

Санкт-Петербургский государственный университет

БОРИСОВА Валентина Андреевна

Выпускная квалификационная работа

МИНЕРАЛОГИЯ ОТЛОЖЕНИЙ СИСТЕМЫ КУЛОГОРСКИХ ПЕЩЕР
(ПИНЕЖСКИЙ РАЙОН, АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Основная образовательная программа бакалавриата

«Геология»

Геохимия

Научный руководитель: д.г.-м.н. проф.
Зайцев А.Н.

Консультант: асп. Седова А.М.

Рецензент: к.г.-м.н. Шаврина Е.В.

Санкт-Петербург 2018

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Геологическое строение территории	7
1.1 История развития территории	12
Глава 2. Образцы и инструментальные методы исследования	14
2.1 Места отбора проб	14
2.2 Инструментальные методы исследования.....	16
Глава 3. Минералого-петрографическая характеристика отложений Кулогорских пещер	19
3.1 Минералого-петрографическая характеристика современных нелитифицированных отложений (группа А).....	19
3.2 Минералого-петрографическая характеристика литифицированных отложений (группа В).....	26
3.3 Вариации состава доломита из цемента в отложениях групп А и В	33
3.4 Минералого-петрографическая характеристика пород, залечивающих палеокарст (группа С).....	35
3.5 Минералого-петрографическая характеристика глинистых пород вмещающей толщи (группа D)	39
Глава 4. Химический состав пород вмещающей толщи и отложений в пещерах.....	45
Заключение.....	47
Литература:.....	49
Приложение.....	51

Введение

Кулогорские пещеры находятся недалеко от деревни Кулогоры в Пинежском районе Архангельской области, входы в них вскрыты в подножии Кулогорского уступа в междуречье р. Пинега и р. Сотка (рис.1, рис.2). В районе развито большое количество форм подземного карста, которые приурочены к выходам сульфатных пород. Сульфатный тип карста достаточно распространен, но в исследуемом районе на формирование карстового рельефа достаточно сильно повлияли последние оледенения. Особенности геологического строения и развития территории сформировали уникальные карстовые ландшафты, которые не имеют аналогов на нашей планете (Малков В.Н. и др., 2001).

Кулогорские пещеры имеют статус уникального геологического объекта и являются геологическими памятниками регионального значения (Шаврина Е.В., 2014; <https://map.mineral.ru/>). Они относятся к пещерам лабиринтного типа с разветвленной сетью ходов и являются паводковыми (Малков В.Н. и др., 2001). Пещера Кулогорская-Троя уникальна тем, что имеет протяженность 17650 м и занимает второе место по протяженности среди гипсовых пещер в Европейской части нашего континента и четвертое место среди протяженных пещер России (<https://speleoatlas.ru>, <http://www.caverbob.com/gypcave.htm>).

Впервые описание Кулогорской пещеры было проведено в 1837 г. российским академиком Александром Ивановичем Шренком. В первой половине XX века множеством ученых прилагались усилия для создания подробного топографического описания пещер. Комплексные геологические же исследования проводились только в период 1974-1982 гг. Карстовым отрядом Архангельской геологической службы. Результаты исследований полученные Карстовым отрядом сведены в книгу «Карст и пещеры Пинежья» (Малков В.Н. и др., 2001). В книге рассмотрены различные типы отложений в пещерах Пинежья в целом. Приведены примеры наиболее древних отложений Пинежья – по датировкам полученных с помощью спорово-пыльцевого анализа (10.2 – 8 тыс.) установлены самые древние обломки и линзы карбонатного туфа на дне аллювиального канала в пещ. Голубинский Провал (Голубинский спелеомассив) (рис.2). Но предполагается, что существуют и более древние отложения песчано-алевроитовой породы с гипсовым цементом в пещ. Конституционная. На данный момент они не датированы.

По данным Малкова и др. (2001) вторичные отложения Кулогорских пещер были охарактеризованы следующим образом: 1) остаточные отложения; 2) водно-механические

отложения (ВМО), включающие озерные, аллювиальные и аллохтонные; 3) гравитационные отложения; 4) хемогенные – редко встречающиеся образования в виде натечных кор, сталактитов и др.

Остаточные отложения – это глинистый и карбонатный материал (остаток от растворения вмещающих пород), который смешивается с другими водно-механическими озерными отложениями и переоткладывается.

Озерные отложения по данным Малкова и др. (2001) представлены глинами, суглинками, алевритами. Основным источником которых, являются паводковые воды, но также в этих отложениях присутствует остаточный глинисто-алевритовый материал и мелкие обломки вмещающих пород, упавшие со свода пещеры. Однако по данным Седовой А.М. и Франца Н.А. (2017) паводковые воды не несут существенной доли материала с собой, приходя в пещеру в виде чистых талых паводковых вод. На верхних ярусах в других Пинежских пещерах (Спелеоморье, Пехоровский Провал) обнаружены ленточные озерные глины (Малков В.Н. и др., 2001).

Аллювиальные отложения формируются при внедрении в спелеомассив весенних паводковых вод, заполняющих магистральные туннели практически до сводов и образующие временные водотоки со скоростями до первых метров в секунду. Эти водотоки переносят обломочный материал, поступающий в пещеру из верхней части разреза, на значительные расстояния, формируя отложения в виде песков, алевритов и карбонатного щебня (Малков В.Н. и др., 2001).

Аллохтонные отложения представлены конусами выноса и осыпями под органическими трубами. По данным Седовой А.М. и Франца Н.А. (2017) они сложены материалом поверхностных четвертичных отложений: флювиогляциальными песками, суглинками и супесями, перемешанными с подстилающими их породами – в основном с доломитовым щебнем.

По времени образования ВМО разделяются на современные (отложения современных водотоков), молодые (залегающие выше действия современных потоков), древние (залегающие на верхних ярусах пещер и выполняющие древние каналы – без признаков литификации) и палеозаполнители (литифицированные отложения древних каналов, вероятно, неоген-четвертичного возраста или более древние) (Малков В.Н. и др., 2001). Все типы отложений, залегающие в Кулогорской системе, находятся в зоне сезонных колебаний уровней подземных вод, поэтому все ВМО, в том числе и древние, перекрываются современными отложениями.

Следующим этапом в изучении геологии Кулогорского спелеомассива стали подробные исследования минералогического состава всего комплекса вторичных отложений. Эти исследования проводятся на базе АССА «Лабиринт» силами сотрудников каф. минералогии ИНоЗ СПбГУ и при поддержке спелеологов из Секции Спелеологии Горного Института и консультации главного геолога Пинежского заповедника Е.В. Шавриной. Данная работа является частью этих исследований. В январе 2018 г. автор вместе с Седовой А.М. принимал участие в экспедиции в Кулогорские пещеры, на базе АССА «Лабиринт». Нами были отобраны часть образцов для этой работы.

Работа посвящена изучению минералогии отложений наиболее крупных пещер Кулогорского массива. Актуальность этой темы заключается в том, что минералогия отложений на сегодняшний день, изучена не очень хорошо. Ранее считалось, что отложения пещер сложены алевритисто-глинистым материалом (Малков и др., 2001, Затульская Т.Ю. и др., 2009). В этих отложениях Седовой А.М. изучалось содержание органического и неорганического углерода (2017) и была обнаружена зависимость содержания $C_{орг}$ и углерода карбонатов от степени литификации пород; Седовой А.М. и Францем. Н.А. (2017) петрографическими методами изучался минеральный состав отложений и на основе этих данных были выделены генетические группы пород. В данной работе продолжается изучение минералогического состава отложений пещер. Подробное изучение отложений может помочь определить историю формирования пещер, а определение источников сноса может помочь в реконструкции гидрологического режима пещер за все время их существования.

Главная цель этой работы – определить минералогический состав водно-механических отложений наиболее крупных пещер Кулогорского массива.

Для достижения этой цели было поставлено несколько задач: провести рентгенофазовый анализ для проб; с помощью электронной микроскопии уточнить минералогический состав пород; провести рентгенофазовый анализ глин в пробах; с помощью ацидиметрического метода и метода Тюрина определить содержание органического и карбонатного углерода; с помощью рентген-флуоресцентного метода определить валовый состав проб.

В работе использованы материалы, отобранные аспирантом ИНоЗ СПбГУ. А.М. Седовой в ходе экспедиции в марте 2017г., и материалы отобранные автором данной работы в ходе экспедиции в январе 2018г.



Рис. 1. Физическая карта Архангельской области

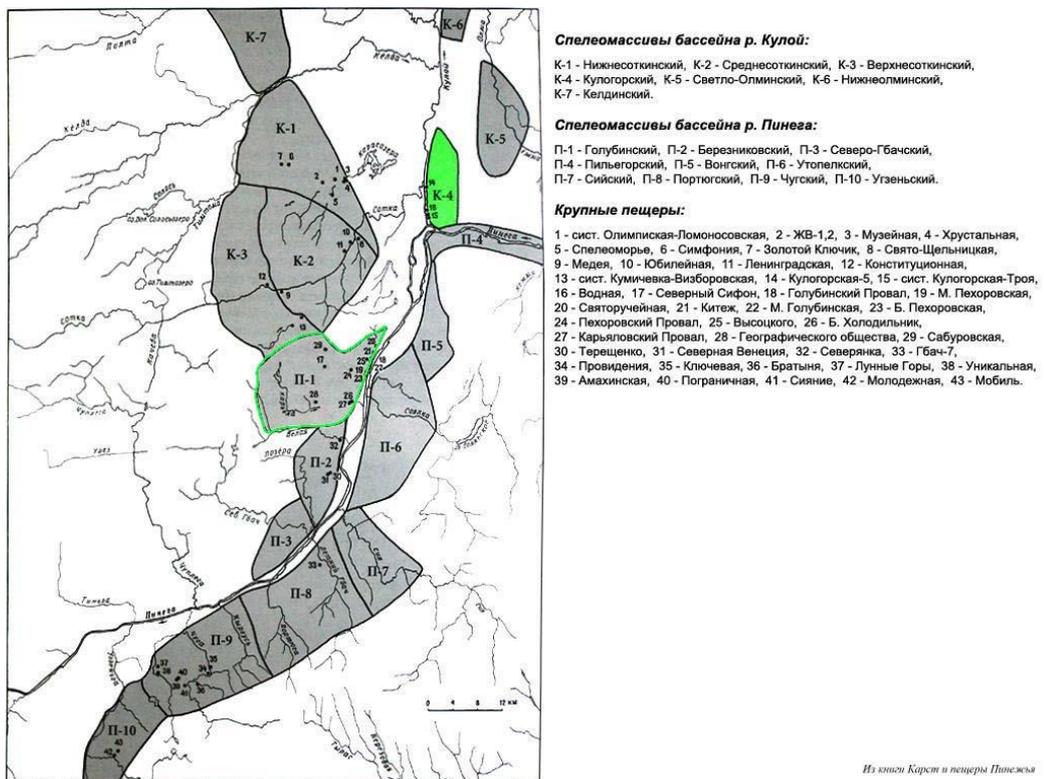


Рис. 2. Схема спелеомассивов. Зеленым закрашен Кулогорский массив, зеленым контуром выделен Голубинский массив. По данным Малкова В.Н. и др., (2001) с дополнениями автора.

Глава 1. Геологическое строение территории

Стратиграфия. Карстовые особо охраняемые природные территории Пинежья расположены в пределах Кулогорского уступа, который ограничивается с востока Пинежско-Кулойской низменностью, с юга р.Пинегой, с запада р Соткой. Уступ сложен гипсами, ангидритами и доломитами соткинской свиты и известняками кулогорской свиты сакмарского яруса нижней перми (Затульская Т.Ю. и др., 2009).

Под покровом рыхлых четвертичных отложений залегает мощная толща осадочных пород. Залегание пород субгоризонтальное, пологим наклоном (1-2°) в восточном и юго-восточном направлениях. По литологическому составу и условиям образования в толще осадочных пород на всей территории Пинежья выделяются формации: карбонатные (C₂₋₃, P_{1as}, P_{2kz2}), сульфатно-карбонатные (P_{1sot}, P_{1tr}, P_{1kl}), сульфатно-терригенные (P_{2u}), карбонатно-терригенные (P_{2kz1}) (рис. 1.2). Разрез карстующейся толщи Кулогорских пещер приурочен к карбонатной (P_{1as}) и сульфатно-карбонатной (P_{1sot}, P_{1kl}) формациям (Затульская Т.Ю. и др., 2009) (рис.1.1).

система	отдел	ярус	свита	индекс	литология	мощность, м	характеристика пород
пермская	НИЖНИЙ	сакмарский	кулогорская	Q		0,5-3	супеси, пески, суглинки
				P _{1kl}		9	доломиты, гипсы, реже мергели, прослои органического известняка и селенитов
				P _{1sot}		20	разнозернистые гипсы, преимущественно крупнозернистые, звездчатые, шестоватые и сахаровидные; кровля гипсов имеет волнистую, корродированную поверхность
						15-19	гипсы мелкозернистые и тонкозернистые с включениями вторичного гипса, два прослоя доломитов и три прослоя глин. В подошве залегают цепочечные гипсы.
		ассельский	P _{1as}		10-12	гипсы массивные, цепочечные, с прослоями ангидритов, 1 слой доломита	
	50-60			доломиты, известняки местами кремнистые, в верхней части огипсование; трещиноватые, закарстованные			

Рис. 1.1 Литолого-стратиграфическая колонка карстующихся пород в Кулогорском спелеомассиве (Атлас пещер России, в печати)

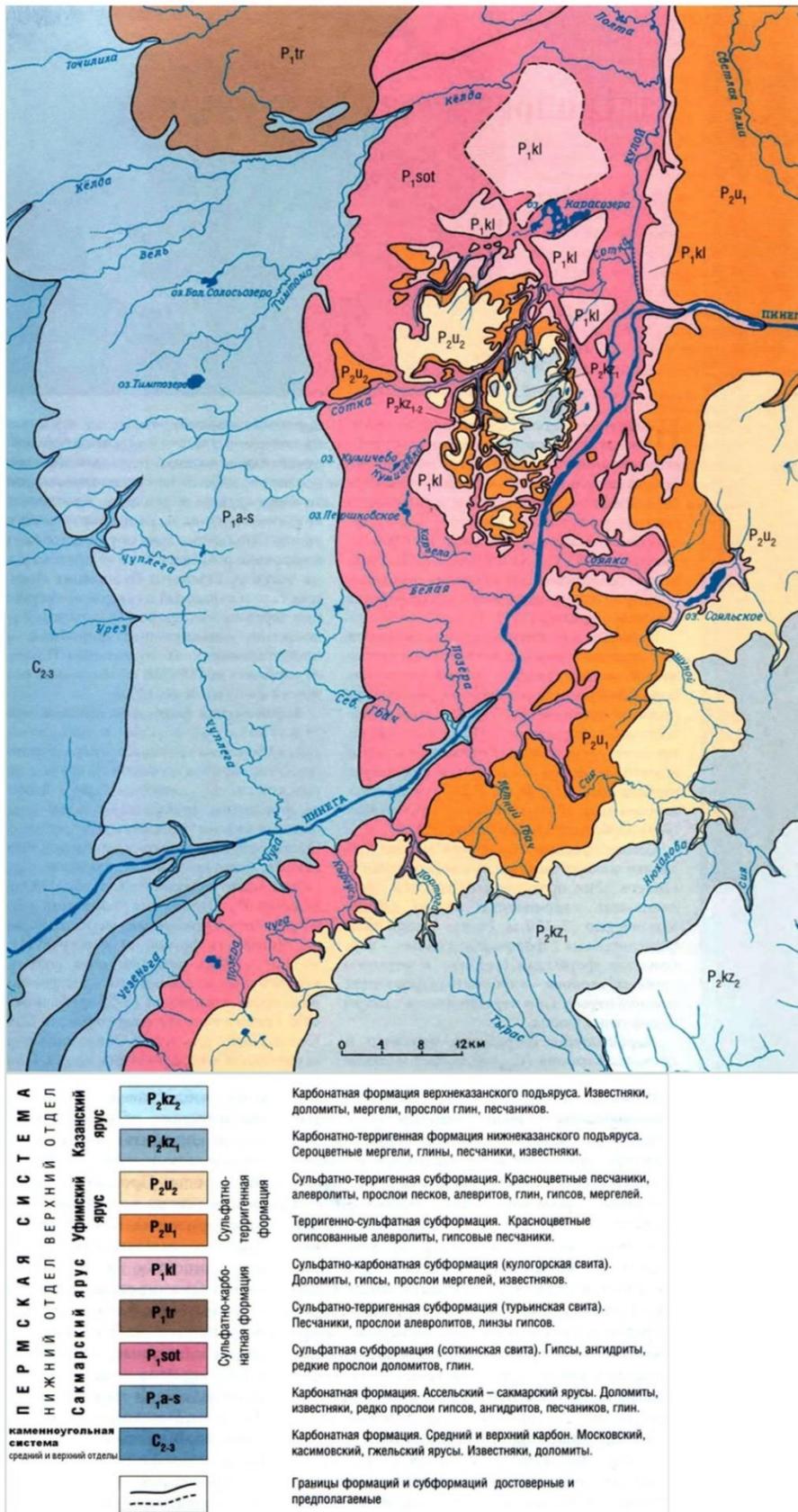


Рис. 1.2. Карта геологических формаций Пинежья (Малков и др., 2001).

Карбонатная формация нижней перми (P_{1as}) включает морские и лагунно-морские отложения сокольегорского и шиханского горизонтов ассельского яруса и полтинской свиты сакмарского яруса. В составе формации преобладают доломиты с подчинёнными прослоями известняков. Местами отмечается окремнение, а в верхней части – огипсование. Породы трещиноватые, закарстованные в кровле дезинтегрированы до состояния карбонатной муки. Очень редко встречаются прослои и линзы гипсов, ангидритов, песчаников, глин. Гипсы часто встречаются в виде гнёзд и включений. Мощность формации варьирует от 50 до 60 м.

Карбонатно-сульфатная формация (P_{1s}) включает отложения тастубского горизонта сакмарского яруса нижней перми, которые согласно залегают на отложениях карбонатной формации нижней перми (P_{1as}). Формация подразделяется на две толщи: нижняя – сульфатная субформация (P_{1sot}), верхняя – сульфатно-карбонатная (P_{1kl}).

Сульфатная субформация (P_{1sot}) включает лагунные отложения соткинской свиты сакмарского яруса нижней перми и представлена толщей гипсов и ангидритов с редкими маломощными прослоями (до 0,5 м) доломитов, алевролитов, глин и песчаников на карбонатно-гипсовом цементе. В верхней части разреза преобладают гипсы, в нижней – переслаивание гипсов и ангидритов. Гипсы нижней части разреза белые, светло-серые, розовые, светло-желтые, иногда полупрозрачные, коричневые или зеленовато-серые. Текстура массивная или пятнистая, тонкомелкозернистая, иногда крупнозернистая. Структура порфиробластовая, гетеробластовая, гранобластовая, тонкочешуйчатая, часто с крупными радиально-лучистыми кристаллами гипса второй генерации или с цепочками крупных кристаллов гипса. Для верхней части разреза характерны крупнозернистые гипсы, часто шестоватой структуры. По текстурным особенностям выделяются гипсы массивные, звездчатые, цепочечные, сахаровидные, вкрапленниковые. Встречается скрытокристаллическая и тонкозернистая разновидность гипса – алебастр. В зонах дробления в глинистых прослоях часто встречается тонковолокнистая разновидность гипса - селенит, обычно розового или белого цвета. Ангидриты обычно микромелкозернистые, среднезернистые, светло-голубого, голубовато-серого, реже серого и интенсивно-голубого цвета. Текстура пятнистая, массивная, линзовидно-волнистая. Структура микромелкозернистая, спутанноволокнистая. Мощность слоев и линз ангидритов от 0,1 до 6 м и более. Встречаются переходные разновидности – гипсо-ангидриты. Толщу сульфатных пород можно разделить на 3 пачки:

Нижняя пачка сложена гипсами массивными, цепочечными, с прослоями ангидритов мощностью до 3-6 м. В пачке выделяется 1 слой доломита мощностью 0,2-0,5 м. Под доломитом залегает прослой глин. Мощность пачки 10-12 м.

Средняя пачка сложена гипсами мелкозернистыми и тонкозернистыми, в середине разреза с вкрапленниками вторичного гипса. В подошве залегают цепочечные гипсы. В пачке выделяются два прослоя доломитов и три прослоя глин. Мощность пачки 15-19 м.

Верхняя пачка мощностью 20-22 м сложена разнозернистыми гипсами, преимущественно крупнозернистыми, звездчатыми, шестоватыми и сахаровидными. Кровля гипсов имеет волнистую, корродированную поверхность. В породах этой пачки заложены Кулогорские пещеры.

Мощность отложений формации от 40 до 70 м.

Сульфатно-карбонатная субформация (P_{1kl}) включает лагунно-морские отложения кулогорской свиты сакмарского яруса нижней перми и представлена толщей переслаивающихся доломитов, гипсов, реже мергелей, иногда с прослоями известняков. Доломиты желтовато-серые, светло-серые, известковистые, огипсованные, прослоями окремненные, микротонкозернистые. Мощность субформации в районе пещер около 9 м (Малков В.Н. и др., 2001; Затульская Т.Ю. и др., 2009).

Четвертичный покров сложен комплексом ледниковых отложений двух материковых оледенений и современными отложениями. В районе Кулогорских пещер развиты озерно-ледниковые отложения, представленные флювиогляциальными песками, суглинками и супесями, мощность которых составляет от 0,5 до 3 м (Седова А.М., Франц Н.А., 2017).

Тектоника. Геоморфологически изучаемые пещеры относятся к коренному структурно-денудационному Кулогорскому уступу, имеющему среднюю высоту 18 м. Геоморфологические признаки указывают на новейшие поднятия на участке между Кулогорами и устьем реки Сотки. Система пещер заложена в зоне Пинего-Кулойского субмеридионального разлома. В подошве терригенно-сульфатной и карбонатно-сульфатной формаций установлены швы скольжения, выше и ниже которых отмечаются зоны повышенной трещиноватости и в этих зонах заложены пещеры. По основным разломам этой территории были заложены Беломоско-Кулойский уступ и речные долины крупных рек, а по оперяющим диагональным разломам заложены магистральные ходы пещер. Пещерные ходы развиты по тектоническим трещинам и трещинам напластования.

Входы в пещеру расположены у подножия Кулогорского уступа, задернованного и с редкими скальными выходами склона древне эрозионно-ледниковой долины вдоль Пинего-Кулойского канала (Затульская Т.Ю. и др., 2009).

1.1 История развития территории

История геологического развития территории в целом соответствует истории развития Мезенской синеклизы. На Мезенской синеклизе в среднем карбоне – перми сначала идет накопление красноцветной толщи преимущественно песчаных пород в дельтовых и прибрежно-морских до мелководных условиях. Затем слабое непрерывное опускание территории без заметного расширения трансгрессии привело к образованию карбонатных толщ. В конце этого этапа началась регрессия моря.

В средней-поздней перми – раннем триасе из-за коллизии Сибирского континента с Восточно-Европейским континентом закрылся Уральский океанический бассейн, что привело к образованию нового источника сноса на Мезенскую синеклизу. В осадках начинает преобладать терригенная составляющая.

Юра-ранний мел, кайнозой. Начиная с триаса территория начинает подниматься и занимает приподнятое положение над уровнем моря. К началу неоплейстоцена уже существовали современные структуры. В четвертичное время территория подвергалась неоднократным оледенениям, которые сменялись морскими трансгрессиями. На изучаемой территории были найдены отложения двух оледенений: московского и поздневалдайского (Журавлев В.А. и др., 2012; Пучнина Л.В. и др., 2008; Затульская Т.Ю. и др., 2009).

По данным В.Н Малкова, развитие Пинежского карста проходило в четыре этапа.

Первый этап проходил со второй половины неогена по середину раннего плейстоцена. На этом этапе на плоской равнине с абсолютными отметками высот до 100 м. под действием трансгрессии и поднятия территории сформировалась сеть оврагов.

Второй этап проходил в период чередования похолоданий и потеплений в середине раннего плейстоцена. В это время на территории последовательно развивались три оледенения и для развития карста эти условия были неблагоприятны. Несмотря на это, из-за изостатических поднятий при деградации ледников, могли образовываться крупные поверхностные формы карста и подземные пустоты.

Третий этап проходил в позднем плейстоцене. В это время рельеф территории и речная сеть были похожи на современные. Море покрывало Нижнепинежскую и Верхнекулойскую низины, но на левом берегу Пинеги существовала островная суша. На

ней происходила интенсивная эрозия и развитие подземного и поверхностного карста. В микулинское время прорабатывались ярусные пещеры, расположенные на высоком гипсометрическом уровне. Во время поздневалдайского оледенения процессы карстообразования прекратились. Таяние ледника сформировало условия для интенсивного площадного поверхностного и подземного карстообразования. Вместе с новообразованием шло углубление и расширение доледникового карста. Обильный талый и подледниковый сток обеспечил интенсивный рост и частичное разрушение существующих пещер. Неравномерное опускание массивов под действием нагрузки ледника вызвало раскрытие тектонических трещин внутри карбонатных и сульфатных толщ.

Четвертый этап проходил в голоцене. В это время деградировала многолетняя мерзлота, устанавливался речной сток, заболачивались последниковые озера и чередовались потепления и похолодания. В начале голоцена на западной части территории отсутствовал материковый лед, но сохранялась многолетняя мерзлота. На восточной еще продолжалось таяние Кулойского ледника. Гипсометрически территория была немного ниже, чем сейчас и в долинах рек Пинеги и Кулоя существовал озерно-ледниковый бассейн. Понижение базиса эрозии, повышение температуры и влажности в ранних периодах голоцена активизировали карстовые процессы, но в позднем голоцене климат ухудшился, и темпы карстообразования снизились. В целом, этот этап был благоприятен для развития карста. (Пучнина Л.В. и др., 2008; Малков В.Н. и др., 2001).

Глава 2. Образцы и инструментальные методы исследования

2.1 Места отбора проб

Нами были изучены образцы из разных мест в пещерах (рис. 2.1.1): отобранные с пола (ТР-2, К-13, ТР-1, А-6, А-10) (рис. 2.1.2, рис.2.1.3), с полок расположенных на разной высоте от уровня свода (А-7, К-4) (рис. 2.1.4, рис.2.1.5), из трещин (А-3), отложения залечивающие небольшие трещины в монолите гипса - палеокарст и из «красных» глинистых прослоев вмещающей толщи (А-11, А-8, А-12) (рис. 2.1.6), отобранные на разных уровнях разреза. Образцы с пола и полок имеют разную степень литификации и отличаются по особенностям минералогического состава (см. Главу минералогическая характеристика). В связи с этим для удобства работы все изученные образцы, по данным Седовой А.М и Франца Н.А. (2017), были поделены на четыре группы:

- А – современные не литифицированные отложения;
- В – более древние литифицированные отложения;
- С – отложения залечивающие небольшие трещины в монолите гипса;
- Д – породы из вмещающей толщи;

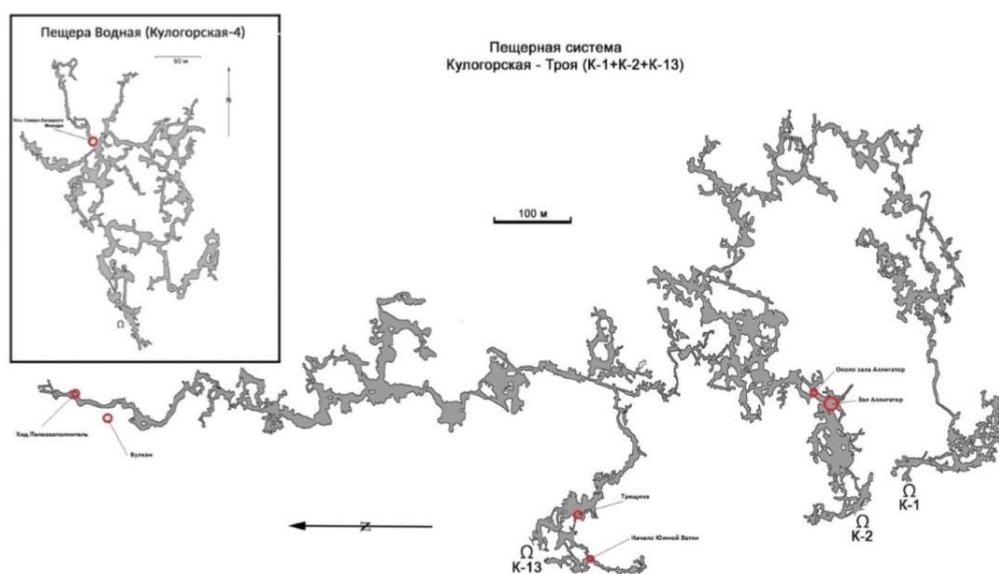


Рис. 2.1.1 Места отбора проб (Седова А.М., Франц Н.А., 2017).

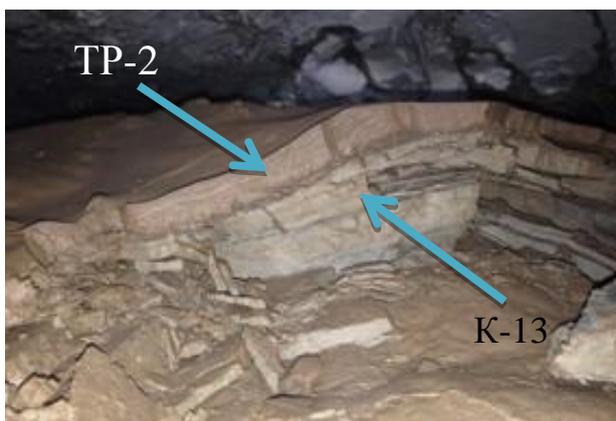


Рис. 2.1.2. Место отбора мергелей (обр. ТР-2 и К-13) на полу галереи хода Палеозаполнитель, пещ. К-13



Рис. 2.1.3 Место отбора алевропесчаника (обр. А-6). На полу зала Аллигатор, пещ. К-2



Рис. 2.1.4 Место отбора аргиллита (обр. А-7). Полка над сводом в зале Аллигатор, пещ. К-2.

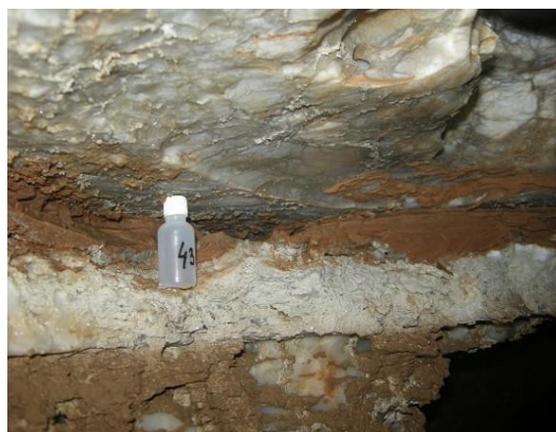


Рис. 2.1.5 Место отбора кальцитового туфа (обр. К-4). Полка над сводом в Северо-Западном меандре, пещ. К-4



Рис. 2.1.6 Место отбора тонко-мелкозернистого песчаника (обр. А-12). Зал Аллигатор, коренная толща, пещ. К-2.

Петраграфическое описание изученных образцов приведено по данным А.М. Седовой и Н.А. Франца (2017). В данной работе изучались те же самые образцы, что в упомянутой статье.

2.2 Инструментальные методы исследования

Рентгенофазовый анализ.

Анализ проводился на порошковом дифрактометре Rigaku MiniFlex II в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования». Пробы (12 шт.) истиралась в агатовой ступке, полученный порошок помещался на круглое предметное стекло и с помощью спирта выравнивалась поверхность. Затем стекло закреплялось в кювете и помещалось в прибор. Съемка проводилась с использованием излучения $\text{CoK}\alpha$ и $\text{CuK}\alpha$, при напряжении на рентгеновской трубке 30 kV и силе тока 15 mA. Диапазон сканирования от 3 до 70° с кобальтовым анодом и от 5 до 70° с медным анодом с минимальным шагом 0,020 и со скоростью съемки 2°/мин. После получения рентгенограммы проводилось ее сравнение с рентгенограммами известных минералов в картотеке PDXL2. Таким образом, были установлены основные фазы в пробах.

Для определения фазового состава глинистых минералов проба истиралась в агатовой ступке. Полученный порошок помещался в стеклянный стакан, заливался дистиллированной водой и перемешивался стеклянной палочкой, в течение часа полученный раствор отстаивался – во взвеси остается глинистая фракция. С поверхности отбиралась взвесь глинистой фракции и помещалась на предметное стекло. Полученные образцы высыхали естественным образом. Образцы снимались в три этапа (с использованием излучения $\text{CoK}\alpha$, при напряжении на рентгеновской трубке 30 kV и силе тока 15 mA, при диапазоне 3 – 55° с минимальным шагом 0,020 и со скоростью съемки 2°/мин): образец без изменения, после эксикатора с этиленгликолем и после отжига при 550°C.

Электронная сканирующая микроскопия и EDS анализ.

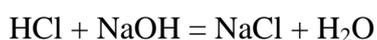
Для проведения исследования методом электронной микроскопии были использованы полированные шайбы (9 шт.), напылены углеродом. Исследования проводились на настольном растровом электронном микроскопе-микроанализаторе TM 3000 (НИТАСНИ, Япония) в ресурсном центре СПбГУ «Микроскопии и микроанализа» при следующих параметрах: ускоряющее напряжение 15 kV, ток 1,7 nA. Изображения получены в обратно отраженных электронах.

Рентген-флуоресцентный анализ

Анализ проводился на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX-800P в образовательном ресурсном центре СПбГУ «Инновационные технологии композитных наноматериалов», аналитик Кириченко Сергей Олегович. Съемка проводилась в вакууме, с напряжением от 15 до 50 kV и коллиматором 10 мм.

Ацидиметрическое определение карбонатов

Анализ проводился на кафедре почвоведения биолого-почвенного факультета Института Наук о Земле СПбГУ под руководством заведующей лаборатории к.с.-х.н Надпорожской М.А. Метод основан на разрушении карбонатов титрованным раствором соляной кислоты при суточном настаивании и последующем титровании избытка кислоты щелочью.



Навеску пробы, равную примерно 0,1г, помещали в коническую колбу, приливали 100 мл 0,2н. HCl и оставляли на сутки, периодически взбалтывая. После настаивания раствор отфильтровывался через фильтровальную бумагу. Из отфильтрованного раствора отбиралось 10 мл, добавлялось 2-3 капли индикатора фенолфталеина и титровалось 0,2 н. NaOH до появления устойчивой фиолетовой окраски. Содержание CO₂ карбонатов вычислялось по формуле:

$$\frac{(a * n1 - v * n2) * v * 0,022 * 100}{г} * K = \% \text{CO}_2$$

Где а – объем аликвотной части раствора, взятый на титрование в мл; n1 – нормальность раствора HCl; в – количество мл щелочи, пошедшей на титрование аликвотной части; n2 – нормальность раствора щелочи; v – объем всего раствора кислоты; 0,022 – величина мг*экв CO₂; г – воздушно-сухая навеска; К – коэффициент пересчета воздушно-сухой навески на высушенную при 100-105° (Аринушкина Е.В., 1970).

Определение содержания углерода органических соединений методом Тюрина в модификации Б.А.Никитина

Анализ проводился на кафедре почвоведения биолого-почвенного факультета Института Наук о Земле СПбГУ под руководством заведующей лаборатории к.с.-х.н Надпорожской М.А. Метод основан на окислении органического вещества серноокислым раствором бихромата калия. В модификации Б. А. Никитина (Орлов Д.С., Гришина Л.А.,

1981) органическое вещество сжигается в сушильном шкафу при 150°C для повышения точности и воспроизводимости метода. Для проведения анализа навеску, равную 0,1г, помещают в колбу 50 мл и заливают 20 мл хромовой смеси. Затем колбы помещаются в сушильный шкаф, предварительно нагретый примерно до 150°C. После нагревания колбы охлаждают и разбавляют водой до 50 мл. После того как раствор сутки отстоится, измеряют его оптическую плотность на фотоэлектроколориметре при λ 590 нм.

Термообработка проб проводилась при 140°C в течении 20 минут. Оптическая плотность измерялась фотоэлектроколориметре КФК-2 при λ 590 нм.

Глава 3. Минералого-петрографическая характеристика отложений Кулогорских пещер

3.1 Минералого-петрографическая характеристика современных нелитифицированных отложений (группа А)

Современные нелитифицированные отложения представлены мергелистым материалом (образцы А-10, ТР-1, ТР-2)(рис. 3.1.1, рис. 3.1.3) и алевропесчаниками (обр. А-6) (рис. 3.1.2) с глинисто-карбонатным цементом. Породы имеют коллоидно-зернистую структуру и тонкослоистую текстуру (рис. 3.1.1). Текстура обусловлена наличием прослоев коричневых колломорфных карбонатных глин и остатков органического вещества.

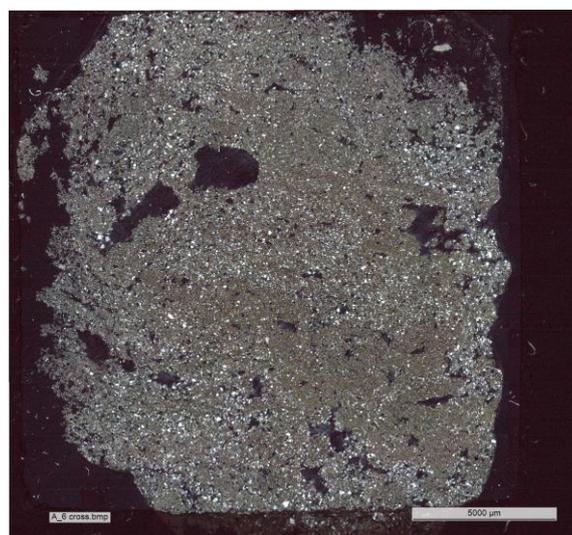


Рис.3.1.1 Мергелистый материал тонкослоистый с комками доломита (обр. ТР-1).

Рис.3.1.2. Алевропесчаник (обр. А-6) с глинисто-карбонатным цементом с комками доломита, с мелкими остатками органического вещества и гидроокислами железа. Скращенные николи.

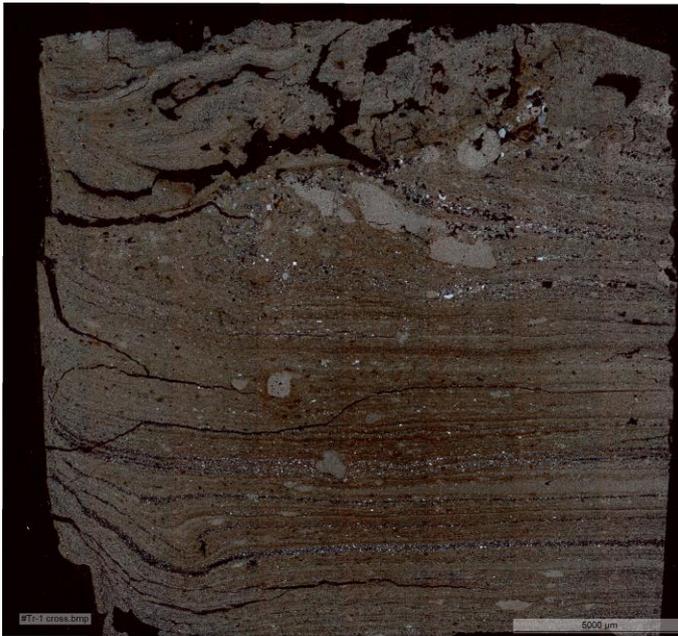


Рис.3.1.3. Мергелистый материал (обр. ТР-1) с коллоидной структурой слоистой тонкослоистой текстурой, с прослоями алевритистого материала, с комками доломита с растительными остатками. Скрещенные николи.

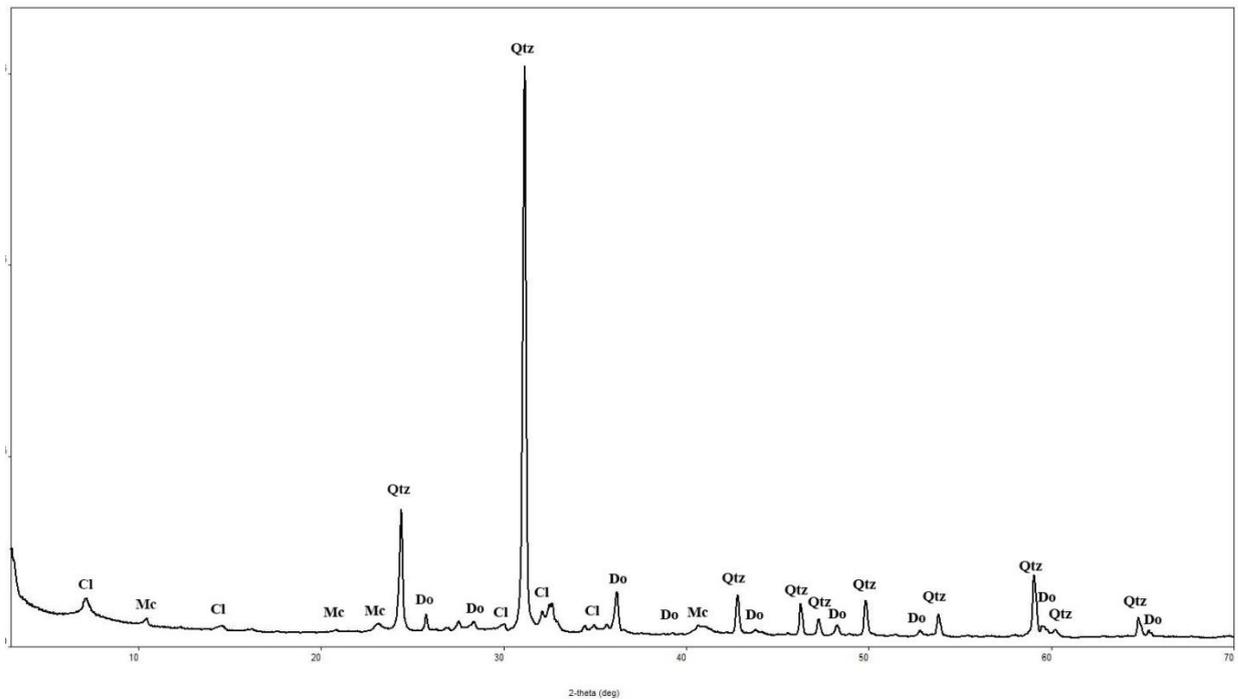


Рис.3.1.4 Рентгенограмма алевропесчаника (обр. А-6). Do – доломит, Qtz - кварц, Cl-хлорит, Mc-слюда

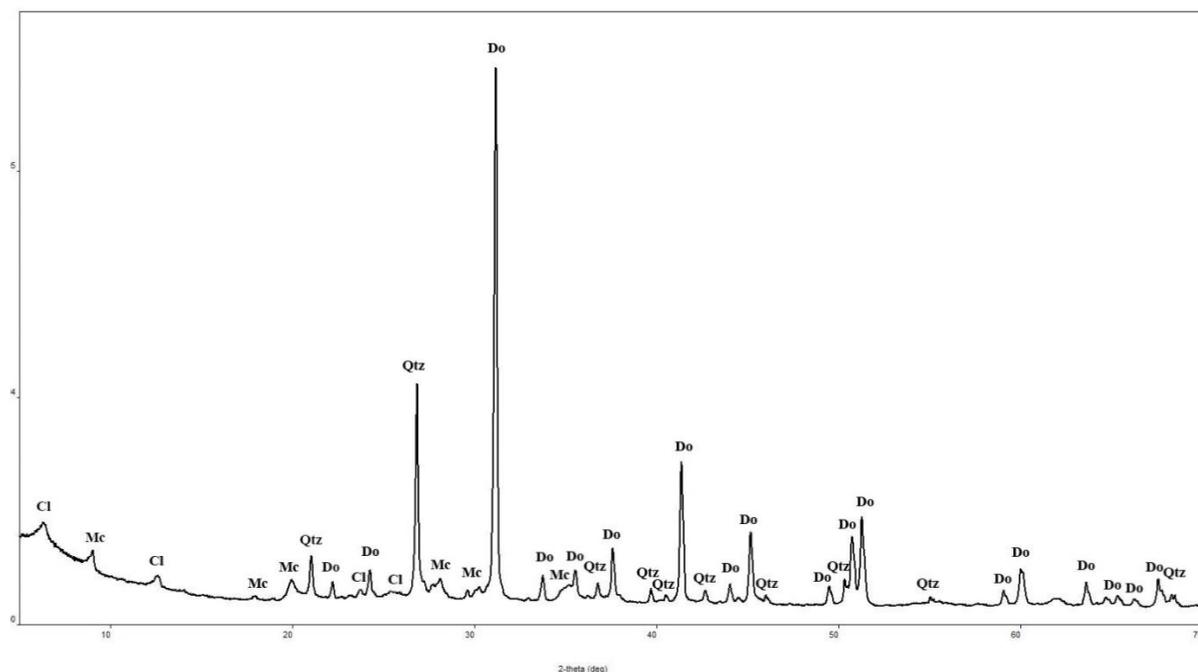


Рис.3.1.5 Рентгенограмма мергелистого материала (обр. TP-2). Do – доломит, Qtz - кварц, Cl-хлорит, Mc-слюда

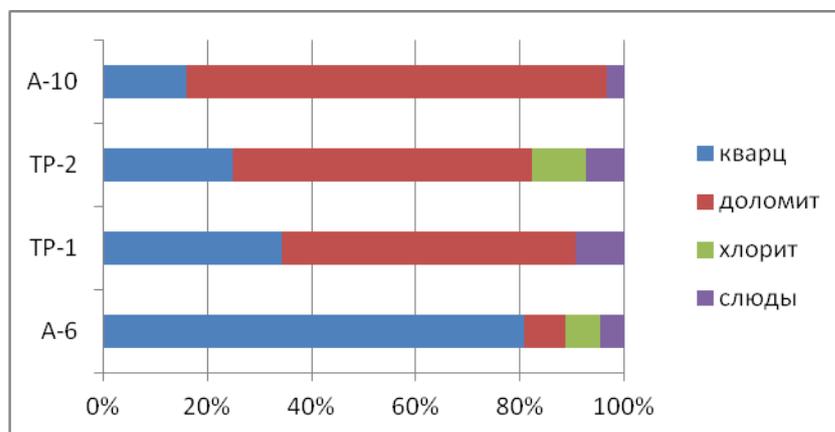


Рис.3.1.6 Соотношение основных фаз в группе А

Основными фазами являются для алевропесчаника: кварц – основная фаза, доломит – мало, слюда, хлорит – следы (рис.3.1.4, рис. 3.1.6). Для мергелистых пород: доломит - основная фаза, кварц – много, слюды – мало, хлорит – переменное количество (рис. 3.1.5, рис. 3.1.6). В составе цемента мергелистых пород (обр. TP-1, TP-2) определены следующие глинистые фазы: больше всего иллита (пик - 10 ангстрем). Хлорит (пик - 14 ангстрем) и смектит (пик - 17 ангстрем) - поровну (и меньше, чем иллита). Меньше всего каолинита (исчезающий пик на 7 ангстрем и раздвоение пика на 3.5 ангстрем) (рис. 3.1.7)

Таб 3.1.1. Соотношение углерода карбонатов и углерода органических соединений в группе А		
	CO ₂ %	C _{орг} %
Группа А		
А-10	40,1	0,6
А-6	5,1	1,4
ТР-1	17,2	1,3
ТР-2	17,4	1,1

Содержание карбонатов (CO₂) в алевропесчаниках значительно ниже чем в мергелистых породах – около 5 вес. %. Содержание углерода органических соединений (C_{орг}) в этих породах меньше чем в мергелях, его содержание около 0, 6 вес. % (табл. 3.1.1).

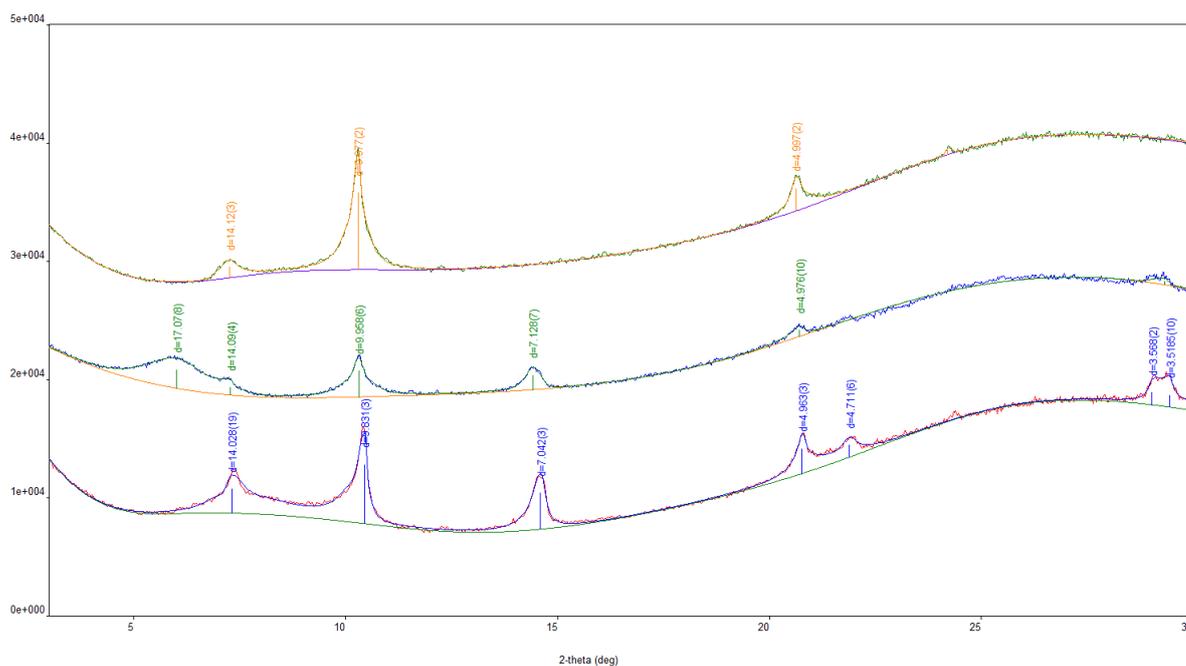
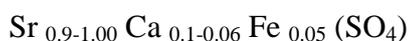


Рис. 3.1.7. Рентгенограммы глинистых фаз из мергеля (обр. ТР-1): 1. образца без изменений, 2. после этиленгликоля, 3. после обжига.

Доломит цемента – является постседиментационным (вторичным), имеющий характерную ромбическую морфологию зерен с зональным строением, схожую с описанной в нефтяных коллекторах в книге (Бурлин Ю.К. и др. 1991). Вариации химического состава представлены ниже:

Целестин - в виде обломков неправильно формы, без следов окатанности (рис. 3.1.9, приложение рис.8). В составе целестина наблюдается незначительная примесь Са и Fe. Вариации кристаллохимических формул целестина представлены ниже:

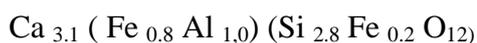


В качестве отдельных обломков встречается кальцит в виде угловатых зерен всегда оконтуренный вторичным доломитом. В его составе присутствует довольно большая доля Mg, что говорит о метасоматическом изменении первичного кальцита. Вариации кристаллохимических формул представлены ниже:



Гипс – в виде идиоморфных зерен и окатанных обломков. Кристаллохимическая формула: $\text{Ca}_{1,0} \text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Апатит – в виде неокатанных обломков вытянутой формы. Кристаллохимическая формула: $\text{Ca}_{5,00} (\text{PO}_4)_3 (\text{F}, \text{OH})_2$. Титаномагнетит – в виде включений в кварце: $\text{Fe}_{2,62} \text{Ti}_{0,38} \text{O}_4$ и в виде отдельных зерен с составом близким к идеальному: $\text{Fe}^{2+}_{1,00} (\text{Fe}^{3+}_{0,26} \text{Fe}^{2+}_{1,6} \text{Si}_{0,1})_{2,0} \text{O}_4$. Хромшпиделиды – в виде окатанных изометричных зерен. Кристаллохимическая формула: $(\text{Fe}_{0,8} \text{Mg}_{0,3})_{1,1} (\text{Cr}_{1,4} \text{Al}_{0,5})_{1,9} \text{O}_4$. Кварц – в виде неокатанных и слабоокатанных зерен неправильной формы.

Гранат – представлен рядом андрадита, зерна корродированные, средней степени окатанности.



Хлорит – развивается по пластинчатым агрегатам флогопита.



Минеральная ассоциация для группы: кварц, плагиоклаз, К-Na-полевой шпат, гипс, целестин, хлорит. Акцессорные минералы: андрадит, титанит, титаномагнетит, титанит, апатит.

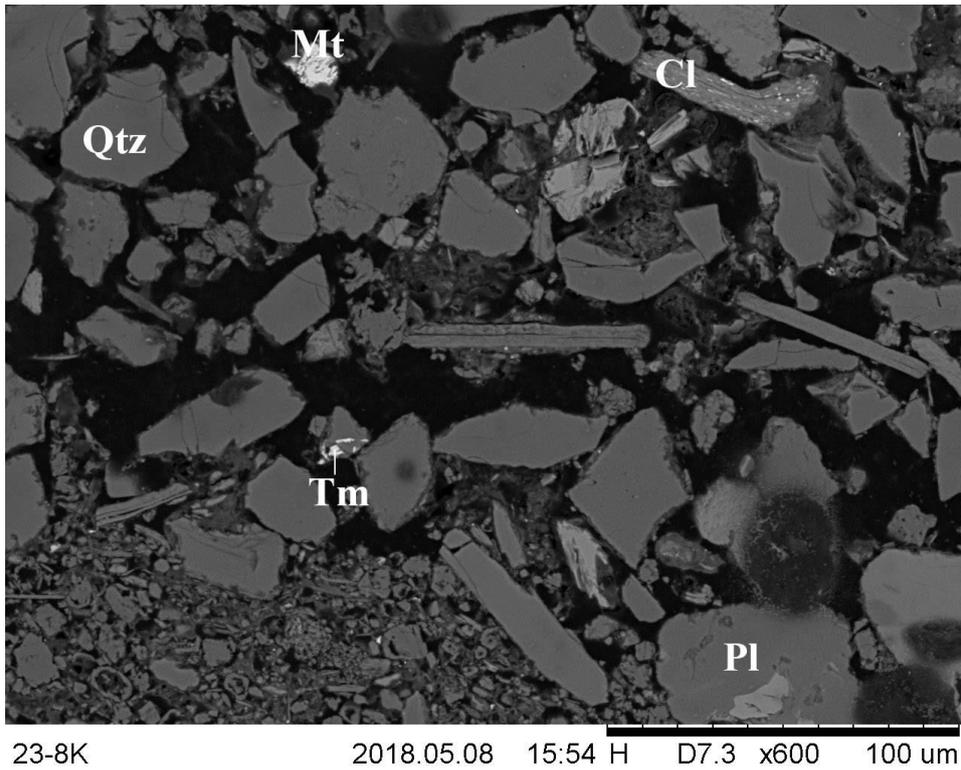


Рис. 3.1.8. Изображение мергеля (обр. TP-1) в обратно отраженных электронах.

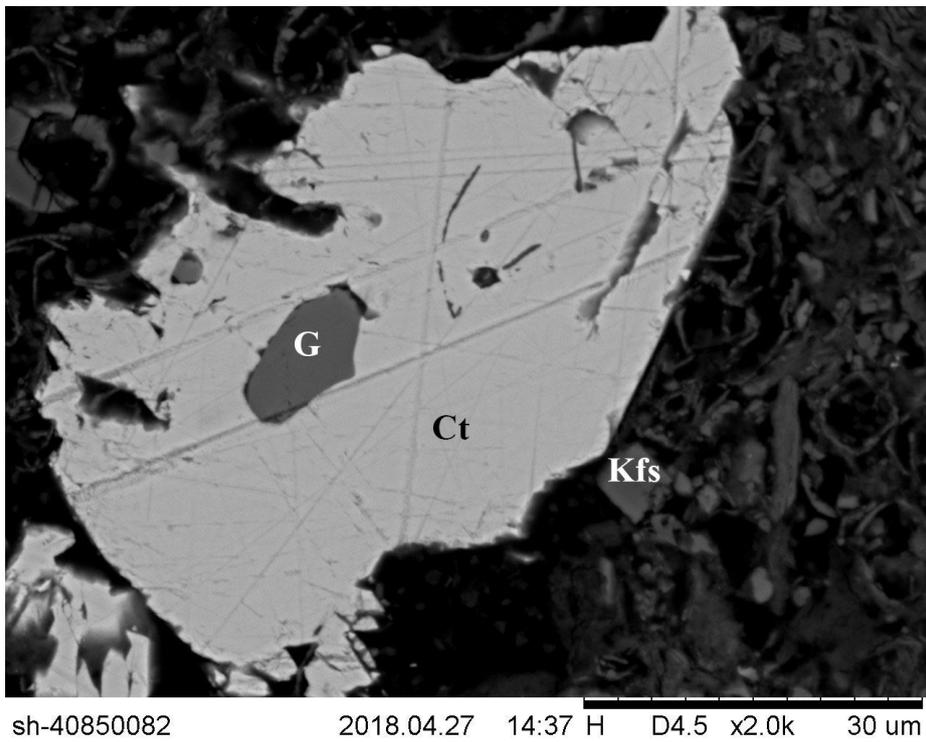


Рис. 3.1.9. Целестин с включением зерна гипса (обр. TP-2) в обратно отраженных электронах.

3.2 Минералого-петрографическая характеристика литифицированных отложений (группа В)

Литифицированные отложения, более древние, чем отложения группы А, представлены мергелями (К-13), аргиллитами (А-7), натечными корами (А-13) и кальцитовыми туфами (К-4).

Мергели имеют тонкослоистую текстуру с мелким растительным детритом (рис.3.2.1). В кальцитовом туфе с неяснослоистой текстурой встречаются ярко-коричневые ориентированные комки глинистых минералов (рис. 3.2.3). Структура коллоидно-тонко-мелкозернистая, с неравномерно распределенными обломками. Натечная кора представляет собой агрегат кальцита наросший на алевропесчаник аналогичный с образцом А-7 (рис. 3.2.4).

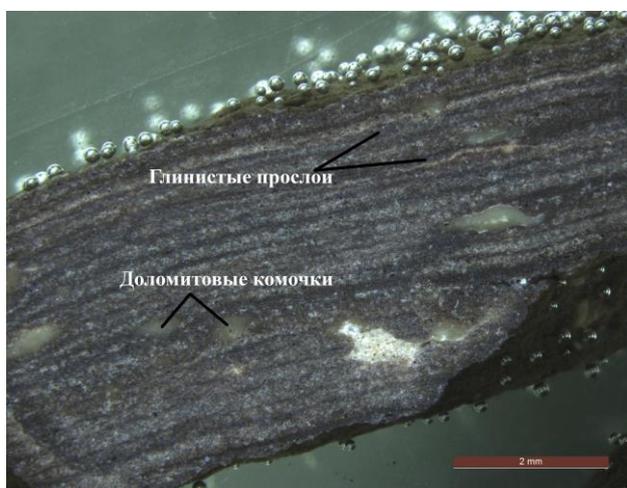


Рис. 3.2.1. Аргиллит тонкослоистый (обр. А-7)

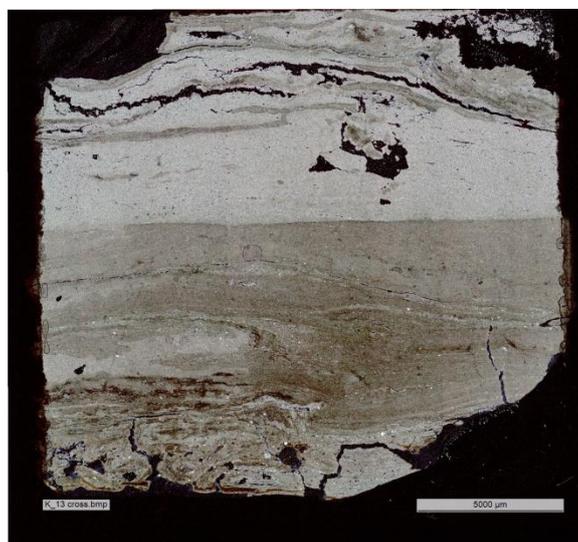


Рис. 3.2.2. Доломитовый мергель (обр. К-13) с тонкослоистой текстурой.

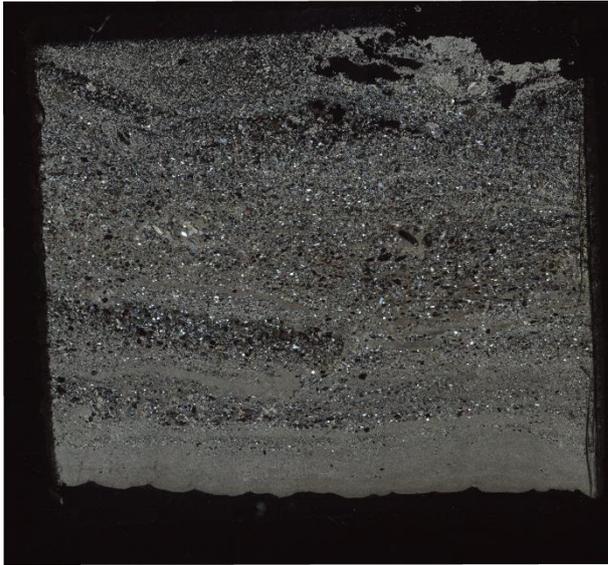


Рис.3.2.3. Кальцитовый туф (обр. К-4) с неясной слоистостью и ориентированными комками доломита и глинистых минералов. Рис. 3.2.4. Натечная кальцитовая кора (обр. А-13) на алевропесчанике.

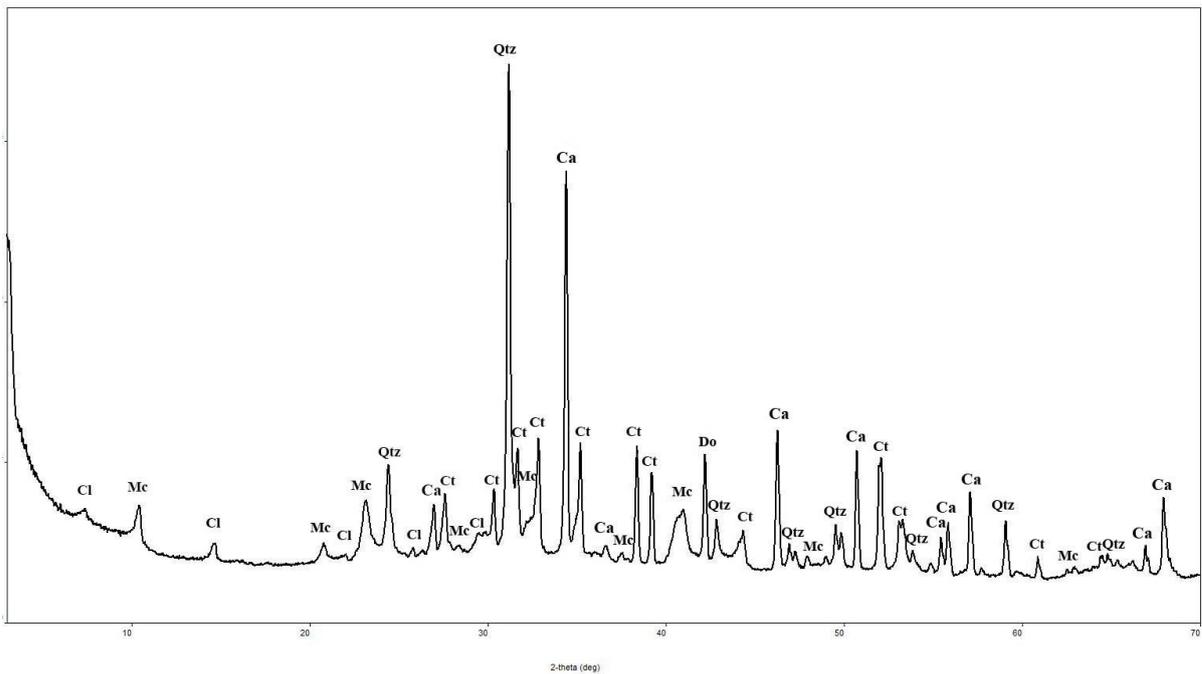


Рис. 3.2.5. Рентгенограмма кальцитового туфа (обр. К-4). Qtz - кварц, Ca - кальцит, Ct - целестин, Cl - хлорит, Mc - слюда.

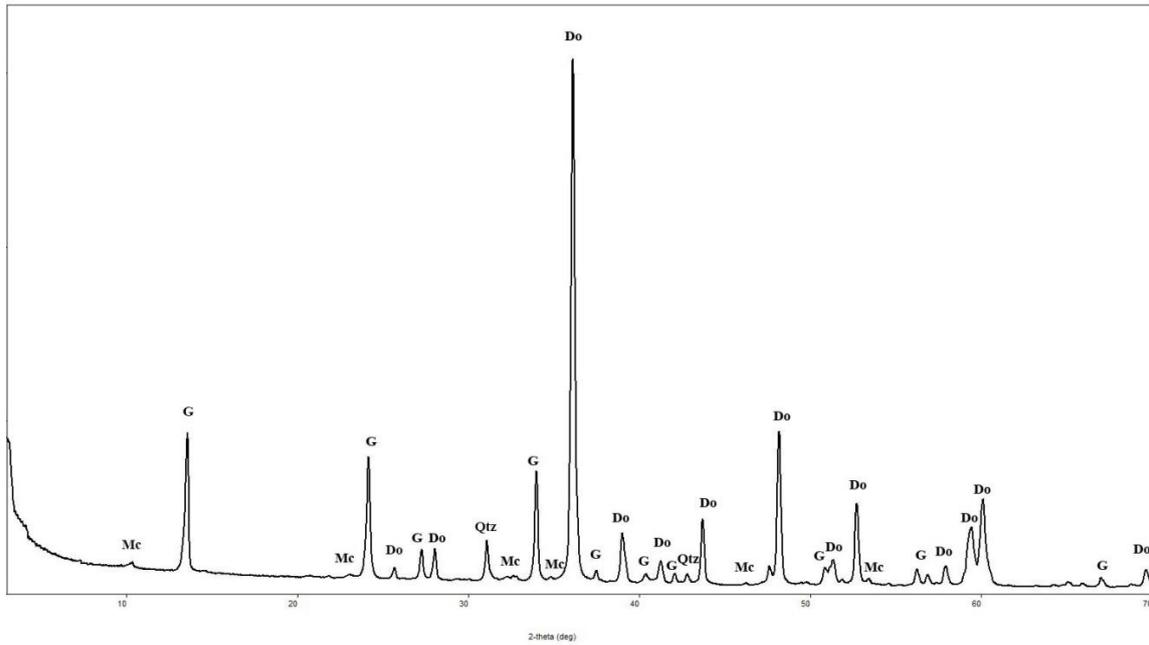


Рис. 3.2.6. Рентгенограмма мергелей (обр. К-13). Qtz - кварц, Do - доломит, G – гипс, Mc - слюда

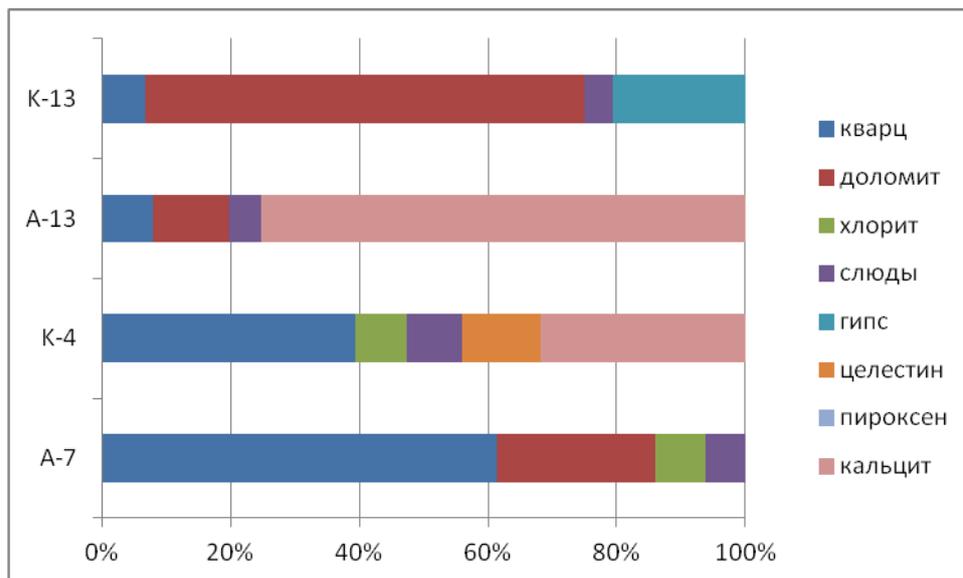


Рис. 3.2.7. Соотношение основных фаз в группе В

Литифицированные породы (мергели и аргиллиты) имеют довольно большие вариации минерального состава обломков – в аргиллите преобладает кварц (много), доломит (много) и хлорит (мало) в качестве цемента и пластинки слюды (мало); в мергелях преобладает доломит в качестве цемента, присутствуют обломки гипса(много), кварца (мало) и слюды (мало) (рис. 3.2.6). Породы в разной степени подвергались

dolomitизации, что заметно по степени изменения первичного кальцита, который вероятно был первичным цементом (Седова А.М. 2017). Содержание карбонатов (CO₂) в породах, определенное ацидиметрическим методом показало, что в аргиллитах его около 8 вес.%, а содержание углерода органических соединений (C_{орг}) в них составляет 1,5 вес. % (табл. 3.2.1).

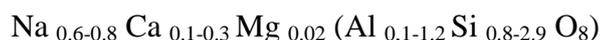
Натечная кора сложена кальцитом с неизменными обломками целестина (много), кварца (мало) и доломита (мало) (рис.3.2.7). Совместно с натечной корой в образце изучался «субстрат» - алевропесчаник, аналогичный по составу с образцом А-7.

Для кальцитового туфа характерны: кварц, в качестве обломочных зерен и кальцит в качестве цемента - основные фазы, целестин (много), слюды (мало) и минералы группы хлорита (мало) в качестве обломочных зерен (рис 3.2.5, приложение рис. 34) Содержание карбонатов (CO₂) в породах в натечной коре и кальцитовом туфе составляет около 33 вес.% Содержание углерода органических соединений (C_{орг}), полученное методом Тюрина, в натечной коре и туфе колеблется от 0,1 до 0,7 вес. %, что в два раза меньше чем в аргиллитах (табл. 3.2.1).

Табл. 3.2.1 Соотношение углерода карбонатов и углерода органических соединений в группе В.		
	CO ₂ %	C _{орг} %
Группа В		
А-7	8,3	1,5
К-13	32,8	0,7
К-4	33,2	0,1

Полевые шпаты всех пород этой группы, также как и в группе А, представлены рядом альбит-олигоклаз и минералами ряда щелочных К-Na-полевых шпатов (рис.3.1.8). Заметим, что в натечной коре нет плагиоклазов и присутствуют только К-Na полевые шпаты, а в кальцитовом туфе нами не были обнаружены ни плагиоклазы, ни К-Na полевые шпаты.

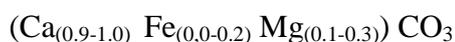
Плагиоклаз – в виде неокатанных зерен с призматической или неправильной формой зерен. В составе преобладает альбитовая составляющая. Вариации кристаллохимических формул ниже:



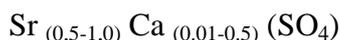
К-Na-полевой шпат – в виде слабоокатанных и неокатанных зерен неправильной формы, и иногда в сростках с кварцем. В составе имеются примеси Fe. Вариации кристаллохимических формул представлены ниже:



Кальцит в качестве обломков встречается в аргиллитах, где он имеет неизменный вторичными изменениями облик. Зерна слабоокатанные или неокатанные. В составе встречаются незначительные примеси Fe и Mg. Вариации кристаллохимических формул представлены ниже:



Целестин встречается во всех породах группы в качестве неокатанных и полуокатанных обломков изометричного или вытянутого облика. В составе встречается довольно значительная примесь Ca:



Кварц представлен в виде различно окатанных зерен, неправильной формы, имеет вроски К-Na-полевого шпата и рутила (см. приложение рис. 28).

Рутил в качестве самостоятельных зерен неокатан, вытянутой формы. В составе есть небольшая примесь Fe:



Титанит встречается в аргиллитах и мергелях в виде окатанных зерен изометричного облика, с примесью Al. Вариации кристаллохимических формул представлены ниже:



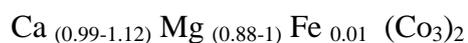
Гранат представлен в аргиллитах рядом гроссуляра в виде окатанных зерен изометричного облика, с довольно значительной примесью андрадитового минала:



Гидрослюды встречаются в аргиллитах и в карбонатном туфе, развивающийся по идиоморфным пластинкам флогопита. Вариации кристаллохимических формул представлены ниже:



Доломит встречается во всех породах группы в виде окатанных обломков идиоморфного или неправильного облика. В составе присутствует небольшая примесь Fe. Вариации кристаллохимических формул представлены ниже:



Кроме этого, был найден предположительно органический пирит, циркон, оксиды-гидроксиды железа и марганца и оксиды алюминия, развивающиеся по крупным (до 0,8 мм) зернам вероятно слоистого минерала (см. приложение рис. 30, рис. 35)

Для этой группы были составлены ассоциации для каждой породы. В мергелях – кварц, плагиоклаз, K-Na-полевой шпат, целестин, флогопит; акцессорные – титанит, рутил, магнетит. В аргиллитах: K-Na-полевой шпат, плагиоклаз, кальцит, титанит, гроссуляр. Акцессорные – флогопит, органический пирит, оксиды Al, Fe, Mn. В натечной коре – кварц, целестин, доломит. В кальцитовом туфе – целестин, доломит, кварц, хлорит.

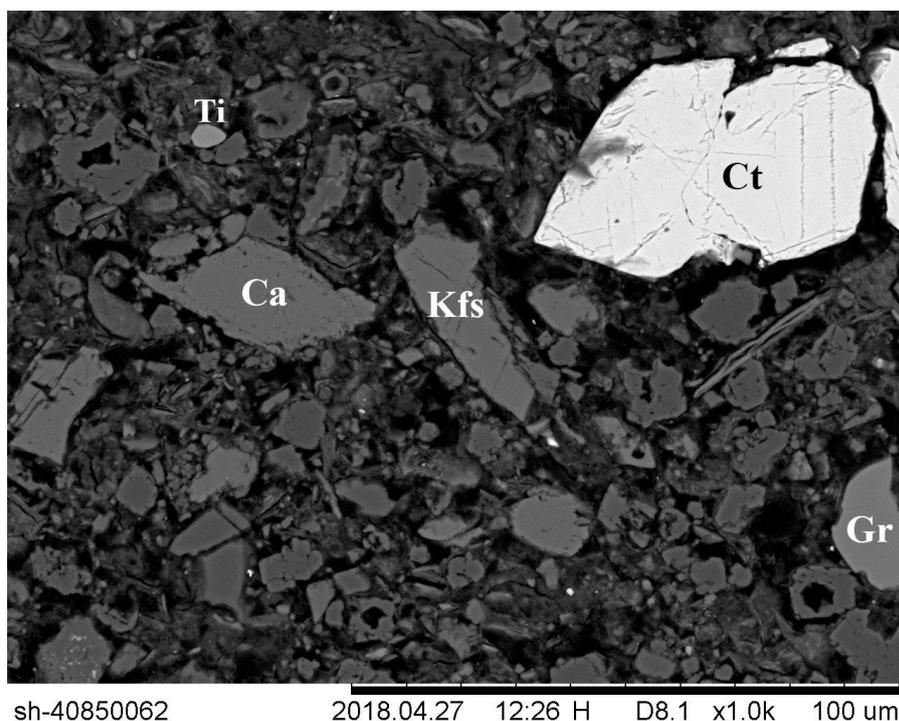


Рис. 3.2.7 Изображение аргиллита (обр.А-7)

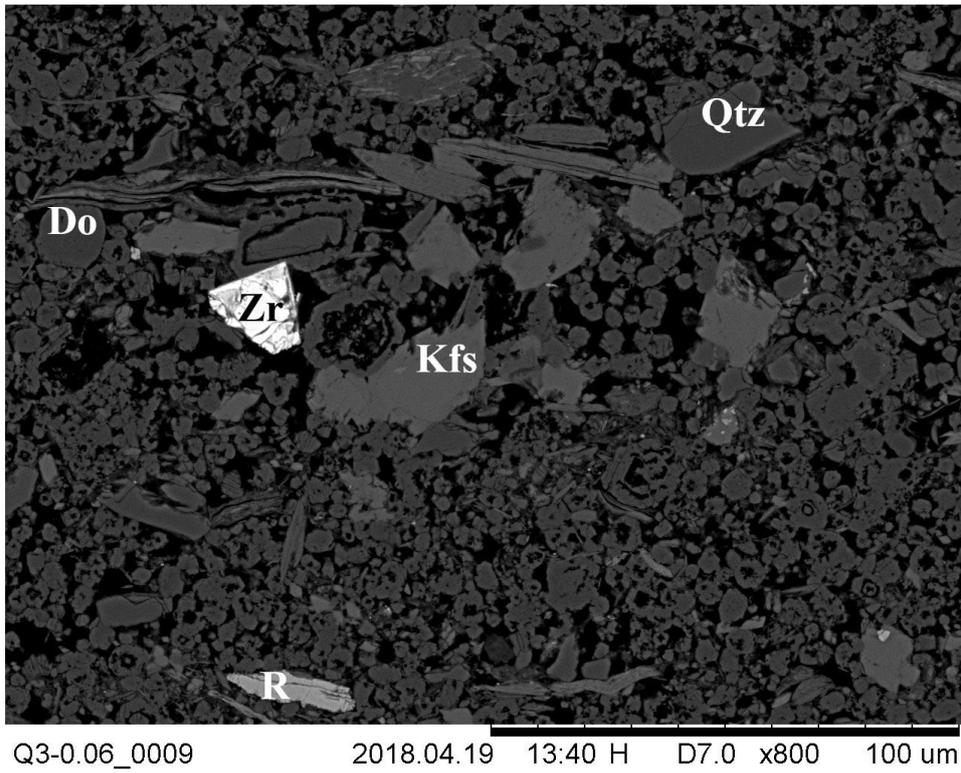


Рис.3.2.8 Изображение доломитового мергеля (обр. К-13)

3.3 Вариации состава доломита из цемента в отложениях групп А и В

При подробном рассмотрении состава и структуры карбонатного цемента в составе пород групп А и В отмечается, что зерна испытывали метасоматическое преобразование и обрастание (рис.3.3.1). Центральные части зерен представлены доломитизированным кальцитом, либо доломитом с высоким содержанием Са. Внешняя зона обрастания тяготеет к составу доломита. В породах группы отмечают неизменные зерна доломита с небольшим содержанием анкеритового минала. (рис.3.3.2, рис.3.3.3).

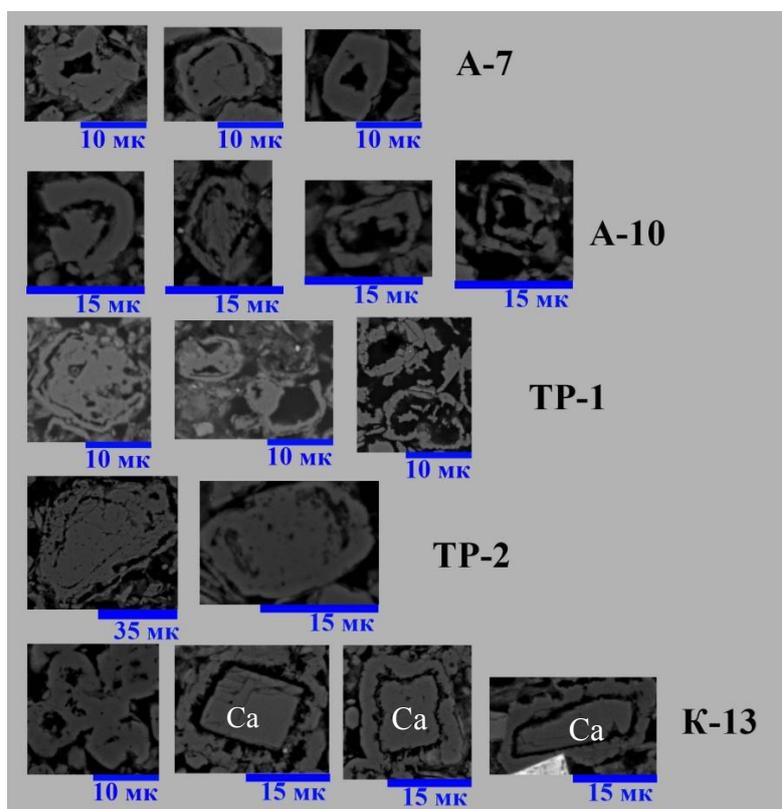


Рис. 3.3.1. Изображения доломита (обр. А-7, А-10) и кальцита (обр. Тр-1, ТР-2, К-13) в обратно отраженных электронах.

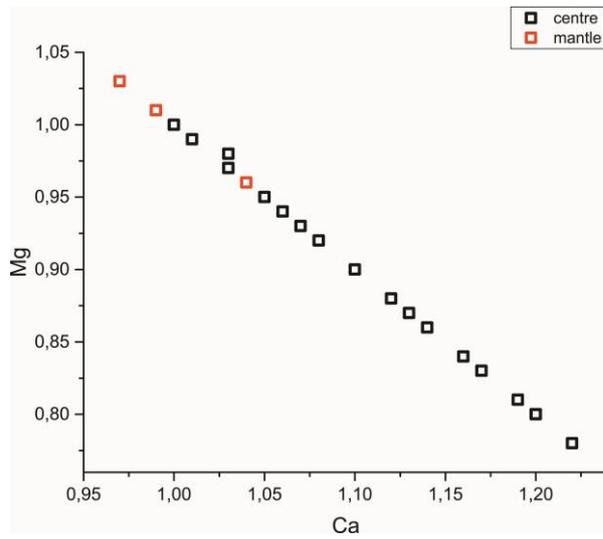


Рис. 3.3.2 Соотношение Ca и Mg в доломите, ф.е.

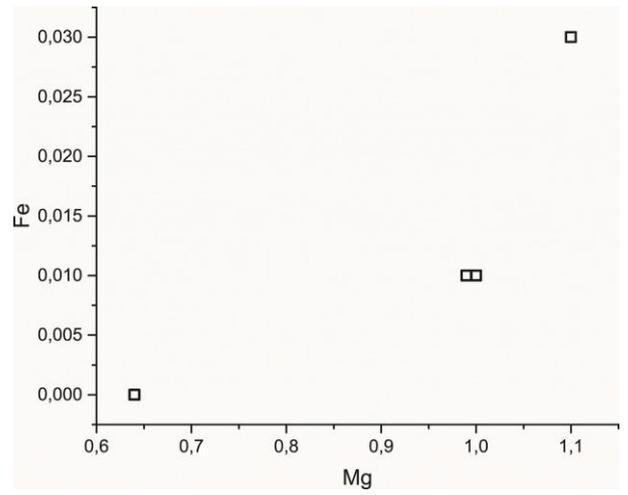


Рис.3.3.3 Соотношение Mg и Fe в неизменном доломите, ф.е.

3.4 Минералого-петрографическая характеристика пород, залечивающих палеокарст (группа С)

Породы, залечивающие палеокарст, представляют собой тонко-мелкозернистые песчаники с глинистым и пойкилитовым гипсовым цементом (обр. А-3) (рис.3.4.1) и песчаник с глинисто-доломитовым цементом с волнистой текстурой.

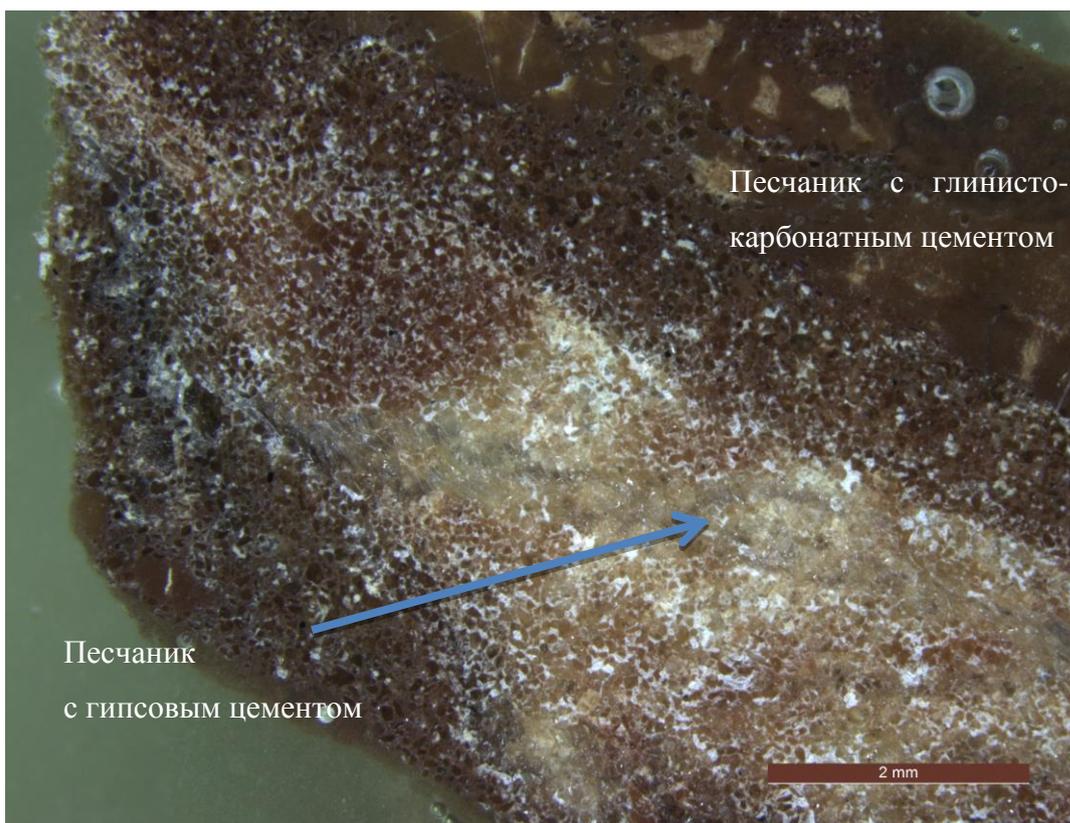


Рис. 3.4.1 Мелко-зернистый песчаник с пойкилитовым гипсовым цементом (обр. А-3) и песчаник с глинисто-доломитовым цементом с волнистой текстурой.

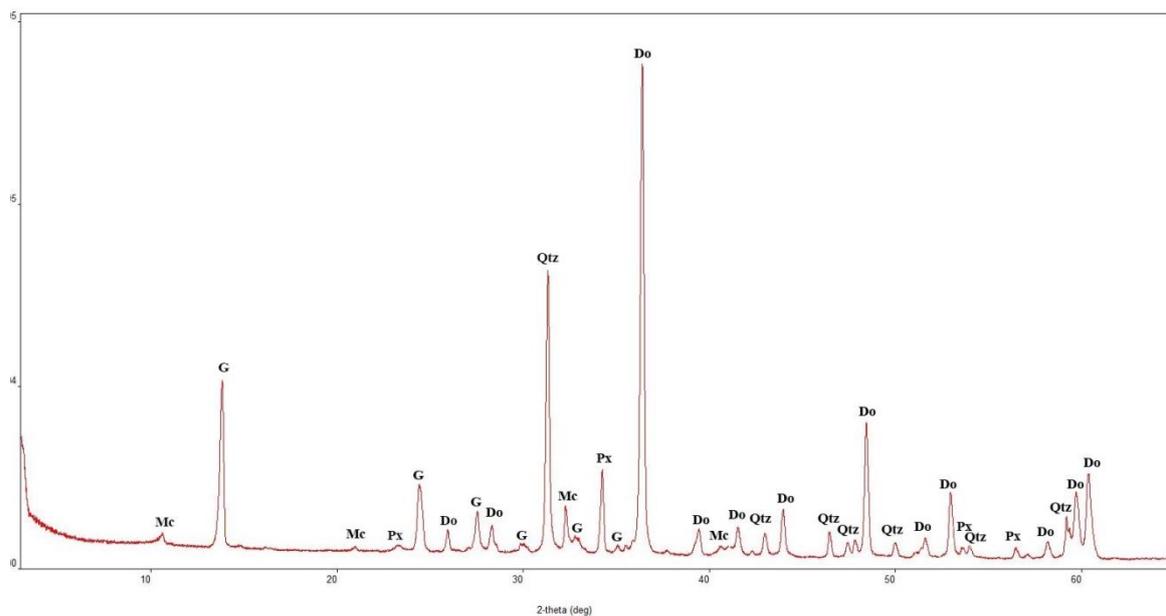


Рис. 3.4.2. Рентгенограмма песчаника (обр. А-3). Do - доломит, Qtz - кварц, G – гипс, Mc - слюда, Px – пироксен.

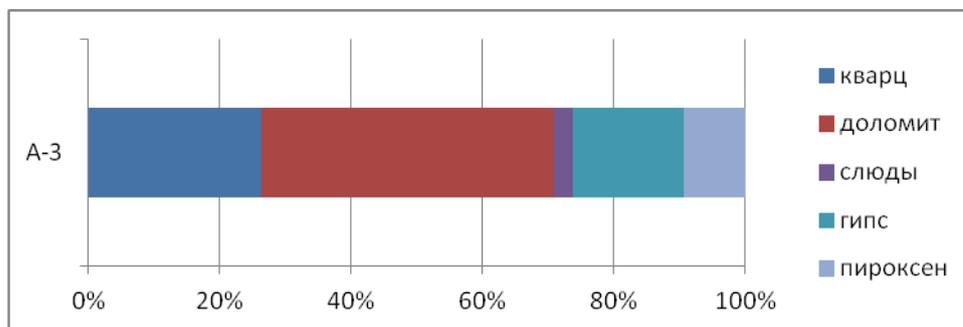
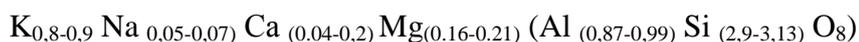


Рис.3.4.3. Соотношение основных фаз в группе С

Для песчаников с глинисто-гипсовым цементом характерны обломки кварца (много), полевых шпатов (много), слюды (мало), пироксена (мало). Для песчаника с доломитовым цементом характерны доломит (основная фаза), кварц (мало), слюды (мало). (рис. 2.5.2).

Полевые шпаты главным образом представлены К-На-полевым шпатом (рис.3.1.8). Они встречаются в виде неокатанных или слабоокатанных зерен неправильной формы. В составе отмечается небольшая примесь Mg. Пример кристаллохимической формулы представлен ниже:

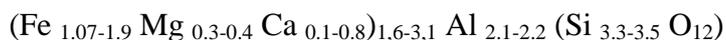


Плагиоклаз в виде призматических неокатанных кристаллов, корродированный по краям.



Кварц – в виде неокатанных угловатых зерен неправильной или вытянутой формы (см. приложение, рис.53).

Гранат – в виде неокатанных изометричных обломков. Представлен альмандином с примесью Са и Mg:



Рутил встречается в песчанике с гипсовым цементом в виде игольчатых кристаллов. В составе присутствует заметное количество Fe. Кристаллохимическая формула представлена ниже:



Титанит – в виде окатанных зерен изометричного облика. В составе присутствуют незначительные примеси Al:

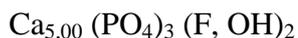


Циркон встречается довольно часто в виде слабоокатанных и окатанных зерен вытянутой или изометричной формы размером 20-80 мкм.

Титаномагнетит встречается редко в виде хорошо окатанных зерен, размером до 15 мкм. В составе не обнаружено примесей и его кристаллохимическая формула близка к идеальной:



Апатит встречается в виде включений в полевом шпате ксеноморфной формы, близок по составу к идеальному апатиту:



Отмечены крупные (до 0,3мм) пластинки флогопита в песчанике с доломитовым цементом.

Минеральная ассоциация для группы: К-Na-полевой шпат, плагиоклаз, кварц, циркон, альмандин. В качестве аксессуарных присутствуют титаномагнетит и флогопит.

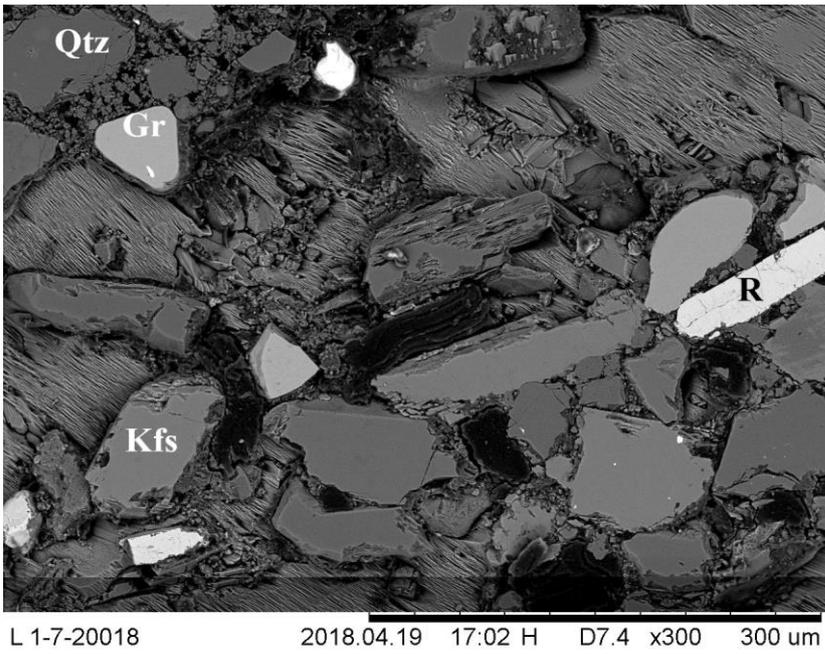


Рис. 3.4.4 Изображение песчаника (обр. А-3)

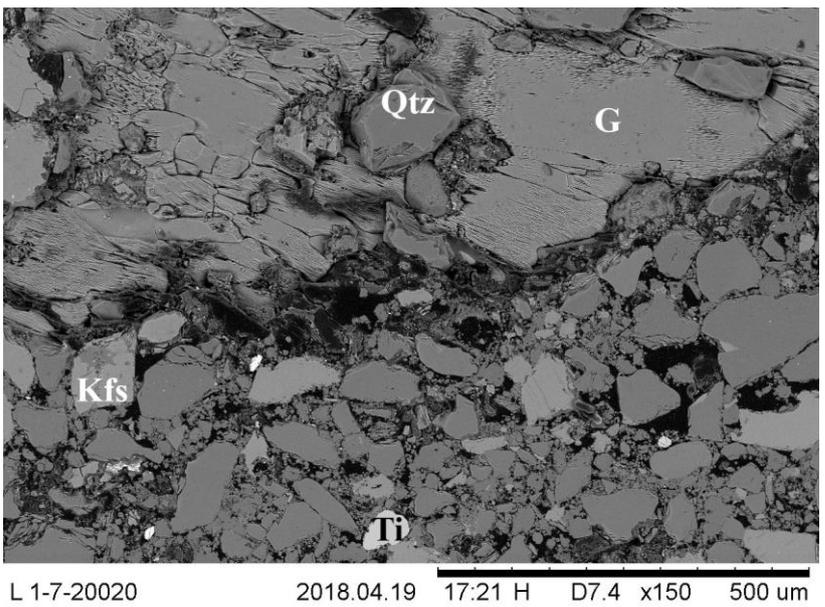


Рис.3.4.5 Изображение песчаника (обр.А-3) с пойкилитовым гипсовым цементом.

3.5 Минералого-петрографическая характеристика глинистых пород вмещающей толщи (группа D)

Вмещающие толщи представлены тонко-мелкозернистыми песчаниками (обр. А-8, А-12) и породами с переслаиванием алевропесчаника и доломита (обр. А-11) (рис. 3.5.1).

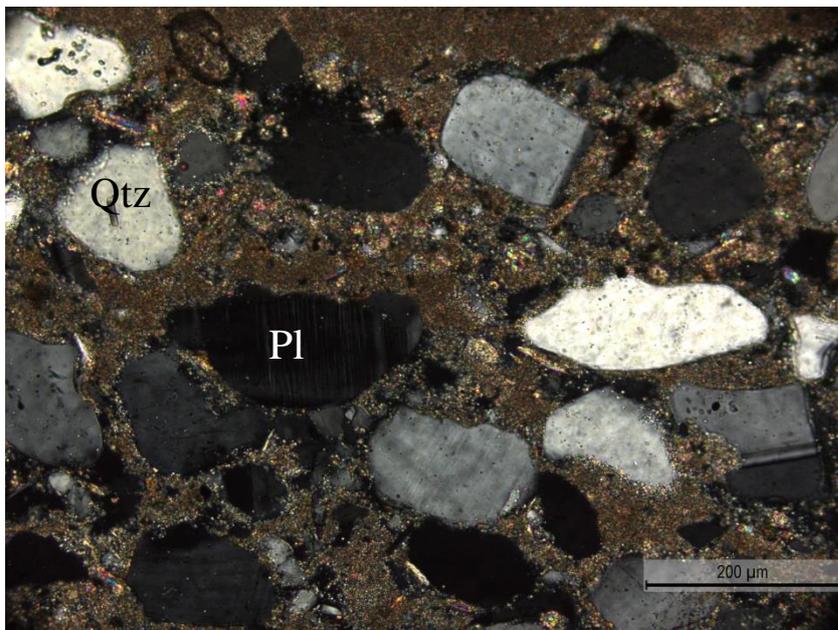


Рис. 3.5.1 Алевропесчаник (обр. А-11). В проходящем свете, скрещенные николи



Рис. 3.5.2.Переслаивание доломита и алевропесчаника (обр. А-11)

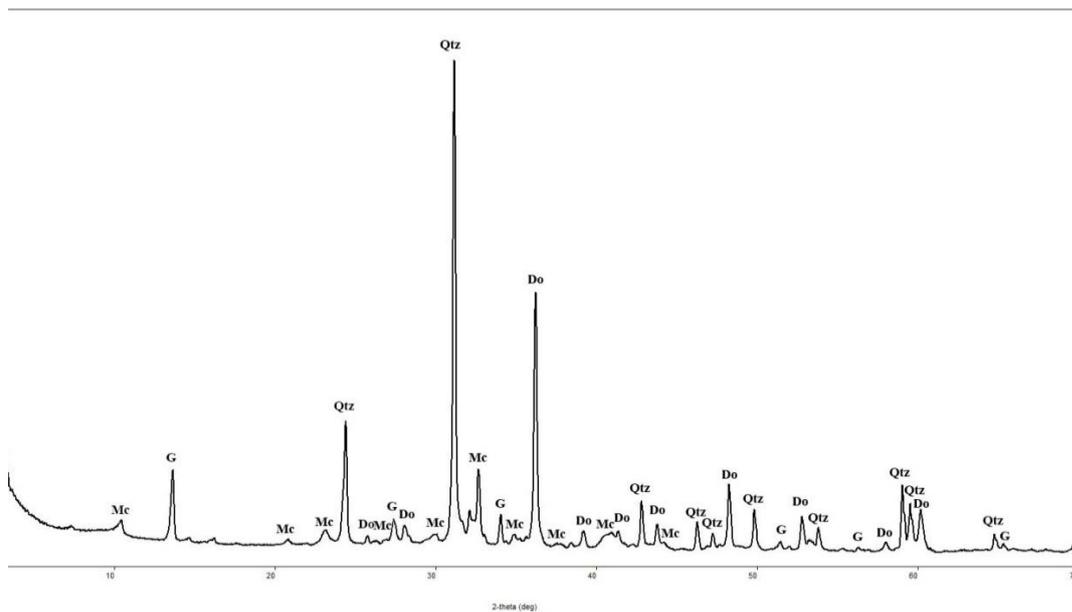


Рис. 3.5.3. Рентгенограмма песчаника (обр. А-8). Do - доломит, Qtz - кварц, G – гипс, Mc - слюда

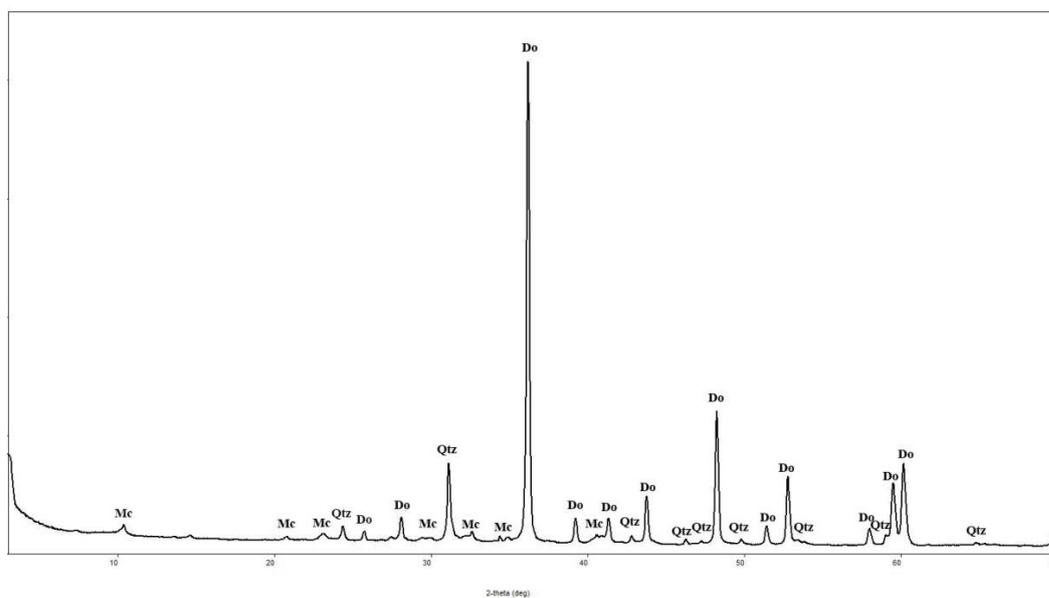


Рис. 3.5.4 Рентгенограмма алевропесчаника (обр. А-11). Do - доломит, Qtz - кварц, Mc - слюда

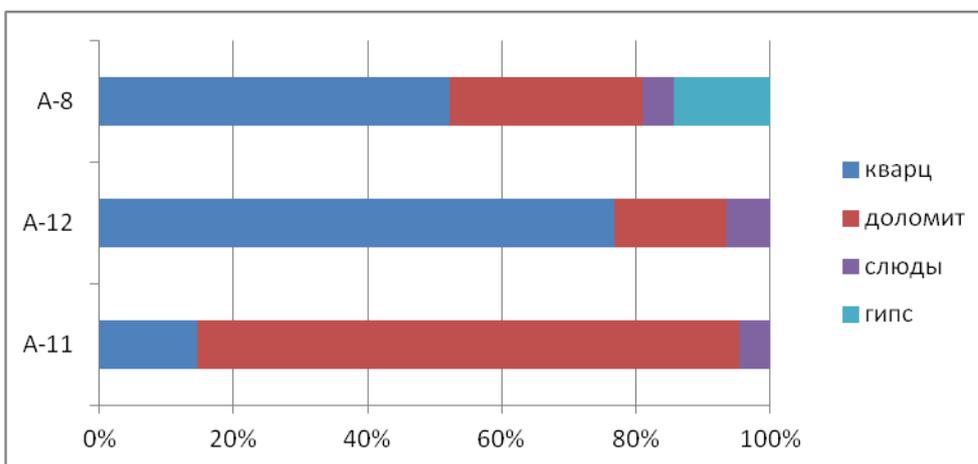
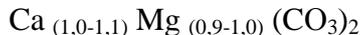


Рис. 3.5.4 Соотношение основных фаз в группе D

Основные фазы для алевропесчаников (обр. А-11) и песчаников (обр. А-8, А-12) представлены кварцем (основная фаза), обломками полевых шпатов (много), слюды (следы), гипса (для обр. А-8) (мало) и доломитом (много) и глинистыми минералами (много) в цементе пород (рис.3.5.3, рис 3.5.4).

Доломитовые прослои сложены доломитом, по всей видимости испытавшим вторичную кальцитизацию – по химическому составу близкие к кальциту:



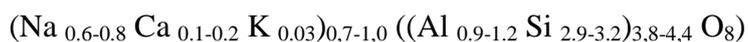
Содержание карбонатов (CO_2) в них, определенное ацидиметрическим методом, достигает 37 вес. %, а содержание углерода органических соединений ($\text{C}_{\text{орг}}$) равно 0,2 вес. % (табл. 3.5.1).

Полевые шпаты представлены рядом альбита-олигоклаза и К-Na-полевыми шпатами, они весьма схожи по составу с полевыми шпатами из групп А и В. Встречаются пертитовые вроски К-Na-полевого шпата в плагиоклазе (см. приложение, рис. 56).

К-Na-полевой шпат встречается в различной степени окатанными зернами вытянутой и округлой формы и корродированные цементом породы. Вариации кристаллохимических формул представлены ниже:



Плагиоклаз встречается в виде полуокатанных и неокатанных обломков изометричного и вытянутого облика, иногда с вросками флогопита. Обломки незначительно корродированны цементom породы. Вариации кристаллохимических формул представлены ниже:



Кварц – в виде окатанных округлых зерен, в незначительной степени корродированными краями (рис. 3.5.6).

Циркон встречается в виде изометричных угловатых, трещинноватых и корродированных самостоятельных зерен, а также как включения в плагиоклазах (рис. 3.5.5).

Гиперстен встречается в виде неокатанных изометричных и вытянутых зерен, с корродированными краями, в составе присутствует примесь Ca и Al:



Титаномагнетит – в виде слабоокатанных изометричных зерен с сильной трещинноватостью. Кристаллохимическая формула представлена ниже:

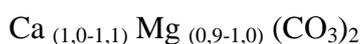


Магнетит – в виде включений в плагиоклазе и кварце идиоморфного облика (рис.3.5.5) очень близкий по составу к идеальному.

Флогопит встречается в виде отдельных пластинок и в виде включений в плагиоклазе (рис. 3.5.5).



Доломит встречается в виде самостоятельных неокатанных обломков, трещинноватых, угловатых и корродированных. По составу похожий на доломит цемента:



Отмечаются единичные зерна флюорита в виде трещинноватых сильно корродированных обломков с примесью Mg: $(\text{Ca}_{0.95} \text{Mg}_{0.05} \text{F}_2)$. Также встречаются единичные знаки апатита в виде окатанных вытянутых кристаллов $(\text{Ca}_{4,9} \text{P}_{3,1} \text{O}_{12}(\text{OH})_2)$ (см. приложение рис. 50, рис. 52).

Минеральная ассоциация для группы: кварц, K-Na-полевоы шпат, плагиоклаз, циркон, доломит.

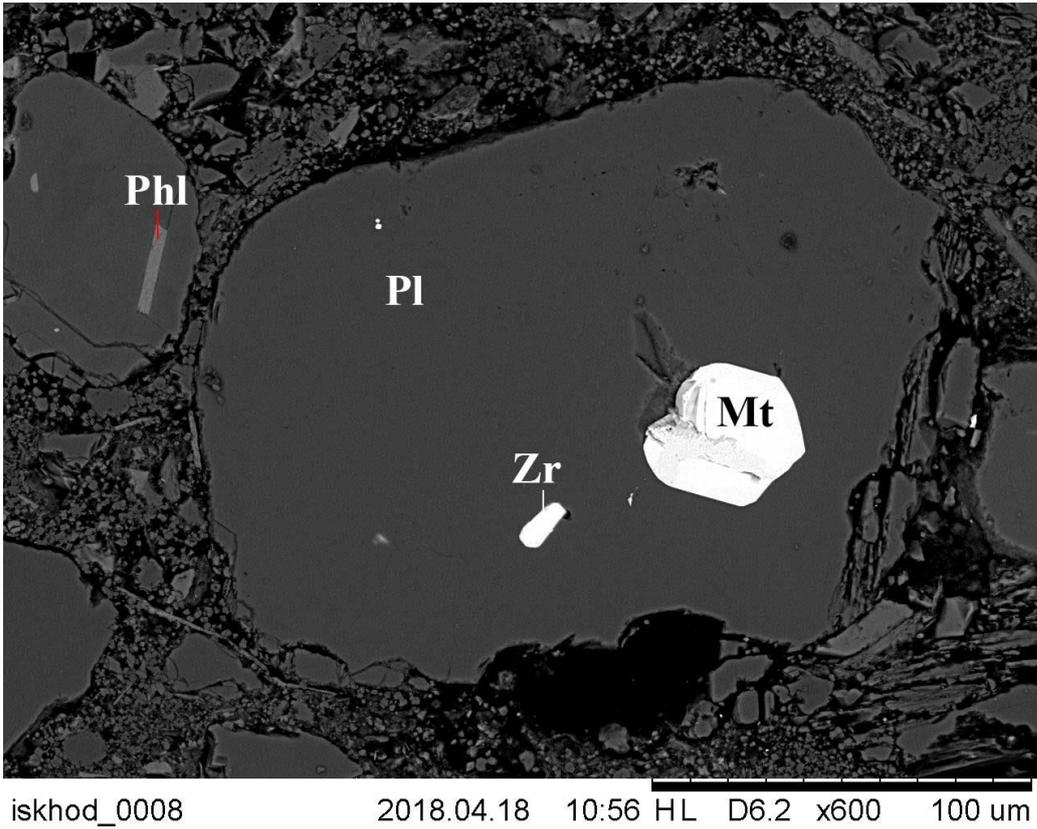


Рис. 3.5.5. Изображение плагиоклаза с включениями магнетита, циркона и флогопита (обр. А-11)

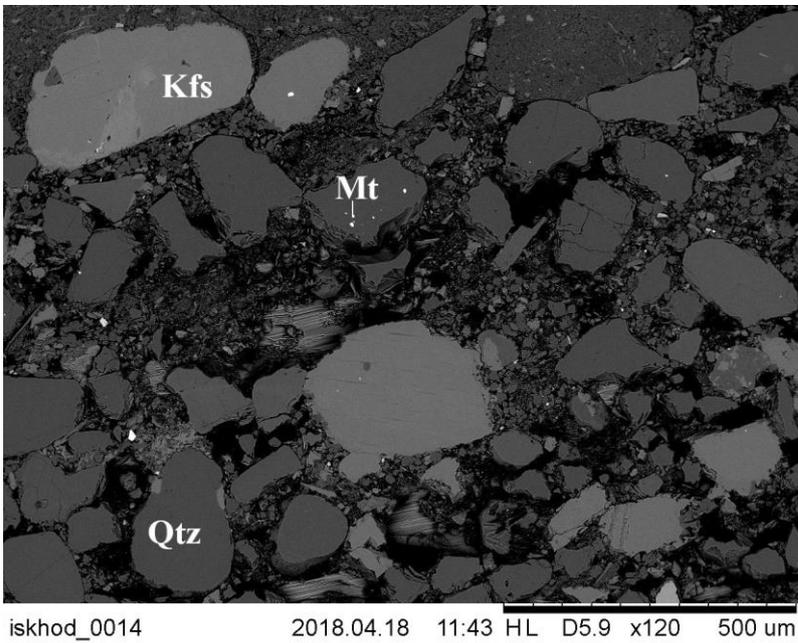


Рис. 3.5.6. Изображение алевропесчаника (обр. А-11)

Содержание карбонатов (CO₂) в песчаниках и алевролитах сильно варьирует от 6 до 23 вес. %, а содержание углерода органических соединений (C_{орг}) такое же как и в доломитовых прослоях и равно 0,2 вес. % (табл. 3.5.1).

Табл. 3.5.1 Соотношение углерода карбонатов и углерода органических соединений в группе D		
	CO ₂ %	C _{орг} %
Группа D		
А-11(роз)	37,0	0,2
А-12	6,4	0,2
А-8	22,7	0,2

Глава 4. Химический состав пород вмещающей толщи и отложений в пещерах.

Химический состав вмещающей толщи значительно отличается от водно-механических отложений в пещере (на примере обр. А-6). Нижняя часть разреза, главным образом представленная гипсами и доломитами (БП-2 и БП-1) отличаются по составу от верхней части разреза, сложенной главным образом, красноцветами (алевролитами) (P2vh2) и озерно-ледниковыми отложениями (gIIIos, lgIII-IV). Можно сделать предположение, что отложения верхней части разреза несут вклад в формирование обломочной части пород водно-механических отложений пещер (рис. 4.1). Нижняя часть разреза растворяется и выносится карбонат, участвующий в дальнейшем в формировании вторичных процессов (вторичной доломитизации).

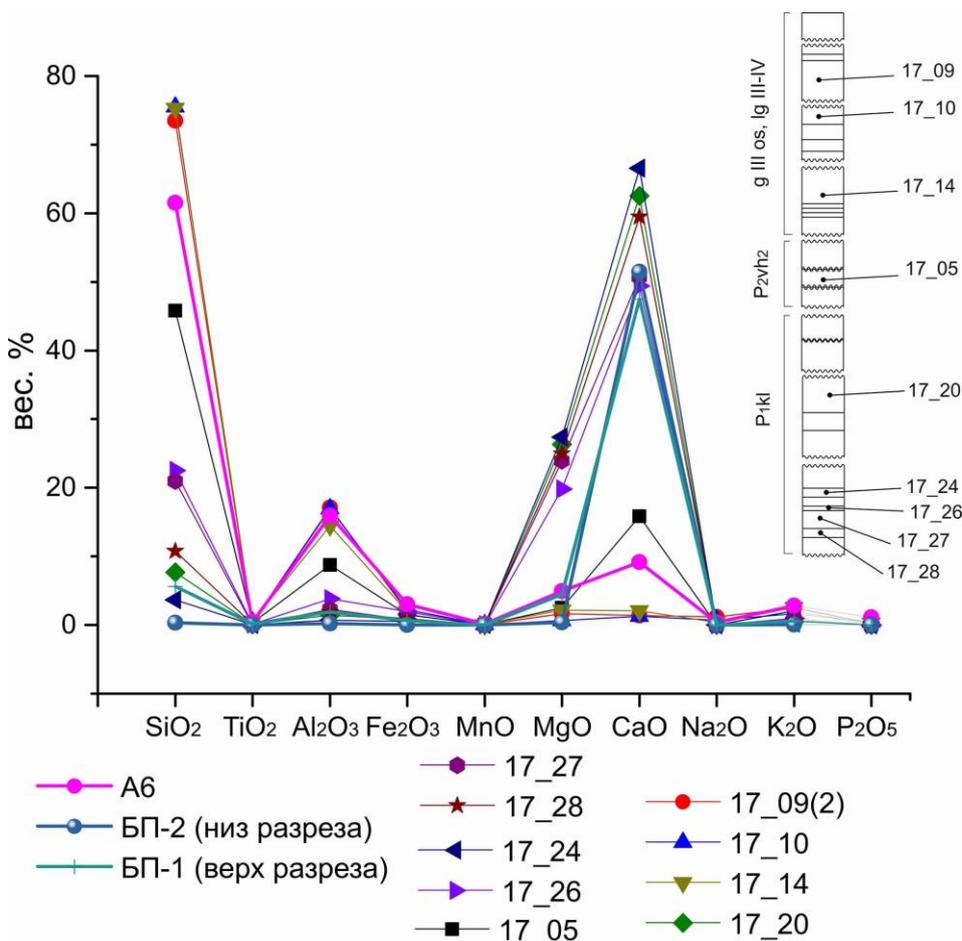


Рис.4.1. Валовый химический анализ бороздовой пробы и образца А-6

Для сравнения химического состава отложений Кулогорских пещер с отложениями других пещер России, в частности с пещерами Урала, Кавказа и Крыма были использованы данные Матреничева В. А. (2015) (рис. 4.2). Сравнив содержания петрогенных элементов в отложениях разных пещер, можно сделать вывод, что отложения Кулогорских пещер являются типичными для России и ничем не отличаются от отложений пещер Урала, Кавказа и Крыма. В своей статье В.А.Матреничев (2015) заключил, что минеральный состав отложений пещер разных регионов России совпадает. Наши результаты хорошо согласуются с этими данными.

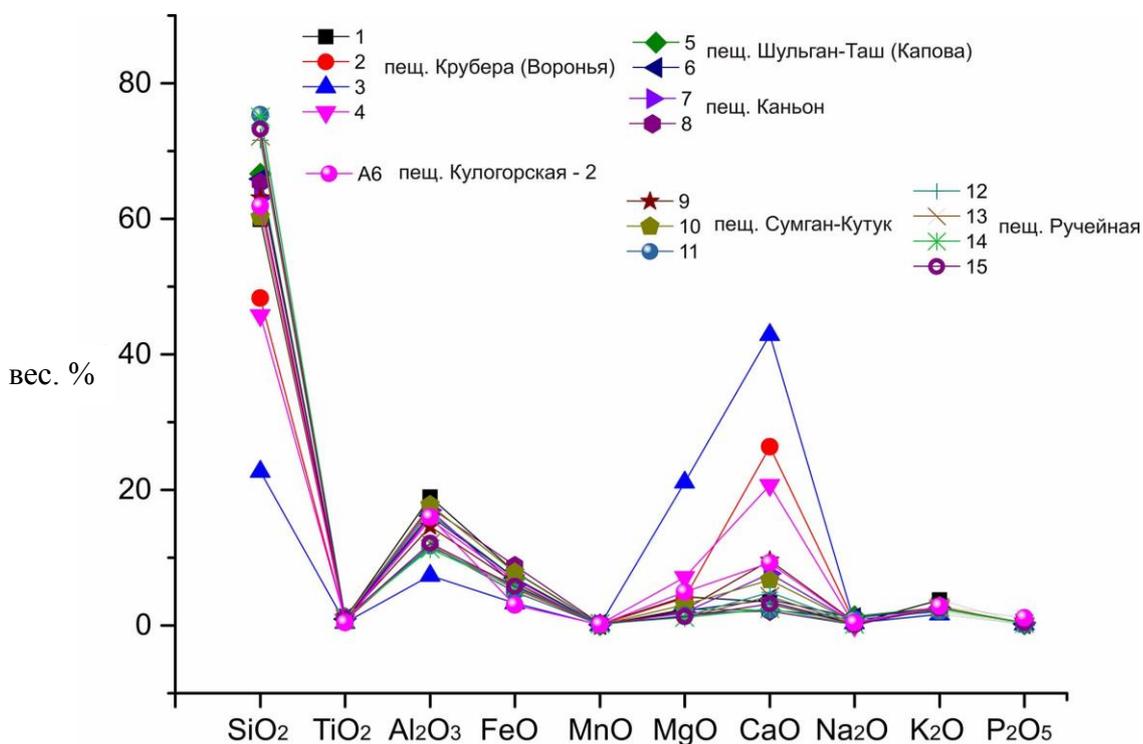


Рис. 4.2 Сравнение отложений Кулогорских пещер с отложениями пещер России по основным петрогенным элементам.

Заключение

В работе были рассмотрены водно-механические отложения наиболее крупных пещер Кулогорского массива (Кулогорская-Троя и Водная). В ходе работы были изучены 12 образцов из разных частей пещер, проведен их рентгенофазовый анализ. Для 8 проб проведено определение содержания органического и карбонатного углерода. Для 9 образцов были изготовлены полированные шайбы и с помощью электронной микроскопии изучен цемент пород и минеральный состав обломочной части. Для минералов обломочной части и цемента были рассчитаны кристаллохимические формулы. Также были составлены минералого-петрографические описания каждой группы. В результате всех исследований были выделены минеральные ассоциации в каждой группе пород.

На основе описания можно сделать вывод, что группы пород несколько отличаются друг от друга, хотя есть много общего. Так, во всех группах пород в обломочной части содержатся кварц разной степени окатанности, неокатанный плагиоклаз ряда альбит-олигоклаз и К-На-полевой шпат разной степени окатанности. Составы полевых шпатов во всех группах (кроме пород залечивающих палеокарст) совпадают, что может означать один источник этих минералов. Только в современных и литифицированных отложениях встречаются целестин и гипс, вероятно потому что это наиболее молодые отложения и в них еще сохранились обломки гипса вмещающих пород и хорошо сохранившиеся обломки кристаллов из целестиновых друз, встречающихся во вмещающей толще. В литифицированных отложениях содержится органический пирит, оксиды и гидроксиды железа и марганца и оксиды алюминия, что свидетельствует о процессах вторичного изменения минералов. Только в породах вмещающей толщи встречен гиперстен и флюорит, вероятно во время образования этих отложений был привнос вещества из магматических пород, а флюорит мог образоваться во вмещающих доломитах. Титаномагнетит присутствует во всех группах пород, кроме литифицированных отложений (группа В). Также только в современных осадках найдены хромшпинелиды (минералы ультраосновных магматических пород) и андрадит (минерал скарнов), что может говорить о разных источниках обломков. Цемент в современных нелитифицированных, более древних литифицированных отложениях и во вмещающей толще в основном карбонатно-глинистый, лишь в отложениях, залечивающих палеокарст встречен пойкилитовый гипсовый цемент.

На основе минеральной ассоциации можно сделать предположение, что для разных групп пород были разные источники сноса обломочного материала. В современных нелитифицированных, литифицированных породах и породах вмещающей толщи присутствуют минералы скарнов (гроссуляр, андрадит, гиперстен, флогопит), можно предположить, что это был один источник сноса. Минеральный состав обломочной части группы пород, залечивающих палеокарст, заметно отличается от минерального состава других групп. Можно предположить, что источник обломочного материала для этой группы был несколько иной.

Изучив характерный зональный доломитовый цемент и его химический состав, можно предположить, что в современных нелитифицированных и более древних литифицированных отложениях было как минимум две стадии образования: 1-накопление обломочного материала с кальцитовым цементом; 2 – метасоматическое преобразование кальцита в доломит.

Благодарности:

Выражаю свою благодарность асп. Седовой А.М за руководство, помощь в написании работы и проведении экспедиции; сотрудникам ресурсного центра «Микроскопии и микронзондового анализа», в частности Янсон Светлане Юрьевне за помощь в проведении анализов; доценту кафедры агрохимии биологического факультета СПбГУ Надпорожской Марине Алексеевне за помощь в проведении исследований; ассистенту кафедры минералогии ИНоЗ СПбГУ Верещагину О.С. за консультации; сотрудникам ресурсного центра «Рентгенодифракционные методы исследования».

Литература:

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: изд. Моск. Унив. 1970.487 с.
2. Бурлин Ю.К., Конюхов А.И., Карнюшина Е.Е. Литология нефтегазоносных толщ: Учеб. пособие для вузов. М.: Недра, 1991. - 286 с.
3. Журавлев В. А., Куприн В. Ф., Лукьянова Л. И., Парамонова М. С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Q-38 – Мезень. Объяснительная записка. 2012.
4. Затульская Т.Ю., Бызова Н.М., Шаврина Е.В.. Особенности геологического строения Архангельской области, 2009
5. Малков В.Н., Гуркало Е.И, Монахова Л.Б., Шаврина Е.В., Гуркало В.А., Франц Н.А, Карст и пещеры Пинежья. Москва, 2001, Ассоциация "ЭКОСТ". 208 стр.
6. Орлов Д. С., Гришина Л. А. Практикум по химии гумуса. М.: изд-во Моск. Унив., 1981. 271 с.
7. Матреничев В. А., Климова Е. В. Глинистые отложения пещер. Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2015. Вып.4
8. Пучнина Л.В., Горячкин С.В., Вайсфельд М.А., Шаврина Е.В., Рыкова С.Ю., Рыков А.М. Компоненты экосистем и биоразнообразии карстовых территорий европейского севера России (на примере заповедника «Пинежский»), 2008
9. Седова А.М., Франц Н.А. Минералого-петрографический обзор отложений Кулогорских пещер (Пинежский район, Архангельская область)// Материалы докладов межрегиональной научной конференции «Вклад особо охраняемых природных территорий Архангельской области в сохранение природного и культурного наследия» (21-23 ноября 2017 г.) / Отв. ред. к.б.н. Ежов О.Н. ФИЦКИА РАН. Архангельск, 2017. С 58-63.
10. Седова А.М. Особенности формирования карбонатных отложений в Кулогорских пещерах (Пинежский район, Архангельская область) // Материалы Международной научной конференции XX Докучаевские молодежные чтения «Почва и устойчивое развитие государства» / Под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб., 2017. – 318 - 320 сс.

11. Информационно-поисковая система “Пещеры”, <https://speleoatlas.ru> (дата обращения: 12.05.2018)
12. Интерактивная электронная карта недропользования Российской Федерации <https://map.mineral.ru/> (дата обращения: 12.05.2018)
13. Реестр протяженных пещер <http://www.caverbob.com/gypcave.htm> (дата обращения: 12.05.2018)

Приложение

Изображения в обратно отраженных электронах.

Группа А

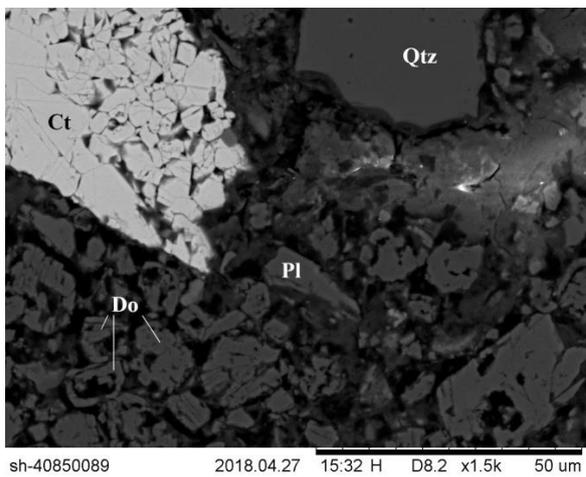


Рис.1 Мергель (обр. А-10)

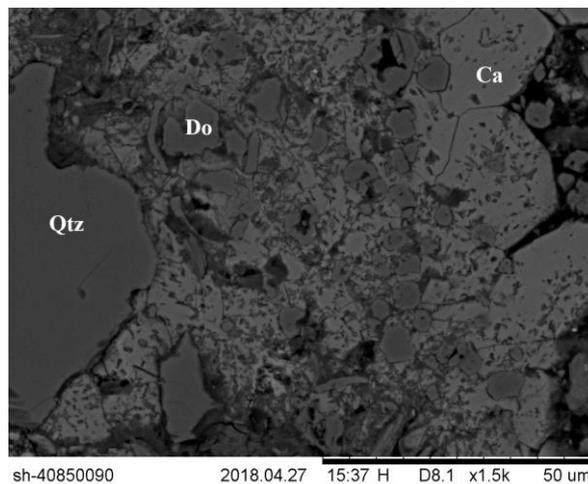


Рис.2 Обломок натечной коры в мергеле с обломками доломита и кварца (обр. А-10).

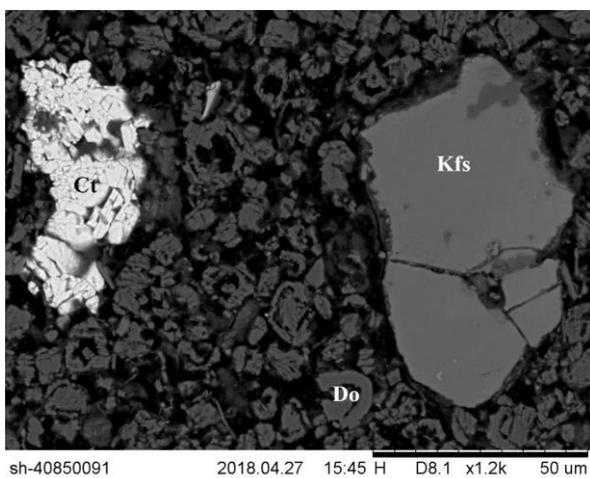


Рис.3 Зерна целестина и К-Na-полевого шпата в мергеле (обр. А-10)

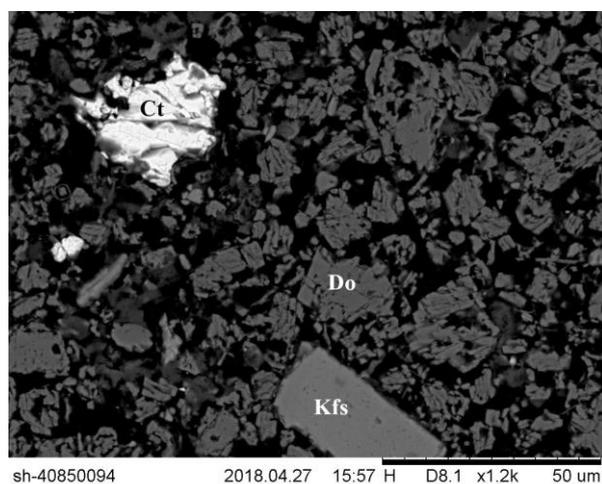


Рис.4 Мергель (обр. А-10)

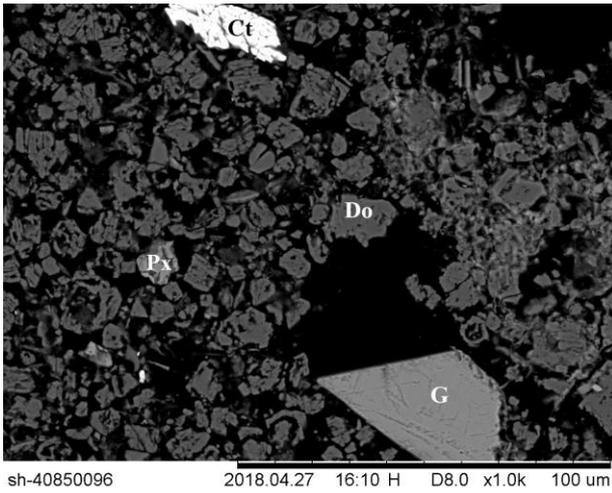


Рис.5 Кристалл гипса и целестин в мергеле (обр. А-10)

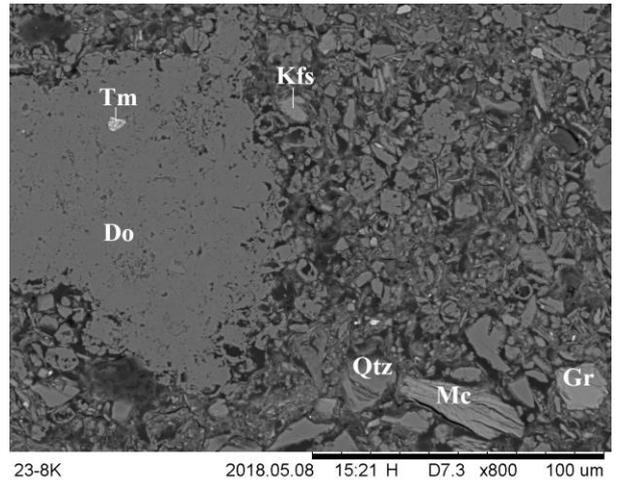


Рис.6 Мергель (обр. TP-1)

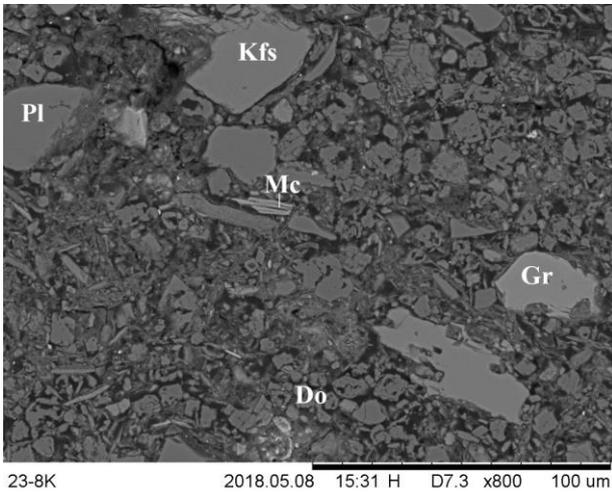


Рис. 7 Мергель (обр. TP-1)

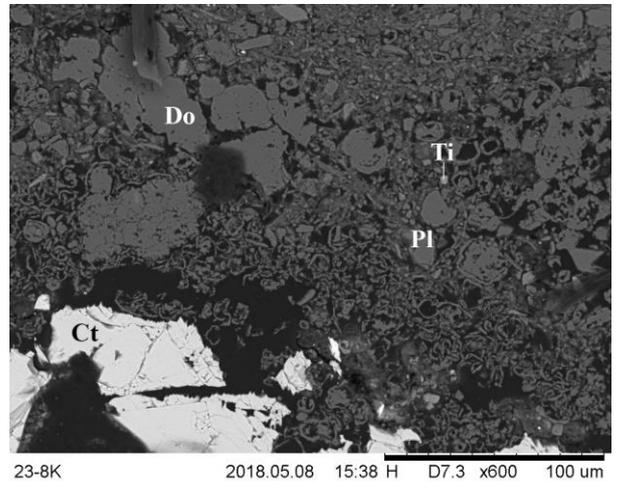


Рис. 8 Мергель (обр. TP-1)

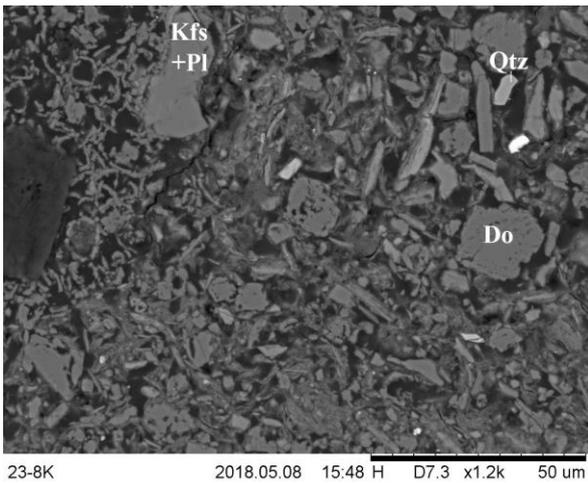


Рис.9 Мергель (обр. TP-1)

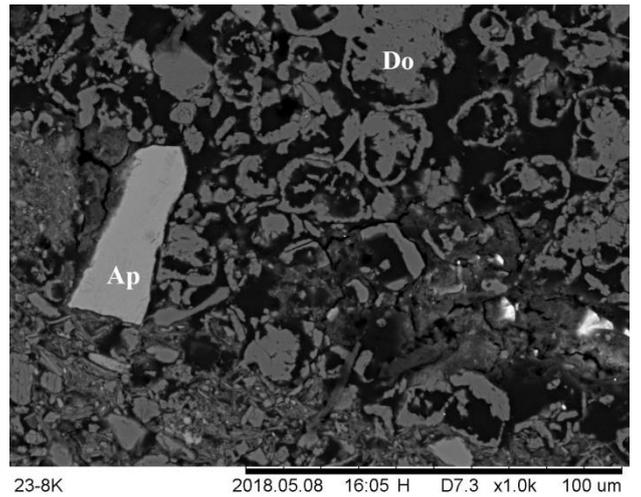


Рис. 10 Мергель (обр. TP-1)

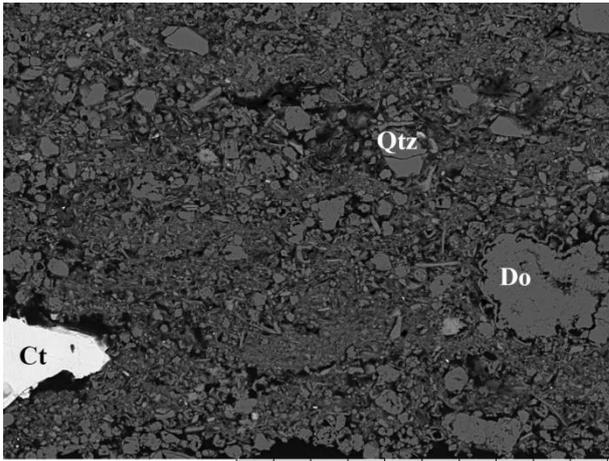


Рис. 11 Мергель (обр. TP-1)

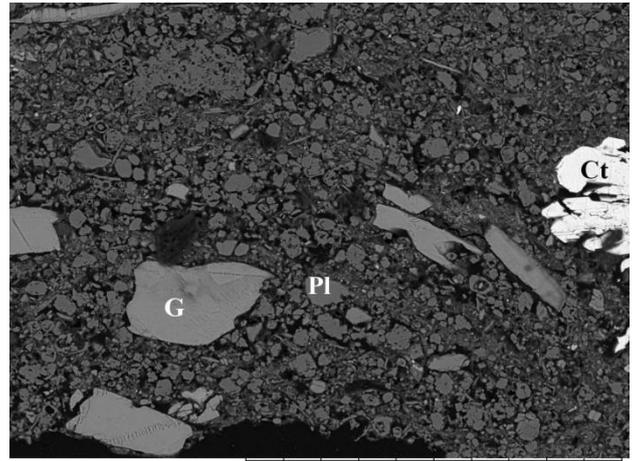


Рис. 12 Мергель (обр. TP-1)

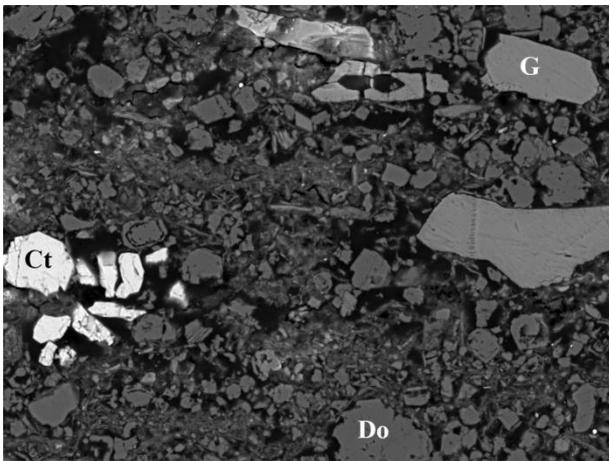


Рис. 13 Мергель (обр. TP-1)

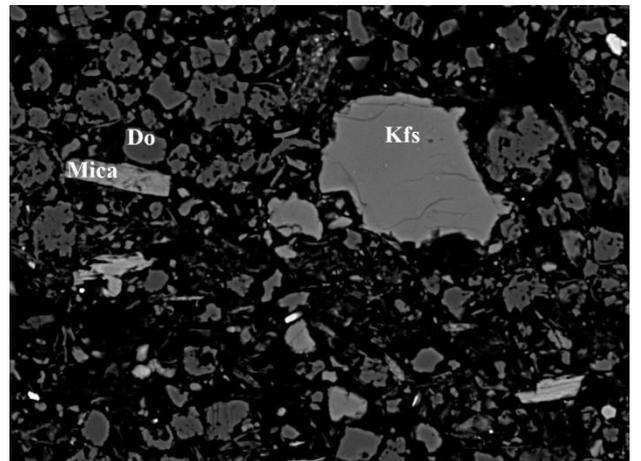


Рис. 14 Мергель (обр. TP-1)

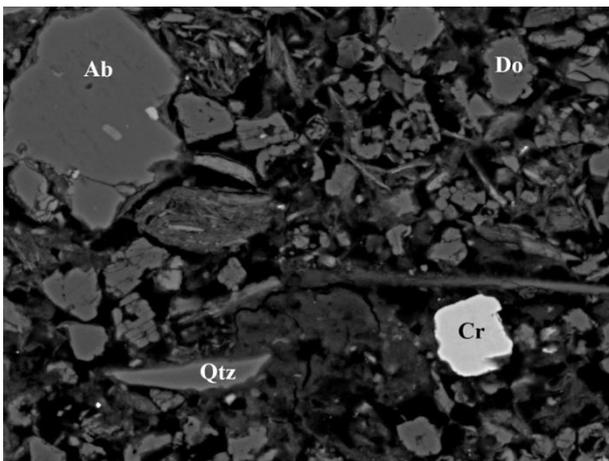


Рис. 15 Мергель (обр. TP-1)

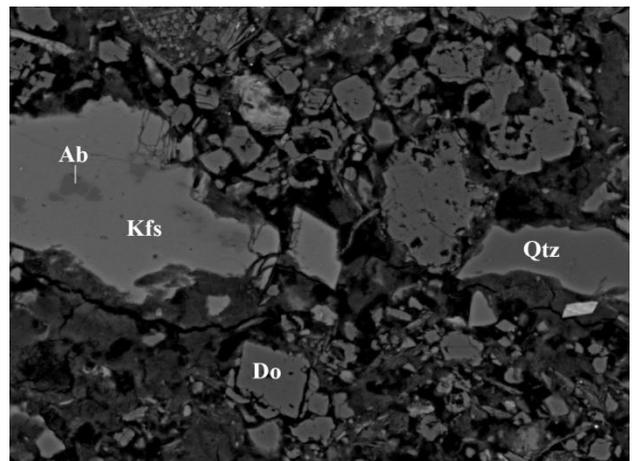
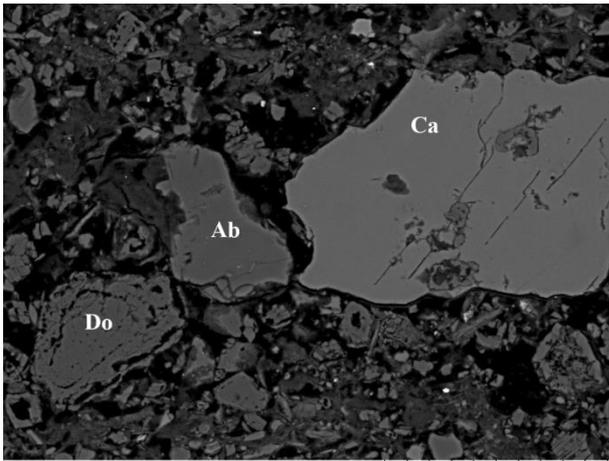
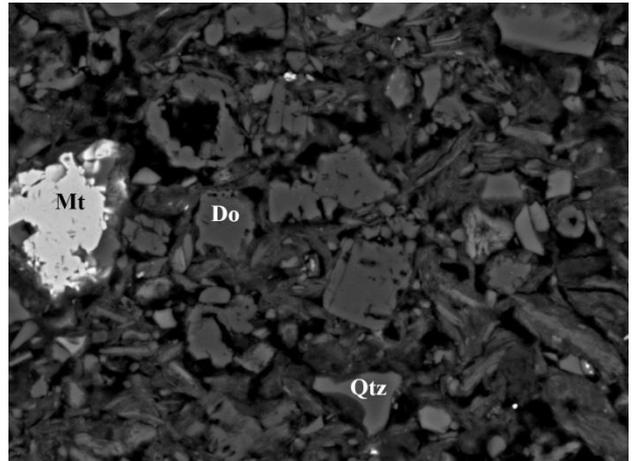


Рис. 16 Мергель (обр. TP-2)



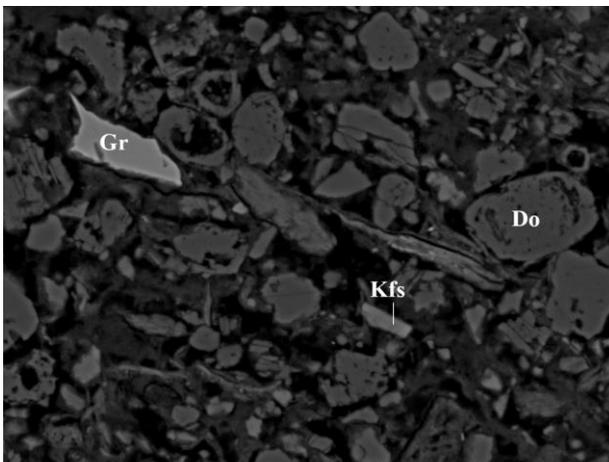
sh-40850079 2018.04.27 14:26 H D4.7 x1.2k 50 um

Рис. 17 Включения доломита, кальцита и плагиоклаза(альбита) в мергеле (обр.ТР-2)



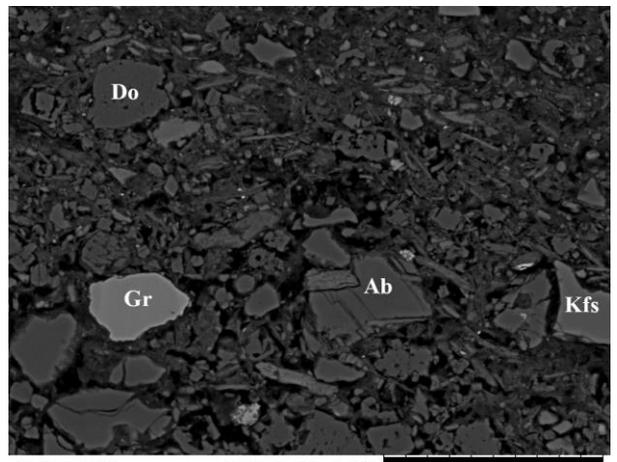
sh-40850080 2018.04.27 14:30 H D4.7 x2.5k 30 um

Рис. 18 Мергель (обр.ТР-2)



sh-40850083 2018.04.27 14:41 H D4.5 x2.0k 30 um

Рис. 19) Мергель (обр.ТР-2)



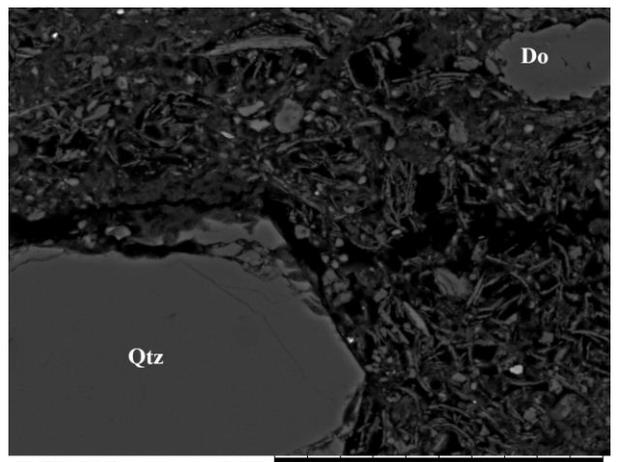
sh-40850084 2018.04.27 14:45 H D4.5 x1.2k 50 um

Рис. 20 Мергель (обр.ТР-2)



sh-40850085 2018.04.27 14:50 H D4.5 x2.5k 30 um

Рис. 21 Мергель (обр.ТР-2)



sh-40850086 2018.04.27 14:54 H D4.4 x1.8k 50 um

Рис. 22 Кварц и доломит в мергеле (обр. ТР-2)

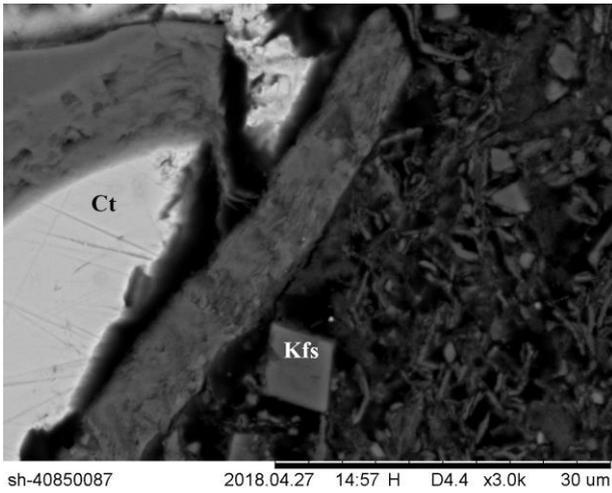


Рис. 23 Мергель (обр. TP-2)

Группа В

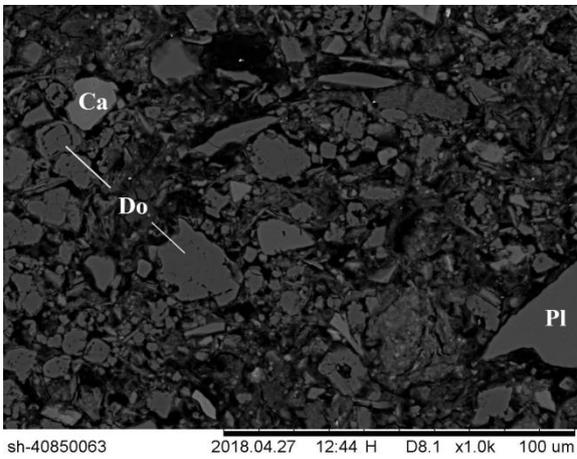


Рис. 24 Аргиллит (обр. А-7)

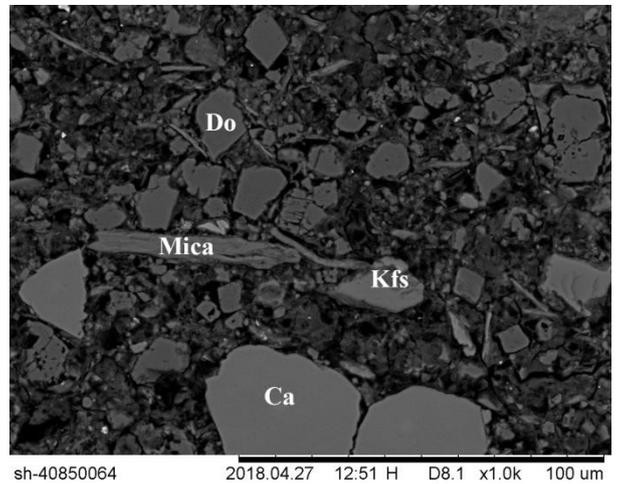


Рис. 25 Аргиллит (обр. А-7)

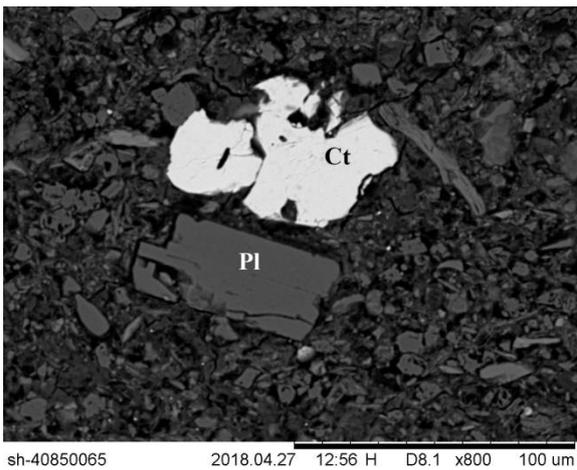


Рис. 26 Зерна целестина и плагиоклаза в аргиллите (обр. А-7)

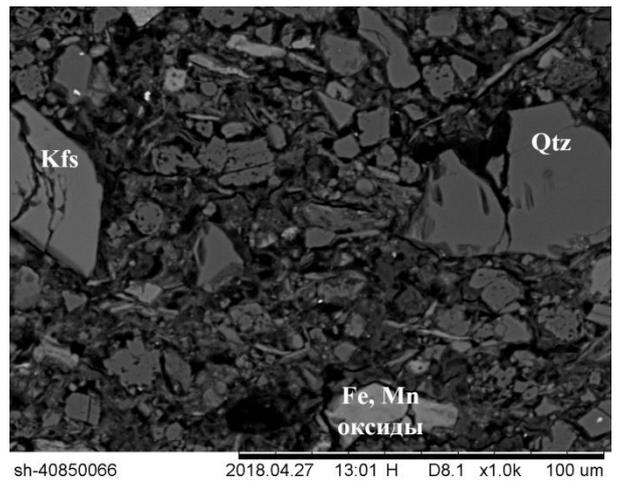
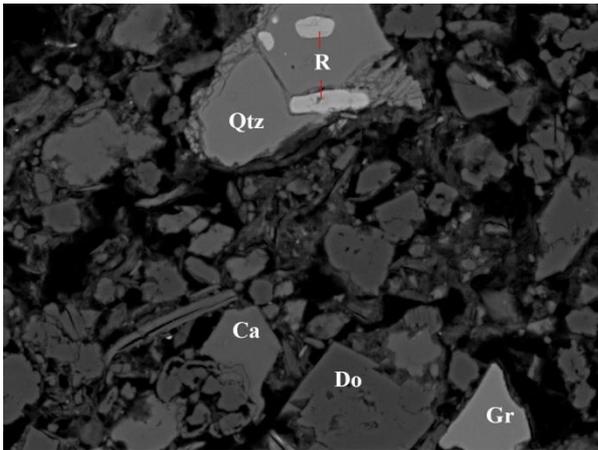
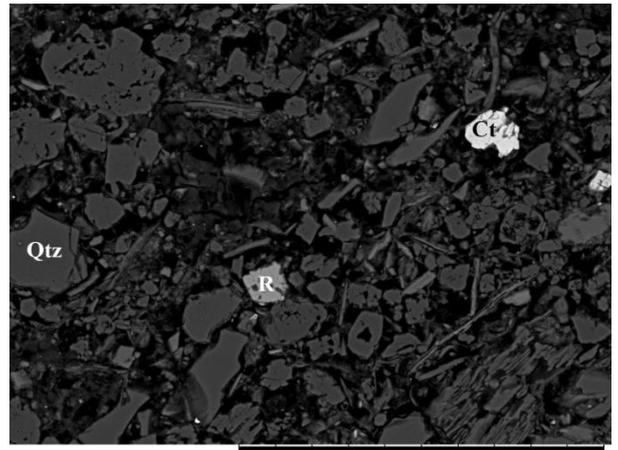


Рис. 27 Аргиллит (обр. А-7)



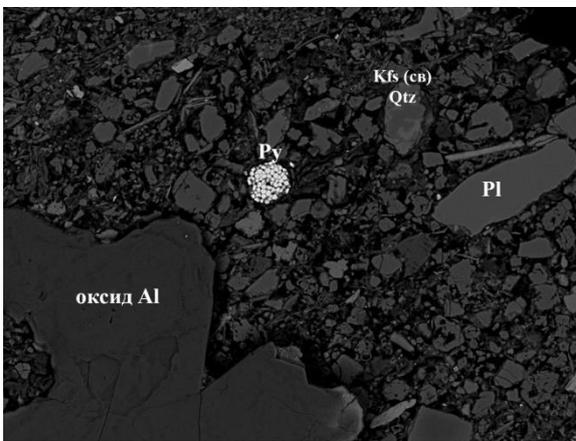
sh-40850070 2018.04.27 13:28 H D7.9 x1.8k 50 um

Рис.28 Кварц с рутилом, кальцит, доломит и гроссулар в аргиллите (обр. А-7)



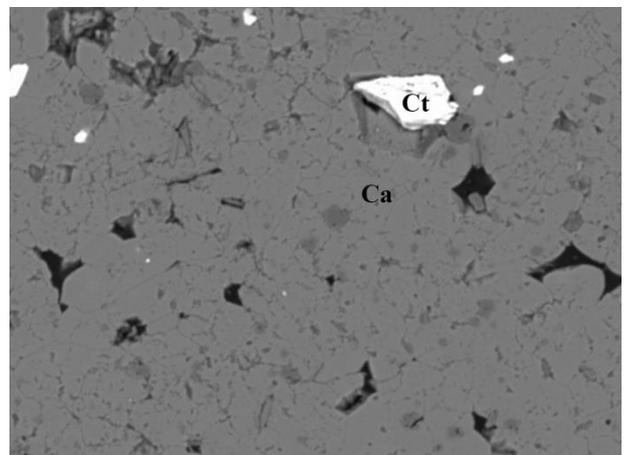
sh-40850072 2018.04.27 13:39 H D8.0 x1.0k 100 um

Рис. 29 Аргиллит (обр. А-7)



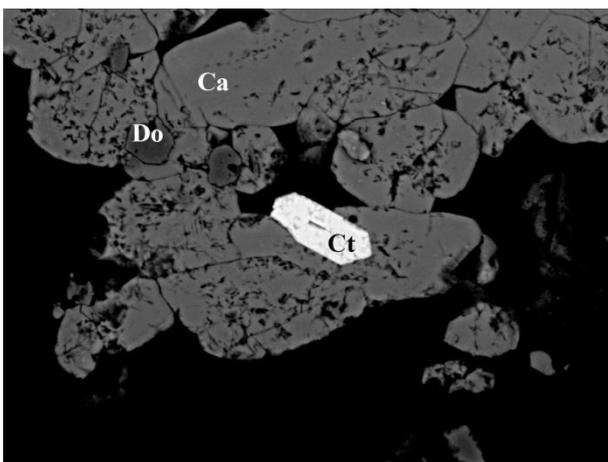
sh-40850074 2018.04.27 13:48 H D8.1 x600 100 um

Рис. 30 Аргиллит (обр. А-7)



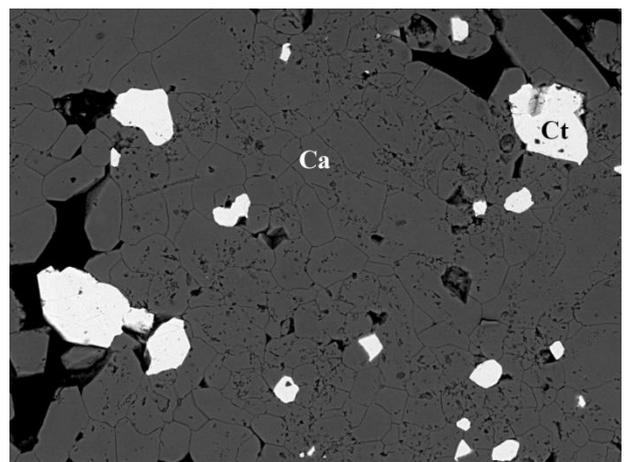
JM 020104 2018.03.29 HL D7.0 x1.0k 100 um

Рис. 31 Кальцитовый туф (обр. К-4)



JM 020106 2018.03.29 HL D7.1 x1.8k 50 um

Рис. 32 Кальцитовый туф (обр. К-4)



JM 020108 2018.03.29 HL D7.0 x800 100 um

Рис. 33 Кальцитовый туф (обр. К-4)

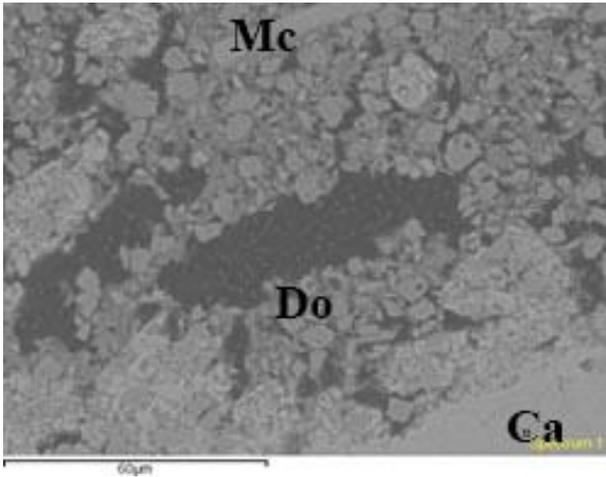


Рис. 34 Кальцитовый туф (обр. К-4)

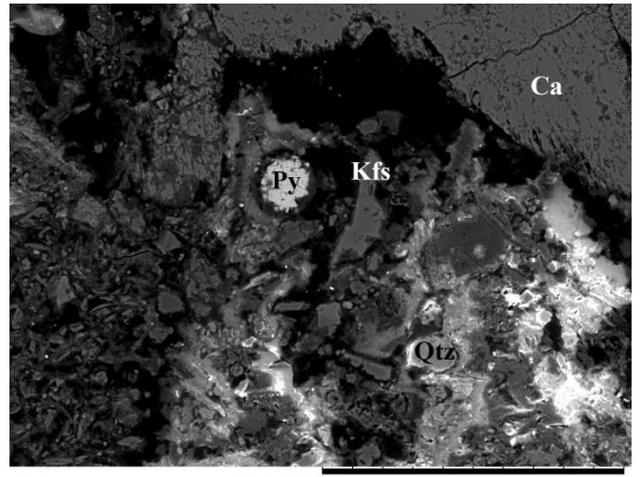


Рис.35«Субстрат» натечной коры (обр.А-13)

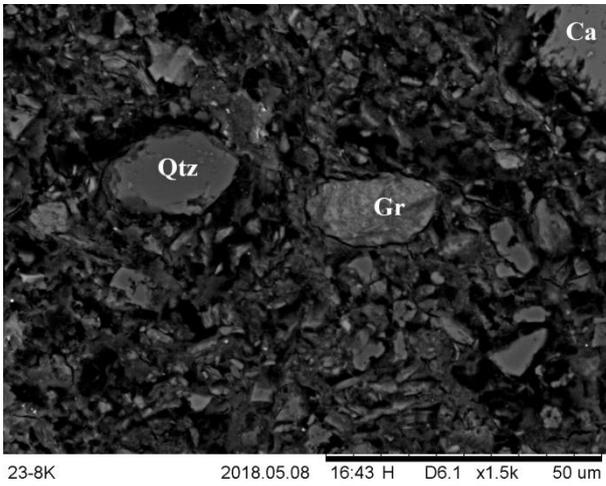


Рис.36«Субстрат» натечной коры (обр.А-13)

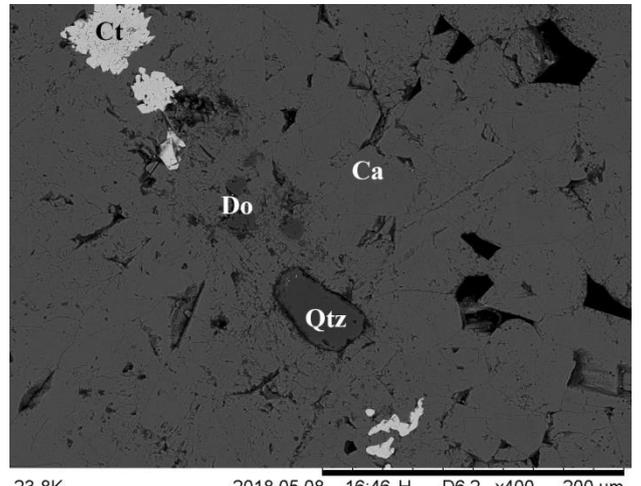


Рис. 37 Натечная кора (обр. А-13)

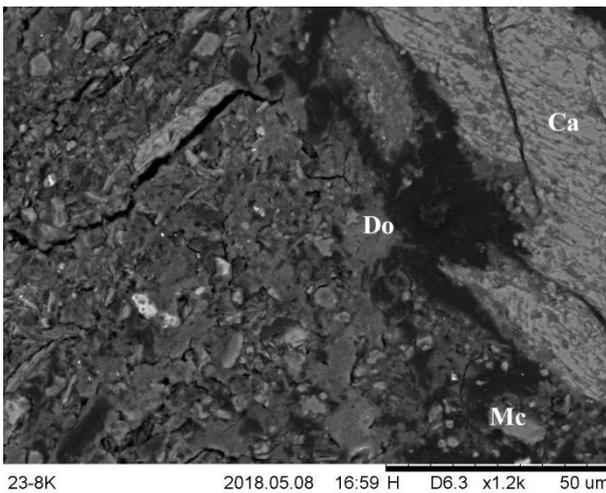


Рис. 38 Натечная кора (обр. А-13)

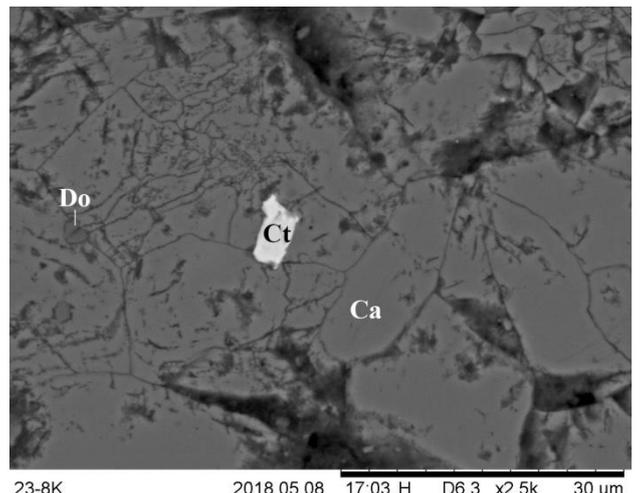
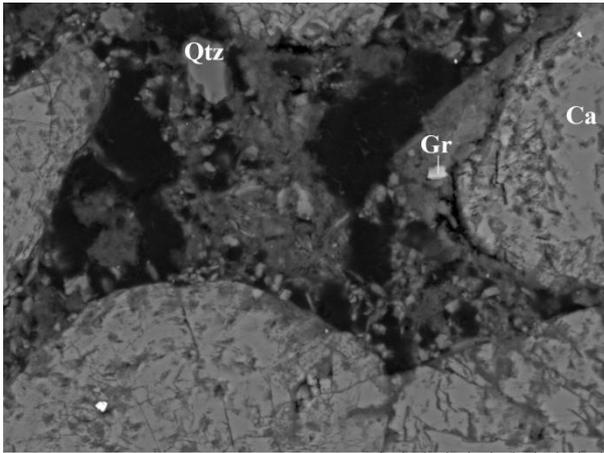
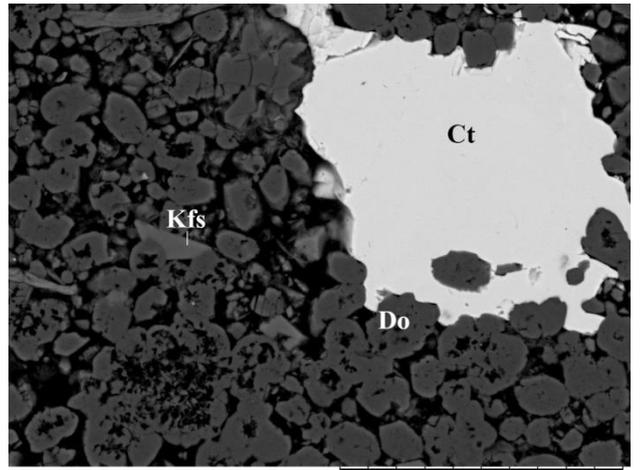


Рис. 39 Натечная кора (обр. А-13)



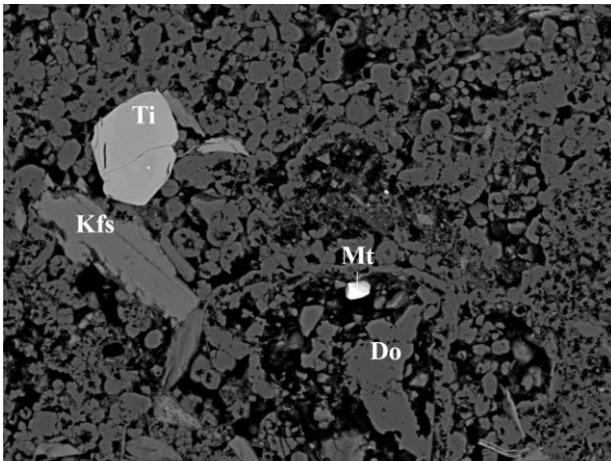
23-8K 2018.05.08 17:07 H D6.3 x2.0k 30 um

Рис. 40 Натечная кора (обр. А-13)



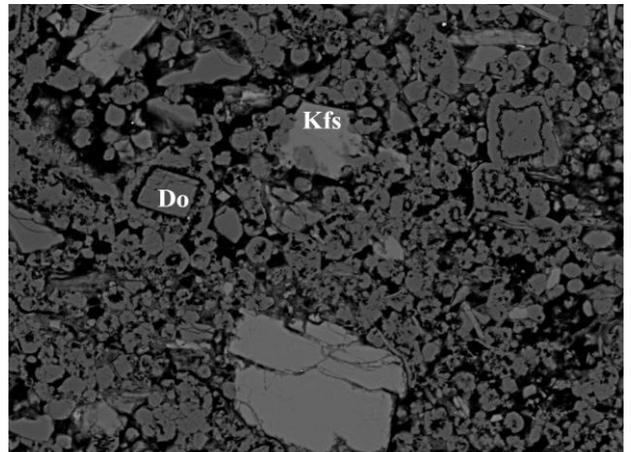
Q3-0.06_0008 2018.04.19 13:32 H D6.9 x1.5k 50 um

Рис. 41 Целестин в мергеле (обр. К-13)



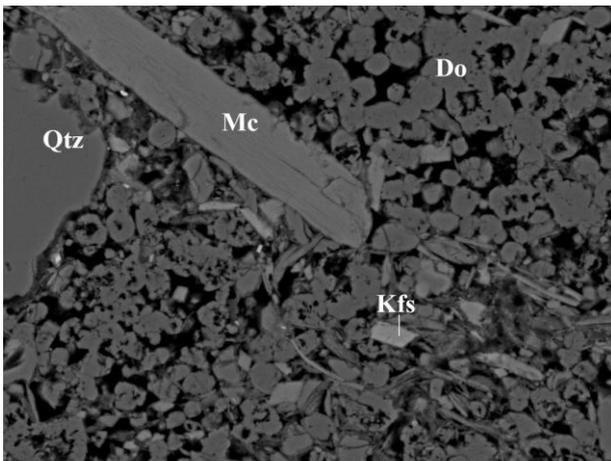
Q3-0.06_0011 2018.04.19 13:58 H D7.2 x1.0k 100 um

Рис. 42 Мергель (обр.К-13)



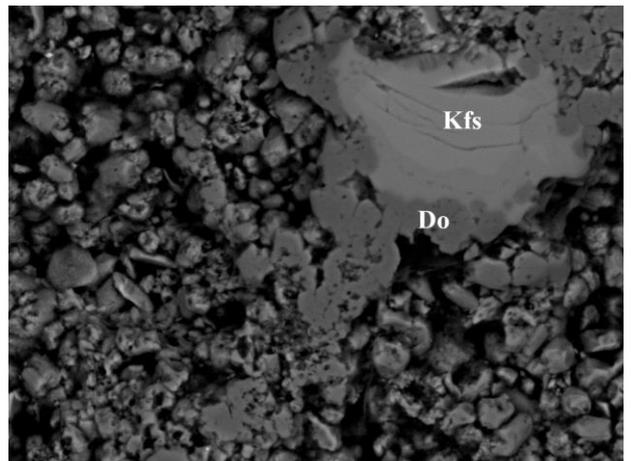
Q3-0.06_0012 2018.04.19 14:00 H D7.2 x1.0k 100 um

Рис. 43 Мергель (обр.К-13)



Q3-0.06_0014 2018.04.19 14:13 H D7.2 x1.5k 50 um

Рис. 44 Мергель (обр.К-13)



Q3-0.06_0015 2018.04.19 14:19 H D7.2 x1.5k 50 um

Рис. 45 Мергель (обр.К-13)

Группа С

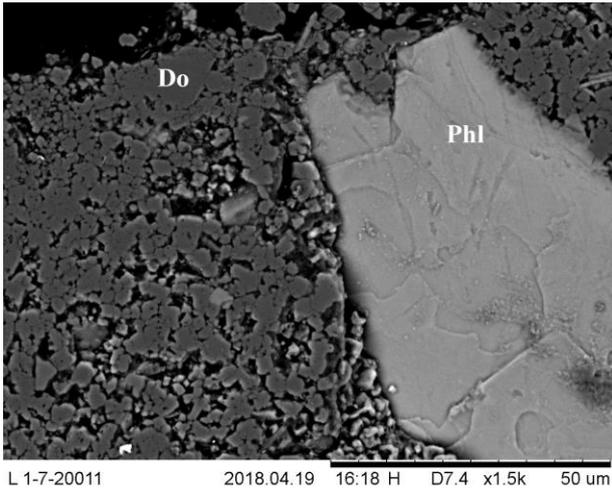


Рис.46 Флогопит в прослое мергеля (обр.А-3)

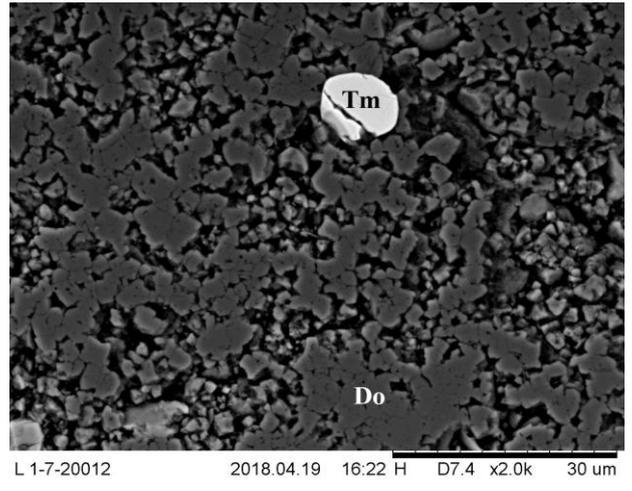


Рис. 47 Титаномagnetит в прослое мергеля (обр. А-3)

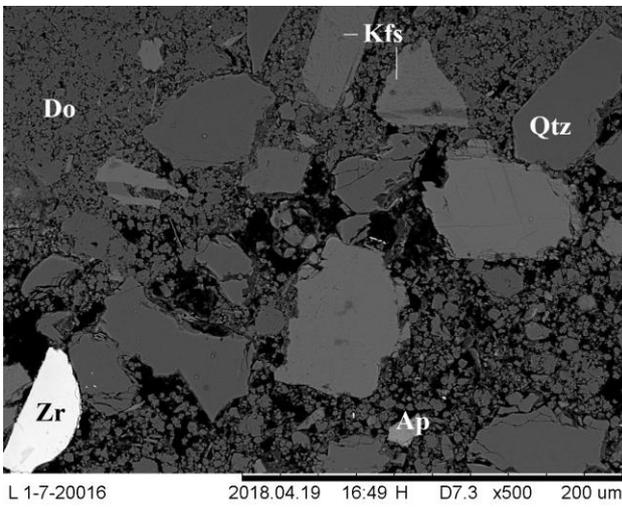


Рис.48 Песчаник (обр. А-3)

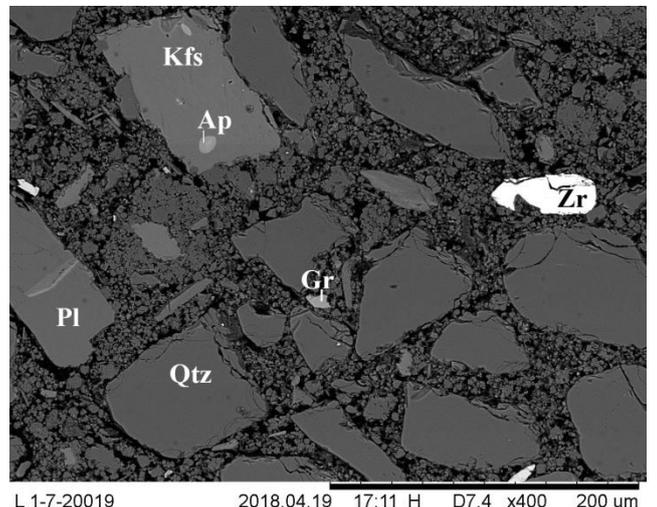


Рис. 49 Песчаник (обр. А-3)

Группа D

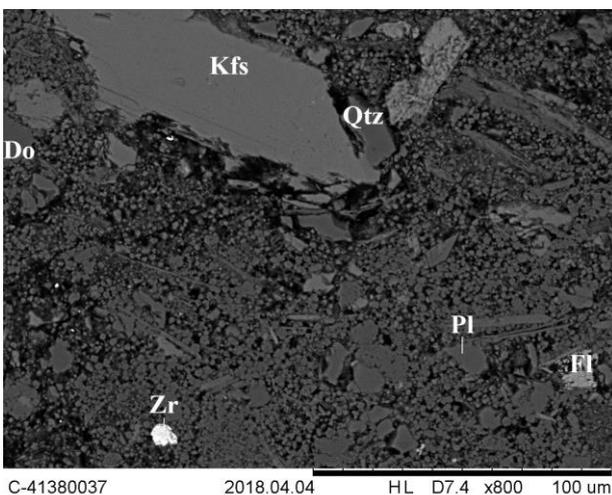


Рис. 50 Доломитовый прослой (обр. А-11)

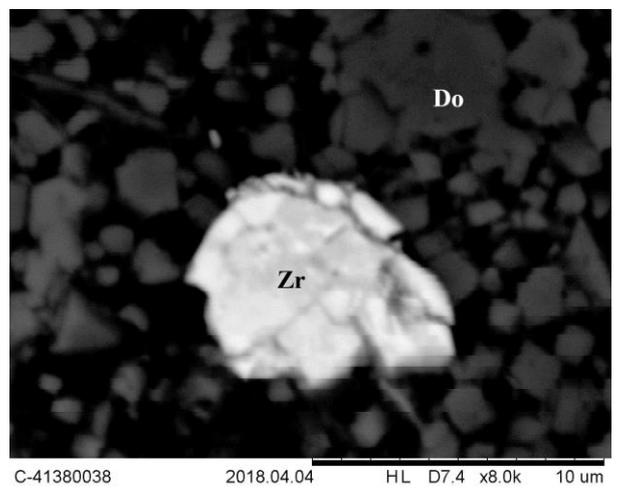
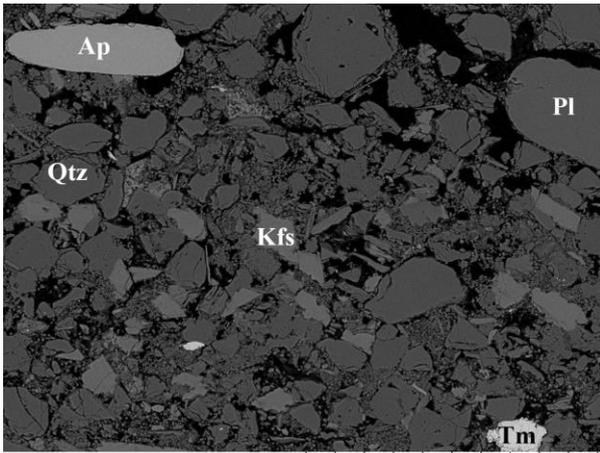
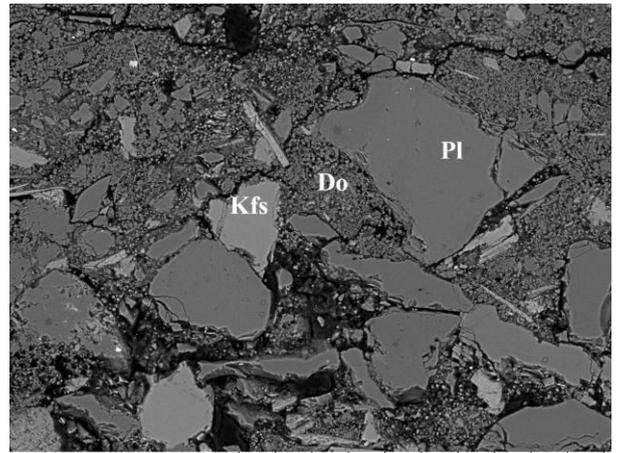


Рис. 51 Циркон в доломите (обр.А-11)



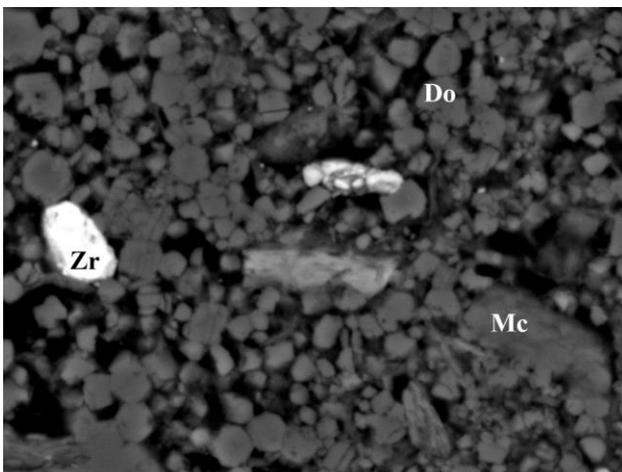
C-41380039 2018.04.04 HL D7.4 x400 200 um

Рис. 52 Алевропесчаник (обр.А-11)



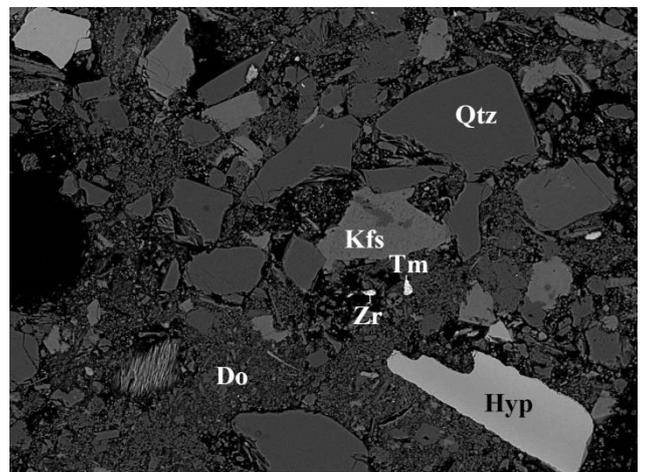
iskhod_0006 2018.04.18 10:40 HL D6.1 x500 200 um

Рис. 53 Алевропесчаник (обр.А-11)



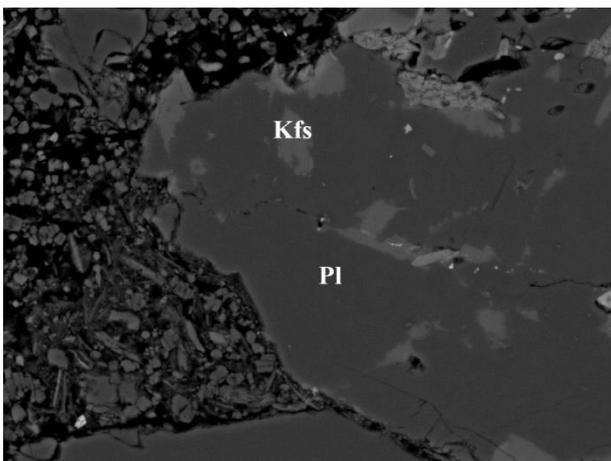
iskhod_0007 2018.04.18 10:51 HL D6.2 x4.0k 20 um

Рис. 54 Доломит (обр.А-11)



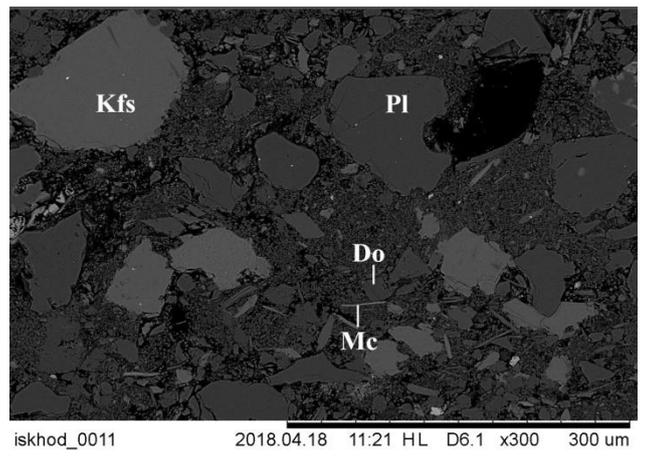
iskhod_0009 2018.04.18 11:07 HL D6.1 x400 200 um

Рис. 55 Алевропесчаник (обр.А-11)



iskhod_0010 2018.04.18 11:17 HL D6.1 x1.8k 50 um

Рис. 56 Пертиты К-На-полевого шпата в плагиоклазе (обр.А-11)



iskhod_0011 2018.04.18 11:21 HL D6.1 x300 300 um

Рис. 57 Алевропесчаник (обр.А-11)