

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

Институт наук о Земле
Кафедра региональной геологии



**Литология и коллекторские свойства пермских отложений востока Лено-Анабарского
прогиба (Сибирская платформа)**

Выпускная квалификационная работа
по направлению 05.03.01 «Геология»

Выполнила:

Кердинская Софья Николаевна
Институт наук о Земле СПбГУ
4 курс

Научный руководитель:

Виктория Бэртовна Ершова
к.г.-м.н.

_____.
(подпись руководителя)
« » 2021

Санкт-Петербург

2021

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМОГО РЕГИОНА.....	5
ГЛАВА 2. СТРАТИГРАФИЯ ЛЕНО-АНАБАРСКОГО ПРОГИБА И ЛЕНО-АНАБАРСКОГО РЕГИОНА.....	7
ГЛАВА 3. СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕНО-АНАБАРСКОГО ПРОГИБА	12
ГЛАВА 4. ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ.....	16
РАЗДЕЛ 4.1 ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	16
РАЗДЕЛ 4.2. ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ.....	29
ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЁМКОСТНЫХ СВОЙСТВ ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ХАСТАХСКОЙ-930, ЧАРЧЫКСКОЙ-1 И УСТЬ-ОЛЕНЕКСКОЙ СКВАЖИН-2370.....	35
РАЗДЕЛ 5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКРЫТОЙ ПОРИСТОСТИ И АБСОЛЮТНОЙ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ	35
РАЗДЕЛ 5.2. ТИПЫ ПОРИСТОСТИ И ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	48
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	50

Ключевые слова: пермские отложения Лено-Анабарского прогиба, коллекторские свойства пермских отложений востока Лено-Анабарского прогиба, фильтрационно-ёмкостные свойства терригенных отложений, литология терригенных отложений

АННОТАЦИЯ

Проведено комплексное изучение пермских отложений скважин Хастахская-930, Чарчыкская-1 и Усть-Оленекская-2370, пробуренных на востоке Лено-Анабарского прогиба. Петрографические исследования показали, что изученные отложения по составу относятся к полимиктовым грауваккам и имеют плохие фильтрационно-ёмкостные свойства. Исследования электронной микроскопии уточнили состав обломочных компонентов изучаемых песчаников, а также выделены два вида цемента – карбонатный и слюдистый, определен их тип по количеству и распределению в породе, по равномерности заполнения порового пространства и по соотношению цемента с обломочными зернами. Исследования фильтрационно-ёмкостных параметров показали, что большая часть образцов пермских отложений по абсолютной газопроницаемости варьирует от 0,004 мД до 1,3 мД и относятся к непроницаемым (18 образцов из 19) коллекторам. По значениям открытой пористости результаты варьируют от 0,4% до 14,5%, а также являются низкопористыми (13 образцов из 19) и обладают малой (10 образцов) и средней (9 образцов) ёмкостью. Результаты, полученные по фильтрационно-ёмкостным исследованиям, подтверждаются полученными данными по микротомографическим исследованиям. Таким образом, наши комплексные исследования показали, что пермские отложения восточной части Лено-Анабарского прогиба обладают плохими или низкокачественными фильтрационно-ёмкостными свойствами, а именно являются промышленно малозначимыми в качестве пород коллекторов.

A comprehensive study of the Permian deposits of the wells Khastakhskaya-930, Charchykская-1 and Ust-Olenekskaya-2370, drilled in the east of the Lena-Anabar trough, was carried out. Petrographic studies have shown that the studied sediments are polymictic graywackes in composition. Electron microscopy studies confirmed the composition obtained from petrographic studies, and also two types of cement were found - carbonate and micaceous, and their type was determined by the amount and distribution in the rock, by the uniformity of filling the pore space and by the relationship of cement with debris grains. Studies of filtration and storage parameters showed that most of the samples of Permian deposits in absolute gas permeability vary from 0.004 mD to 1.3 mD and belong to impermeable (18 samples out of 19) reservoirs. According to the values of open porosity, the results vary from 0.4% to 14.5%, and are also low-porous (13 samples out of 19) and have a small (10 samples) and medium (9 samples) capacity. The results obtained from the filtration-volumetric studies are confirmed by the data obtained from microtomographic studies. Thus, our comprehensive studies have shown that the Permian sediments of the eastern part of the Lena-Anabar

trough have poor or low-quality filtration and storage properties, namely, are industrially insignificant as reservoir rocks.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Лена-Анабарский прогиб, расположенный на севере Сибирской платформы, является одним из перспективных регионов для прироста ресурсной базы углеводородов России. Здесь давно известны несколько нефтепроявлений – Оленекское, Восточно-Анабарское, Суханское, Верхнечемедиенское, Силигир-Мархинское битумные поля (Сафронов, 2013 г). Оленекское битумное поле является крупнейшим в России. Битумы представлены вязкими неподвижными разностями типа мальт и более глубоко преобразованными нафтидами. Вмещающими породами являются пермские песчаники, а содержание битумов в них варьирует от десятых долей до десяти процентов (Сафронов, 2013 г). Это определяет важность изучения фильтрационно-емкостных свойств пермских толщ Лена-Анабарского прогиба, как потенциальных коллекторов углеводородов.

Целью выпускной квалификационной работы является определение литологической характеристики и коллекторских свойств пермских отложений востока Лено-Анабарского прогиба (Сибирская платформа).

Основные задачи:

1. Сбор и анализ геолого-геофизической информации по исследуемому региону
2. Петрографические исследования пермских отложений Хастахской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин
3. Определение фильтрационно-ёмкостных параметров пермских отложений
4. На основе проведённых комплексных исследований охарактеризовать коллекторские свойства пермских отложений востока Лено-Анабарского прогиба

Научная новизна заключается в изучении коллекторских свойств терригенных пермских отложений Хастахской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин Лено-Анабарского прогиба.

Структура курсовой работы состоит из введения, 5 глав, заключения. Общий объём работы 51 страница, в том числе 33 рисунка и 7 таблиц. Список литературы содержит 14 наименований.

Автор выражает благодарность научному руководителю, кандидату геолого-минералогических наук Ершовой Виктории Бэртовне за предоставленную литературу и материалы, за помощь в написании выпускной квалификационной работы и чуткое руководство. Кулькову Александру Михайловичу за помощь в работе с микротомографом Skyscan 1172 (Bruker), а также Васильевой Ксении Юрьевне за помощь в петрографических исследованиях.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМОГО РЕГИОНА

Лено-Анабарский прогиб (рис.1), площадь которого составляет 72000 км², расположен в междуречье Анабара и Лены, в тектоническом плане — на западе ограничен Анабаро-Хатангской седловиной и еще западнее Енисей-Хатангским региональным прогибом, на востоке — Предверхоанским передовым прогибом. На севере ограничена Оленекской зоной складок на юге - Сапныйским и Оленекским сводами, осложняющих северную часть Анабарской мегаантеклизы (Конторович и др., 2013).



Рисунок 1. Геологическая карта Лено-Анабарского прогиба и окружающих районов с указанием основных тектонических элементов (Наливкин и др., 1983 г.)

Климат района суровый арктический с продолжительной (9—9,5 месяцев) зимой и коротким холодным летом. Средняя температура января от -40°C на юге суши до -30°C на побережье и в пределах акватории. Для южной части суши летом характерна малая облачность, средняя температура июля $+14^{\circ}\text{C}$. На побережье и в пределах акватории лето холодное с частыми туманами и морозящими дождями. Ветры зимой преимущественно южных и юго-восточных направлений, летом — северных и северо-восточных. Годовое количество осадков колеблется от 200 до 300 мм (Межвилк и др., 1983 г.).

Населенные пункты редки, а население в них малочисленно.

Геологическая изученность региона неравномерна, так как прямые геологические наблюдения проведены только на суше.

ГЛАВА 2. СТРАТИГРАФИЯ ЛЕНО-АНАБАРСКОГО ПРОГИБА И ЛЕНО-АНАБАРСКОГО РЕГИОНА

В геологическом строении региона исследования принимают породы всех систем фанерозоя, а также вендские и рифейские комплексы.

Фундамент сложен гранито-гнейсами, чарнокитогнейсами, эндебитогнейсами, гранат-биотитовыми плагиогнейсами, гнейсами, кварцитами, двупироксеновыми основными и ультраосновными кристаллическими сланцами. Анабарская коллизийная система образует Анабарскую и Оленёкскую провинции (Розен и др., 2006 г). Анабарский щит является одним из наиболее крупных выходов фундамента Северо-Азятского кратона. Образование главных структурных элементов Анабарского щита обусловлено коллизией Маганского, Далдынского и Хапчанского террейнов, которые ограничены Маганской, Котуйканской и Билляхской зонами тектонического меланжа (Смелов и др., 2012 г).

Возраст фундамента 3,2-2,4 млрд. лет (архей-нижний протерозой) (Розен и др., 2006 г).

ВЕХРНЕПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ вскрыты скважинами Хастахская-930, Чарчыкская-1 и Усть-Оленекская-2370.

Ранний рифей

Раннерифейские отложения представлены сыгыныхткской и кютингдинской свитами.

Данные отложения в дельте Лены и на большей восточной части Лено-Анабарского прогиба на кристаллических породах архея или нижнего протерозоя залегают с угловым несогласием. Отложения сыгыныхткской и кютингдинской свит представлены терригенными (конгломераты-песчаники), карбонатными (известняки, доломиты) отложениями, с прослоями алевролитов. Мощность раннего рифея примерно 550 м (Ванин и др., 2001 г).

Средний рифей

Среднерифейские отложения представлены арымасской свитой, которые с размывом залегают на отложениях раннего рифея. В разрезе устанавливаются пестроцветные доломиты, известняки, аргиллиты, а также алевролиты и песчаники. Мощность данных отложений составляет 380 м (Ванин и др., 2001 г).

Верхний рифей

Позднерифейские отложения залегают на среднерифейских отложениях с угловым несогласием. В нижней части разреза устанавливаются терригенно-карбонатная толща, представленная аргиллитами, алевролитами с прослоями доломитов, кварцевых песчаников, гравелитов, конгломерато-брекчиями. Верхняя часть разреза представлена доломитами с прослоями аргиллитов.

Выше залегают с угловым несогласием терригенно-карбонатная толща, сложенная доломитами, известняками с прослоями аргиллитов, алевролитов, песчаников, гравелитов, конгломератов. Общая мощность отложений позднего рифея примерно 511 м (Ванин и др.,

2001 г).

Вендская система

Вендские отложения с угловым несогласием залегают на рифейских отложениях. В Хастахской скважине устанавливается наиболее полный разрез данных отложений. Нижняя часть разреза сложена песчаниками с линзами аргиллитов и прослоями алевролитов. Средняя часть разреза залегает с размывом на подстилающих отложениях по составу представлена песчаниками с прослоями аргиллитов, алевролитов, известняков и доломитов. Также данная часть разреза вскрыта Усть-Оленекской-2370 и Чарчкской-1 скважинами. В Чарчкской-1 скважине данные отложения более карбонатные и представлены доломитами и битуминозными известняками. Верхняя часть разреза залегает с угловым несогласием на подстилающих отложениях и представлена песчаниками с прослоями аргиллитов и доломитистых известняков. Выше по разрезу устанавливается толща доломитов с прослоями алевролитов и аргиллитов. Общая мощность вендских отложений в Хастахской-930 скважине 300 м (Ванин и др., 2001 г).

НИЖНИЙ ПАЛЕОЗОЙ

Кембрийская система

Кембрийские отложения пройдены Чарчкской-1, Хастахской-930 и частично Табынской (Р-50) скважинами. Нижняя часть, мощностью до 120 м в Хастахской-930 скважине, представлена гравелитами и песчаниками с прослоями алевролитов и доломитов. Средняя часть (от 130 до 220 м) представлена алевролитами и аргиллитами зеленовато-серыми с прослоями песчаников и гравелитов. Верхняя часть (от 45 до 89 м) существенно карбонатная, представлена доломитами серыми, иногда битуминозными и известняками зеленовато-серыми оолитовыми. Выше залегает существенно доломитовая рифогенная толща. Общая мощность варьируется от 950 до 1100 м (Ванин и др., 2001 г).

Ордовикская и силурйская системы

Отложения ордовика и силура представлены известняками, доломитами, мергелей, алевролитов и переходных разностей темно-серых, известняков и доломитов. Общая мощность \approx 450 м (Ванин и др., 2001 г).

ПОЗДНИЙ ПАЛЕОЗОЙ

Каменноугольная система

Отложения карбона представлены бастахской, атырдахской, тиксинской, тугасирской свитами. Сложены свиты известняками, доломитами, аргиллитами, конгломератами, брекчиями, песчаниками и алевролитами. Мощность 600-1000 м (Ванин и др., 2001 г).

Пермская система

Отложения перми на правом берегу Лены у южной границы района и западнее — в

пределах южного борта Лено-Анабарского прогиба, в том числе в Табынской (Р-50), Чарчыкской-1 и Хастахской-930 скважинах залегают трансгрессивно со стратиграфическим несогласием на верхнекембрийских доломитах. В Усть-Оленекской-2370 скважине, вскрывшей основание перми в северной части Лено-Анабарского прогиба, пермские отложения залегают несогласно на силурийских породах. На преобладающей северной части территории пермские отложения морские. Они постепенно сменяются к южному борту Лено-Анабарского прогиба прибрежно-морскими и прибрежно-континентальными образованиями.

Нижний отдел. Нижняя толща (кубалахская свита) аргиллитово-алевролитовая с редкими маломощными прослоями песчаников. Мощность от 175 до 295 м. Верхняя толща (туорасисская свита) песчаниково-алевролитовая, залегает согласно на кубалахской. В ее основании находится 10—20-метровая пачка песчаников серых мелкозернистых кварц-полевошатовых плотных, обычно массивных. Над песчаниками залегают ритмично переслаивающиеся аргиллиты, алевролиты темно-серые (до черных). Общая мощность нижнепермских отложений колеблется от 700 до 1000 м.

Верхний отдел. Верхнепермские отложения представлены Сахаинской, Соубольской и Минской свитами, которые представлены мелкозернистыми массивными кварц-полевошатовыми песчаниками. Песчаники вверх по разрезу переходят в алевролиты. На остальной территории верхнепермские отложения объединены в верхнекожевниковскую свиту. Свита вскрыта такими скважинами как Чарчыкская-1, Хастахская-930 и др. В основании видимого разреза залегает толща (500 м) грубого (через 1—5 м) и тонкого (через 1—4 см) переслаивания песчаников полевошпат-кварцевых серых, светло-серых мелко-среднезернистых и песчаников полимиктовых темно-серых тонко-мелкозернистых с подчиненными прослоями алевролитов темно-серых и черных. Выше залегает толща (370 м) алевролитов и аргиллитов темно-серых и черных в нижней части (40 м) с редкими прослоями песчаников. Завершает разрез верхнекожевниковской свиты толща (220 м) песчаников полевошпат-кварцевых известковистых с редкими тонкими прослоями (2—5 см) алевролитов, а также с примазками углисто-глинистого материала. В отличие от песчаников нижележащих толщ, в этих песчаниках присутствуют обломки вулканогенных пород. Общая мощность верхнекожевниковской свиты составляет 1079 м (Ванин и др., 2001 г).

МЕЗОЗОЙСКАЯ ЭРА

Триасовая система

Отложения триаса в Лено-Анабарском прогибе представлена отложениями нижнего и верхнего отделов.

Нижний отдел сложен улаханюряхской, чекановской, ыстаннахской, пастахской свитами. Низы разреза сложены аргиллитами и алевролитами с прослоями вулканомиктовых

песчаников. Выше присутствуют битуминозные известняки чекановской свиты, а также прослой известняков ыстаннахской свиты. Завершается разрез переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов. Породы содержат включения сидеритовых, известковых и фосфоритовых конкреций. В юго-западной части прогиба встречаются магматиты раннего триаса (Ванин и др., 2001 г).

Верхний отдел представлен тумулской свитой, которая с размывом залегает на раннетриасовых породах. Разрез сложен песчаниками, аргиллитами и алевролитами (Ванин и др., 2001 г).

Юрская система

Нижний отдел. Отложения раннего отдела юры, залегают со стратиграфическим несогласием на породах триаса. Разрез ранней юры в Лено-Анабарском прогибе представлен кыстыкюряхской, джангыйской и курунгской свитами. Свиты представлены аргиллитами с прослоями алевролитов, выше с несогласием залегают песчаники с конгломератами и алевролитами. Выше разрез завершают глины, которые переходят в аргиллиты и алевролиты. Общая мощность нижнеюрских отложений достигает 250 - 280 м (Ванин и др., 2001 г).

Средний отдел. Отложения среднего отдела юры согласно залегают на раннеюрских породах и представлены келимярской и чекуровской сериями. Сложены свиты алевролитами, аргиллитами, песчаниками, известняками. Общая мощность колеблется от 250 до 350 м (Ванин и др., 2001 г).

Верхний отдел. В Лено-Анабарском прогибе позднеюрский разрез сложен породами буолкалахской свиты, которая со стратиграфическим несогласием залегает на меловых отложениях. Разрез представлен морскими и прибрежно-морскими песчано-глинистыми отложениями. Мощность позднеюрских отложений достигает 200-220 м (Ванин и др., 2001 г).

Меловая система

Нижний отдел. Отложения представлены кигиляхской, кюсюрской, сиктяхской, огонерюряхской, лукумайской и укинской свитами. Сложены свиты песчаниками, алевролитами, аргиллитами, пластами углей. Общая мощность 1050-1150м (Ванин и др., 2001 г).

Верхний отдел. Представлена менгюряхской свитой, которая сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами и пластами углей. Общая мощность этих отложений до 450м (Ванин и др., 2001 г).

Палеогеновая система

Нижний отдел(палеоцен). К палеоценовым образованиям данного региона обычно относят кору выветривания. Кора выветривания представлена зоной дезинтеграции (1,5—2,0 м), в которой видна постепенная смена коренных пород сильно трещиноватыми отбеленными

их разностями, переходящими в дресву и пестроцветные глины гидрослюдистого или гидрослюдисто-каолинитового состава (Ванин и др., 2001 г).

Средний отдел (эоцен). Отложения на континенте представлены преимущественно континентальными — озерными, озерно-болотными, озерно-аллювиальными, аллювиальными и, вероятно, лагунными отложениями, залегающими на палеоценовой коре выветривания (кенгдейская свита) (Ванин и др., 2001 г).

Неогеновая система

Нижний отдел (олигоцен) – Неогеновая система (нижний миоцен). Олигоцен-нижнемиоценовые слои с размывом перекрывают эоценовые отложения, палеоценовую кору выветривания или более древние породы. Они представлены аллювиально-озерной и болотной угленосной толщей, строение которой однообразно (Ванин и др., 2001 г).

Средний миоцен—нижний плиоцен. Представлены преимущественно песками, залегающими на олигоцен-нижнемиоценовых слоях с размывом. Они разделены несколько условно на три части, выделенные в свиты: силгенскую, хапчанскую и буорхаинскую (Ванин и др., 2001 г).

Миоцен, средний и верхний подотделы—плиоцен. Отложения представлены преимущественно песками с редкими прослоями алевритов, мощностью от первых десятков метров до 500—700, реже до 1500—1700 м (Ванин и др., 2001 г).

Четвертичная система

Четвертичные отложения сплошным чехлом распространены на шельфе моря Лаптевых, Северо-Сибирской и Приморской низменностях, в дельтах Лены и Оленька. На остальной территории они развиты по долинам рек, а на междуречьях, вне скальных обрывов, представлены склоновыми отложениями сложного генезиса или маломощным элювием. Отложения представлены в виде аллювиум, озерно-аллювиальными отложениями, морскими волновыми (прибрежными) отложениями и др. (Ванин и др., 2001 г).

ГЛАВА 3. СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕНО-АНАБАРСКОГО ПРОГИБА

Фундамент Лено-Анабарского прогиба (рис.2) сложен архейско-нижнепротерозойскими породами. На своей западной части прогиб граничит с Анабаро-Хатангской седловиной. Граница между Анабаро-Хатангской седловиной и Лено-Анабарским прогибом в верхних горизонтах проводится условно. С востока граничит с Предверхоянским передовым прогибом. В южной части прогиб ограничивают Сапшыйский и Оленекский своды, которые осложняют северную часть Анабарской мегаантиклизы, а с севера Оленекская зона складок (Конторович и др, 2013 г.)

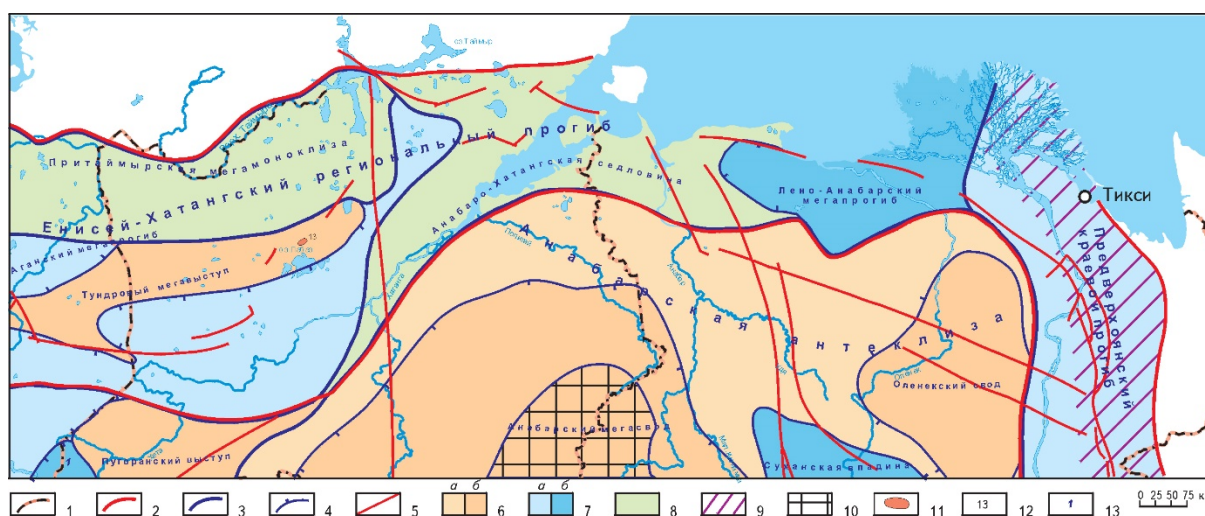


Рисунок 2. Тектоническая схема Лено-Анабарского региона. Границы: 1–административные, 2– нефтегазоносных провинций, 3–надпорядковых структур, 4–тектонических структур I порядка; 5–основные дизъюнктивные нарушения; пликативные структуры: 6–положительные (а–надпорядковые, б–I порядка), 7–отрицательные (а–надпорядковые, б–I порядка); 8– моноклинали и седловины; 9–зоны шарьяжных перекрытий; 10–выходы на поверхность кристаллического фундамента; месторождения: 11–газовые, 12–Балахнинское; 13– Хантайско-Ламский мегапрогиб. (Конторович и др., 2014 г).

Прогиб обладает асимметричным строением. Платформенное крыло пологое, а прискладчатое - крутое. Восточную часть прогиба занимает Таймыльская впадина, на западе Молохинская седловина. Восточная граница впадины ограничена Приоленёкским разломом. На востоке Лено-Анабарский прогиб отделяется от Приверхоянского передового прогиба кражем Чекановского (Чекановской инверсированной зоной передового прогиба). Чекановская зона представляет собой орогенное поднятие, которое имеет северо-западного простирания (Ушаков, 2016 г).

На основе интерпретации сейсмических данных Конторович и др., 2013 выделяют следующие основные этапы геологического развития региона (рис.4):

Предвендский этап. На юго-востоке изучаемой территории наиболее молодой рифейский сейсмогеологический комплекс Rf₄ срезается отражающим горизонтом V₀, приуроченным к подошве венда (рис.4). Таким образом можно сделать вывод о том, что на рубеже рифея и венда на рассматриваемой территории существовал достаточно крупный перерыв в осадконакоплении и господствовали процессы денудации рифейских отложений.

Предкембрийский этап. Вендские отложения отсутствуют на юго-западе Анабаро-Ленской зоны на Анабарской антеклизе, Курчубуйском и Верхнебурском мезовалах. Вендский комплекс пород не срезается эрозионными поверхностями, а выклинивается на приподнятые блоки рифейских отложений. При этом в палеодепрессионных зонах главным образом в погруженных частях Хастахской-930 мегавпадины вендские отложения, вероятнее всего, без перерыва перекрываются кембрием. В то же время в пределах приподнятых блоков, отвечающих Анабарской антеклизе, Курчубуйскому и Верхнебурскому мезовалам, рифейские сейсмогеологические комплексы срезаются горизонтом PZ₀, который относится к подошве кембрия (рис.4). Это свидетельствует о том, что на рассматриваемой территории существовал и предкембрийский перерыв в осадконакоплении, который охватил не всю Анабаро-Ленскую зону, а только ее юго-западную наиболее приподнятую часть.

Предпермский этап. Один из наиболее крупных перерывов в осадконакоплении на исследуемой территории существовал в предпермское время. На севере под пермью залегают отложения ордовика—силура, вскрытые скв. Усть-Оленекская-2370; на юго-востоке — кембрий, вскрытый скважинами на Чарчыкской-1, Бурской и Хастахской-930 площадях; на юго-западе в зоне, отвечающей северной части Анабарской антеклизы и Курчубуйскому и Верхнебурскому мезовалам, — рифей (рис. 3).

Предмезозойский этап. В северном направлении мощность пермских отложений увеличивается более чем в 5 раз. Анализ временных разрезов позволяет выделить внутри пермской толщи пород горизонт P₁, который на юге Анабаро-Ленской зоны срезается отражающим горизонтом T₀, приуроченным к подошве мезозоя (рис.3).

Таким образом, анализ геолого-геофизических материалов позволяет выделить на исследуемой территории, как минимум, четыре крупных несогласия.

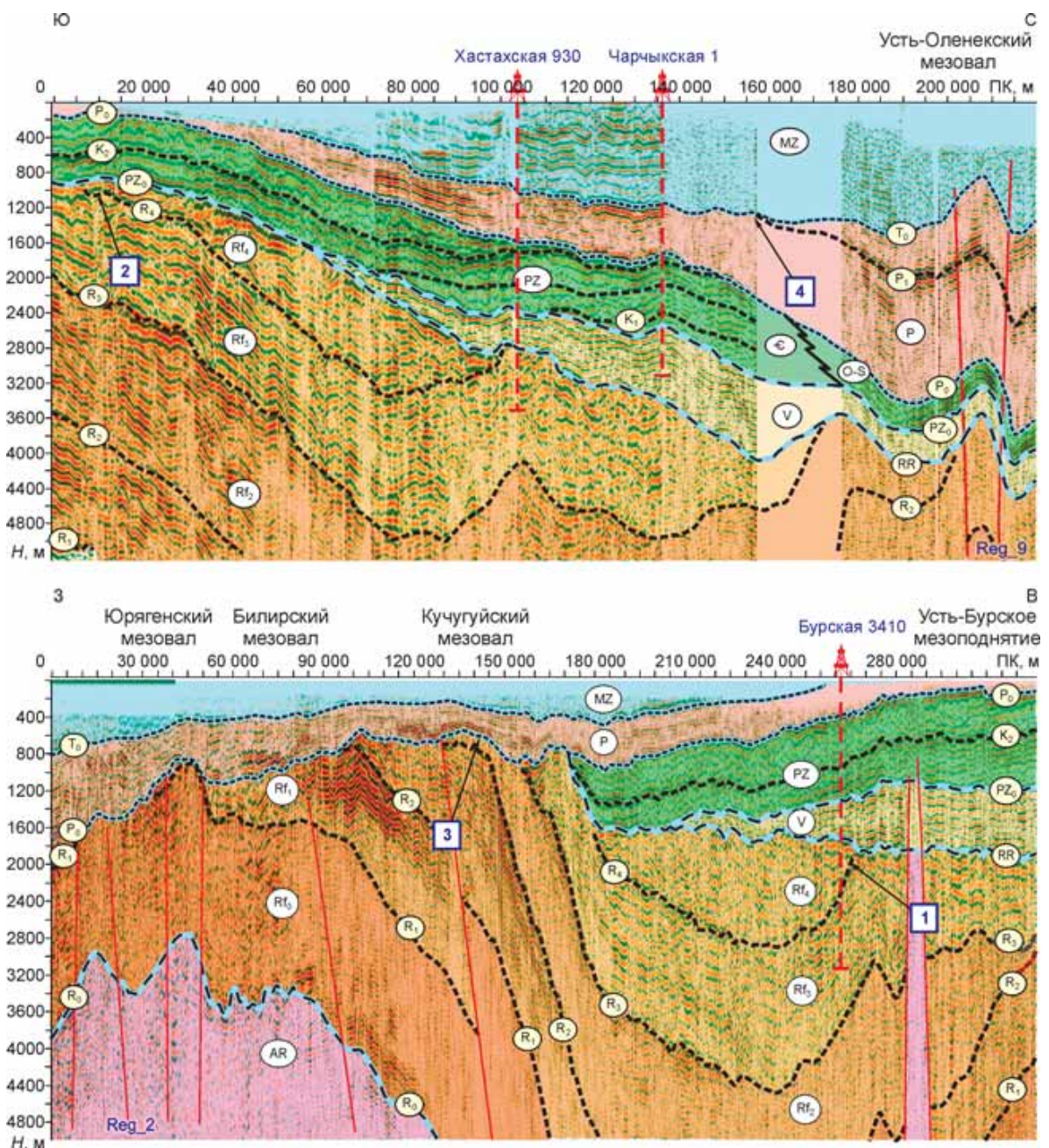


Рисунок 3. Региональные перерывы (региональные несогласия): 1 — предвендский, 2 — предкембрийский, 3 — предпермский, 4 — предмезозойский, (Конторович и др., 2013 г.).

Дизъюнктивная тектоника:

В Анабаро-Ленской зоне выделяют два основных класса разрывных нарушений:

- разломы, секущие рифей;
- разломы, рассекающие весь осадочный чехол и проникающие в мезозой.

Эти разрывные нарушения не только дифференцированы по времени формирования и глубине проникновения, но и разнесены территориально. Разломы, проникающие в мезозой, фиксируются исключительно в северной части Анабаро-Ленской зоны. Здесь преобладают сбросы, смещения по которым достигают 1000 м (рис. 4а). Образование этих разломов связано главным образом с этапом мезозойской тектонической активизации.

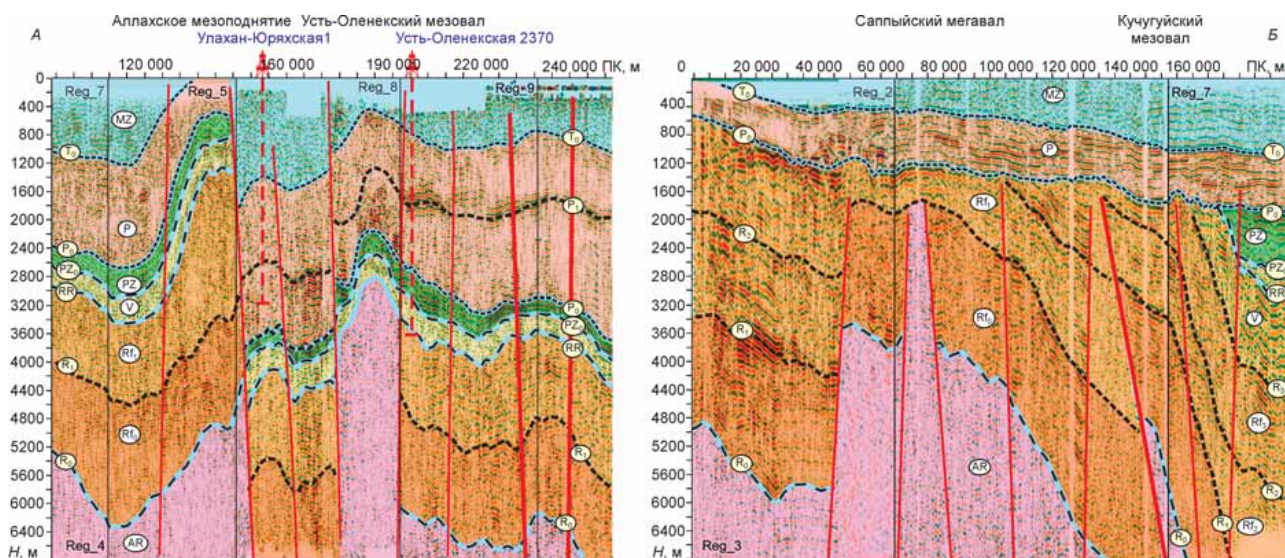


Рисунок 4. Мезозойские (А) и рифейские (Б) разрывные нарушения (Конторович и др., 2013г).

Разломы, секущие рифей, получили развитие в основном на юго-западе Анабаро-Ленской зоны в районе Анабарской антеклизы, Кучугуйского и Билирского мезовалов, в зоне, где рифей перекрыт пермью. Эти разрывные нарушения контролируют рифейские тектонические структуры — Кучугуйский и Билирский мезовалы связаны с зоной надвига, Кангаласский мезовал сформирован над крупным эрозионно-тектоническим выступом, контролируемым рифейскими разломами и т.д. Следует отметить, что смещения по рифейским разрывным нарушениям значительны и в ряде случаев превышают 2000 м (рис. 4б). Очевидно одно — эти разломы были сформированы в пострифейско-предпермское время. (Конторович и др., 2013г.).

ГЛАВА 4. ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

РАЗДЕЛ 4.1 ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нами проведено петрографическое исследование пермских отложений Хастахской-930 (рис.5), Чарчыкской-1 (рис.6) и Усть-Оленёкской-2370 скважин (рис.7), пробуренных на востоке Лено-Анабарского прогиба.

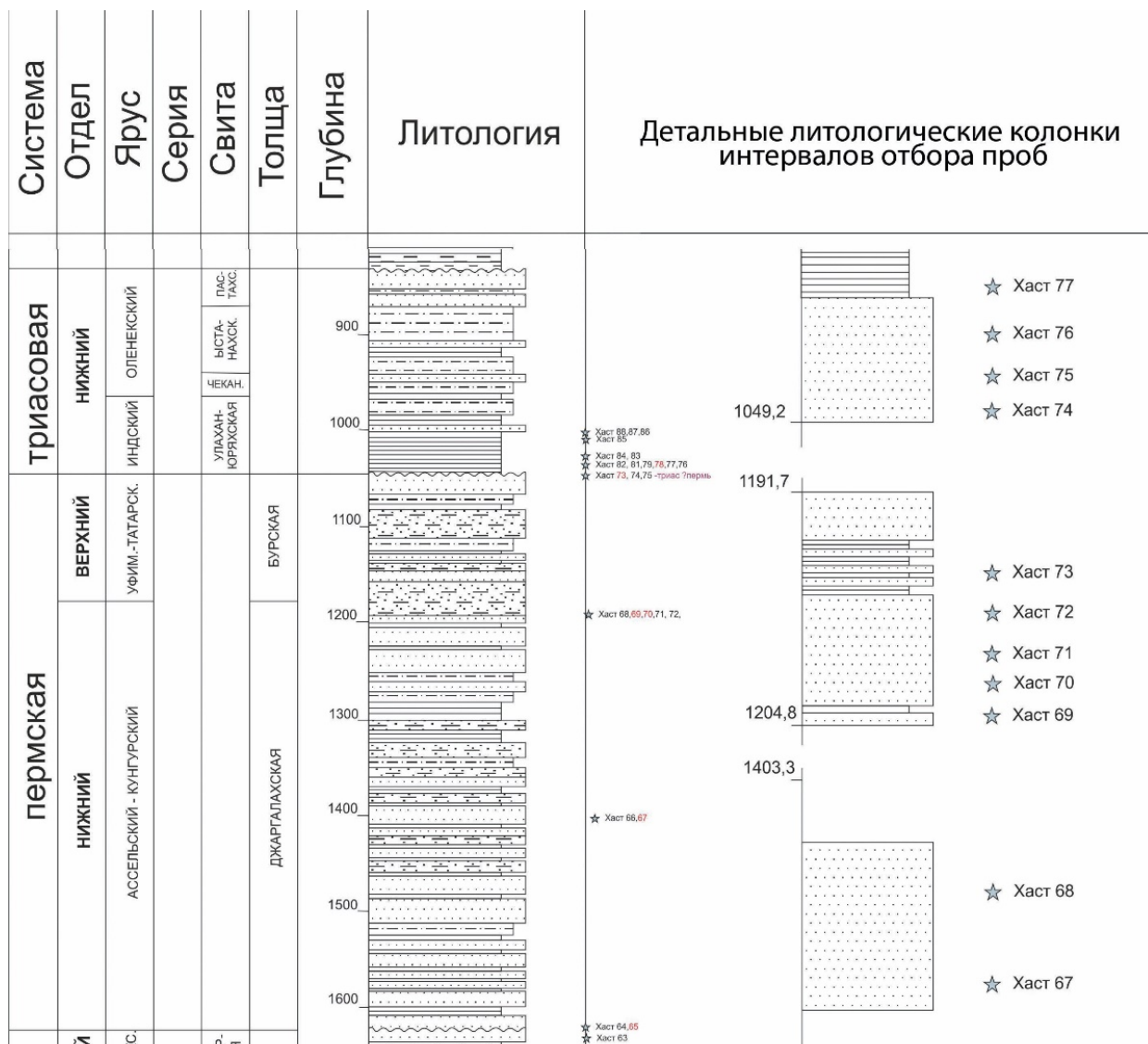


Рисунок 5. Фрагмент из литолого-стратиграфической колонки Хастахской-930 скважины с указанием мест отбора образцов (из неопубликованных материалов Ершовой В.Б)

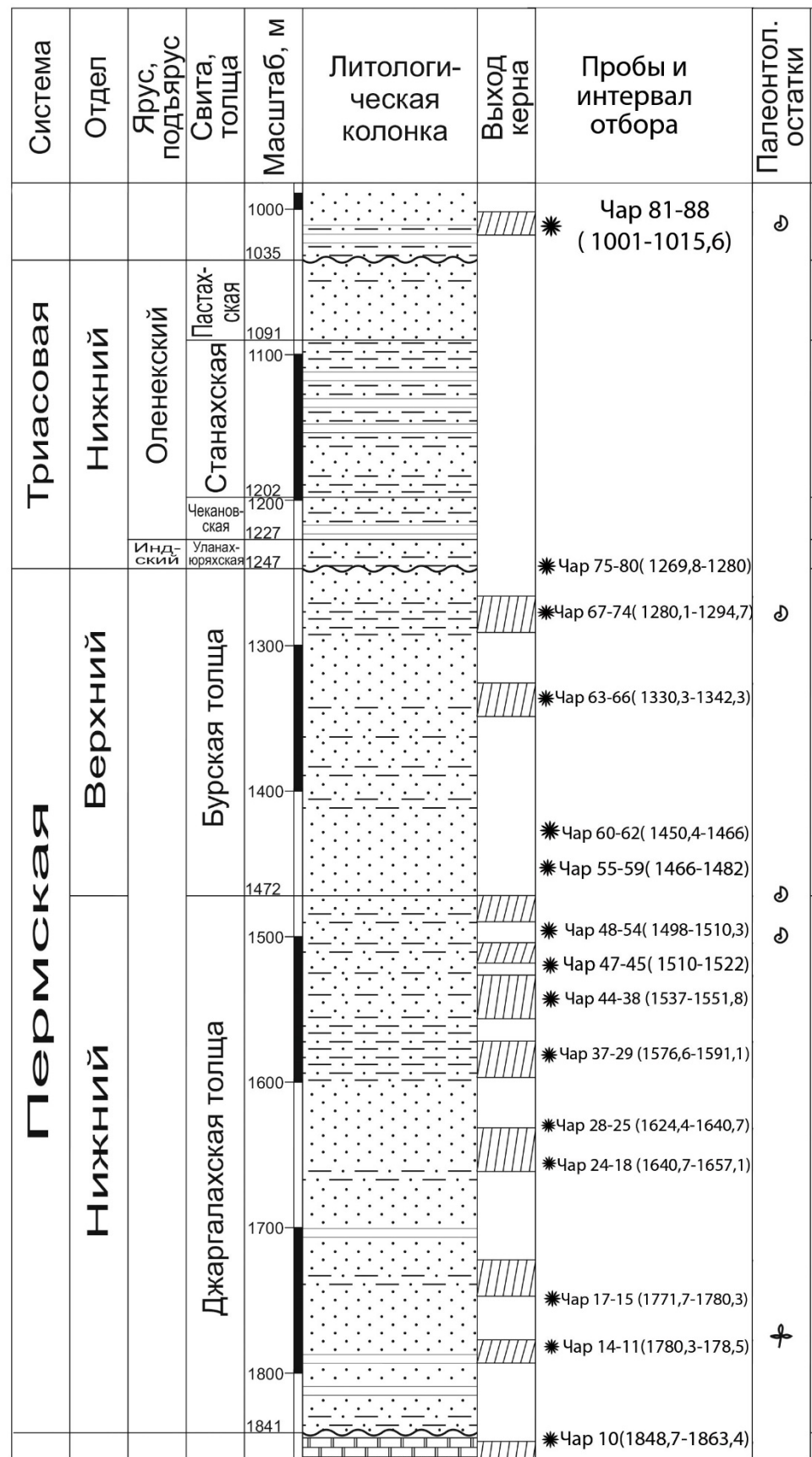


Рисунок 6. Фрагмент из литолого-стратиграфической колонки Чарчыкской-1 скважины с указанием мест отбора образцов (из неопубликованных материалов Ершовой В.Б.)

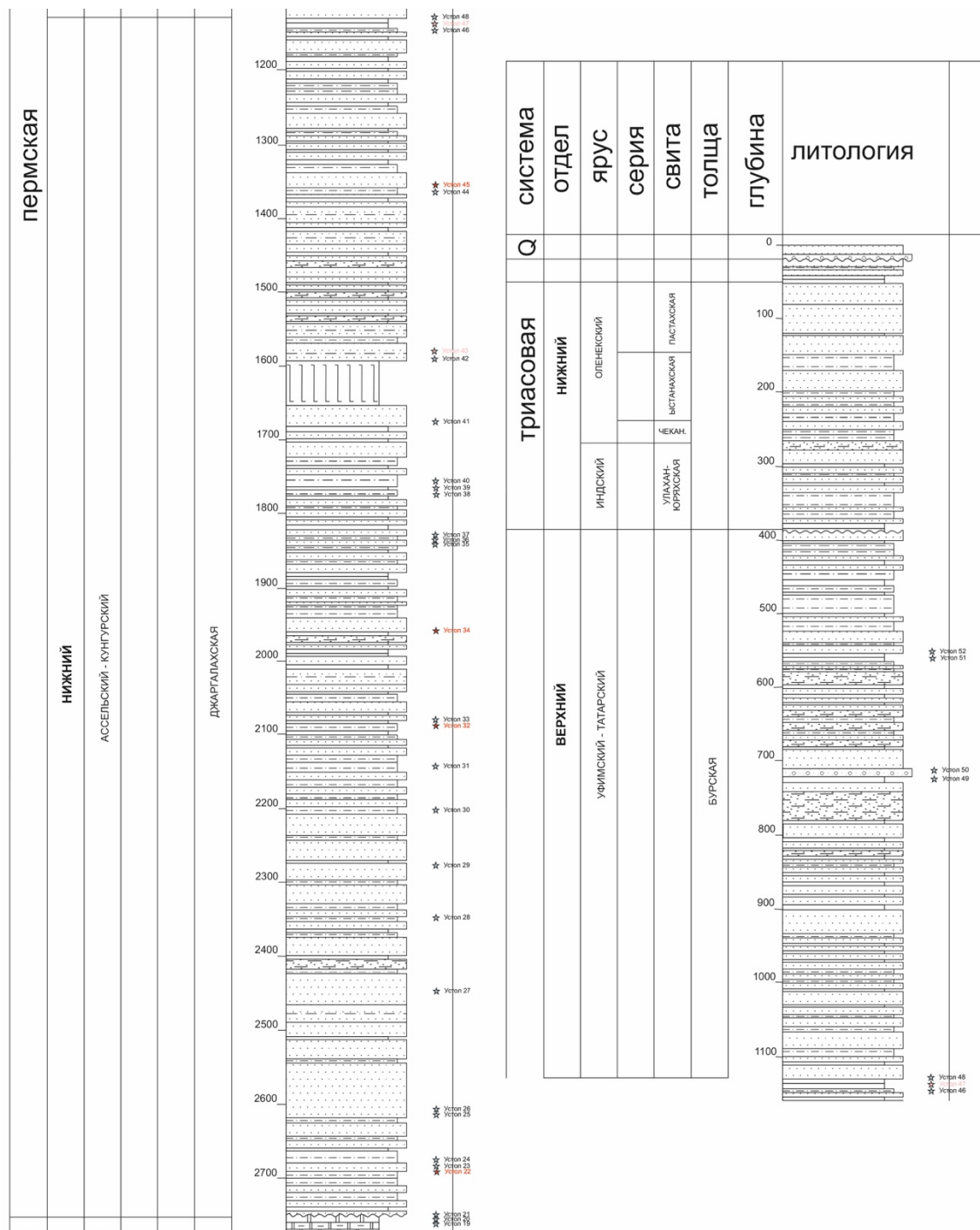


Рисунок 7. Фрагмент из литолого-стратиграфической колонки Усть-Оленекской-2370 скважины с указанием мест отбора образцов (из неопубликованных материалов Ершовой В.Б.)

Пермские отложения в Хастакской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленёкской-2370 скважинах представлены джаргалахской (нижний отдел) и бурской (верхний отдел) толщами. Джаргалахская толща представлена образцами ЧАР 11-51, ХАСТ 65, 69 и УСТОЛ 22-48, которые взяты из Чарчыкской-1 скважины в интервале от 1841 м до 1472 м, из Хастакской-930 скважины в интервале от 1622 м до 1204 м и Усть-Оленекской-2370 скважины в интервале от 2750 м до 1150 м. Бурская толща представлена образцами ЧАР 55-80, ХАСТ 73 и УСТОЛ

49-52, они в свою очередь отобраны из Чарчкской-1 скважины в интервале от 1472 до 1247 м, из Хастахской-930 скважины с глубины ≈ 1200 м и Усть-Оленекской-2370 скважины в интервале от 1150 м до 380 м.

ДЖАРГАЛАХСКАЯ ТОЛЩА

Джаргалахская толща охарактеризована образцами ЧАР 11, ЧАР 16, ЧАР 17, ЧАР 21, ЧАР 26, ЧАР 51, ХАСТ 65, ХАСТ 69, УСТОЛ 22-48. Петрографические исследования показали, что они представлены полимиктовыми граувакками от средне-мелкозернистых до мелкозернистых с глинистым цементом, тонкозернистыми алевритистыми полимиктовыми граувакками с известковым цементом, крупнозернистыми песчаными алевролитами, а также аргиллитами алевритовыми с глинистым цементом с примесью органического вещества. По составу обломки представлены: кварцем от 15 до 30%, обломками кремнистых, терригенных (алевролиты) и эффузивных пород от 25 до 45% и полевыми шпатами от 15 до 30 %, также могут встречаться в количестве нескольких зёрен мусковит, хлорит, биотит, рудные минералы.

По классификационной диаграмме песчаных пород минерально-петрокластического класса по Шванову В. Н. 1987 года породы джаргалахской толщи относятся к полимиктовым грауваккам (рис.8).

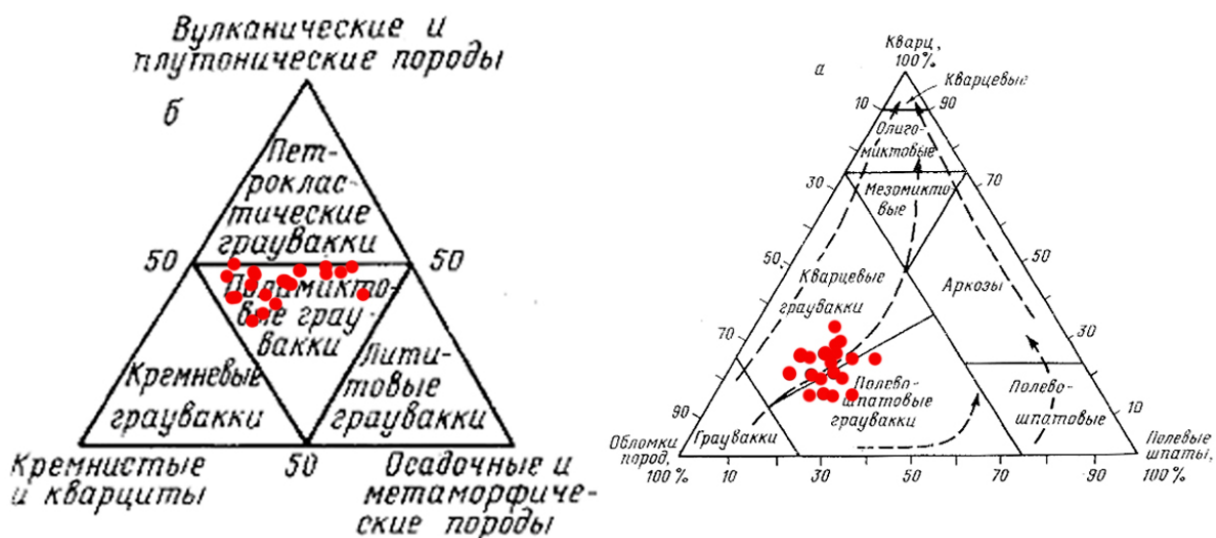


Рисунок 8. Классификационная диаграмма песчаных пород минерально-петрокластического класса (Шванов, 1987 г), отражающая состав пермских отложений джаргалахской толщи Хастахской-930, Чарчкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин. Слева треугольник для изображения разновидностей песчаных пород, а именно семейства граувакк, справа основной треугольник состава с изображением минеральных видов и их границ. Eff-обломки вулканических и плутонических пород, Qtz-кремнистые обломки и кварциты (для треугольника слева), кварц (для треугольника справа), Sdm- обломки осадочных и метаморфических пород, R- обломки пород, F-полевые шпаты

Часть образцов (ЧАР 21, 26, ХАСТ 65, УСТОЛ 35,43) характеризуется конформной структурой (рис. 9, 10). Порového пространства в шлифах не наблюдается.

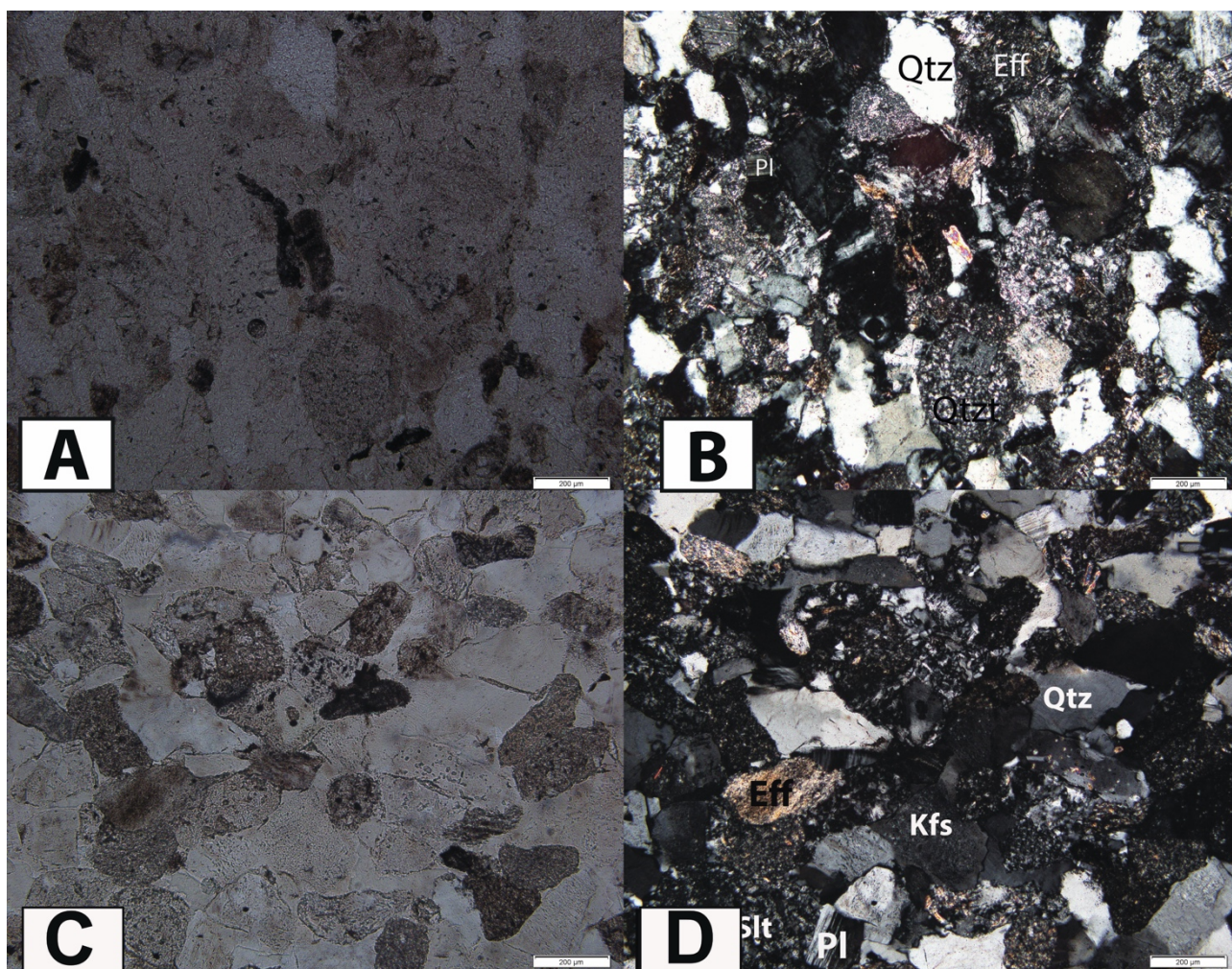


Рисунок 9. Мелко-среднезернистая полимиктовая граувакка (ЧАР 26 верхние фотографии) с конформной структурой, джаргалахская толща и средне-мелкозернистая полимиктовая граувакка (УСТОЛ 43 нижние фотографии) с конформной структурой, джаргалахская толща А-без анализатора, В-с анализатором. Qtz-кварц, Eff-обломки эффузивных пород, Pl-плагиоклаз, Qtzt-обломки кремнистых пород, Kfs-КПШ.

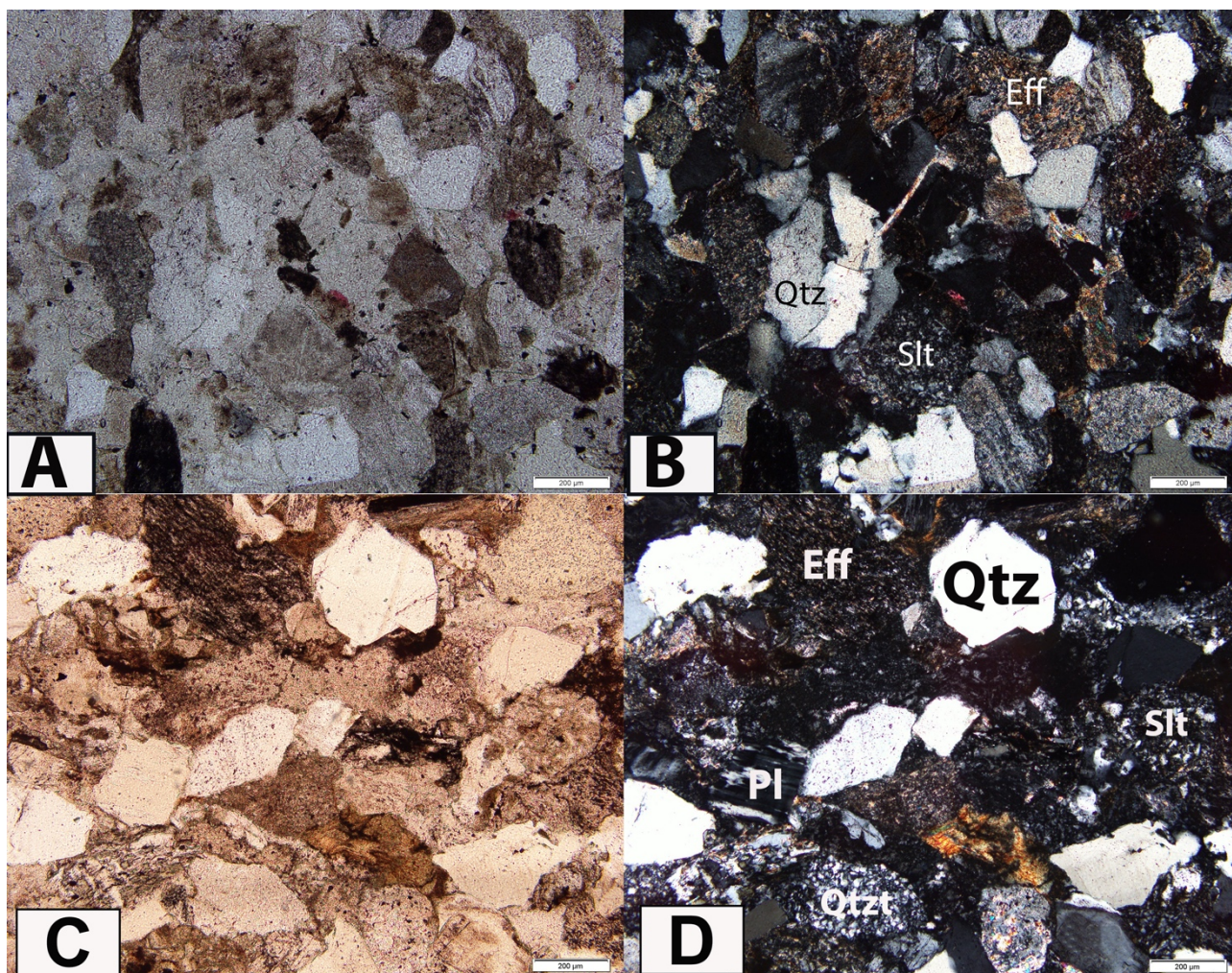


Рисунок 10. Мелко-среднезернистая полиминеральная граувакка с глинистым цементом (ЧАР 21 верхние фотографии, ХАСТ 65 нижние фотографии), джаргалахская толща. А-без анализатора, В - с анализатором. Фото иллюстрирует конформную структуру в шлифе. Qtz- кварц, Slt-обломки терригенных пород (алевролит), Eff-обломки эффузивных пород, Kfs-КПШ, Pl-плагиоклаз, Qtzt- обломки кремнистых пород.

Зернистость от тонкозернистых разновидностей до средне-мелкозернистых. Сортированность от хорошей до средне-плохой. Окатанность от средней до плохоокатанных и угловатых обломков.

Цемент составляет от 15% до 50%. Цемент представлен следующими типами: карбонатный, кремнистый, глинистый. Преобладает глинистый и карбонатный цемент. Глинистый цемент по количеству и распределению в породе чаще всего контурный, островной, микрокристаллический и по взаимоотношению с обломочными зёрнами пленочный (рис.11).

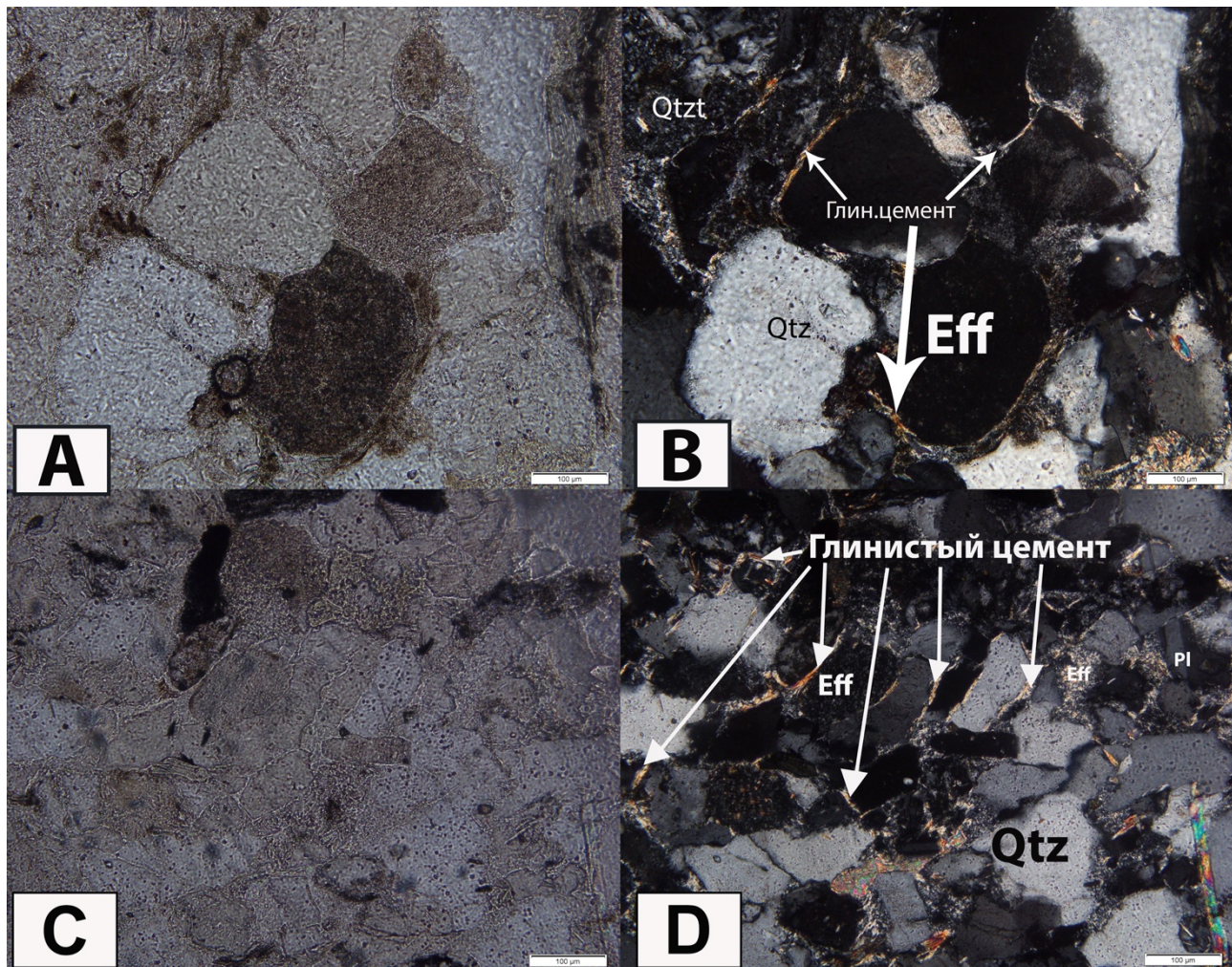


Рисунок 11. Средне-мелкозернистая полимиктовая граувакка (ЧАР 11 верхние фотографии), джаргалахская толща и тонко-мелкозернистая полимиктовая граувакка (УСТОЛ 34 нижние фотографии). А- без анализатора, В-с анализатором. Фото иллюстрирует глинистый цемент контурного типа. Qtzt- обломки кремнистых пород, Qtz-кварц, Slt-обломки терригенных пород (алевролит), Pl-плагиоклаз.

Карбонатный цемент от закрыто до открыто порового, также варьируется от пятнистого, островного и преобладающего несплошного (рис.12).

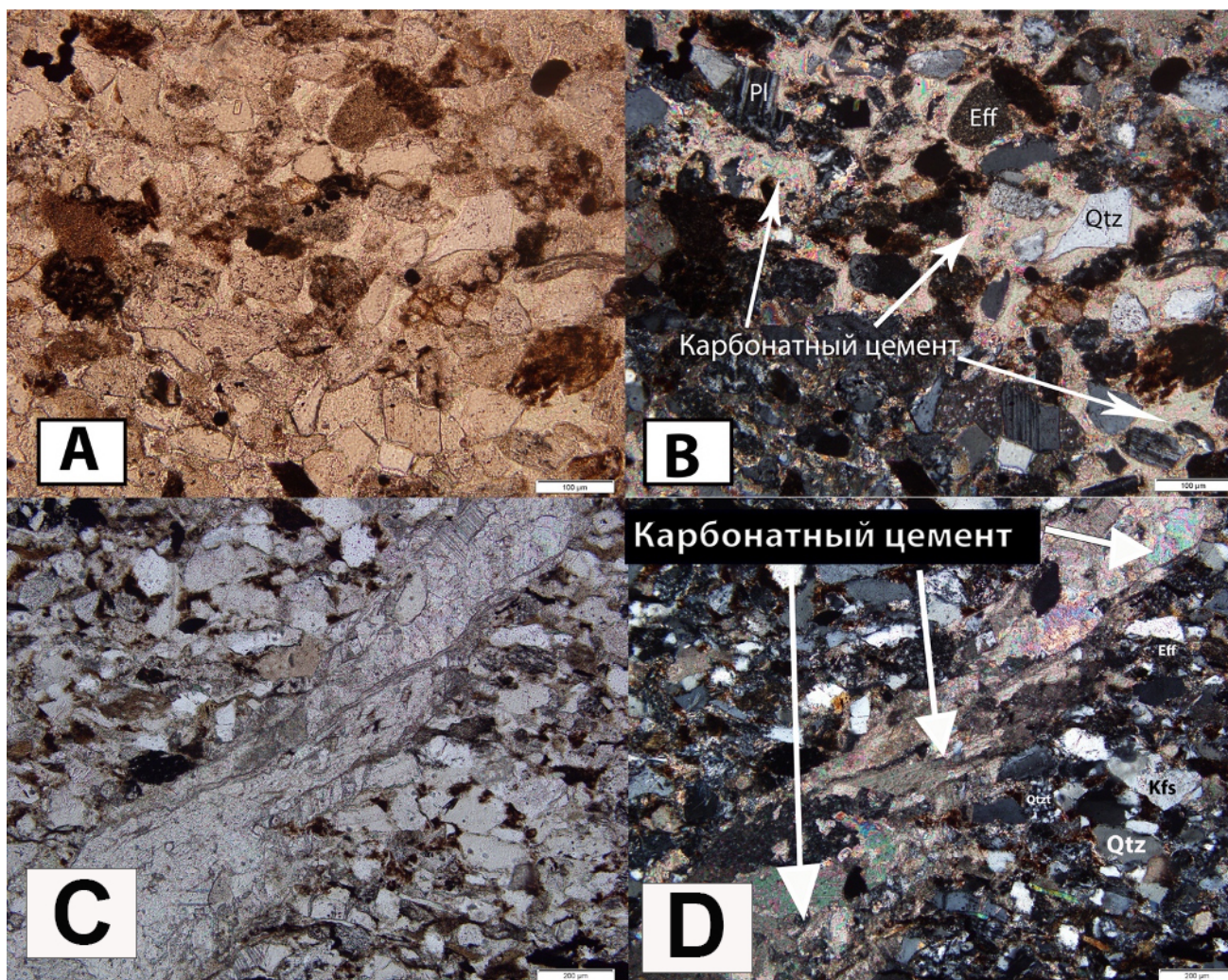


Рисунок 12. Тонкозернистая алевролитистая полимиктовая граувакка (ХАСТ 69 верхние фотографии) с карбонатным цементом, джаргалахская толща. Средне-мелкозернистая полимиктовая граувакка (УСТОЛ 22 нижние фотографии) с карбонатным цементом, джаргалахская толща. Фото иллюстрирует карбонатный цемент открыто-порового типа. А- без анализатора, В-с анализатором. Qtz-кварц, Eff- обломки эффузивных пород, Pl- плагиоклаз, Kfs-КФШ, Qtzt- обломки кремнистых пород.

Также, в Усть-Оленекской-2370 скважине в некоторых образцах (УСТОЛ 23, 24, 25, 26, 28, 31) наблюдается примесь ОВ, которая окрашивает породу в темно-серый цвет (рис. 13)

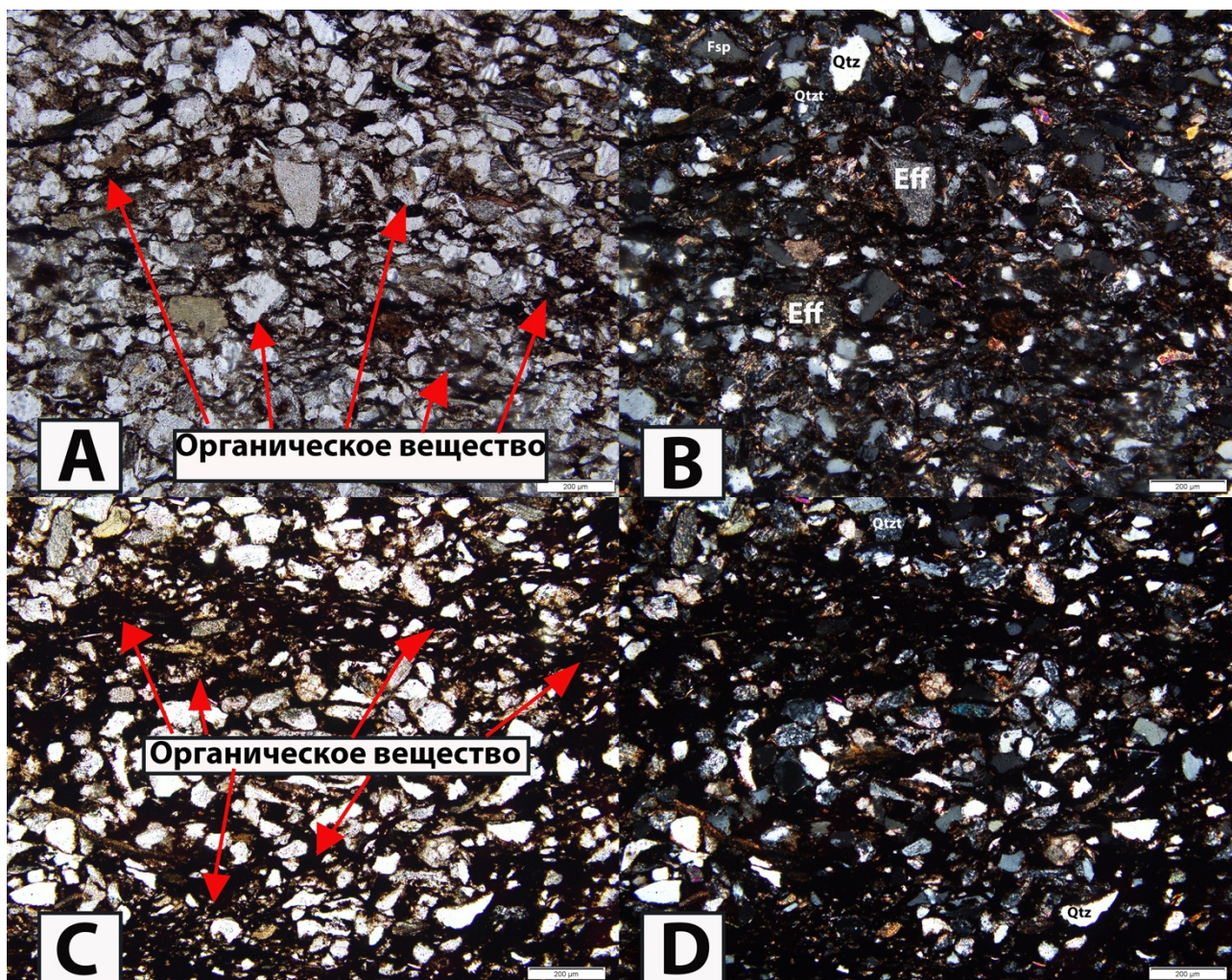


Рисунок 13. Средне-мелкозернистая полимиктовая граувакка с глинистым цементом битуминозная (УСТОЛ 25 верхние фотографии) и мелкозернистая полимиктовая граувакка с глинистым цементом битуминозная (УСТОЛ 26 нижние фотографии), джаргалахская толща.

Фото иллюстрирует примесь ОВ в шлифе. А-без анализатора, В - с анализатором. Фото иллюстрирует ОВ в шлифе. Qtz-кварц, Slit-обломки терригенных пород (алевролит), Eff-обломки эффузивных пород, Qtzt- обломки кремнистых пород.

БУРСКАЯ ТОЛЩА

Бурская толща охарактеризована образцами ЧАР 55, ЧАР 60, ЧАР 66, ЧАР 70, ЧАР 80, ХАСТ 73, УСТОЛ 52, УСТОЛ 51, УСТОЛ 50, УСТОЛ 49. Петрографические исследования показали, что они представлены полимиктовыми граувакками от мелкозернистых до тонкозернистых с глинистым и карбонатным цементом, алевритистыми полимиктовыми граувакками с глинистым и карбонатным цементом, а также крупнозернистыми песчаными алевролитами с карбонатным и глинистым цементом. По составу обломки представлены: кварцем от 15 до 20%, обломками кремнистых, терригенных (алевролиты) и эффузивных пород от 30 до 45% и полевыми шпатами от 15 до 25 %, также могут встречаться в количестве нескольких зёрен мусковит, хлорит, биотит. По классификационной диаграмме песчаных

пород минерально-петроклассического класса по Шванову В. Н. 1987 года данные породы бурской толщи относятся к полимиктовым грауваккам (рис.14).

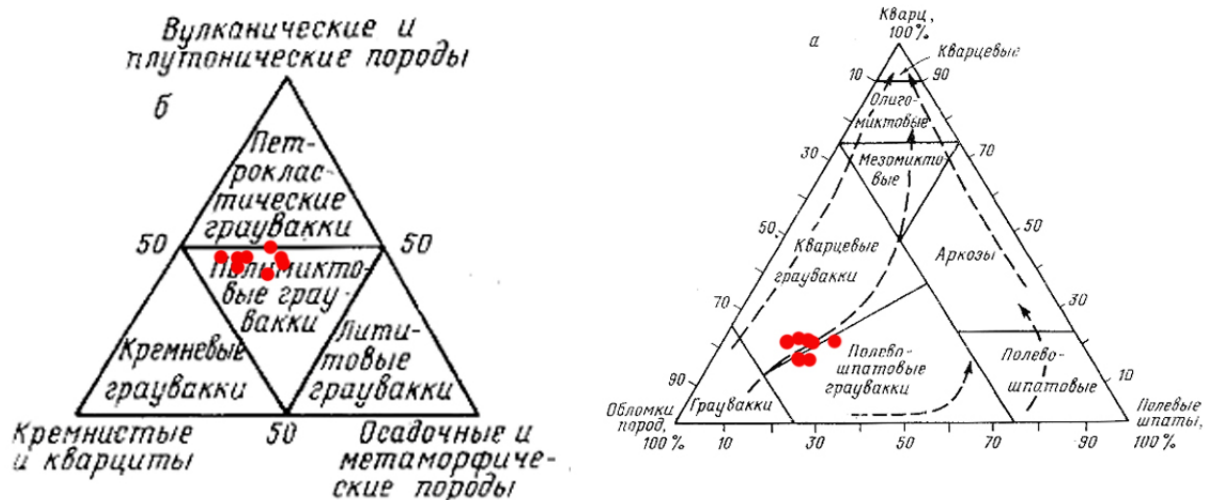


Рисунок 14. Классификационная диаграмма песчаных пород минерально-петроклассического класса (Шванов, 1987 г), отражающая состав пермских отложений бурской толщи Хастахской-930 и Чарчыкской-1 скважин. Слева треугольник для изображения разновидностей песчаных пород, а именно семейства граувакк, справа основной треугольник состава с изображением минеральных видов и их границ. Eff-обломки вулканических и плутонических пород, Qtz-кремнистые обломки и кварциты (для треугольника слева), кварц (для треугольника справа), Sdm- обломки осадочных и метаморфических пород, R- обломки пород, F-полевые шпаты
 В нескольких образцах (ХАСТ 73 и ЧАР 55, 66,70) наблюдается конформная структура (рис.15).

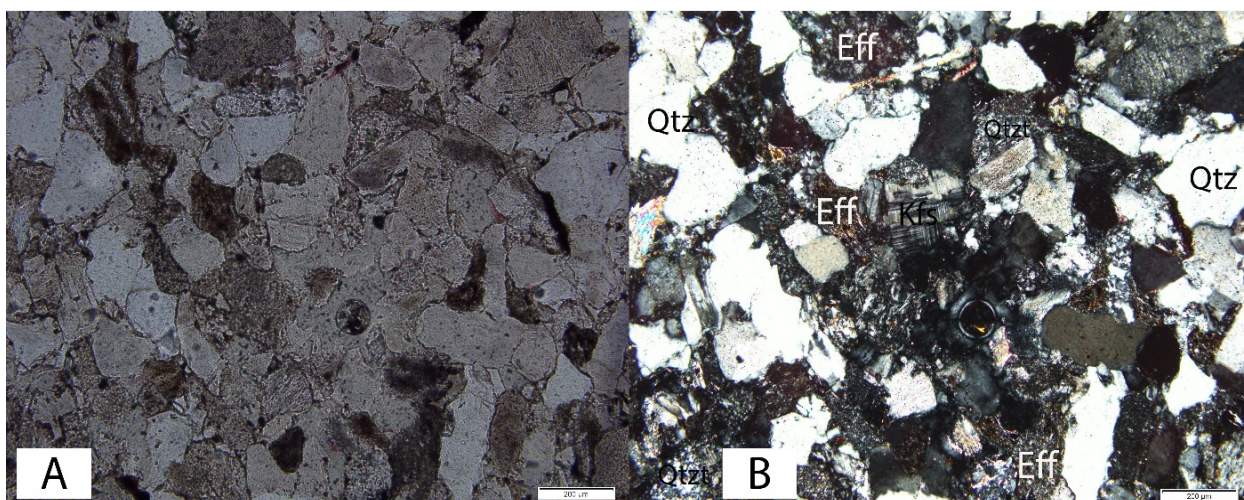


Рисунок 15. Мелкозернистая граувакка с глинистым цементом (ЧАР 55), бурская толща А- без анализатора, В- с анализатором. Фото иллюстрирует конформную структуру в шлифе. Eff-обломки эффузивных пород, Qtz-кварц, Qtzt- обломки кремнистых пород, Kfs-калиевый полевой шпат

Зернистость от тонкозернистых до мелкозернистых разновидностей. Сортированность от хорошей до средней. Окатанность от средней до плохой. Порового пространства в шлифах не наблюдалось.

Цемент составляет от 20% до 40% от объема породы. Цемент представлен следующими типами: карбонатный, кремнистый (рис. 16), глинистый. Кремнистый цемент по количеству и распределению в породе чаще всего контурный и прерывисто контурный. По равномерности заполнения порового пространства глинистый цемент точечный, по степени кристалличности микрокристаллический и по взаимоотношению с обломочными зёрнами пленочный.

Преобладает в большей части образцов глинистый и карбонатный цемент. Глинистый цемент (рис. 17) по количеству и распределению в породе чаще всего контурный. По равномерности заполнения порового пространства глинистый цемент островной, точечный, преобладающий несплошной по степени кристалличности микрокристаллический и по взаимоотношению с обломочными зёрнами пленочный.

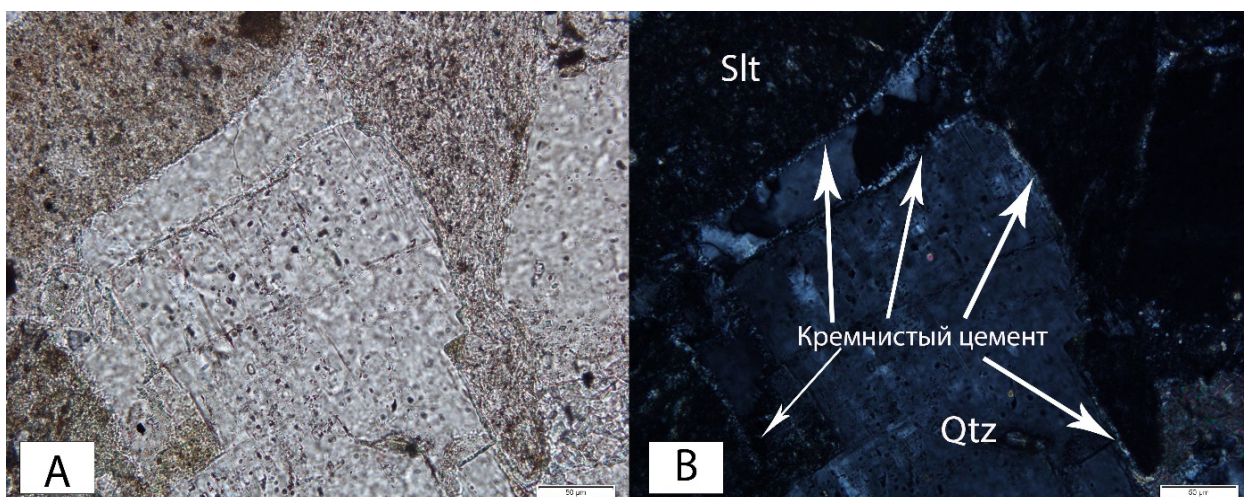


Рисунок 16. Тонко-мелкозернистая полимиктовая граувакка с кремнисто-глинистым цементом (ЧАР 60), бурская толща А- без анализатора, В- с анализатором. Фото иллюстрирует кремнистый цемент контурного типа. Slт-обломки терригенных пород (алевролит), Qtz-кварц

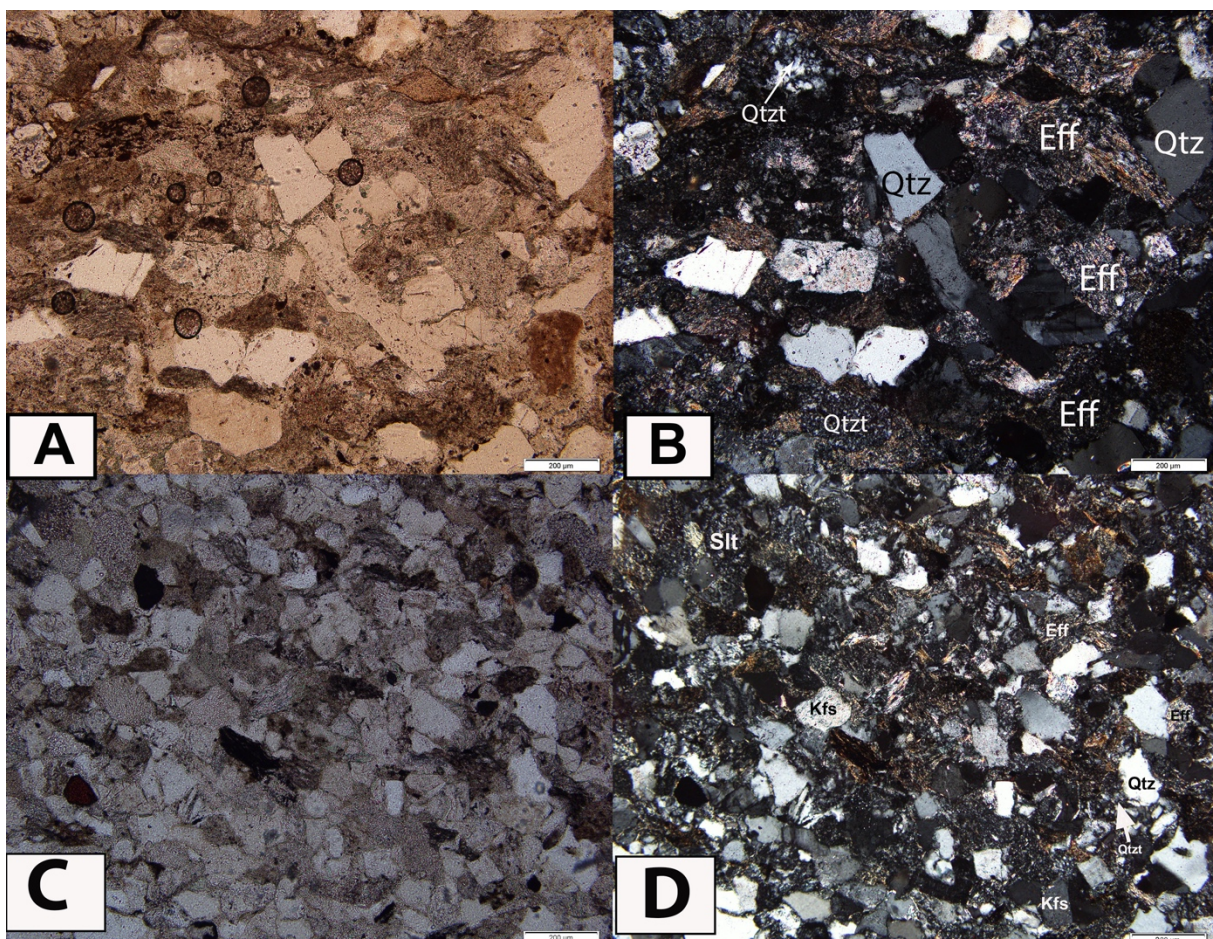


Рисунок 17. Мелкозернистая полимиктовая граувакка с глинистым цементом (ХАСТ 73 верхние фотографии), бурская толща и средне-мелкозернистая полимиктовая граувакка с глинистым цементом (УСТОЛ 51 нижние фотографии), бурская толща. А-без анализатора, В - с анализатором. Qtz-кварц, Qtzt - обломки кремнистых пород, Eff- обломки эффузивных пород, Slit-обломки терригенных пород (алевролит), Kfs-КПШ.

Карбонатный цемент по равномерности заполнения порового пространства от закрыто до открыто порового, по количеству и распределению в породе варьируется от пятнистого, островного и преобладающего несплошного, по степени кристалличности мелкокристаллический, мозаичный и агрегатный, по взаимоотношению с обломками коррозионный.

Таким образом по петрографическим исследованиям можно сделать вывод о том, что пермские отложения Хастакской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин имеют плохие коллекторские свойства, так как в большинстве образцов не наблюдалось порового пространства, а напротив чаще была видна конформная структура, которая является показателем низкопористых и низкопроницаемых пород (Платонов, 2003 г.).

Вторым подтверждением плохих коллекторских свойств является средняя и плохая сортировка у большинства образцов. Большая часть зёрен плохооакатанные и угловатые. Этот

факт указывает на снижение первичной пористости, ведь чем круглее зёрна, тем выше пористость (Платонов, 2003 г.).

В большей части образцов преобладают тонкозернистые и мелкозернистые разновидности, что также указывает на снижение первичной пористости, ведь как известно, чем больше размер зерна, тем больше пористость терригенных отложений (Платонов, 2003 г.).

Минеральный состав пермских отложений (полимиктовые граувакки) является важным индикатором того, что данные отложения выступают в роли плохих коллекторов. Самыми пористыми являются кварцевые песчаники (Платонов, 2003 г.), а в изучаемых нами породах минеральный состав далек от кварцевых песчаников.

Последним и не менее важным фактором является преобладание карбонатного и глинистого цемента, которые снижают пористость изучаемых отложений (Платонов, 2003 г.).

РАЗДЕЛ 4.2. ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ

Нами проведено уточнение минерального состава пермских отложений Чарчкской-1, Хастакской-930 и Усть-Оленекской-2370 скважин с помощью настольного растрового электронного микроскоп-микроанализатора ТМ 3000 (НИТАСНИ, Япония, 2010).

ДЖАРГАЛАХСКАЯ ТОЛЩА

Пермские отложения джаргалахской толщи Хастакской-930, Чарчкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин представлены образцами ЧАР 16, 17, 21, 26, 51, ХАСТ 65,69, УСТОЛ 22, 24, 32, 34, 37, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47. В пермских отложениях джаргалахской толщи были определены минералы – кварц (рис. 18, 19, 20, 21, 22, 23), микроклин (рис. 19, 20, 21), плагиоклаз (андезин) (рис. 19), кальцит (рис. 22), доломит (рис. 23), биотит (рис. 18, 21).

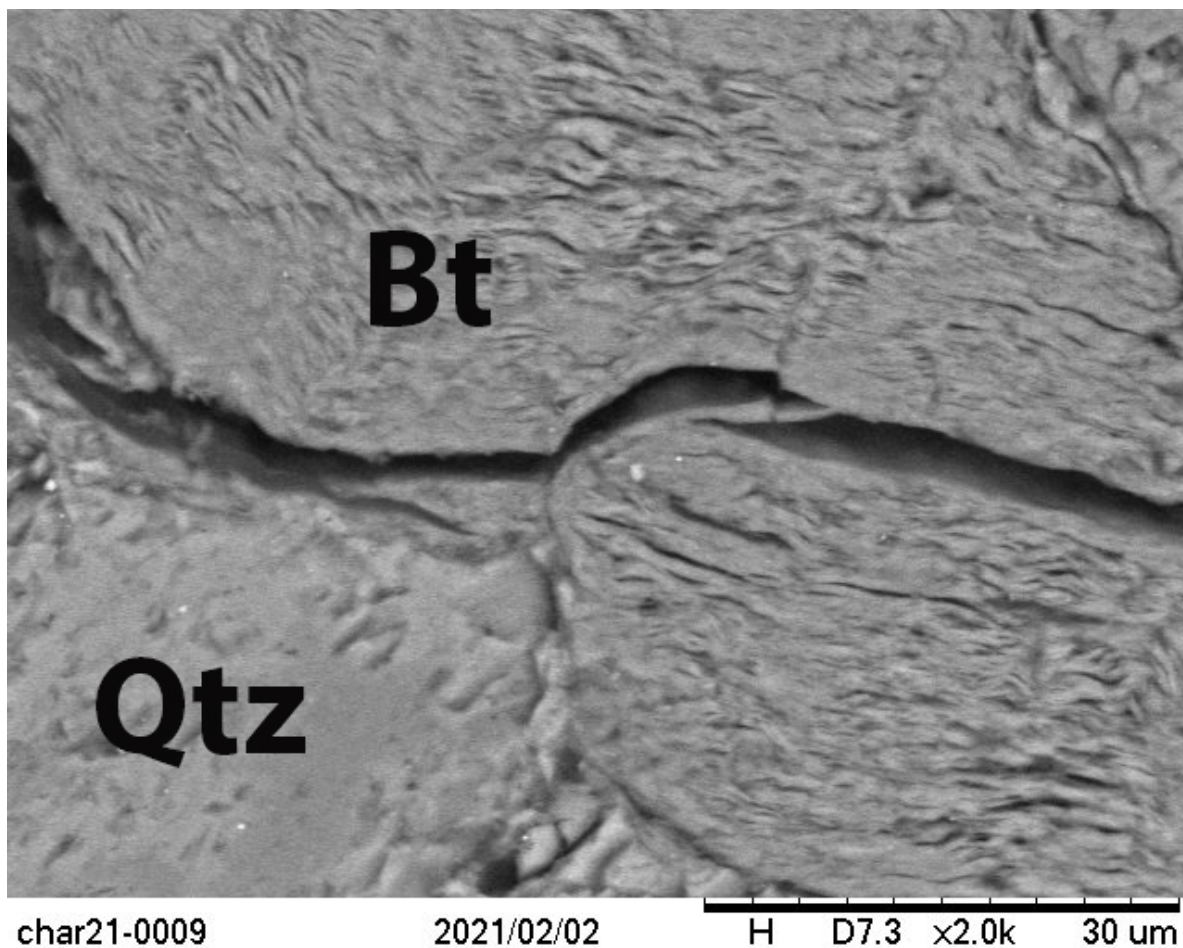


Рисунок 18. Фотография шлифа джаргалахской толщи ЧАР 21. Фотография иллюстрирует обломки кварца и биотита, которые были определены с помощью электронной микроскопии.

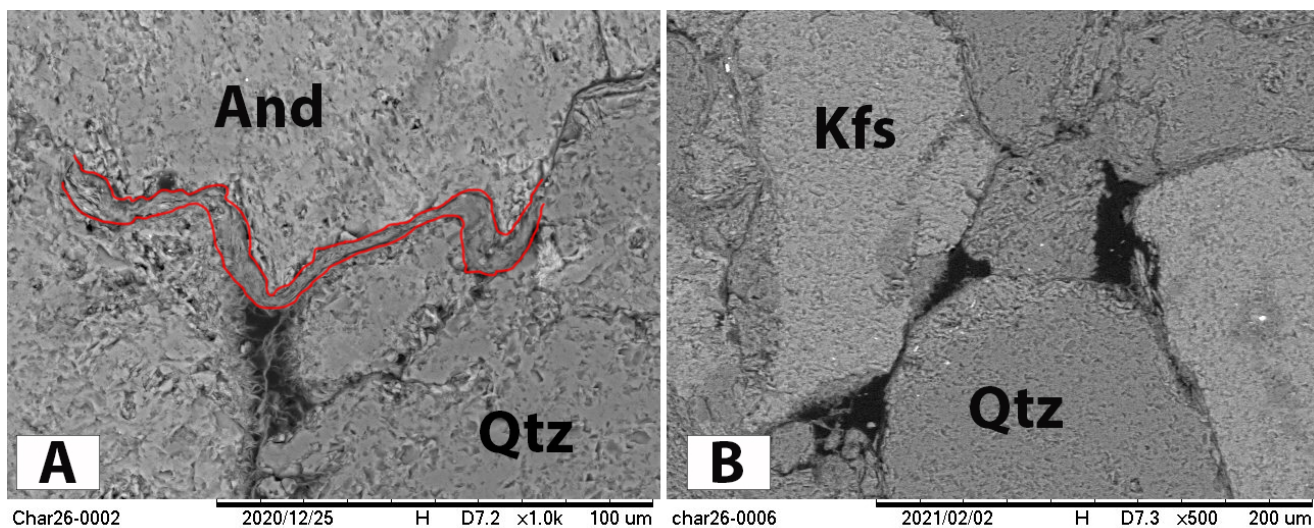


Рисунок 19. Фотографии шлифов джаргалахской толщи ЧАР 26. Фотографии иллюстрирует обломки калиевого полевого шпата (микроклин), кварца и андезина, которые были определены с помощью электронной микроскопии. Красным цветом выделен иллитовый цемент пленочного типа

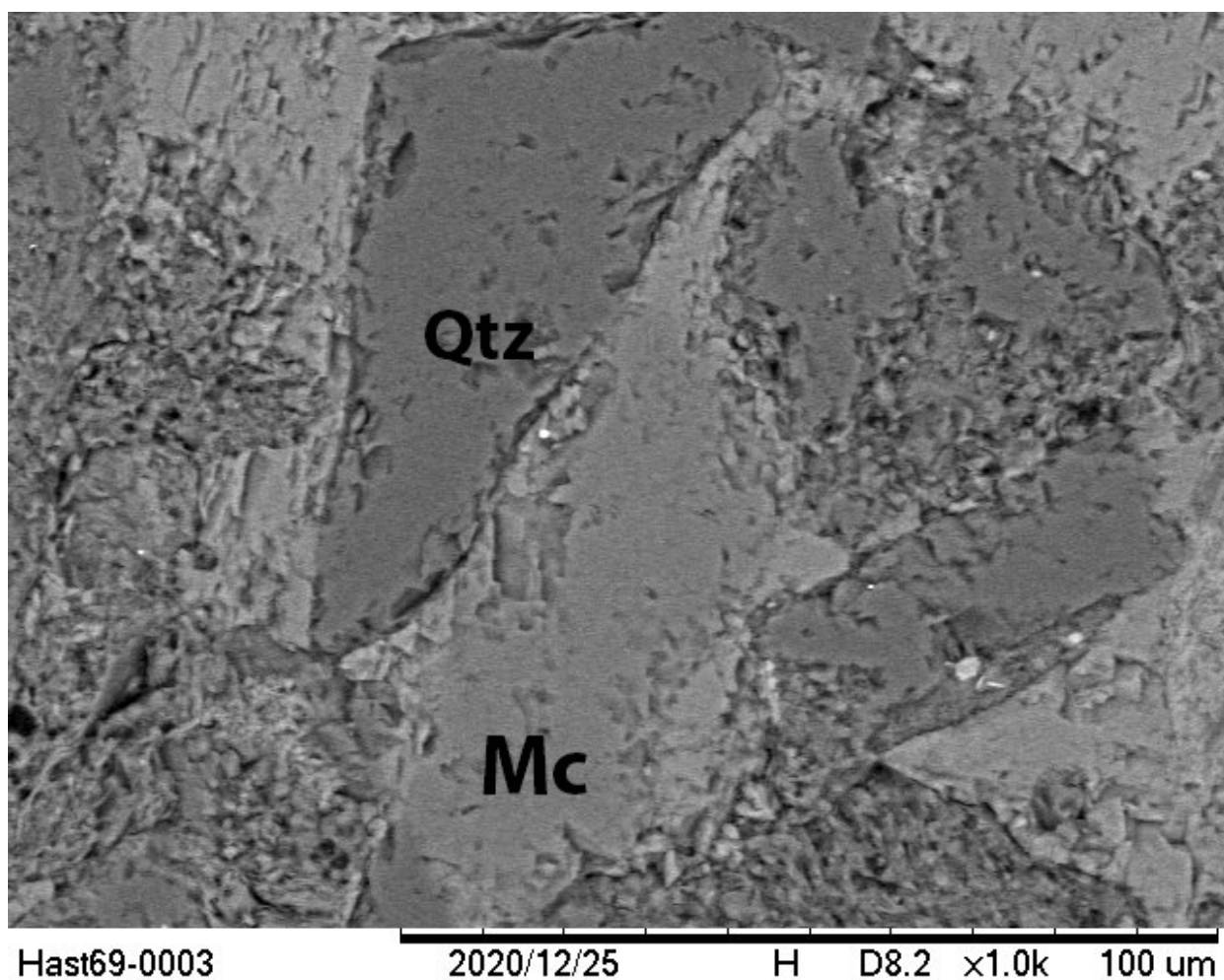


Рисунок 20. Фотография шлифа джаргалахской толщи ХАСТ 69. Фотография иллюстрирует обломки кварца и калиевого полевого шпата (микроклин), которые были определены с помощью электронной микроскопии

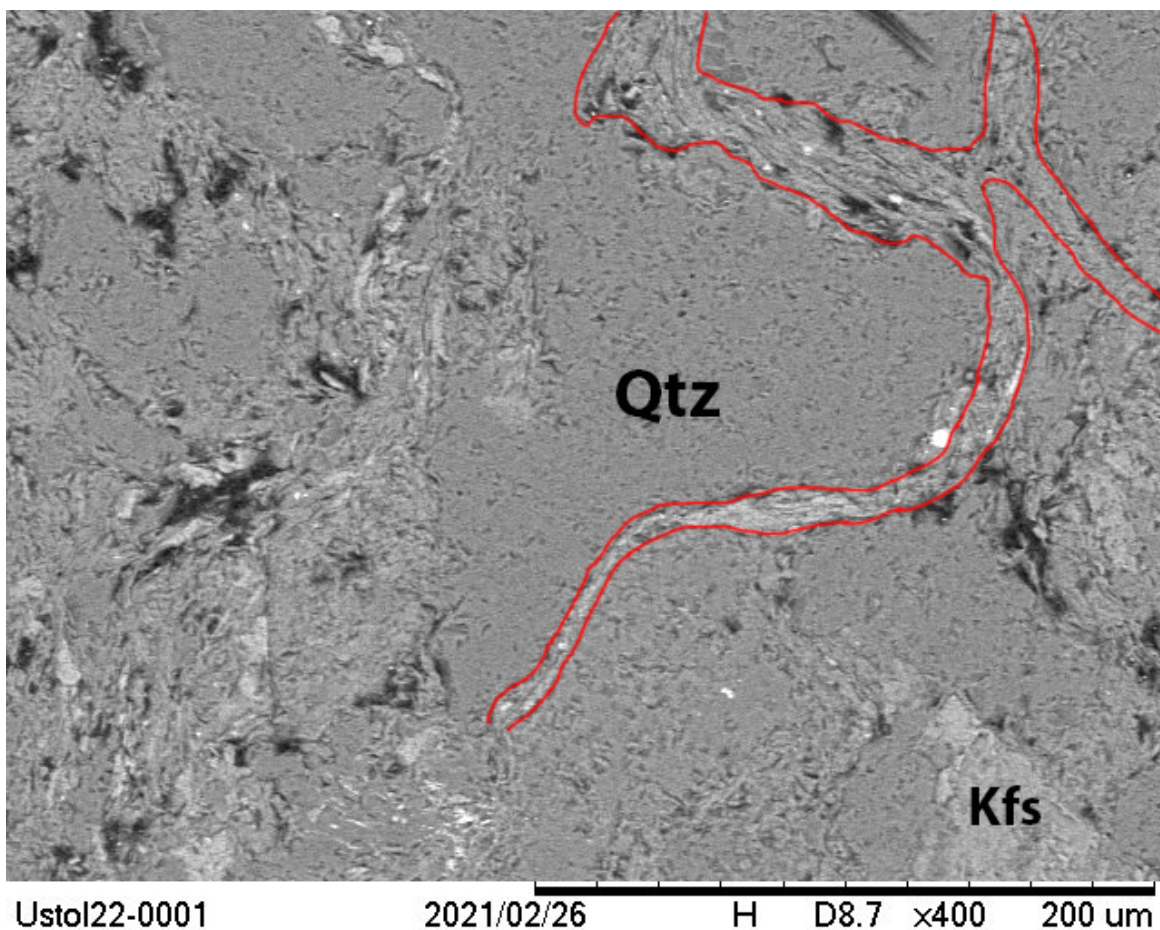


Рисунок 21. Фотография шлифа джаргалахской толщи УСТОЛ 22. Фотография иллюстрирует обломки кварца, калиевого полевого шпата (микроклин), которые были определены с помощью электронной микроскопии. Красным цветом выделен слюдяной цемент (биотит)

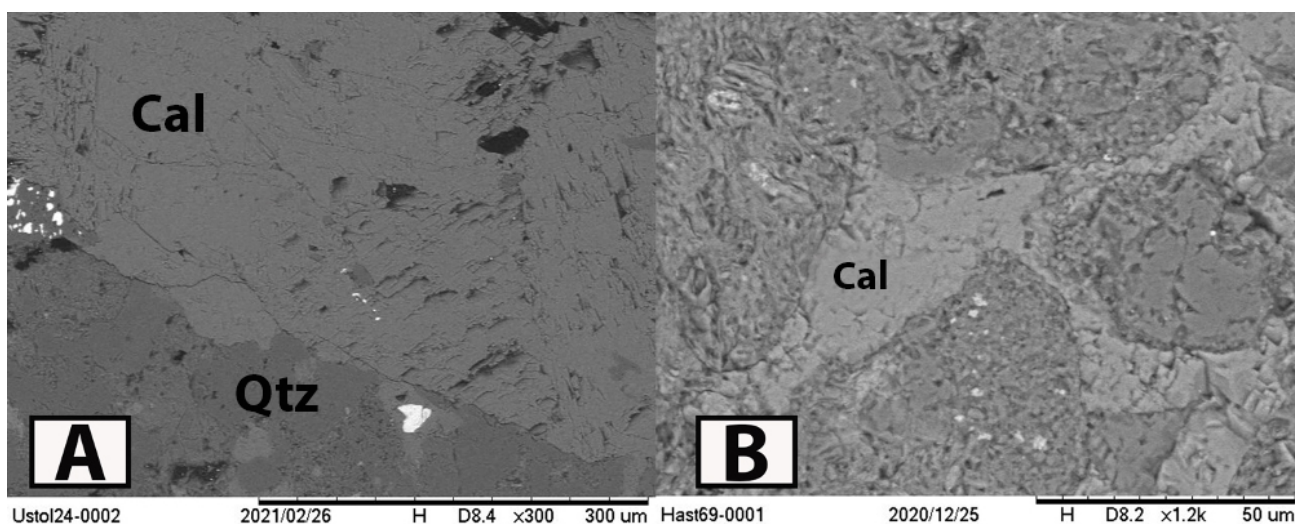


Рисунок 22. Фотографии шлифов джаргалахской толщи УСТОЛ 24. Фотография иллюстрирует обломки кварца, которые были определены с помощью электронной микроскопии. Кальцит представлен в виде цемента открыто-порового типа

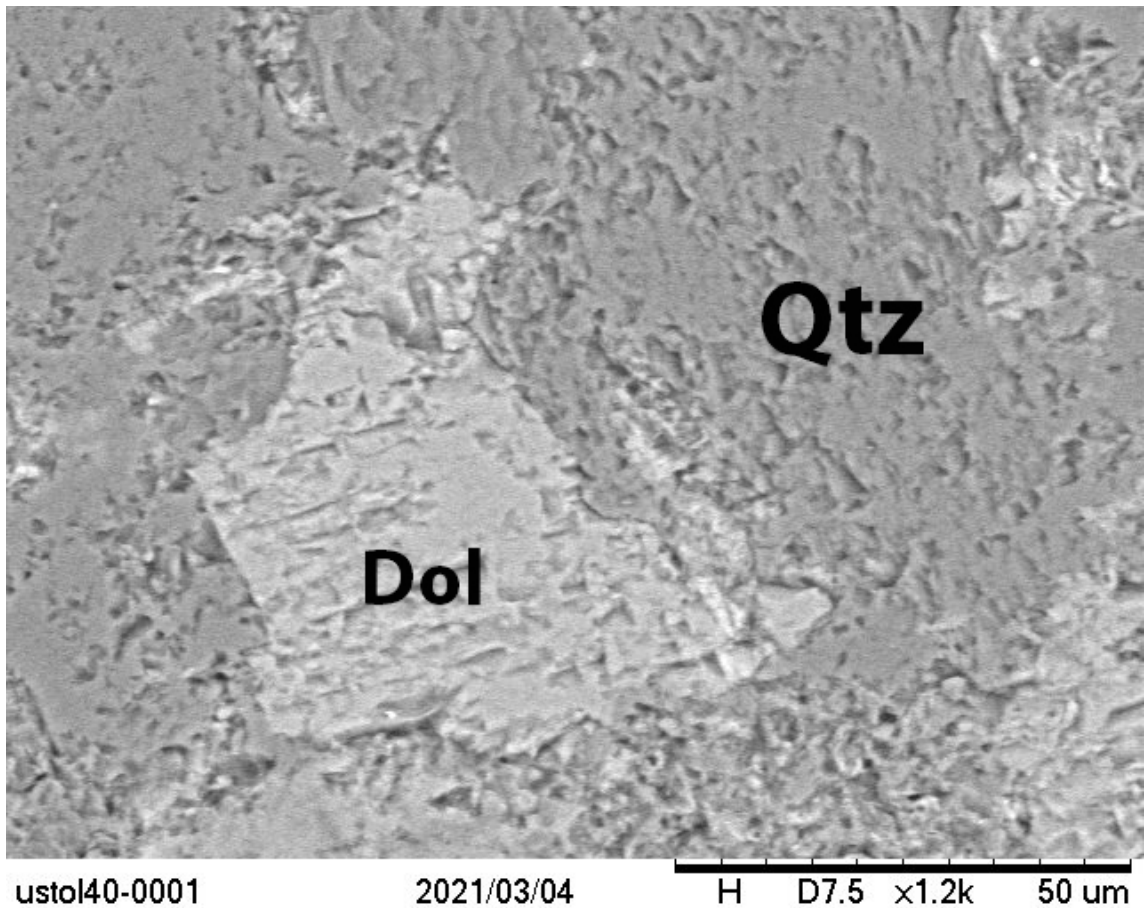


Рисунок 23. Фотография шлифа джаргалахской толщи УСТОЛ 40. Фотография иллюстрирует обломки кварца, которые были определены с помощью электронной микроскопии. Доломит представлен в виде цемента закрыто-порового типа

БУРСКАЯ ТОЛЩА

Пермские отложения бурской толщи Хастахской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин представлены образцами ЧАР 55, 60, 66, 70 и ХАСТ 73. В пермских отложениях бурской толщи были определены минералы – кварц (рис. 24, 25, 26), ортоклаз (рис. 24), микроклин (рис. 24, 25, 26), плагиоклаз (альбит) (рис. 25).

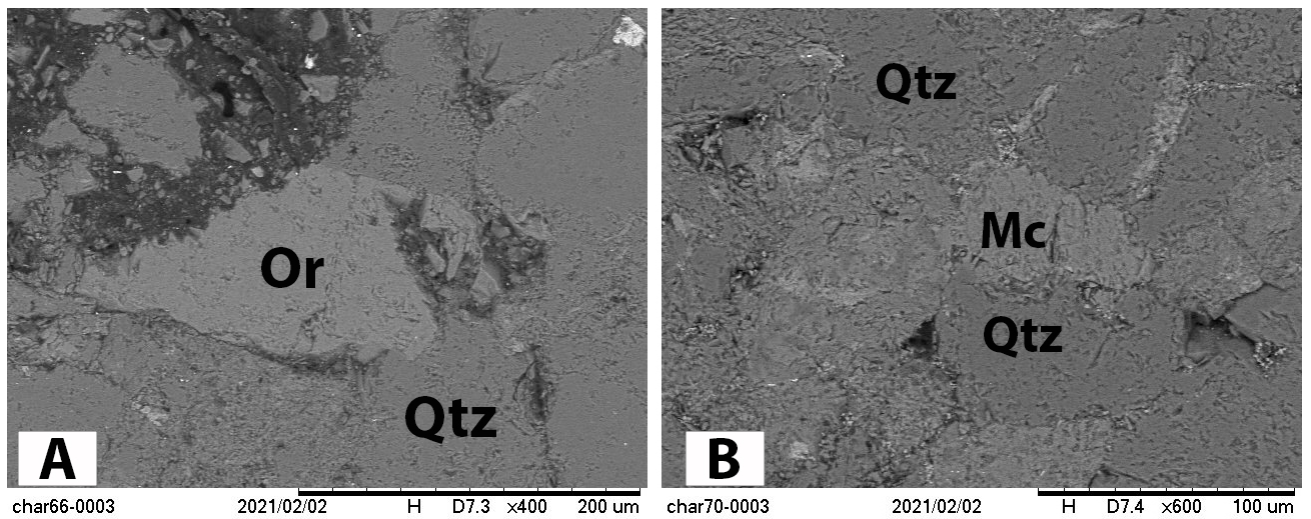


Рисунок 24. Фотографии шлифов бурской толщи ЧАР 66 (А) и ЧАР 70 (В). Фотография иллюстрирует обломки кварца, микроклина, ортоклаза, которые были определены с помощью электронной микроскопии

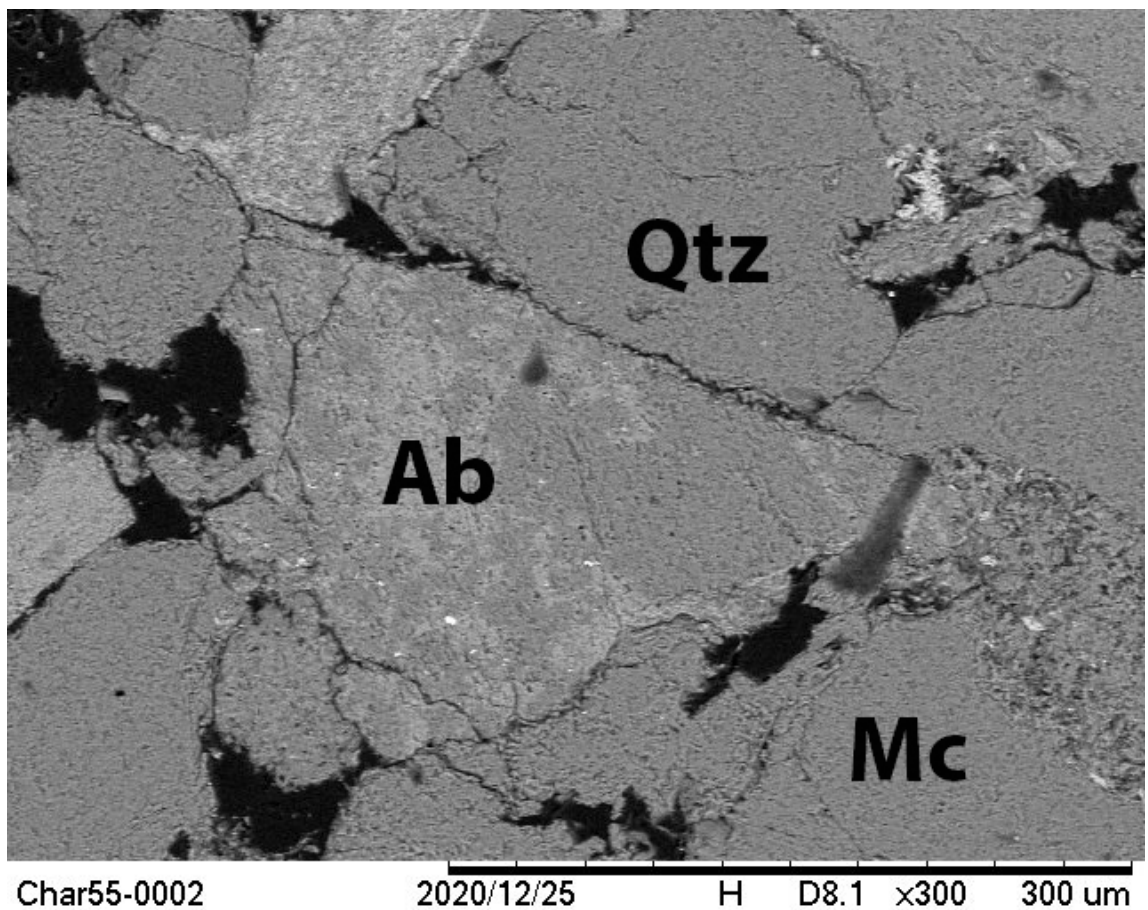


Рисунок 25. Фотография шлифа бурской толщи ЧАР 55. Фотография иллюстрирует обломки кварца, микроклина, альбита, которые были определены с помощью электронной микроскопии

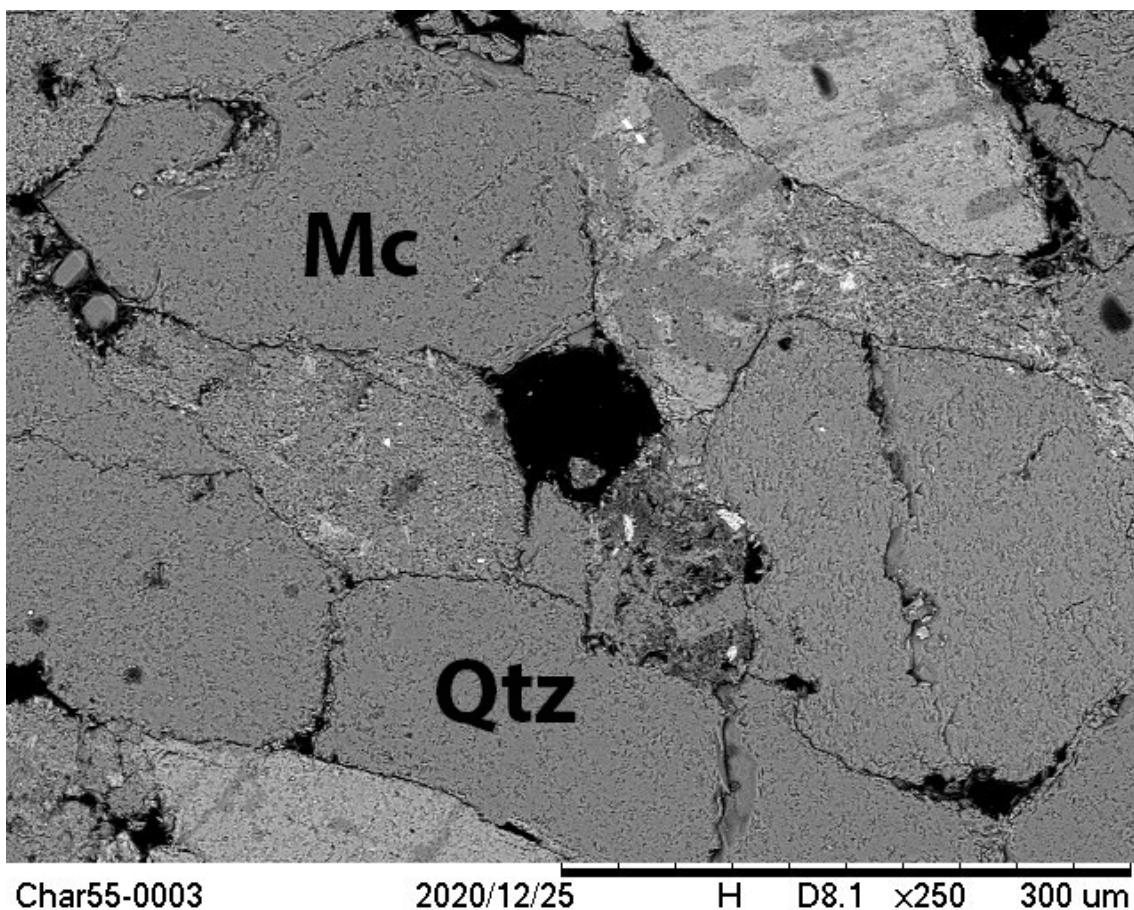


Рисунок 26. Фотография шлифа бурской толщи ЧАР 55. Фотография иллюстрирует обломки кварца, микроклина с примесью натрия, которые были определены с помощью электронной микроскопии

Таким образом, с помощью электронной микроскопии были уточнены петрографические исследования, а именно определен состав обломочной части и установлен состав цемента и его тип по количеству и распределению в породе, по равномерности заполнения порового пространства, а также по взаимоотношению цемента с обломочными зернами.

Были установлены кварц, полевые шпаты, которые по составу соответствуют андезину, микроклину, ортоклазу.

Устанавливается два вида цемента – карбонатный, слюдистый.

Карбонатный (доломит, кальцит) по количеству и распределению в породе закрыто-поровый и открыто поровый; по равномерности заполнения межзернового пространства сплошной неравномерный, преобладающий несплошной, пятнистый; по взаимоотношению с обломочными зернами коррозионный.

Слюдистый цемент (иллит, биотит) по количеству и распределению в контурный и прерывисто контурный; по равномерности заполнения межзернового пятнистый, островной, точечный, пятнистый; по взаимоотношению с обломочными зернами пленочный.

ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЁМКОСТНЫХ СВОЙСТВ ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ХАСТАХСКОЙ-930, ЧАРЧЫКСКОЙ-1 И УСТЬ-ОЛЕНЕКСКОЙ СКВАЖИН-2370

РАЗДЕЛ 5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКРЫТОЙ ПОРИСТОСТИ И АБСОЛЮТНОЙ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Нами проведены исследования пористости и проницаемости пермских отложений Хастахской-930, Чарчыкской-1, Усть-Оленекской-2370 скважин. Исследования проводились с помощью прибора для определения газопроницаемости «Дарсиметр» и прибора для измерения коэффициента открытой пористости «Поромер».

Определение коэффициента открытой пористости с помощью прибора «Поромер»:

Пористость – это свойство породы содержать незаполненные твёрдой фазой объёмы внутри неё. Поры – это небольшие пространства, не занятые минеральным скелетом, замкнутые, либо сообщающиеся между собой и атмосферой. Связанные между собой поры принято называть открытыми, а несвязанные – закрытыми (Печерин, 2013 г).

Принцип работы прибора основан на определении объёма замкнутого пространства по закону Бойля-Мариотта для идеального газа. Прибор реализует газоволюметрический метод измерения объёма твёрдой фазы пористого физического тела (Печерин, 2013г). Образцы представлены в виде цилиндров. Изначально проводились замеры массы, диаметра и высоты образцов для дальнейших вычислений. Далее образец помещался в камеру прибора «Поромер» и с помощью программы «Поромер 1.7.» проводились вычисления по формуле:

$$K_{п.о.} = \frac{V_0 - V_T}{V_0} * 100\%$$

Где V_0 - суммарный объём образца, см³

V_T - объём твёрдой фазы образца, см³

$K_{п.о.}$ - открытая пористость, %

Определение газопроницаемости с помощью прибора «Дарсиметр»

Проницаемость – это свойство горных пород пропускать сквозь себя флюиды, т. е. жидкости, газы и их смеси. Различают абсолютную (физическую) и эффективную (фазовую) проницаемости. Абсолютная проницаемость – это проницаемость породы в случае фильтрации через неё однородной жидкости или газа, инертных по отношению к поверхности твёрдой фазы. Фазовая проницаемость – это способность пород, насыщенных смесью нефти, газа и воды или любой другой неоднородной жидкостью, пропускать отдельные её фазы. Численно величины проницаемости породы характеризуются коэффициентом проницаемости, $k_{пр}$, из уравнения Дарси, которое позволяет рассчитать количество жидкости, Q , в м³, прошедшее расстояние, Δl (м), в образце породы с поперечным сечением, S (м²), при перепаде давлений, ΔP (Па), за время фильтрации t (с) (Печерин, 2014 г):

$$Q = K_{пр} \Delta P S t / \Delta l \mu$$

Где μ -вязкость жидкости, Па*с

$K_{пр}$ - абсолютная газопроницаемость, мД

С помощью закона Дарси и программы «Дарсиметр 2.7.» была вычислена абсолютная газопроницаемость для исследуемых нами образцов (табл 1,2)

№	Пористость, %	Газопроницаемость, мД
ЧАР11	4,669	0,01
ЧАР16	3,493	0,01
ЧАР17	4,884	0,01
ЧАР21	8,482	0,26
ЧАР26	4,31	0,026
ЧАР51	3,72	0,01
ХАСТ65	9,042	0,03
ХАСТ69	3,418	0,01
УСТОЛ22	1,164	0,01
УСТОЛ32	0,233	0,01
УСТОЛ34	0,4	<0,004
УСТОЛ43	5,417	0,01
УСТОЛ45	3,411	0,01

Таблица 1. Результаты измерений открытой пористости и абсолютной газопроницаемости пермских отложений джаргалахской толщи Хастахской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин

№	Пористость, %	Газопроницаемость, мД
ЧАР55	10,788	1,321
ЧАР60	8,792	0,06
ЧАР66	11,335	0,28
ЧАР70	9,73	0,04
ЧАР80	6,305	0,01
ХАСТ73	14,529	0,38

Таблица 2. Результаты измерений открытой пористости и абсолютной газопроницаемости пермских отложений бурской толщи Хастахской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин

Исходя из полученных таблиц видно, что открытая пористость пермских отложений джаргалахской толщи варьирует от 0,233% до 9%, а абсолютная газопроницаемость от 0,01 мД до 0,3 мД. В пермских отложениях бурской толщи эти значения выше, например, открытая пористость принимает значения от 6% до 14,5%, а абсолютная газопроницаемость от 0,01 мД до 1,3 мД.

Согласно классификации по величине эффективной (открытой) пористости Авдусина и Цветковой 1943 года (рис.27) 10 образцов (ЧАР 11,16,17,26,51, ХАСТ 69, УСТОЛ 22, 32,34,45) пермских отложений джаргалахской толщи относятся к Е классу и имеют малую ёмкость, а 3 образца (ЧАР 21, ХАСТ 65 и УСТОЛ 43) относятся к D классу и обладают средней ёмкостью. У пермских отложений бурской толщи эффективная пористость увеличивается, поэтому 3 образца (ЧАР 60,70,80) относятся к D классу и имеют среднюю ёмкость, а 3 образца (ЧАР 55,66 и ХАСТ 73) относятся к C классу и обладают средней ёмкостью.

Класс коллектора	Эффективная пористость, %	Ёмкость коллектора
A	>20	Большая
B	20-15	Большая
C	15-10	Средняя
D	10-5	Средняя
E	<5	Малая

Рисунок 27. Классификация по величине эффективной пористости (Авдусин, Цветкова, 1943 г)

Согласно классификации по характеру проницаемости Теодоровича 1943 года (рис.28) 13 (ЧАР 11,16,17,21,26,51, ХАСТ 65,69 и УСТОЛ 22, 32, 34, 43, 45) образцы пермских отложения джаргалахской толщи относятся к V классу и являются непроницаемыми, также 5 образцов (ЧАР 60,66,70,80 и ХАСТ 73) бурской толщи относятся к V классу и являются непроницаемыми и 1 образец (ЧАР 55) из этой толщи относится к IV классу и является слабопроницаемым.

Класс	Коллекторы	Коэффициент проницаемости, мкм ²
I	Очень хорошо проницаемые	более 1
II	Хорошо проницаемые	0,1-1
III	Среднепроницаемые	0,01-0,1
IV	Слабопроницаемые	0,001-0,01
V	Непроницаемые	менее 0,001

Рисунок 28. Классификация терригенных пород-коллекторов по характеру проницаемости (Теодорович, 1943 г). 1мкм²=1000 мД

Согласно классификации терригенных пород-коллекторов Ханина 1969 года (рис.29) 13 образцов (ЧАР 11,16,17,21,26,51, ХАСТ65,69 и УСТОЛ 22, 32, 34, 43, 45) пермских отложений джаргалахской толщи по проницаемости относятся к VI классу, а по пористости 2 образца (УСТОЛ 32, 34) относятся к VI классу, 9 образцов (ХАСТ 69, ЧАР 11, 16, 17, 26, 51 и УСТОЛ 22, 43, 45) относятся к V классу и 2 образца (ЧАР 21 и ХАСТ 65) относятся к IV классу. 4 образца (ЧАР 55,60,70,80) пермских отложений бурской толщи по пористости относятся к V классу и 2 образца (ХАСТ73 и ЧАР 66) относятся к IV классу, а по проницаемости 5 образцов (ЧАР 60,66,70,80 и ХАСТ73) относятся к VI классу и 1 образец (ЧАР55) к V классу.

Класс	Название породы по преобладанию гранулометрической фракции	Пористость эффективная, %	Проницаемость по газу, мкм ²	Оценка коллектора по проницаемости и емкости
I	Песчаник среднезернистый	16,5	≥ 1	очень высокая
	Алевролит мелкозернистый	29		
II	Песчаник среднезернистый	15 – 16,5	0,5 - 1	высокая
	Алевролит мелкозернистый	26,5 - 29		
III	Песчаник среднезернистый	11 – 15	0,1 – 0,5	средняя
	Алевролит мелкозернистый	20,5 – 26,5		
IV	Песчаник среднезернистый	5,8 – 11	0,01 – 0,1	пониженная
	Алевролит мелкозернистый	12 – 20,5		
V	Песчаник среднезернистый	0,5 – 5,8	0,001 – 0,01	низкая
	Алевролит мелкозернистый	3,6 - 12		
VI	Песчаник среднезернистый	0,5	< 0,001	коллектор не имеет промышленного значения
	Песчаник мелкозернистый	2		
	Алевролит крупнозернистый	3,3		
	Алевролит мелкозернистый	3,6		

Рисунок 29. Классификация терригенных пород-коллекторов (Ханин, 1969 г).

$$1\text{мкм}^2=1000\text{мД}$$

Таким образом, большая часть образцов пермских отложений джаргалахской и бурской толщ по абсолютной газопроницаемости относятся к непроницаемым (18 образцов из 19) коллекторам и имеют низкую промышленную значимость. По значениям открытой пористости являются низкопористыми (13 образцов из 19) и обладают малой (10 образцов) и средней (9 образцов) ёмкостью.

РАЗДЕЛ 5.2. ТИПЫ ПОРИСТОСТИ И ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ

Нами было проведено исследование образцов Чарчкской-1 (ЧАР 16, 66, 55), Хастанской-930 (ХАСТ69, 73) и Усть-Оленекской-2370 (УСТОЛ 22, 32, 34, 43, 45) скважин пермских отложений с помощью микротомографа Skyscan 1172 (фирмы Bruker). Условия съемки были следующие: Scanner=Skyscan1172, Source Voltage (kV) (напряжение)= 100, Source Current (uA) (сила тока) = 100, Image Pixel Size (um) (размер пикселя) = 13.27, Filter (фильтр)=Al+Cu, Rotation Step (deg) (угол поворота)=0.200, Frame Averaging=ON (6) (усреднение по 6 снимкам).

Принцип работа микротомографа Skyscan 1172 (фирмы Bruker):

Рентгеновское излучение – это электромагнитные волны, энергия которых лежит на энергетической шкале квантов между ультрафиолетовым излучением и гамма-излучением. Наиболее широкое применение получили рентгеновские лучи с длиной волны 0,005–0,2 нм, которые используются для просвечивания образцов горных пород в целях изучения их строения, структуры и химического состава. Рентгеновское излучение образуется в источнике, которым в лабораторных условиях является специальная рентгеновская трубка, представляющая вакуумную емкость с помещенными внутрь двумя электродами – отрицательным катодом, выполненным в виде вольфрамовой нити, и положительным анодом, выполненным в виде пластинки, расположенной под углом. При прохождении тока по катоду из раскаленной нити вылетают электроны и направляются к аноду. Рентгеновское излучение возникает при торможении этих электронов, оно фокусируется специальной мишенью и направляется к исследуемому образцу.

Принцип действия метода рентгеновской томографии основан на получении серии рентгеновских изображений объекта, из которых с помощью программных методов получают объемное изображение. Наше исследование проводилось с помощью прикладного программного обеспечения (реконструкция - NRecon, обработка и сегментация - CTAn, визуализация - CTVox и Dataviewer). Для создания серии снимков образец помещают в держатель, который медленно вращается вокруг одной из осей, как правило вертикальной, на 360°. От скорости вращения зависит количество снимков и качество итоговой модели. Снимок формируется на цифровой кремниевой матрице, установленной напротив рентгеновской пушки, и представляет собой пиксельное изображение. Таким образом, создается серия рентгеновских снимков, которая преобразуется в объемную модель. Снимок представляет собой полутоновые изображения, в которых яркость характеризует степень поглощения рентгеновского излучения в результате фотоэффекта и комптоновского рассеяния. Степень поглощения зависит от физических свойств горной породы, чаще всего плотности.

Большое преимущество компьютерной микротомографии в том, что можно проводить исследование пустотного пространства пород без флюида. Благодаря высокому контрасту между твердой фазой и атмосферой возможно исследовать микроструктуры пор и трещин, их распределение и морфологию, а также выделять включения рентгеноконтрастных минералов (Савицкий, 2015 г).

В результате компьютерной томографии были получены реконструированные 3D модели (рис. 31-33).

На основании микротомографических исследований, микроструктурных особенностей, а также анализа порометрических данных, в пермских отложениях джаргалахской и бурской толщах Чарчыкской-1, Хастахской-930 и Усть-Оленекской-2370 скважин были выделены четыре типа пустотного пространства: поровый, порово-канальный, канално-поровый и микротрещиноватый (табл. 3).

Поровый тип (ЧАР 66, 55, ХАСТ 69 и УСТОЛ 22, 32, 45) характеризует собой пустотное пространство, состоящее в основном из пор, которые связываются между собой. Данный тип характерен для терригенных коллекторов, песчаников и алевролитов с небольшим содержанием глинистого материала (Кузьмин, 2016).

Порово-канальный тип (ЧАР 16, УСТОЛ 43) определяет пустотное пространство, где оно представляет собой поры-емкости, соединенные более узкими протяженными каналами (Кузьмин, 2016).

Канално-поровый тип (ХАСТ 73) характеризуется преобладанием пор, а их диаметр превышает диаметры соединяющих каналов. Это связано с формированием большого количества вторичных пор, увеличивающих емкость породы (Кузьмин, 2016).

Микротрещиноватый тип (УСТОЛ 34) встречается в плотных породах, не являющихся коллекторами, часто встречается микротрещиноватость. Чаще всего данные породы имеют плотную практически непроницаемую матрицу, в которой имеется система микротрещин протяженностью в пределах одного или нескольких миллиметров (рис. 33). Обычно микротрещины ориентированы вдоль напластования. Такое поровое пространство характерно для плотных низкопористых аргиллитов, известняков и доломитов – кремнистых с проницаемостью в десятые и сотые доли миллидарси (Кузьмин, 2016).

Количественные соотношения каналов и пор, а также их диаметров могут быть различными, что определяет тип порового пространства и существенно влияет на фильтрационные свойства коллектора. Это предположение объясняет причины слабой связи между пористостью и проницаемостью в низкопористых породах-коллекторах. Обычно проницаемость увеличивается с переходом от канального к порово-канальному (2 образца из

10), канально-поровому (1 образец из 10) и поровому (6 образцов из 10) типам емкостного пространства (Кузьмин, 2016).

По микротомографическим исследованиям и полученным данным о типах пустотного пространства, а также по результатам пористости и проницаемости данной закономерности обнаружено не было, что вполне может объясняться достаточно низкими значениями проницаемости данных пород.

Тип пустотного пространства	Джаргалахская толща	Бурская толща
Поровый	ХАСТ 69, УСТОЛ 22, 32, 45	ЧАР 55, 66
Порово-канальный	ЧАР 16, УСТОЛ 43	
Канально-поровый		ХАСТ 73
Микротрещиноватый	УСТОЛ 34	

Таблица 3. Типы пустотного пространства для пермских отложений джаргалахской и бурской толщ Чарчкской-1, Хастахской-930 и Усть-Оленекской-2370 скважин

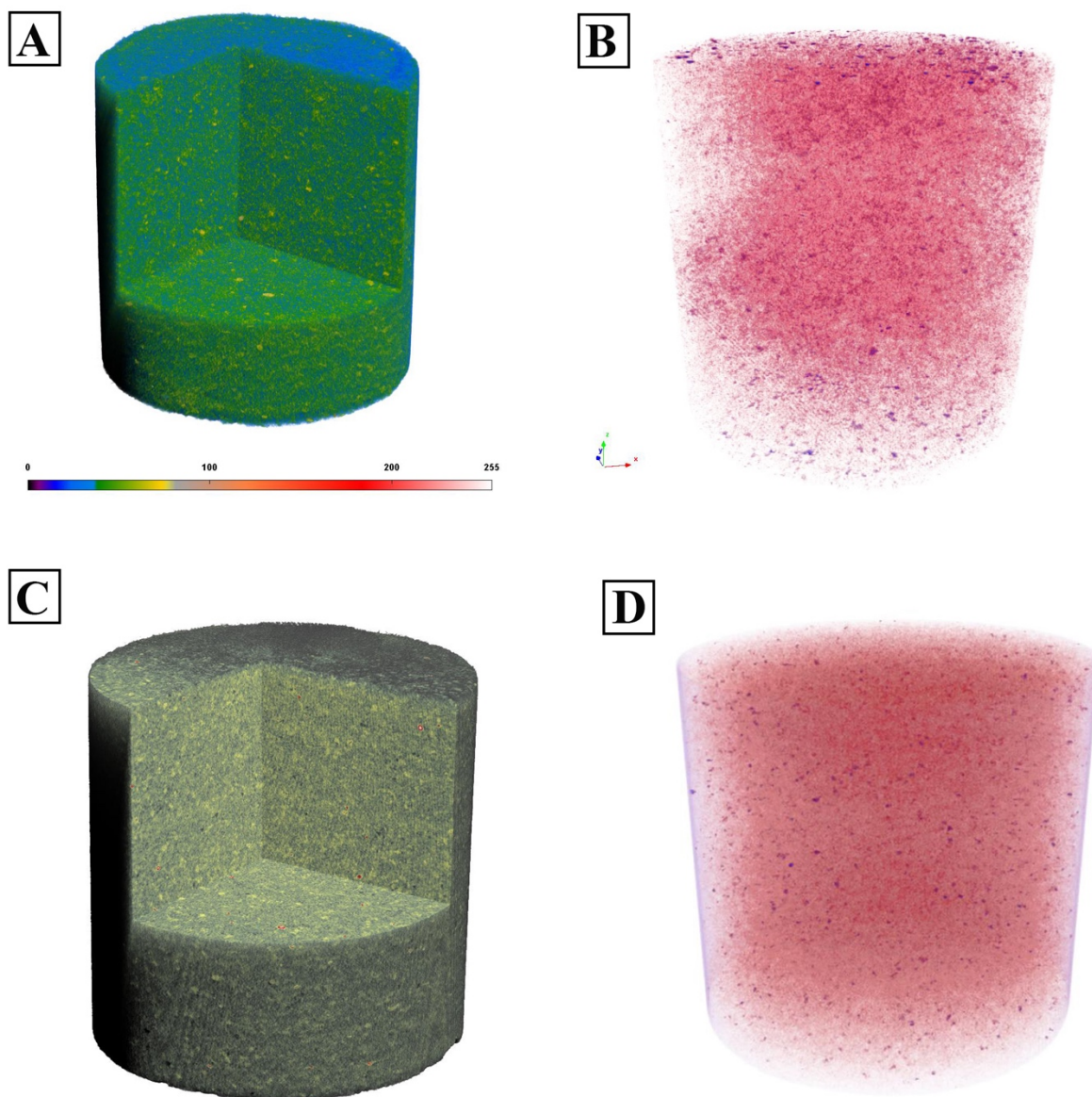


Рисунок 30. Реконструированные 3D-модели исследуемых образцов ЧАР 16 (А, В) с общей пористостью 9,5% и УСТОЛ 43 (С, D) с общей пористостью 6,3%. Фото иллюстрирует порово-канальный тип пустотного пространства. Для образца А - цветовая интерпретация оттенков серого (0- воздух, 255-самое плотное вещество). Фотографии В и С отражают пустотное пространство, красным цветом показаны мелкие поры, фиолетовым более крупные поры

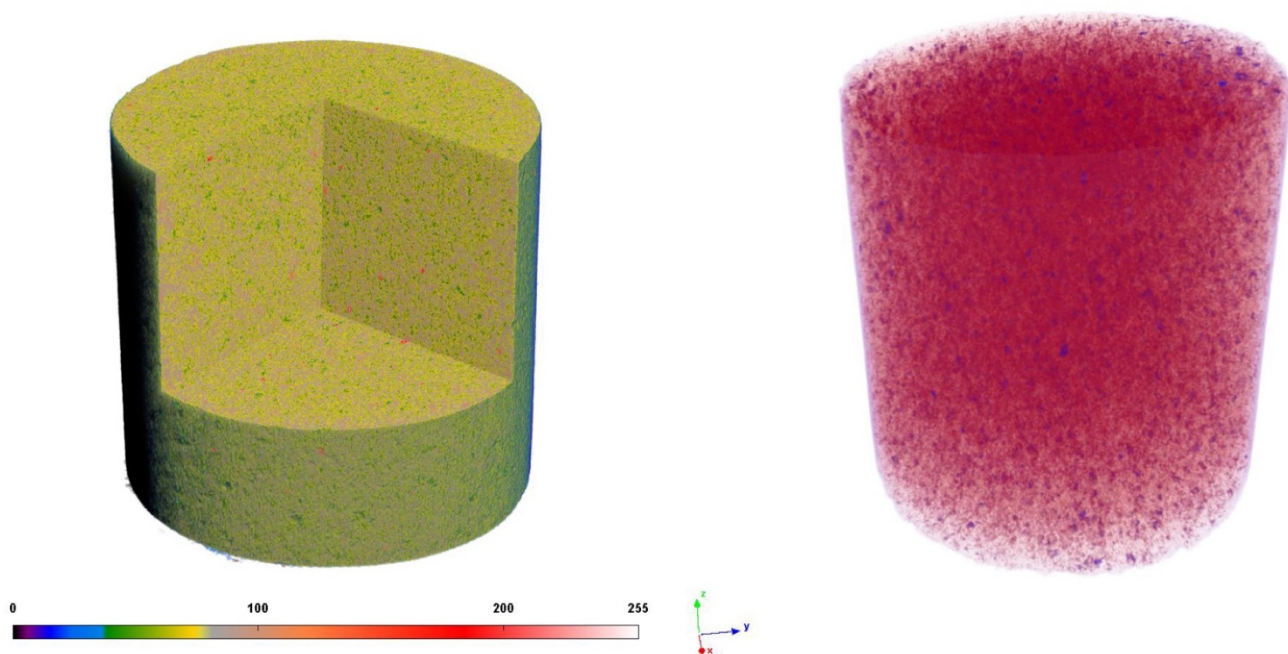


Рисунок 31. Реконструированная 3D-модель исследуемого образца ХАСТ 73 с общей пористостью 15,2%. Фото иллюстрирует канально-поровый тип пустотного пространства.

Для образца слева шкала - цветовая интерпретация оттенков серого (0 - воздух, 255 - наиболее плотное вещество). Фотография справа отражает пустотное пространство, красным цветом показаны мелкие поры, фиолетовым более крупные поры

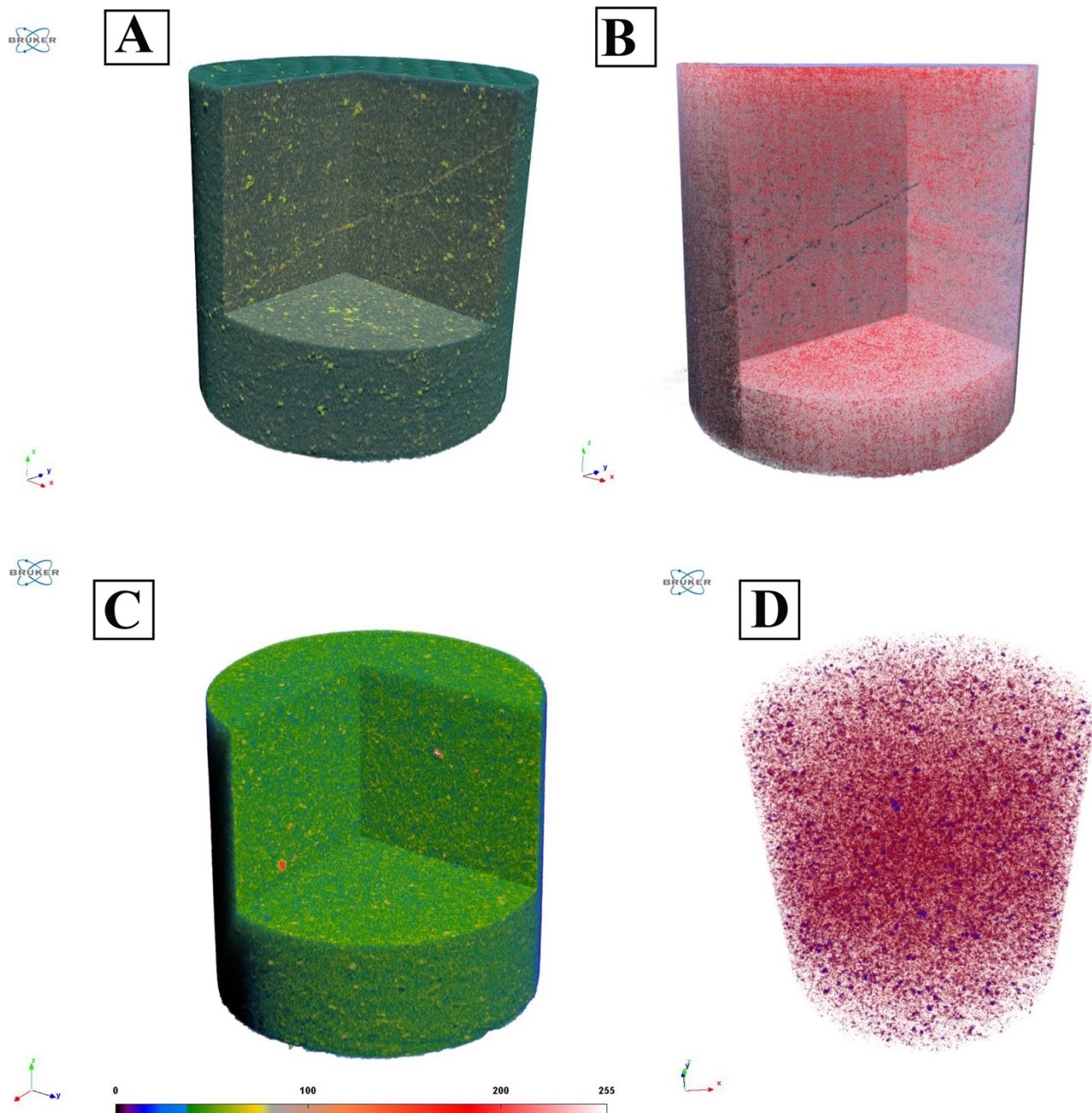


Рисунок 32. Реконструированные 3D-модели исследуемых образцов УСТОЛ 22 (А, В) с общей пористостью 4,5% и ЧАР 55 (С, D) с общей пористостью 12,9%. Фото иллюстрирует поровый тип пустотного пространства. Для образца С, шкала - цветовая интерпретация оттенков серого (0 - воздух, 255 - наиболее плотное вещество). Фотографии В и D отражают пустотное пространство, красным цветом показаны мелкие поры, фиолетовым более крупные поры. Также фотографии А и В иллюстрируют трещину, залеченную более плотным веществом, чем матрица

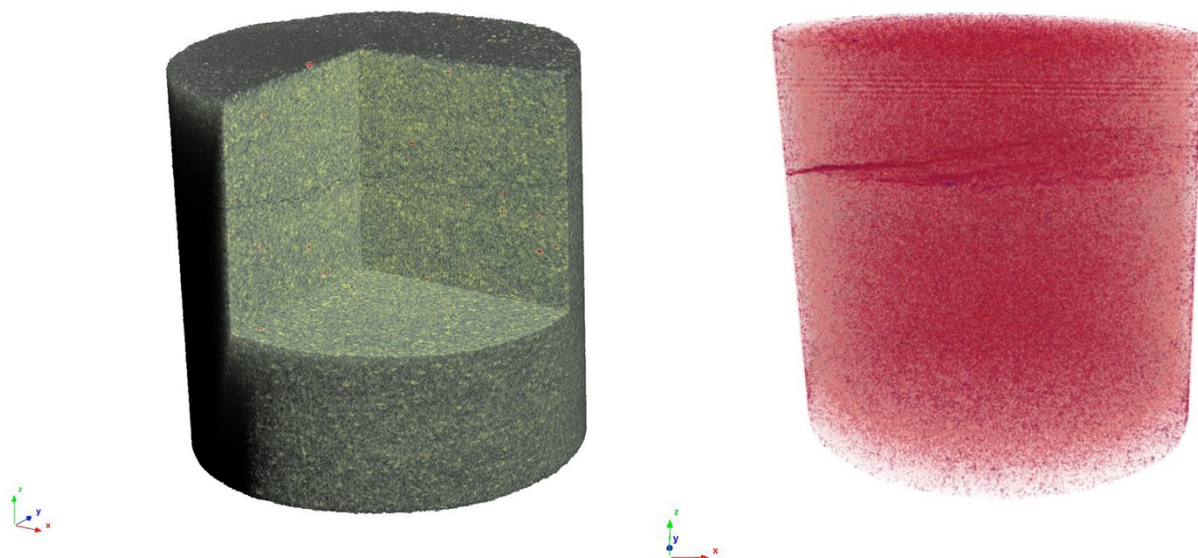


Рисунок 33. Реконструированная 3D-модель исследуемого образца УСТОЛ 34 с общей пористостью 4,3 %. Фото иллюстрирует микротрещиноватый тип пустотного пространства. Для образца слева темные участки соответствуют менее плотному веществу (поры), а более светлые участки более плотному веществу. Фотография справа отражает пустотное пространство, красным цветом показаны мелкие поры, фиолетовым более крупные поры, на фото можно наблюдать трещину, которая прослеживается по всему образцу

С помощью программного обеспечения STAn по реконструированным 3D моделям и плотностным сечениям были рассчитаны различными виды пористости для пермских отложений джаргалахской и бурской толщ Чарчкской-1, Хастахской-930 и Усть-Оленекской-2370 скважин (табл. 4, 5)

№образца	Пористость, %		
	Закрытая	Открытая	Общая
ЧАР16	1,9	7,6	9,5
ХАСТ69	5,1	3,4	8,5
УСТОЛ22	3,4	1,1	4,5
УСТОЛ32	2,5	0,1	2,6
УСТОЛ34	3,5	0,8	4,3
УСТОЛ43	1,0	5,3	6,3
УСТОЛ45	1,5	4,2	5,7

Таблица 4. Значения различных видов пористости джаргалахской толщи

№ образца	Пористость, %		
	Закрытая	Открытая	Общая
ЧАР66	1,3	10,2	11,5
ЧАР55	1,0	11,9	12,9
ХАСТ73	1,0	14,2	15,2

Таблица 5. Значения различных видов пористости бурской толщи

Открытая пористость существенно влияет на фильтрационно-ёмкостные свойства пород-коллекторов и является важным показателем при оценке коллекторских свойств. Проведём сравнение значения пористости, которые были получены при помощи прибора «Поромер» и значения, которые были вычислены с помощью микротомографа Skyscan 1172 (табл. 6, 7).

№ образца	Пористость (открытая) по поромеру, %	Пористость (открытая) по микротомографу, %
ЧАР16	3,5	7,6
ХАСТ69	3,9	3,4
УСТОЛ22	1,3	1,1
УСТОЛ32	0,2	0,1
УСТОЛ34	0,5	0,8
УСТОЛ43	5,5	5,3
УСТОЛ45	3,6	4,2

Таблица 6. Сравнение значений открытой пористости для джаргалахской толщи, полученной на приборе для измерения коэффициента открытой пористости «Поромер» и на микротомографа Skyscan 1172 (фирмы Bruker)

№ образца	Пористость (открытая) по поромеру, %	Пористость (открытая) по микротомографу, %
ЧАР66	11,3	9,5
ЧАР55	10,8	10,2
ХАСТ73	14,5	14,2

Таблица 7. Сравнение значений открытой пористости для бурской толщи, полученной на приборе для измерения коэффициента открытой пористости «Поромер» и на микротомографа Skyscan 1172 (фирмы Bruker)

Как видно из таблиц полученные значения открытой пористости по прибору для измерения коэффициента открытой пористости «Поромер» у семи образцов (ЧАР66, 55, ХАСТ69, 73 и УСТОЛ22, 32, 43) больше, чем результаты открытой пористости по микротомографу Skyscan 1172 (фирмы Bruker). А у других образцов трех образцов (ЧАР 16, УСТОЛ 34, 45) эти же значения по микротомографу Skyscan 1172 больше, чем по прибору для измерения коэффициента открытой пористости «Поромер».

Тем не менее большая часть образцов (9 образцов из 10) имеет примерно одинаковые значения открытой пористости, полученные по микротомографу Skyscan 11 и по прибору для измерения коэффициента открытой пористости «Поромер». Полученные значения по данным образцам имеют отклонение не более, чем на 1-2%. Однако, открытая пористость образца ЧАР 16 различается по микротомографу и «Поромеру» примерно на 4%, что в принципе тоже входит в пределы погрешности прибора.

По классификации (рис.18) по величине открытой пористости (Авдусин, Цветкова, 1943 г) и по значения открытой пористости, полученных на микротомографе Skyscan 1172 (фирмы Bruker) данные породы-коллекторы относятся к классу D (4 образца из 10), E (4 образца из 10) и C (2 образца из 10) и имеют малые и средние ёмкостные характеристики. По классификации (рис.20) терригенных пород-коллекторов (Ханин, 1969 г) эти же образцы относятся к пониженнопроницаемым (1 образец из 10), низкопроницаемым (5 образцов из 10) и имеют низкую промышленную значимость (являются неколлеторами 4 образца из 10).

Таким образом, большая часть образцов джаргалахской и бурской толщ исследуемых на микротомографе Skyscan 1172 (фирмы Bruker) обладает низкими фильтрационно-ёмкостными свойствами, что подтверждается схожими значениями результатов открытой пористости по прибору для измерения коэффициента открытой пористости «Поромер». Также большая часть образцов имеет поровый тип пустотного пространства, но корреляции между типами пустотного пространства и проницаемостью выявлено не было, что может объясняется достаточно низкими значениями проницаемости для данных пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы мною были выполнены сбор и анализ геолого-геофизической информации по исследуемому региону, петрографические исследования пермских отложений Хастахской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин, определение фильтрационно-ёмкостных параметров пермских отложений Хастахской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин, оценены фильтрационно-ёмкостные свойства и рассмотрена промышленная значимость пермских отложений в качестве пород-коллекторов Хастахской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин.

Петрографические исследования показали, что пермские отложения востока Лено-Анабарского прогиба Хастахской-930, Чарчыкской-1 и Усть-Оленекской-2370 скважин по составу относятся к полимиктовым грауваккам и имеют плохие коллекторские свойства из-за отсутствия порового пространства в шлифах, средней и плохой сортировки, преобладания тонкозернистых и мелкозернистых разновидностей, наличия конформной структуры, а также присутствия глинистого и карбонатного цемента. Существование всех вышеперечисленных параметров влияют на снижение пористости и проницаемости.

Электронная микроскопия уточнила петрографические исследования и показала, что в обломочной части присутствуют кварц, микроклин, ортоклаз, андезин, альбит. Были обнаружены два вида цемента – карбонатный и слюдистый, а также определен их тип по количеству и распределению в породе, по равномерности заполнения порового пространства и по соотношению цемента с обломочными зёрнами.

Фильтрационно-ёмкостные исследования, которые были проведены с помощью прибора для измерения коэффициента открытой пористости «Поромер» и прибора для измерения абсолютной газопроницаемости «Дарсиметр», показали, что большая часть образцов пермских отложений по абсолютной газопроницаемости относятся к непроницаемым (18 образцов из 19) коллекторам и имеют низкую промышленную значимость. По значениям открытой пористости являются низкопористыми (13 образцов из 19) и обладают малой (10 образцов) и средней (9 образцов) ёмкостью.

Результаты по микротомографическим исследованиям полностью подтверждают результаты, полученные по фильтрационно-ёмкостным исследованиям, и указывают на то, что пермские отложения обладают низкими фильтрационно-ёмкостными свойствами. Также большая часть образцов имеет поровый тип пустотного пространства, но корреляции между типами пустотного пространства и проницаемостью выявлено не было, что может объясняться достаточно низкими значениями проницаемости для данных пород.

Наши комплексные исследования показали, что пермские отложения восточной части Лено-Анабарского прогиба обладают плохими или низкокачественными фильтрационно-

ёмкостными свойствами, а именно относятся к низкопроницаемым или плохопроницаемым породам-коллекторам, имеют малую и среднюю ёмкость, а также являются промышленно малозначимыми в качестве-пород коллекторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ванин А.Л., Галабала Р.О., Крутий Г.В., Набатова Л.Н., Трещалов А.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (новая серия). Лист S-50-52-Быковский. Объяснительная записка. СПб.: Издательство СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2001 г., 189 с.
2. Конторович В.А., Конторович А.Э., Губин И.А., Зотеев А.М., Лапковский В.В., Малышев Н.А., Соловьёв М.В., Драдкин Г.С. Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны. Геология и геофизика, том 54, №8, 2013г., с. 1253-1274.
3. Конторович В.А., Конторович А.Э., Моисеев С.А., Соловьёв М.В. Структурно-тектоническая характеристика Лено-Анабарского региона. Геология нефти и газа Сибирской платформы, 2014 г., с.74-82.
4. Кузьмин В. А., Скибицкая Н.А. Микроструктурная классификация коллекторов нефти и газа. Актуальные проблемы нефти и газа. Вып. 3 (22) 2018 г. С. 11-18.
5. Розен О. М., Левский Л.К., Журавлев Д.З., Специус З.В., Ротман А.Я., Зинчук Н.Н., Манаков А.В., Серенко В.П. Анабарская коллизионная система: 600 млн лет сжатия в составе суперконтинента Колумбия (2.0-1.3 млрд. лет), Доклады Академии наук, том 417, 2007 г., с.806-809.
6. Наливкин Д. В. И др, Геологическая карта СССР и прилегающих акваторий. Министерство геологии СССР, ВСЕГЕИ, 1983 г.
7. Печерин В.Н. Определение пористости горных пород. Ухта:УГТУ, 2013 г., с.14.
8. Печерин В.Н. Определение проницаемости горных пород. Ухта:УГТУ, 2014 г., с.11.
9. Савицкий Я.В. Современные возможности метода рентгеновской томографии при исследовании керна нефтяных и газовых месторождений. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело, №15, 2015 г., с. 28-37.
10. Сафронов А.Ф. Природные битумы восточной части Сибирской платформы-потенциальный объект добычи углеводородного сырья. Наука и образование, №3, 2013 г., с.86-89.

11. Смелов А.П., Котов А. Б., Сальникова Е. Б., Ковач В. П., Березкин В.И., Кравченко А.А., Добрецов В.Н., Великославинский С.Д., Яковлева С.З. Возраст и продолжительность формирования Билляхской зоны тектонического меланжа, Анабарский щит. Петрология том 20, №3, 2012 г., с.315-330.
12. Ушаков А.В. Строение и эволюция осадочного бассейна восточной части Енисей-Хатанского и Лено-Анабарского прогибов. Магистерская диссертация, СПб, 2016 г., 129 с.
13. Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа нефтегазоносных провинций СССР, М., «Недра», 1973 г., 304с.
14. Шванов В.Н., Фролов В.Т., Сергеева Э.И. и др. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. СПб.:Недра, 1998 г., с.352.