706	2527	38	2553	188	2570	8	2570	8	1
INK-18-108	0.382	1971	30	1981	128	1990	8	1990	8	0
INK-18-109	1.179	2043	34	1955	150	1860	9	1860	9	-4
INK-18-110	1.109	2323	41	2495	199	2635	8	2635	8	7
INK-18-111	0.498	780	9	784	25	795	9	795	9	0
INK-18-112	0.587	1781	29	1815	109	1850	9	1850	9	1
INK-18-114	0.648	2518	47	2557	237	2585	8	2585	8	1
INK-18-115	0.426	2328	38	2446	179	2545	7	2545	7	5
INK-18-116	1.106	2028	32	2062	132	2095	8	2095	8	1
INK-18-117	0.478	774	9	820	24	945	11	774*	9	5
INK-18-118	0.952	2395	41	2467	193	2525	8	2525	8	3
INK-18-119	0.152	877	14	916	29	1010	11	1010	11	4
INK-18-120	0.378	899	12	909	29	930	11	930	11	1
INK-18-121	0.569	839	12	888	28	1010	11	1010	11	5
INK-18-122	0.677	2367	34	2434	162	2490	8	2490	8	2
INK-18-124	1.038	2479	38	2623	215	2735	7	2735	7	5
INK-18-126	0.874	2535	44	2581	227	2615	8	2615	8	1
INK-18-127	0.718	1815	27	1855	103	1900	9	1900	9	2
INK-18-128	0.678	1811	28	1856	107	1905	9	1905	9	2
INK-18-129	2.519	2465	47	2546	236	2610	8	2610	8	3
INK-18-130	0.929	2426	41	2464	212	2495	8	2495	8	1

Номер точки анализа	Возраст, млн лет									
	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	Best age	±1σ	D,%
INK-18-131	0.920	919	11	938	27	980	11	980	11	2
INK-18-132	0.600	958	12	965	32	975	11	975	11	0
INK-18-133	0.560	770	9	795	21	865	9	865	9	3
INK-18-135	0.908	2605	47	2656	267	2695	8	2695	8	1
INK-18-136	0.614	2228	34	2385	173	2520	8	2520	8	7
INK-18-137	0.559	882	12	906	32	965	11	965	11	2
INK-18-138	0.468	1603	27	1677	91	1770	8	1770	8	4
INK-18-140	0.996	2328	65	2531	313	2695	8	2695	8	8
INK-18-141	0.779	2301	41	2413	186	2505	8	2505	8	4
INK-18-142	0.963	2355	62	2492	312	2605	8	2605	8	5
INK-18-143	1.006	2639	69	2622	361	2610	8	2610	8	0
INK-18-144	0.761	1874	29	1907	97	1940	9	1940	9	1
INK-18-145	0.824	1725	36	1811	115	1910	9	1910	9	4
INK-18-146	0.792	2066	52	2105	223	2140	9	2140	9	1
INK-18-147	0.929	2435	41	2417	187	2400	8	2400	8	0
INK-18-148	0.824	2399	41	2484	206	2550	7	2550	7	3
INK-18-149	0.464	930	12	934	30	940	11	940	11	0
INK-18-150	0.569	2368	47	2447	218	2510	8	2510	8	3
Верхненепская подсвита. Скважина Ярактинская 821, глубина 3617 м										
INK-3-10	0.804	861	7	925	38	1080	38	861*	7	7
INK-3-11	0.729	945	8	966	40	1015	40	945*	8	2
INK-3-12	3.226	2518	165	2497	269	2480	25	2480	25	0
INK-3-13	0.471	1842	54	1830	96	1815	23	1815	23	0
INK-3-14	0.530	3013	314	2898	414	2815	25	2815	25	-3
INK-3-15	0.810	1897	61	1905	108	1910	24	1910	24	0
INK-3-16	0.711	2654	226	2734	257	2790	20	2790	20	3
INK-3-17	0.485	813	5	818	25	830	31	813*	5	0
INK-3-18	0.405	1949	66	1947	109	1940	22	1940	22	0
INK-3-19	0.583	2057	76	2012	150	1965	30	1965	30	-2
INK-3-20	0.950	875	6	889	27	920	29	875*	6	1
INK-3-21	0.918	1920	63	1927	116	1930	25	1930	25	0
INK-3-22	0.422	1950	67	1955	127	1960	26	1960	26	0
INK-3-24	0.533	2540	174	2539	202	2535	20	2535	20	0
INK-3-25	0.838	2283	132	2406	296	2510	33	2510	33	5
INK-3-26	0.465	693	3	723	25	815	40	693*	3	4
INK-3-27	1.005	2068	80	2061	145	2050	26	2050	26	0
INK-3-28	1.012	1992	70	1985	120	1975	24	1975	24	0
INK-3-29	0.798	2557	179	2561	240	2560	23	2560	23	0
INK-3-30	0.673	1951	62	1902	110	1850	23	1850	23	-2
INK-3-31	0.569	2483	163	2503	215	2515	20	2515	20	0
INK-3-32	0.441	2008	74	2022	128	2035	25	2035	25	0
INK-3-33	1.420	1872	56	1848	103	1820	24	1820	24	-1
INK-3-34	0.781	1893	65	1964	124	2035	27	2035	27	3
INK-3-35	0.649	1775	53	1860	142	1955	31	1955	31	4

Номер точки анализа	Возраст, млн лет									
	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	Best age	±1σ	D,%
INK-3-36	0.886	1877	63	1954	135	2035	24	2035	24	4
INK-3-37	0.425	2613	186	2573	255	2540	25	2540	25	-1
INK-3-38	0.711	2883	285	2860	339	2840	24	2840	24	0
INK-3-39	0.851	1758	48	1783	89	1810	23	1810	23	1
INK-3-40	0.964	890	7	910	33	955	30	890*	7	2
INK-3-41	0.521	1975	69	1976	123	1975	23	1975	23	0
INK-3-42	0.966	1805	54	1855	114	1910	28	1910	28	2
INK-3-43	1.055	889	6	888	40	885	48	889*	6	0
INK-3-44	0.482	739	3	735	24	720	38	739*	3	0
INK-3-45	0.255	2395	164	2550	308	2675	28	2675	28	6
INK-3-46	0.158	2665	219	2703	288	2730	24	2730	24	1
INK-3-48	0.944	2673	197	2600	236	2540	21	2540	21	-2
INK-3-49	1.043	2692	207	2635	246	2590	23	2590	23	-2
INK-3-50	0.732	2133	88	2109	142	2085	24	2085	24	-1
INK-3-51	0.759	2737	213	2643	271	2570	26	2570	26	-3
INK-3-52	3.239	2932	275	2807	302	2715	21	2715	21	-4
INK-3-53	1.508	2728	226	2704	278	2685	21	2685	21	0
INK-3-54	2.890	2063	74	1988	114	1910	22	1910	22	-3
INK-3-55	0.909	865	6	872	28	890	31	865*	6	0
INK-3-56	1.272	1965	60	1860	114	1745	27	1745	27	-5
INK-3-57	0.571	2025	68	1940	118	1850	26	1850	26	-4
INK-3-58	1.091	2650	194	2590	219	2540	20	2540	20	-2
INK-3-59	1.060	1896	59	1893	100	1885	22	1885	22	0
INK-3-60	3.112	1719	46	1773	90	1835	21	1835	21	3
INK-3-61	1.056	2123	82	2054	122	1985	23	1985	23	-3
INK-3-62	0.622	2040	74	2009	122	1975	24	1975	24	-1
INK-3-63	0.684	1944	58	1847	158	1740	47	1740	47	-4
INK-3-64	0.892	2603	189	2590	227	2575	22	2575	22	0
INK-3-65	1.131	2643	219	2708	268	2755	22	2755	22	2
INK-3-66	0.555	2622	208	2670	287	2705	24	2705	24	1
INK-3-67	0.305	2501	173	2551	227	2590	20	2590	20	1
INK-3-68	1.318	1769	52	1855	117	1950	24	1950	24	4
INK-3-69	0.477	2635	193	2594	256	2560	22	2560	22	-1
INK-3-70	0.614	2487	161	2494	255	2500	28	2500	28	0
INK-3-71	0.947	2549	175	2545	272	2540	28	2540	28	0
INK-3-72	0.546	2331	126	2341	201	2345	28	2345	28	0
INK-3-73	0.935	2613	190	2590	264	2570	26	2570	26	0
INK-3-74	0.513	2635	190	2580	237	2535	23	2535	23	-2
INK-3-75	0.907	2465	165	2521	301	2565	28	2565	28	2
INK-3-76	0.990	2707	219	2684	325	2665	28	2665	28	0
INK-3-77	0.895	948	8	993	48	1090	45	948*	8	4
INK-3-78	0.839	2733	213	2644	281	2575	24	2575	24	-3
INK-3-79	0.662	1676	38	1645	90	1605	28	1605	28	-1
INK-3-80	1.669	1618	41	1729	109	1865	27	1865	27	6
INK-3-81	0.785	878	7	945	37	1100	38	878*	7	7

Номер точки анализа	Возраст, млн лет									
	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	Best age	±1σ	D,%
INK-3-82	0.964	931	8	984	49	1100	48	931*	8	5
INK-3-84	0.923	763	4	771	33	795	49	763*	4	1
INK-3-85	0.799	726	3	731	21	745	30	726*	3	0
INK-3-86	2.188	2677	235	2763	305	2825	22	2825	22	3
INK-3-87	1.109	2540	175	2546	279	2550	26	2550	26	0
INK-3-88	1.359	2461	160	2499	226	2530	23	2530	23	1
INK-3-89	1.453	1920	68	1993	301	2065	64	2065	64	3
INK-3-90	0.822	2766	241	2746	298	2730	23	2730	23	0
INK-3-92	0.699	1915	63	1926	151	1935	33	1935	33	0
INK-3-93	0.806	2113	92	2161	313	2205	54	2205	54	2
INK-3-94	1.335	2600	184	2565	382	2535	30	2535	30	-1
INK-3-95	0.736	1915	61	1897	108	1875	23	1875	23	0
INK-3-96	0.372	1811	52	1819	131	1825	33	1825	33	0
INK-3-97	1.377	1910	64	1949	159	1990	32	1990	32	2
INK-3-98	1.767	904	7	914	39	935	41	904*	7	1
INK-3-99	1.321	666	3	681	22	730	38	666*	3	2
INK-3-100	0.282	1818	57	1890	120	1970	27	1970	27	3
INK-3-101	0.972	1948	65	1941	161	1930	34	1930	34	0
INK-3-102	1.054	2278	138	2446	269	2585	27	2585	27	7
INK-3-103	0.662	2386	165	2559	277	2700	26	2700	26	7
INK-3-104	0.983	1203	14	1195	50	1180	31	1203*	14	0
INK-3-105	0.527	1876	58	1883	107	1890	24	1890	24	0
INK-3-106	0.652	1784	51	1823	147	1865	37	1865	37	2
INK-3-107	0.607	1831	52	1812	121	1790	29	1790	29	-1
INK-3-109	0.387	1894	58	1873	111	1850	25	1850	25	-1
INK-3-110	1.193	1840	56	1865	125	1890	30	1890	30	1
INK-3-111	0.526	2015	76	2046	194	2075	35	2075	35	1
INK-3-112	0.840	1845	63	1974	140	2110	27	2110	27	6
INK-3-113	0.819	1887	58	1876	123	1860	29	1860	29	0
INK-3-114	1.531	2027	72	1991	144	1950	31	1950	31	-1
INK-3-115	0.998	943	7	937	35	920	34	943*	7	0
INK-3-116	1.379	1631	43	1762	149	1920	35	1920	35	8
INK-3-117	1.064	635	3	688	29	865	48	635*	3	8
INK-3-118	0.488	1919	63	1930	114	1940	24	1940	24	0
INK-3-119	0.451	2639	192	2591	301	2550	26	2550	26	-1
INK-3-120	0.484	1566	36	1649	97	1755	29	1755	29	5
INK-3-121	0.687	2246	126	2381	216	2495	25	2495	25	6
INK-3-122	0.346	2187	92	2126	169	2065	28	2065	28	-2
INK-3-123	1.199	2648	194	2591	244	2545	22	2545	22	-2
INK-3-124	0.207	1901	59	1888	151	1870	36	1870	36	0
INK-3-125	0.777	1744	48	1800	121	1865	30	1865	30	3
INK-3-126	0.656	2141	85	2074	172	2005	29	2005	29	-3
INK-3-127	0.538	858	5	855	36	845	45	858*	5	0
INK-3-128	0.446	1908	59	1885	116	1860	26	1860	26	-1
INK-3-129	0.447	1921	61	1902	115	1880	26	1880	26	0

Номер точки анализа	Возраст, млн лет									
	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	Best age	±1σ	D,%
INK-3-130	1.969	1797	48	1766	111	1730	29	1730	29	-1
INK-3-131	0.251	1958	69	1990	181	2020	34	2020	34	1
INK-3-132	0.410	2372	148	2469	288	2545	32	2545	32	4
INK-3-133	0.456	2952	302	2884	388	2835	26	2835	26	-2
INK-3-134	0.770	1389	21	1363	65	1320	32	1389*	21	-1
INK-3-135	0.531	1787	53	1850	119	1920	29	1920	29	3
INK-3-136	0.168	893	7	925	46	1000	51	893*	7	3
Нижнетирская подсвита. Скважина Марковская 730, глубина 3410 м										
INK-6-10	0.727	1833	43	1919	153	2010	31	2010	31	4
INK-6-11	0.472	2622	44	2612	213	2605	17	2605	17	0
INK-6-12	0.359	908	11	912	27	920	28	908*	11	0
INK-6-13	1.274	1606	46	1728	166	1875	47	1606*	46	7
INK-6-14	0.900	2010	26	2015	98	2020	18	2020	18	0
INK-6-15	0.571	1725	43	1881	159	2055	34	2055	34	9
INK-6-16	0.894	1445	18	1427	50	1400	21	1445*	18	-1
INK-6-17	1.006	2426	38	2451	182	2470	20	2470	20	1
INK-6-18	0.515	1834	25	1858	91	1885	22	1885	22	1
INK-6-19	1.068	2375	32	2480	157	2565	15	2565	15	4
INK-6-20	0.523	1828	21	1878	87	1930	22	1828*	21	2
INK-6-21	0.694	2553	41	2534	196	2515	18	2515	18	0
INK-6-22	0.636	940	11	937	25	930	24	940*	11	0
INK-6-23	0.412	962	13	981	27	1020	21	962*	13	1
INK-6-24	0.141	868	24	864	54	855	62	868*	24	0
INK-6-25	0.356	1901	28	1938	101	1975	21	1975	21	1
INK-6-26	0.517	791	10	794	22	800	29	791*	10	0
INK-6-27	0.508	2618	38	2667	207	2700	17	2700	17	1
INK-6-28	0.391	1856	30	1876	114	1895	27	1895	27	1
INK-6-29	0.983	2359	35	2457	190	2535	22	2535	22	4
INK-6-30	1.126	1949	26	1903	91	1850	21	1850	21	-2
INK-6-31	0.475	760	9	805	19	930	20	760*	9	5
INK-6-32	0.469	775	8	786	21	815	30	775*	8	1
INK-6-33	0.620	1836	29	1857	99	1880	22	1880	22	1
INK-6-34	0.878	1963	26	2015	99	2065	18	2065	18	2
INK-6-35	0.919	1891	28	1916	98	1940	20	1940	20	1
INK-6-36	1.391	1924	25	1931	90	1935	19	1935	19	0
INK-6-37	2.123	891	13	922	34	995	37	891*	13	3
INK-6-38	0.998	724	10	746	20	810	25	724*	10	2
INK-6-39	1.342	1915	22	1923	79	1930	16	1930	16	0
INK-6-40	0.914	2575	35	2619	192	2650	17	2650	17	1
INK-6-41	1.149	1673	19	1727	63	1790	17	1790	17	3
INK-6-42	1.064	1891	37	1937	118	1985	20	1985	20	2
INK-6-43	1.325	694	8	716	25	785	44	694*	8	3
INK-6-44	2.710	647	7	652	16	665	29	647*	7	0
INK-6-45	0.856	2587	38	2590	187	2590	16	2590	16	0
INK-6-46	0.516	1760	23	1867	90	1985	21	1985	21	6

Номер точки анализа	Возраст, млн лет									
	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	Best age	$\pm 1\sigma$	D,%
INK-6-47	1.385	1940	32	1965	130	1990	29	1990	29	1
INK-6-48	0.573	978	12	988	28	1010	25	978*	12	1
INK-6-49	0.577	953	12	935	25	890	24	953*	12	-1
INK-6-50	1.135	1938	26	1943	100	1945	22	1945	22	0
INK-6-51	0.545	752	9	759	19	775	26	752*	9	0
INK-6-52	0.330	1541	24	1571	82	1610	31	1541*	24	1
INK-6-53	0.994	836	14	850	28	885	27	836*	14	1
INK-6-54	1.408	691	10	723	27	820	45	691*	10	4
INK-6-55	0.872	1994	22	2022	88	2050	17	2050	17	1
INK-6-56	0.618	1907	28	1914	94	1920	19	1920	19	0
INK-6-57	0.773	2587	41	2580	223	2575	22	2575	22	0
INK-6-58	1.189	2465	35	2505	166	2535	15	2535	15	1
INK-6-59	0.787	2421	38	2502	181	2565	17	2565	17	3
INK-6-60	0.876	2522	41	2550	245	2570	27	2570	27	1
INK-6-61	0.583	960	12	988	34	1050	34	960*	12	2
INK-6-62	1.361	1914	25	1890	84	1860	18	1860	18	-1
INK-6-63	0.575	897	14	902	28	915	25	897*	14	0
INK-6-64	1.163	795	12	833	29	935	35	795*	12	4
INK-6-65	0.784	874	10	878	24	885	29	874*	10	0
INK-6-66	1.121	997	12	1009	30	1035	26	997*	12	1
INK-6-67	1.370	894	10	894	21	890	20	894*	10	0
INK-6-68	0.456	1069	14	1058	37	1035	31	1069*	14	0
INK-6-69	0.769	872	13	902	27	975	24	872*	13	3
INK-6-70	0.996	1689	28	1741	90	1805	23	1805	23	3
INK-6-71	0.639	2265	37	2417	170	2545	16	2545	16	6
INK-6-72	0.281	1794	23	1822	76	1855	18	1855	18	1
INK-6-73	1.079	1847	28	1852	94	1855	21	1855	21	0
INK-6-74	0.329	1372	15	1401	45	1445	21	1372*	15	2
INK-6-75	0.450	2058	23	2061	89	2060	16	2060	16	0
INK-6-76	0.526	665	9	659	31	640	67	665*	9	0
INK-6-77	1.131	806	9	828	27	885	37	806*	9	2
INK-6-78	1.200	767	8	799	30	885	47	767*	8	4
INK-6-79	0.643	812	10	817	19	830	20	812*	10	0
INK-6-80	0.394	907	11	913	22	930	20	907*	11	0
INK-6-81	0.921	2435	38	2524	197	2595	20	2595	20	3
INK-6-82	1.156	1730	43	1775	125	1825	26	1825	26	2
INK-6-83	0.508	708	7	729	17	795	27	708*	7	3
INK-6-84	0.654	752	8	756	18	765	26	752*	8	0
INK-6-85	1.166	885	10	860	24	795	30	885*	10	-2
INK-6-86	0.514	758	9	766	22	790	33	758*	9	1
INK-6-87	0.115	2656	42	2680	228	2695	19	2695	19	0
INK-6-88	0.140	795	9	799	19	805	24	795*	9	0
INK-6-89	0.829	1830	24	1913	84	2000	16	2000	16	4
INK-6-90	0.898	956	11	958	28	960	27	956*	11	0

Номер точки анализа	Возраст, млн лет									
	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	Best age	±1σ	D,%
INK-6-91	0.580	1845	27	1889	107	1935	25	1935	25	2
INK-6-92	1.209	955	13	960	36	970	37	955*	13	0
INK-6-93	0.559	866	10	867	24	870	27	866*	10	0
INK-6-94	0.668	686	8	685	16	680	26	686*	8	0
INK-6-95	1.513	1775	28	1795	95	1815	24	1815	24	1
INK-6-96	0.629	893	10	868	24	805	30	893*	10	-2
INK-6-97	0.565	969	12	1003	28	1075	23	969*	12	3
INK-6-98	0.138	1784	24	1855	114	1935	32	1784*	24	3
INK-6-99	0.314	719	10	732	21	770	31	719*	10	1
INK-6-100	0.918	900	10	888	22	855	23	900*	10	-1
INK-6-101	0.998	2355	38	2437	168	2505	16	2505	16	3
Верхнетирская подсвета. Скважина Ярактинская 821, глубина 3527.5 м										
INK-2-10	0,10	991	18	1002	42	1025	35	991*	18	1
INK-2-11	0,15	2038	42	1923	123	1800	21	1800	21	-5
INK-2-12	0,17	1843	49	1844	157	1845	34	1845	34	0
INK-2-13	0,07	1088	25	1089	54	1090	35	1088*	25	0
INK-2-14	0,09	1514	27	1540	75	1575	24	1575	24	1
INK-2-15	0,09	2920	55	2922	307	2920	15	2920	15	0
INK-2-16	0,09	1851	32	1863	106	1875	23	1875	23	0
INK-2-17	0,07	2163	36	2163	126	2160	15	2160	15	0
INK-2-18	0,17	1227	23	1228	49	1230	22	1230	22	0
INK-2-19	0,07	1740	36	1773	99	1810	17	1810	17	1
INK-2-20	0,20	852	15	886	31	970	27	852*	15	4
INK-2-21	0,02	1925	39	1881	111	1830	19	1830	19	-2
INK-2-22	0,17	1770	33	1758	100	1740	24	1740	24	0
INK-2-23	0,03	1504	32	1647	117	1835	38	1504*	32	9
INK-2-24	0,09	835	14	874	30	975	30	835*	14	4
INK-2-25	0,03	1862	31	1869	100	1875	20	1875	20	0
INK-2-26	0,08	2850	55	2898	304	2930	16	2930	16	1
INK-2-28	0,09	853	14	876	30	930	31	853*	14	2
INK-2-29	0,18	2779	59	2938	372	3045	20	3045	20	5
INK-2-30	0,05	737	12	794	26	955	29	737*	12	7
INK-2-31	0,09	1712	30	1746	85	1785	18	1785	18	1
INK-2-32	0,20	883	14	872	27	845	26	883*	14	-1
INK-2-33	0,10	2058	38	2027	127	1995	20	1995	20	-1
INK-2-34	0,03	1922	29	1854	86	1780	17	1780	17	-3
INK-2-35	0,09	1107	17	1043	34	905	24	1107*	17	-5
INK-2-36	0,09	2035	37	1893	103	1740	18	1740	18	-6
INK-2-37	0,21	1956	34	1845	96	1720	19	1720	19	-5
INK-2-38	0,12	2099	43	2015	133	1925	21	1925	21	-4
INK-2-39	0,03	1953	37	1893	120	1825	26	1825	26	-3
INK-2-40	0,06	1139	18	1119	50	1080	39	1139*	18	-1

Номер точки анализа	Возраст, млн лет									
	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	Best age	±1σ	D,%
INK-2-41	0,05	2085	93	2021	331	1955	62	1955	62	-3
INK-2-42	0,07	1656	37	1655	97	1650	22	1650	22	0
INK-2-43	0,07	1877	44	1805	138	1720	34	1720	34	-3
INK-2-44	0,12	1759	31	1675	82	1570	22	1570	22	-4
INK-2-45	0,08	895	13	836	24	680	24	895*	13	-6
INK-2-46	0,12	1277	22	1229	45	1145	21	1145	21	-3
INK-2-47	0,09	1386	47	1425	112	1480	35	1480	35	2
INK-2-48	0,09	2052	62	2132	243	2210	36	2210	36	3
INK-2-49	0,23	1807	37	1760	119	1705	32	1705	32	-2
INK-2-50	0,20	1753	30	1713	83	1660	20	1660	20	-2
INK-2-51	0,27	2509	46	2422	184	2345	17	2345	17	-3
INK-2-52	0,07	2474	44	2503	200	2525	18	2525	18	1
INK-2-53	0,14	1770	29	1745	86	1715	21	1715	21	-1
INK-2-54	1,20	1815	32	1793	95	1765	21	1765	21	-1
INK-2-55	0,12	2036	34	2036	117	2035	19	2035	19	0
INK-2-56	0,14	2435	56	2443	241	2450	23	2450	23	0
INK-2-57	0,10	1779	76	1761	227	1735	55	1735	55	-1
INK-2-58	0,12	868	14	870	31	870	35	868*	14	0
INK-2-59	0,07	1783	32	1755	96	1720	24	1720	24	-1
INK-2-60	0,09	1898	32	1849	92	1790	18	1790	18	-2
INK-2-61	0,22	1868	32	1847	98	1820	20	1820	20	-1
INK-2-62	0,20	921	14	909	31	875	32	921*	14	-1
INK-2-63	0,06	1960	35	1972	106	1980	15	1980	15	0
INK-2-64	0,07	1905	30	1923	97	1940	17	1940	17	0
INK-2-65	0,26	1817	30	1817	93	1815	20	1815	20	0
INK-2-66	0,08	1847	33	1859	108	1870	23	1870	23	0
INK-2-67	0,11	1939	34	1877	99	1810	18	1810	18	-3
INK-2-68	0,05	1448	25	1427	61	1390	23	1390	23	-1
INK-2-69	0,12	872	13	884	27	910	25	872*	13	1
INK-2-70	0,02	1572	28	1565	79	1555	26	1555	26	0
INK-2-71	0,09	2762	59	2833	316	2880	17	2880	17	2
INK-2-72	0,07	1566	48	1668	132	1800	27	1800	27	6
INK-2-73	0,02	1626	37	1683	101	1750	22	1750	22	3
INK-2-74	0,05	1600	33	1617	89	1635	23	1635	23	1
INK-2-75	0,06	1844	36	1812	111	1775	26	1775	26	-1
INK-2-76	0,12	1550	54	1516	130	1465	39	1465	39	-2
INK-2-77	0,07	2845	60	2765	284	2705	16	2705	16	-2
INK-2-78	0,07	702	15	737	28	840	31	702*	15	4
INK-2-79	0,03	2754	105	2781	614	2800	46	2800	46	0
INK-2-80	0,06	1841	33	1747	88	1635	19	1635	19	-5
INK-2-81	0,07	881	15	825	26	675	26	881*	15	-6
INK-2-82	0,10	1696	46	1723	153	1755	44	1755	44	1
INK-2-83	0,08	1835	30	1738	90	1620	24	1620	24	-5
INK-2-84	0,08	2057	84	1962	292	1860	61	1860	61	-4
INK-2-85	0,26	957	20	1050	44	1245	26	957*	20	9

Номер точки анализа	Возраст, млн лет									
	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	Best age	±1σ	D,%
INK-2-86	0,08	1867	36	1703	92	1505	24	1505	24	-8
INK-2-87	0,08	2587	66	2449	267	2335	26	2335	26	-5
INK-2-88	0,03	1881	36	1727	96	1540	24	1540	24	-8
INK-2-89	0,07	1545	33	1496	79	1425	26	1425	26	-3
INK-2-90	0,08	1886	80	1784	242	1665	62	1665	62	-5
INK-2-91	0,06	1848	38	1727	104	1580	26	1580	26	-6
INK-2-92	0,10	1446	29	1365	72	1240	33	1446*	29	-5
INK-2-93	0,03	2758	59	2721	291	2690	20	2690	20	-1
INK-2-94	0,10	1831	35	1794	100	1750	21	1750	21	-2
INK-2-95	0,08	842	15	811	28	725	31	842*	15	-3
INK-2-96	0,06	1779	40	1759	115	1735	25	1735	25	-1
INK-2-97	0,07	1483	26	1495	82	1510	34	1483*	26	0
INK-2-98	0,23	1781	37	1779	108	1775	24	1775	24	0
INK-2-99	0,05	841	15	874	32	955	31	841*	15	3
INK-2-100	0,21	1798	37	1859	120	1925	24	1925	24	3
INK-2-101	0,12	1411	31	1525	87	1685	27	1685	27	8
INK-2-102	0,10	1874	33	1913	110	1955	20	1955	20	2
INK-2-103	0,23	838	16	904	36	1070	34	838*	16	7
INK-2-104	0,15	1686	43	1827	144	1990	30	1990	30	8
INK-2-105	0,08	1730	46	1835	159	1955	36	1955	36	6

П р и м е ч а н и е: D,% - степень дискордантности. «Best age» определялся При оценке возраста > 1 млрд лет использовались данные по Произведен расчет «Best age» из меньшей ошибки: Dezirteer использует изотопную систему (²⁰⁶Pb/²³⁸U(значения с *) или ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb) с наименьшим процентом ошибки для каждого анализа.