

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

Институт Наук о Земле

**БОРИСОВА Валентина Андреевна**

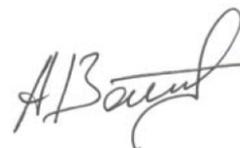
**Выпускная квалификационная работа**

**ФОРМИРОВАНИЕ КАРБОНАТНО-ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В  
КУЛОГОРСКИХ ПЕЩЕРАХ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ):  
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

Основная образовательная программа магистратуры  
по направлению 05.04.01 «Геология»

Научный руководитель:

д. г-м. н., проф. Зайцев Анатолий Николаевич



«9» \_\_мая\_\_ 2020 г.

Соруководитель: инженер Седова А.М.

Рецензент: к.г.-м.н. Тищенко А. И.

Заведующий кафедрой:

д. г-м. н., профессор Брусницын Алексей Ильич



«9» \_\_мая\_\_ 2020 г.

Санкт-Петербург

2020

Оглавление	
Введение .....	3
Глава 1. Литературный обзор .....	8
Глава 2. Объект и методы исследования .....	10
2.1 Геологическое строение и история развития территории .....	10
2.2 Полевые исследования. ....	20
2.2.1 Геологическое строение пещерного блока Кулогорского уступа. ....	20
2.2.2 Отбор проб и зональность пещер. ....	22
2.3. Инструментальные исследования .....	37
Глава 3. Литологический обзор изученных пород. ....	41
3.1 Типизация образцов из кернов .....	41
3.2. Описание шлифов .....	43
Глава 4. Минералогическая характеристика водно-механических отложений .....	47
4.1. Минеральный состав зерен из гидролушек .....	47
4.2. Результаты рентгенофазового анализа. ....	57
4.3 Химический состав породообразующих минералов .....	69
4.3.1 Подкласс слоистых силикатов .....	69
4.3.2 Полевой шпат .....	71
4.3.3 Кварц .....	73
4.3.4 Доломит и кальцит .....	73
4.3.5 Группа барита. ....	75
4.3.6. Группа граната.....	76
4.3.7. Группа амфиболов.....	77
4.3.8. Гипс .....	78
4.3.9. Акцессорные минералы .....	79
Глава 5. Геохимическая характеристика водно-механических отложений .....	82
Выводы .....	84
Список литературы.....	86

## Введение

Кулогорские пещеры располагаются 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, 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 и др., 2001).

Кулогорские пещеры имеют статус уникального геологического объекта и являются геологическими памятниками регионального значения (Шаврина, 2014; <https://map.mineral.ru/>). Они относятся к пещерам лабиринтного типа с разветвленной сетью ходов и являются паводковыми (Малков и др., 2001). Пещера Кулогорская-Троя уникальна тем, что имеет протяженность 18600 м и занимает одно из ведущих мест после гипсовых пещер Подолии (пещ. Оптимистическая, пещ. Озерная и др.) по протяженности (<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 с книгу «Карст и пещеры Пинежья» (Малков 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. лет) 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-алевритовых пород с гипсовым цементом в пещере Конституционная. На данный момент они не датированы.

Водно-механические отложения (ВМО) состоят из нескольких типов отложений: озерных, аллювиальных и аллохтонных. Озерные отложения состоят из глин, суглинков и алевритов, сформировавшихся в спокойных гидродинамических обстановках в основном из остаточных отложений. Аллювиальные отложения формируются под воздействием

временных и постоянных водных потоков и состоят из песков, алевритов и обломков карбонатных пород. Аллохтонные отложения состоят из материала, поступающего с поверхности через трещины (Малков и др., 2001).

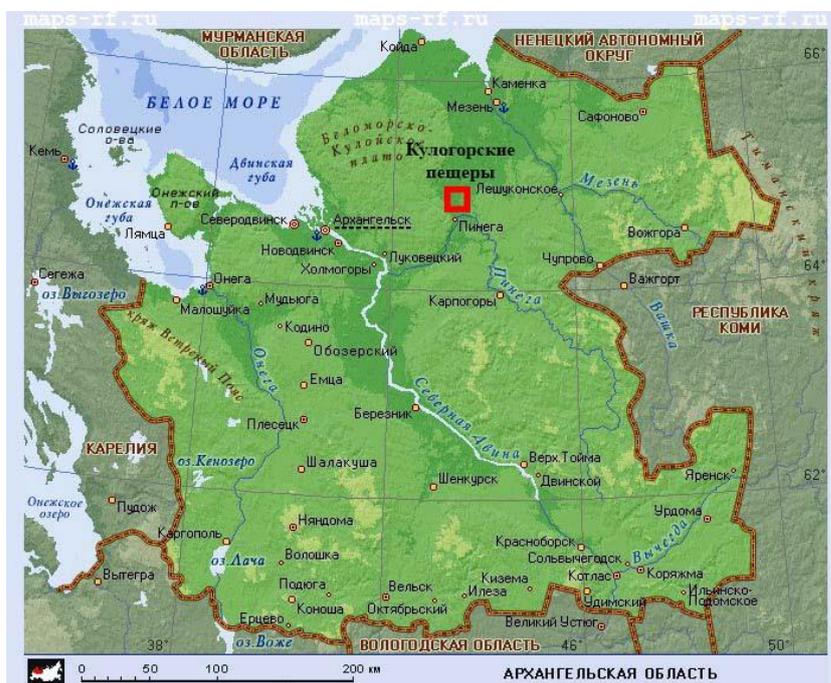


Рис. 1. Физическая карта Архангельской области (<http://www.maps-rf.ru>)

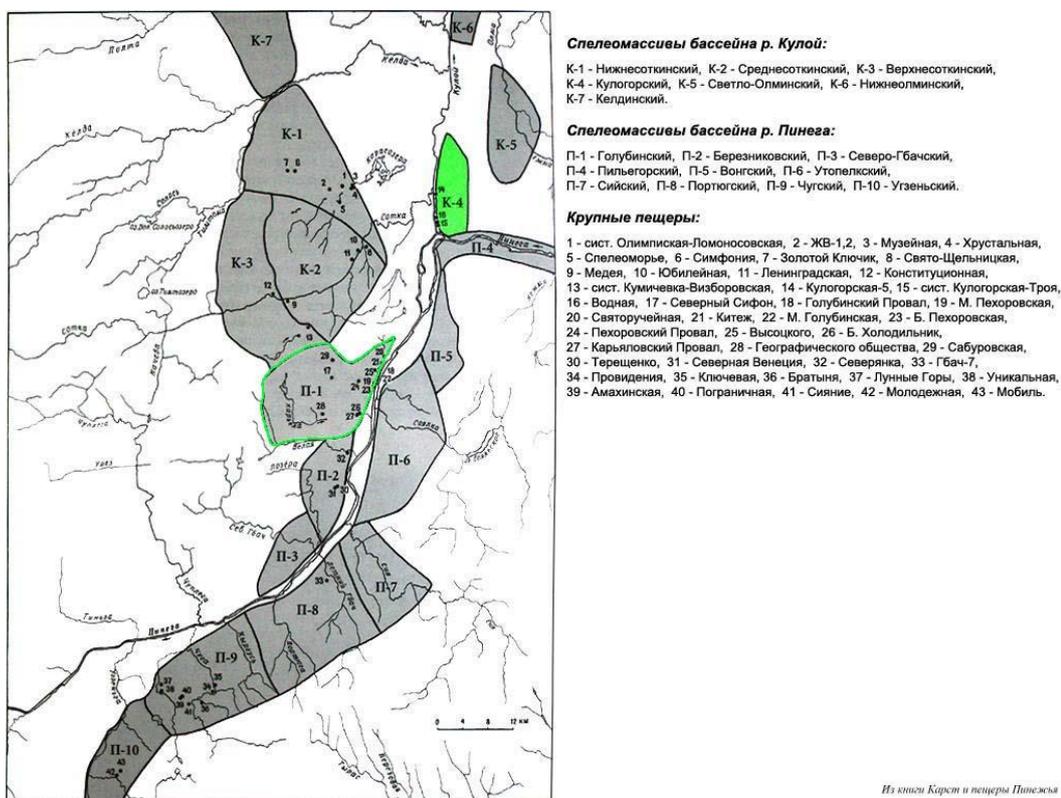


Рис. 2. Схема спелеомассивов. Зеленым покрашен Кулогорский массив, зеленым контуром выделен Голубинский массив. По данным Малкова В.Н. и др., (2001) с дополнениями автора.

Следующим этапом в изучении геологии Кулогорского спелеомассива стали подробные исследования минералогического состава всего комплекса вторичных отложений. Эти исследования проводятся на базе Архангельской спелеологической ассоциации (АСА) «Лабиринт» силами сотрудников каф. минералогии Института Наук о Земле (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. Автор вместе с инж. ИНоЗ СПбГУ Седовой А.М. принимал участие в экспедициях в Кулогорские пещеры (рис. 3, рис. 4) на базе Архангельской спелеологической ассоциации (АСА) «Лабиринт» в январе 2018 г., марте 2019 г. и марте 2020 г. Нами были отобраны часть образцов для этой работы, составлены геологические разрезы пород пещерного блока.



Рис. 3. Документирование разреза в пещере К-4. Фото Т. Ковалевой.



Рис. 4. Дальняя часть (Северо-Западный меандр) пещера К-4. Фото Т. Ковалевой.

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 и др., 2001). Все типы отложений, залегающие в Кулогорской системе, находятся в зоне сезонных колебаний уровней подземных вод, поэтому практически все ВМО, в том числе и древние, перекрываются современными отложениями.

Данная работа посвящена изучению минералогии водно-механических отложений из разных частей пещер (пещеры Водная и Кулогорская-Троя) и сезонных осадков, уловленных гидрологическими ловушками во время паводка. Минералогия отложений пещер и условия их формирования на сегодняшний день изучены слабо. Изучение минерального состава современных паводковых осадков и сравнение их с различными пещерными отложениями поможет понять условия формирования отложений на разных стадиях развития пещер.

Главная цель этой работы – установить пространственно-временные закономерности формирования различных по составу отложений в системе Кулогорских пещер.

Для достижения этой цели было поставлено несколько задач:

- Рассмотреть стратиграфическое положение пород пещерного блока с привязкой расположения гидролушек (ГЛ), с целью возможности учесть влияние остаточно-дескамационных обломков на состав ВМО
- определить минералогический состав осадка из гидролушек, уловленного во время паводка. Применить для этого рентгенофазовый анализ глинистых минералов – для тонко-дисперсной фракции и изучить состав зерен крупнее 0,1 мм с помощью оптического наблюдения под бинокулярным микроскопом и рентгенофазового анализа;
- изучить состав кернов водно-механических отложений с помощью визуального макроскопического рассмотрения (выделение групп схожих образцов) и оптического изучения пород в шлифах на канадском бальзаме, изучения пород в шайбах с помощью рентгеноспектрального энергодисперсионного микроанализа;
- установить закономерность изменения состава отложений по разрезу и по латерали, сравнить с составом осадка из гидролушек.

В работе использованы материалы, отобранные инженером ИНоЗ СПбГУ А.М. Седовой в ходе экспедиции в марте 2017 г., спелеологами АСА «Лабиринт» в августе 2018 г., и материалы отобранные автором данной работы в ходе экспедиций в январе 2018 г., марте 2019 г. и в марте 2020 г.

## Глава 1. Литературный обзор

Кулогорские пещеры известны с 1837 г. В период до 1920-х годов карст в районе изучался мало. С 1920-х годов в районе проводились различные геологические работы: полуторамиллионная геологическая съемка (1929 г.), поисково-разведочные работы на поделочный гипс (1954 г.), на бор и редкие элементы (1958-59 гг.), проводилось бурение структурных скважин на востоке Архангельской области (1960-61 гг.) и другие работы. Первые комплексные геологические исследования в районе Кулогорских пещер начали проводиться с 1974 г. Карстовым отрядом Архангельской геологической службой, под руководством В.Н. Малкова. В период с 1974 по 1995 г. было написано 5 отчетов, в которых были раскрыты вопросы поиска естественных полостей на данной территории, изучены различные типы экзогенных процессов, проведены различные типы картирования, проведены геолого-карстологические работы (Малков, Николаев, 1977, Малков, Гуркало, 1995).

Работы по изучению карста в междуречье Сотки и Пинеги были проведены в 1990-1995 гг. По результатам этих работ были выделены геологические формации и субформации, более подробно описаны четвертичные отложение и тектоническое строение территории. Также были выделены этапы формирования карста: доледниковый, ледниковый и голоценовый (Малков, Гуркало, 1995).

По результатам исследований, проведенных Карстовым отрядом за все годы изучения карста Беломорско-Кулойского плато, была написана книга «Карст и пещеры Пинежья» (Малков и др., 2001). В книге описаны различные виды отложений пещер, приведена их классификация и морфологическое описание, однако минералогия этих отложений на тот момент практически не была изучена.

Подробное минералогическое изучение всего комплекса вторичных отложений проводится в настоящее время на базе АСА «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. За время исследований были достигнуты некоторые важные результаты.

На основе петрографических исследований были описаны порообразующие компоненты отложений и выделены генетические группы пород, которые участвуют в формировании ВМО (Седова А. М., Франц Н.А., 2017). Кроме этого, проводились работы

по изучению содержания органического углерода и углерода карбонатов в современных нелитифицированных и литифицированных отложениях. Выяснилось, что в нелитифицированных отложениях меньше карбонатного углерода, чем в литифицированных. Это говорит о том, что условия формирования более древних отложений отличались от современных (Седова, 2017).

Еще одним важным направлением исследований пещерных отложений является изучение глинистых минералов в водно-механических отложениях, основная часть которых представлена нелитифицированными карбонатно-глинистыми осадками. В этих отложениях были диагностированы смешаннослойные иллит-монтмориллониты, каолинит и минералы группы хлоритов. После получения данных, состав глинистых минералов был сравнен с минеральным составом почв, находящихся над изучаемыми пещерами. В результате было установлено, что наиболее близкими по составу почвами являются грубогумусированные органо-буроземные почвы, развивающиеся по карбонатным красноцветным породам нижеказанского подъяруса верхней перми, которые сохранились в трещинах массива после их денудации ледником с поверхности (Седова А.М. и др., 2020). Кроме водно-механических отложений также изучались и другие вторичные образования пещер, такие как сталактит-сталагмитовые коры и коричневые карбонатные коры со свода пещер. Первые имеют зональное строение: в центре кальцитовый туф с разноориентированными зернами, на котором кристаллизуются микрокристаллы кальцита. Коричневые коры состоят предположительно из тодорокита (Борисова В.А. и др., 2020).

В 2018г. автором были изучены образцы из различных групп отложений в разных частях пещер. Отложения были очень похожи по минералогическому составу, однако составив минеральные ассоциации для каждой группы, удалось сделать некоторые выводы об источнике обломочного материала. Так, для всех групп характерен кварц, разной степени окатанности, плагиоклаз и K-Na-полевой шпат. В наиболее молодых отложениях встречаются целестин и гипс, а в породах вмещающей толщии встречаются гиперстен и флюорит. После изучения доломитового цемента были выявлены две стадии образования двух групп отложений: 1-накопление обломочного материала с кальцитовым цементом; 2 – метасоматическое преобразование кальцита в доломит (Борисова В.А., 2018).

## Глава 2. Объект и методы исследования

### 2.1 Геологическое строение и история развития территории

Кулогорские пещеры располагаются в центральной части Архангельской области, на территории Пинежского района. Они приурочены к Койдо-Кулойскому прогибу Кулойской низины (Кулойско-Мезенская низменности), в целом характеризующиеся нисходящим режимом новейших тектонических движений. Западнее на расстоянии около 10 км располагается склон Беломорско-Кулойского плато, находящегося на стыке Балтийского щита и Мезенской синеклизы, в целом он испытывает восходящий тектонический режим (Малков В.Н. и др., 1995). Входы пещер располагаются у подножья Кулогорского структурно-эрозионного уступа, орфографически так же совпадающим с бортом Пинего-Кулойского канала. Склон задернован и с редкими скальными выходами древней эрозионно-ледниковой долины идущей вдоль канала (Затульская Т.Ю. и др., 2009). Над уступом территория представляет собой плоскую равнину с максимальными отметками 40-50 м, покрытую ледниковыми позднеосташковскими – раннеголоценовыми отложениями (рис. 2.1).

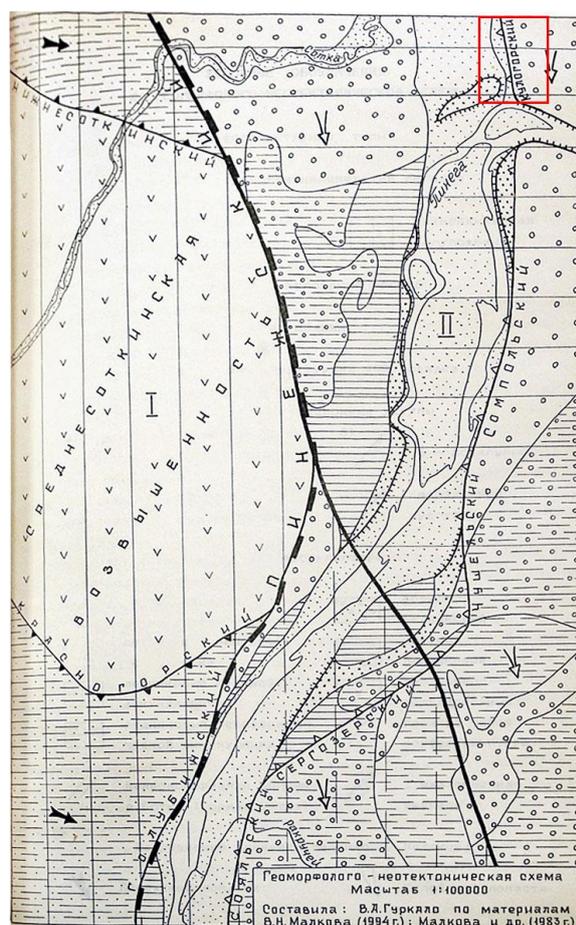


Рис. 2.1. Геоморфолого-неотектоническая схема, красный контур – место расположения пещер Водная (К-4) и Кулогорская-Троя (К-1, К-2, К-13). По данным Малкова В.Н и др., (1995).

**Стратиграфия.** 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 (C<sub>2-3</sub>, P<sub>1as</sub>, P<sub>2kz2</sub>), сульфатно-карбонатные (P<sub>1sot</sub>, P<sub>1tr</sub>, P<sub>1kl</sub>), сульфатно-терригенные (P<sub>2u</sub>), карбонатно-терригенные (P<sub>2kz1</sub>) (рис. 2.3). Разрез карстующейся толщи Кулогорских пещер приурочен к карбонатной (P<sub>1as</sub>) и сульфатно-карбонатной (P<sub>1sot</sub>, P<sub>1kl</sub>) формациям (Затульская Т.Ю. и др., 2009) (рис.2.2).

система	отдел	ярус	свита	индекс	литология	мощность, м	характеристика пород
пермская	нижний	сакмарский	кулогорская	Q		0,5-3	супеси, пески, суглинки
				P <sub>1kl</sub>		9	доломиты, гипсы, реже мергели, прослои органогенного известняка и селенитов
			соткинская	P <sub>1sot</sub>		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 <sub>1as</sub>		10-12	гипсы массивные, цепочечные, с прослоями ангидритов, 1 слой доломита	
				P <sub>1as</sub>		50-60	доломиты, известняки местами окремненные, в верхней части огипсование; трещиноватые, закарстованные

Рис. 2.2. Литолого-стратиграфическая колонка карстующихся пород в Кулогорском спелеомассиве (Атлас пещер России, 2019)

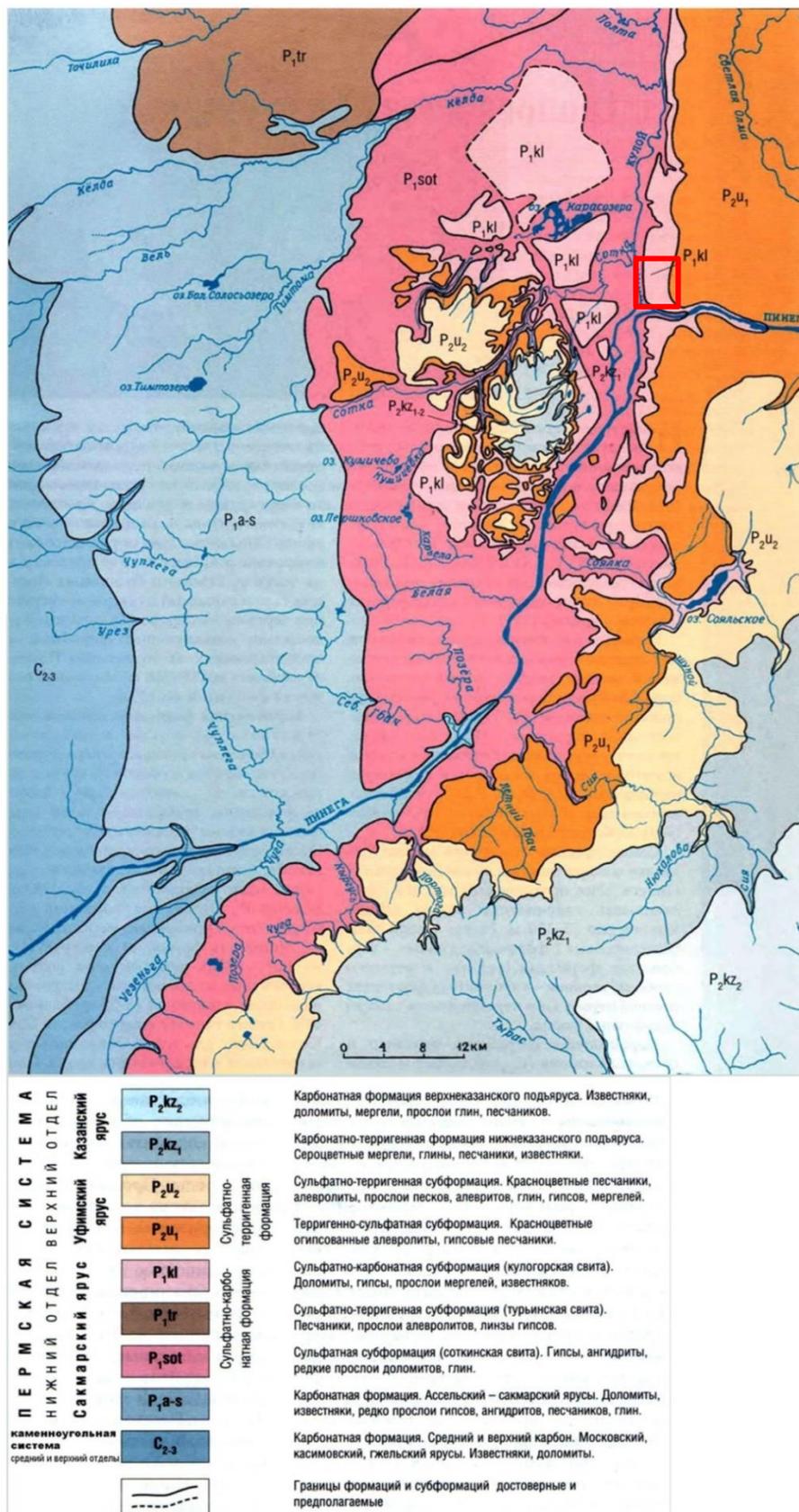


Рис. 2.3. Карта геологических формаций Пинежья (Малков и др., 2001). Красный контур – место расположения пещер Водная (К-4) и Кулогорская-Троя (К-1, К-2, К-13).

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 отмечаются окремненные прослои, с развитыми желваками кремня, а в верхней части формации встречается огипсование. Породы трещиноватые, закарстованные, в кровле дезинтегрированы до состояния карбонатной муки. Очень редко встречаются прослои и линзы гипсов, ангидритов, песчаников, глин. Гипсы и ангидриты часто встречаются в виде гнёзд и включений размером 5-10 см. 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 толщиной 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 разности – 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.

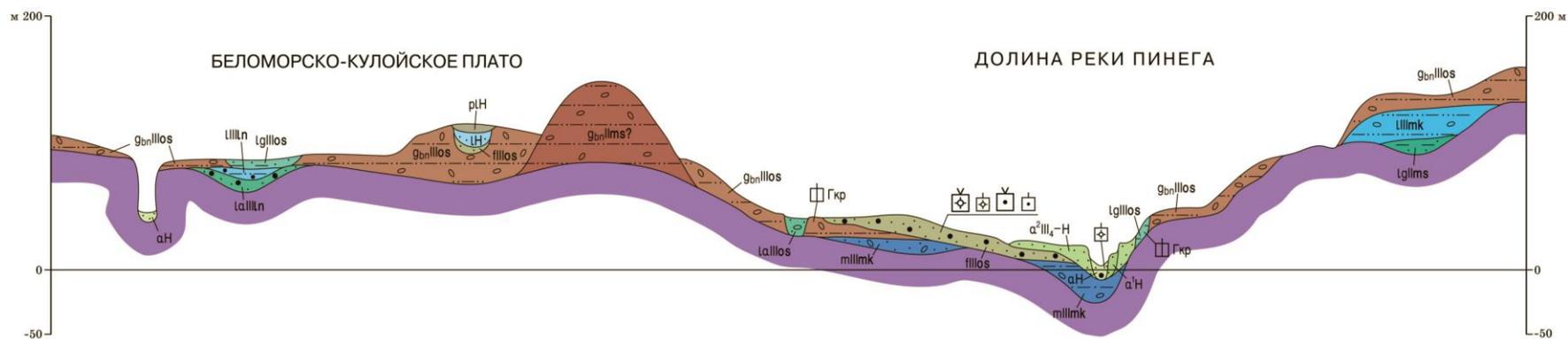
Верхняя пачка мощностью 20-22 м сложена разнозернистыми гипсами, преимущественно крупнозернистыми, звездчатыми, шестоватыми и сахаровидными. Кровля гипсов имеет волнистую, корродированную поверхность. В породах этой пачки заложены Кулогорские пещеры.

Мощность отложений формации от 40 до 70 м.

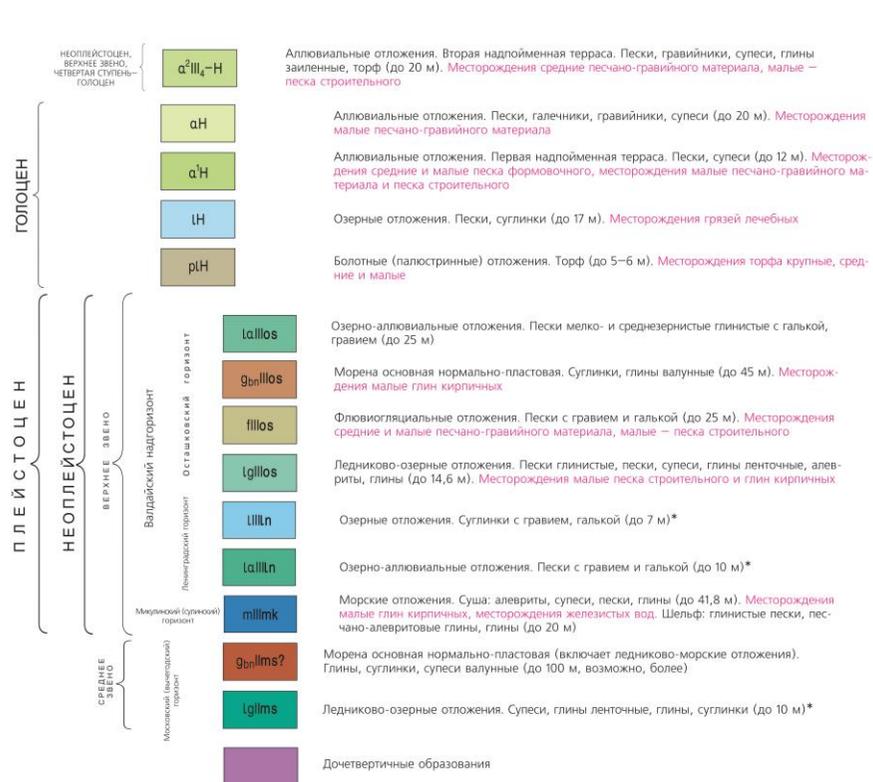
*Сульфатно-карбонатная субформация (P<sub>1kl</sub>)* включает лагунно-морские отложения кулогорской свиты сакмарского яруса нижней перми и представлена толщей переслаивающихся доломитов, гипсов, реже мергелей, иногда с прослоями известняков. Доломиты желтовато-серые, светло-серые, известковистые, огипсованные, прослоями окремненные, микро- и тонкозернистые. Мощность субформации в районе пещер около 9 м (Малков и др., 2001; Затульская и др., 2009).

*Четвертичный покров* на исследуемой территории представлен отложениями среднего и верхнего звеньев неоплейстоцена и отложениями голоцена (рис.2.4).

Среднее звено неоплейстоцена представлено отложениями московского горизонта, но на изученной территории эти отложения явно не установлены, так как они были перемыты последующими моренами. Их слагают нормально - пластовые морены ( $g_{bn}Pms?$ ). Московская морена представлена в основном глинами, суглинками и супесями валунными буровато-коричневыми, грубыми комковатыми или бесструктурными монолитными, в выветрелом состоянии – рыхлыми до пылеватыми, с включениями гравия, гальки, валунов, крупных отторженцев. Обломочный материал различной окатанности. Часто в толще суглинков встречаются линзы и гнезда разнозернистых песков, иногда слоистых, с обломочным материалом; отмечаются линзы и гнезда глины пылеватых заиленных неяснослоистых с черными сажистыми включениями. Линзы и гнезда нередко имеют бесформенные очертания. Они могут быть отторженцами более древних пород или осадками внутриледниковых вод. Мощность отложений на Беломорско-Кулойском плато достигает 10 м (Журавлев и др., 2012; Малков и др., 1977).



У С Л О В Н Ы Е О Б О З Н А Ч Е Н И Я



ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Подгруппа, вид	Месторождения		
	Крупные	Средние	Малые
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИСКОПАЕМЫЕ			
Строительные материалы			
Глинистые породы			☐ Гр
Глины кирпичные			☐ Гр
Облаженные породы		☐	☐
Песчано-гравийный материал		☐	☐
Песок строительный: месторождения промышленные		☐	☐
месторождения, не учитываемые Госбалансом	☐		
Песок формовочный		☐ Фр	☐ Фр

Рис. 2.4. Разрез четвертичных отложений. По данным Журавлева и др., (2012).

Верхнее звено неоплейстоцена представлено отложениями микулинского горизонта, ленинградского и осташковского горизонтов валдайского надгоризонта.

Микулинский межледниковый горизонт на исследуемой территории представлен морскими отложениями, которые сложены полевошпатово - кварцевыми песками с прослоями галечников, в средней части встречаются прослой глины. В верхней части в разнозернистых песках встречаются многочисленные раковины морских моллюсков. Эти отложения отмечаются на водоразделах на абсолютной отметке 33-37 м, их мощность достигает 20 м (Журавлев и др., 2012; Малков и др., 1977).

Отложения ленинградского горизонта на территории представлены морскими отложениями. Они сложены коричневато-серыми, серыми, темно-серыми среднезернистыми песками с горизонтальной и линзовидно-волнистой слоистостью; коричневыми и коричневато-серыми супесями; синевато-серыми, темно-серыми глинами. Эти отложения остались только в переуглубленной части Пинево-Кулойской долины, их мощность достигает 10 м (Журавлев и др., 2012; Малков и др., 1977).

Верхнее звено неоплейстоцена представлено отложениями осташковского горизонта валдайского надгоризонта. Они сложены ледниково-озерными (lgIIIos), флювиогляциальными (fIIIos) отложениями и основной нормально-пластовой мореной ( $g_{bn}$ IIIos). На рассматриваемой территории эти отложения распространены широко. Морена представлена буровато-коричневыми суглинками, плотными, с гравием и галькой (до 10%) пород смешанного состава (средней окатанности), темно-серыми глинами с коричневым оттенком, песчаными, комковатыми, с гравием и галькой (до 20%) кремней, диабазов, гнейсов, известняков средней окатанности, песками глинистыми, песчаными плотными глинами. Флювиогляциальные отложения представлены желтыми супесями, глинистыми, неяснослоистыми, с редким включением гравия, желтовато-серыми песками, светло-серыми разнозернистыми, слоистыми, с линзами гравия и грубозернистого песка. Ледниково-озерные отложения представлены темно-серыми глинистыми песками, песками мелкозернистыми, полимиктовыми, с гравием и галькой различного петрографического состава, переходящими в супесь, глинами серыми, буровато-коричневыми, плотными, пластинчатыми, чешуйчатослоистыми, участками волнистослоистыми с гравием и галькой (до 20%) изверженных и метаморфических пород хорошей и средней окатанности, глинами ленточными, алевритами. Средняя мощность отложений этого горизонта не превышает 8-10 м (Журавлев и др., 2012; Малков и др., 1977). В районе развития Кулогорских пещер осташковские отложения покрывают

породы сульфатно-карбонатной субформации кулогорской свиты. Они представлены только флювиогляциальными (fПос) отложениями, сложенными песками с гравием, галькой, с редкими прослоями супесей, мощность которых составляет от 0,5 до 3 м (Малков и др., 1977; Седова, Франц, 2017).

Отложения голоцена представлены озерными (ПН) и болотными (рПН) отложениями. Озерные отложения слагают дно озерных котловин и развиты узкой полосой вдоль их берегов в виде нешироких террас и пляжей. Они представлены песками мелко-тонкозернистыми светло-серыми, с гравием и галькой подстилающих пород и впадающих рек, суглинками. Болотные осадки представлены верховыми, переходными и низинными торфами, имеющими различную степень разложения, содержащими включения растительных остатков стеблей, листьев, мхов и семена растений. Мощность озерных отложений – 3-5 м, болотных – 4-5 м (Журавлев и др., 2012; Малков и др., 1977).

Нерасчлененные неоплейстоцен-голоценовые отложения представлены аллювием (а<sup>2</sup> П<sub>4</sub>–Н). Он слагает вторую надпойменную террасу наиболее крупных рек – Кулой, Сояна, Койда. Аллювиальные осадки врезаются в более древние отложения различного генезиса и возраста, представлены песками желтовато-серыми мелко- и среднезернистыми, хорошо сортированными, косослоистыми, иногда глинистыми, с гравием и галькой различной степени окатанности, галечниками, гравийниками, супесями. Мощность аллювия не превышает 4 м (Журавлев и др., 2012; Малков и др., 1977).

**Тектоника.** Исследуемая территория расположена в пределах Восточно-Беломорской мегаступени Беломорской геоступени Русской плиты. Система пещер заложена в пределах Койдо-Кулойского прогиба, который является структурным типом 4 порядка. Прогиб на территории совпадает с морфоструктурой Кулойская низина, которая характеризуется инверсионным нисходящим режимом новейших тектонических движений слабой амплитуды.

Для исследуемой территории характерно большое количество дизъюнктивных нарушений. Разрывные нарушения находят отражение в верхних горизонтах осадочного чехла. Так, для ряда пещер установлена приуроченность к дизъюнктивным зонам, характеризующимся очень малыми по амплитуде сдвиговыми и вертикальными смещениями. При этом отмечается широкое развитие зон сильной трещиноватости, дробления, брекчирования и перекристаллизации по скользящим поверхностям. Разрывные деформации сульфатных массивов проявляются в превращении гипсовых пород в сильнотрещиноватую однородную массу. Доломитовые тела в результате

деформаций из пропластов и линз превращаются в разорванные включения или образуют доломитово-трещинные зоны, создавая структуру микробудинажа. Дизъюнктивные тектонические зоны проявляются в широком развитии трещиноватости, в изменении структуры и прочности пород, в горизонтальных перемещениях, вертикальных смещениях и приразрывных флексурах. Также на территории были установлены швы скольжения в подошве терригенно-сульфатной, карбонатно-сульфатной формаций и в толще гипсов сульфатной формации. Выше и ниже этих швов отмечаются зоны повышенной трещиноватости и в этих зонах заложены пещеры (Малков и др., 1995). 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 (Затульская и др., 2009).

**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. Начиная с триаса и до кайнозоя включительно территория начинает подниматься и занимает приподнятое положение над уровнем моря.

Существует два значительных этапа денудации поверхности – миоценовый и плиоценовый. В миоцене формировались поверхности выравнивания – педилены, в конце плиоцена шло образование педиментов и аккумулятивных поверхностей. (Спиридонов, 1978). Под действием трансгрессии и поднятия территории на плоской равнине с абсолютными отметками высот до 100м сформировалась сеть оврагов. Это был первый этап формирования Пинежского карста (Малков и др., 2001).

В четвертичное время территория подвергалась неоднократным оледенениям, которые сменялись морскими трансгрессиями. Во время трансгрессий понижения рельефа

превращались в краевые части морей и заливы. Такие условия были неблагоприятны для развития карста. Несмотря на это, на втором этапе развития карста из-за изостатических поднятий при деградации ледников, могли образовываться крупные поверхностные формы карста и подземные пустоты (Малков и др., 2001). На изучаемой территории были найдены отложения двух оледенений: московского и поздневалдайского.

В микулинское время морские воды охватывали всю территорию, кроме Беломорско-Кулойского плато. 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. На третьем этапе развития карста прорабатывались ярусные пещеры, расположенные на высоком гипсометрическом уровне (Малков и др., 2001). В ранневалдайское время в долины рек Вашка и Пинега проникал ледник со стороны Кольского полуострова (Журавлев и др., 2012), а по данным Малкова В.Н. (1995) ранневалдайское время после отступления моря было холодным и безледным. В средневалдайское (ленинградское) время происходило потепление и новая трансгрессия моря (Малков и др., 1995).

В поздневалдайское время долины р. Мезень достиг Скандинавский ледник, процессы карстообразования прекратились. В период деградации ледников понижения рельефа представляли собой обширный озерно-ледниковый бассейн. 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 (Малков и др., 2001). В конце поздневалдайского времени в долины рек вторглись морские воды, которыми были сформированы две морские террасы. В послеледниковое время трансгрессия моря сменилась затухающим трансгрессивно-регрессивным режимом (Журавлев и др., 2012).

В голоценовое время кроме морских и аллювиально-морских отложений, накапливались и продолжают накапливаться озёрные, аллювиальные, эоловые и палюстринные осадки. В это время деградировала многолетняя мерзлота, устанавливался речной сток, заболачивались послеледниковые 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. (Журавлев и др., 2012; Пучнина и др., 2008; Затульская и др., 2009, Малков и др., 2001).

## 2.2 Полевые исследования.

### 2.2.1 Геологическое строение пещерного блока Кулогорского уступа.

По результатам полевых работ 2019 и 2020 гг. были составлены геологические разрезы пород пещерного блока. Были описаны породы на входе двух пещер: К-2 и К-4. Для входа пещеры К-2 был построен профиль (рис. 2.5), который показал ярусность строения. Кроме этого, были построены геологические профили крупных галерей в пещерах К-1 и К-4 (возле гидроловушек в пещерах К-1 и К-4 (рис. 2.6, рис. 2.8).

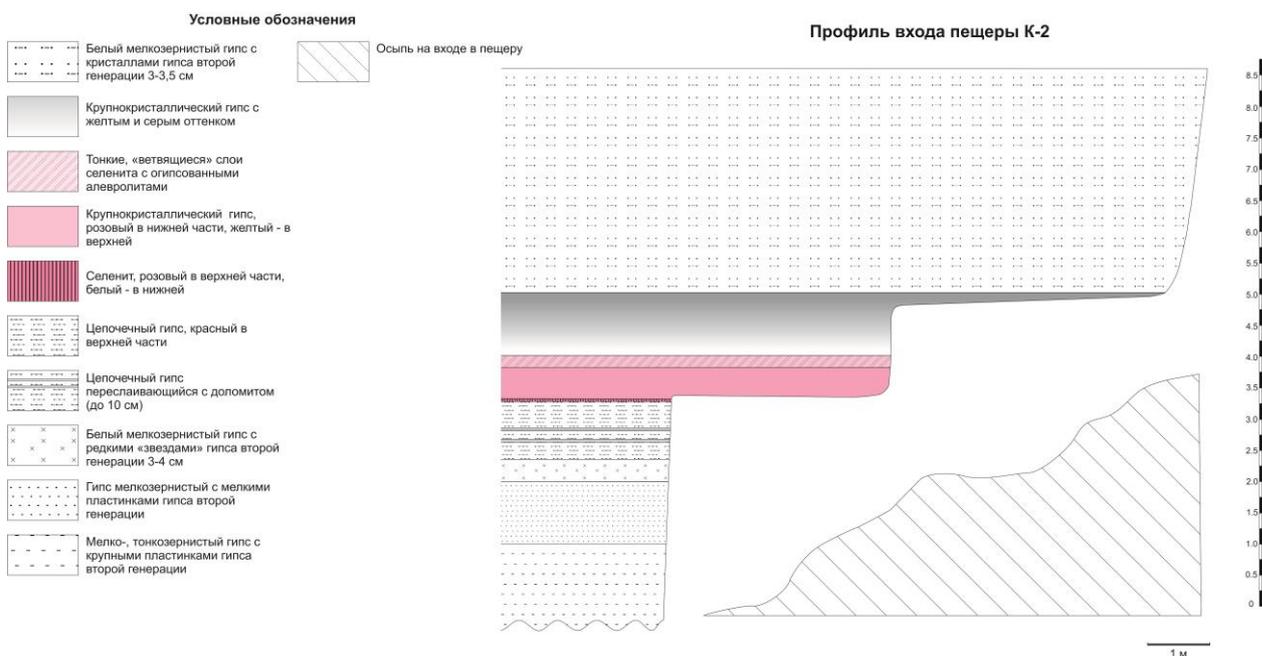


Рис.2.5. Профиль входа пещеры К-2.

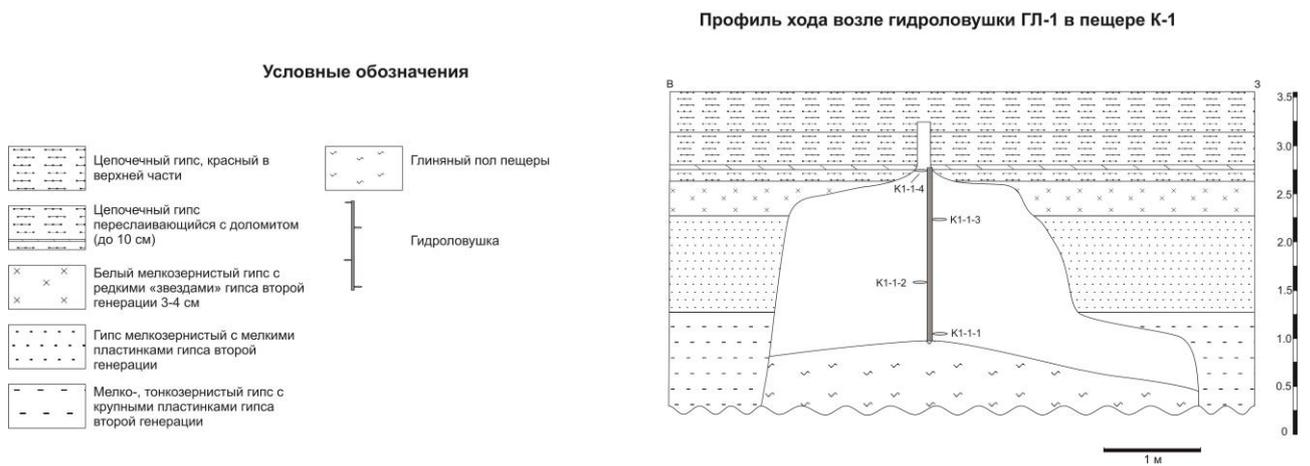


Рис. 2.6. Профиль пещерного хода возле гидрологической ловушки (далее обозначаемых как ГЛ) ГЛ-1 в пещере К-1.

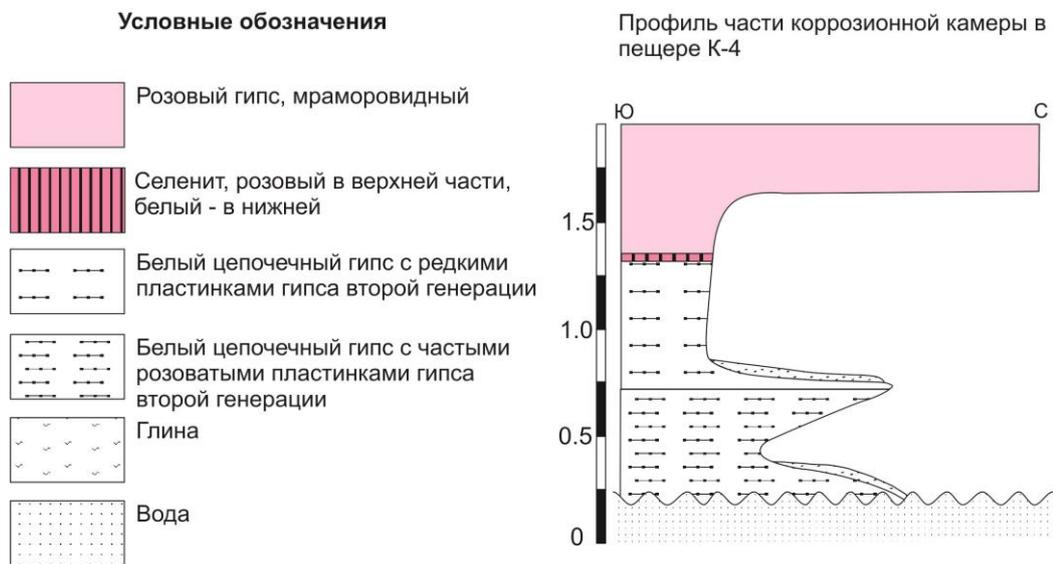


Рис.2.7. Профиль части Коррозионной камеры в пещере К-4.

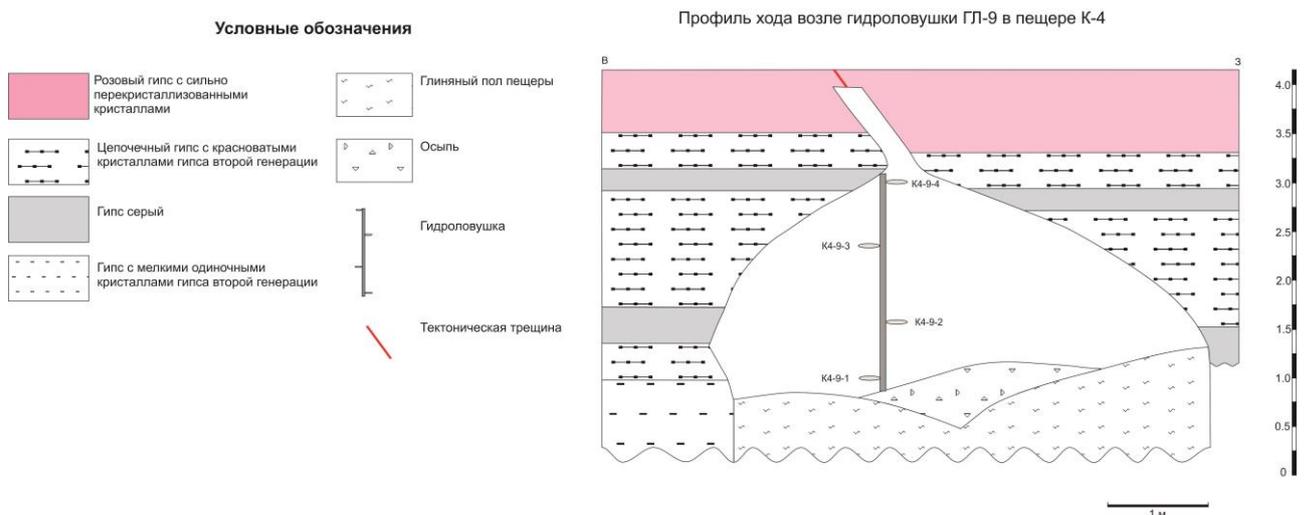


Рис.2.8. Профиль галереи в пещере К-4 возле гидрологической ловушки ГЛ-9.

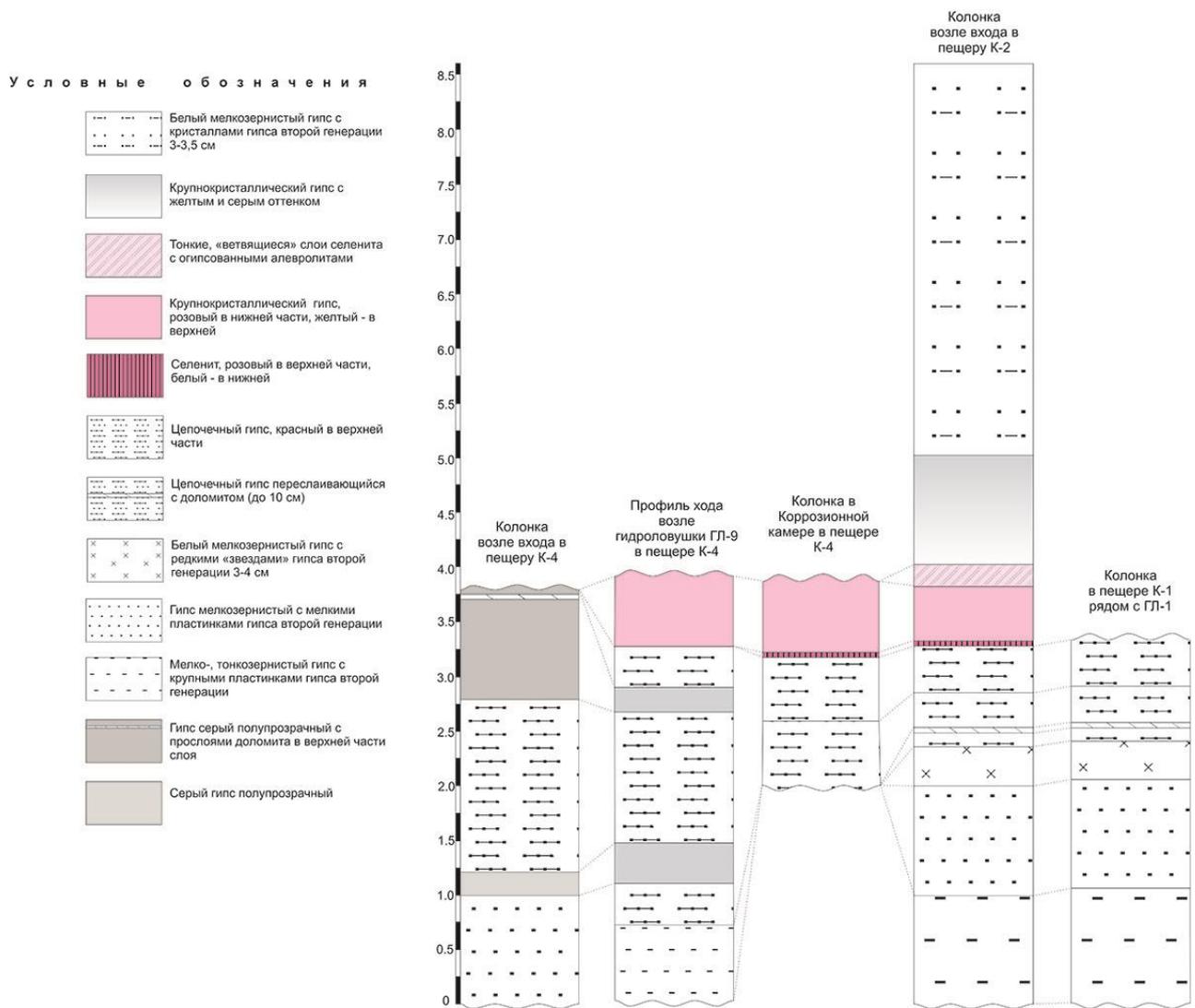
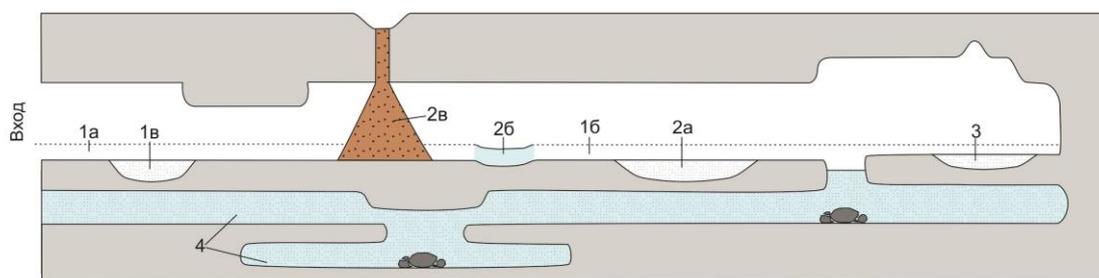


Рис. 2.9. Геологические колонки пород пещерного блока Кулогорского уступа

### 2.2.2 Отбор проб и зональность пещер.

Пещеры Кулогорского массива имеют сложное, лабиринтное строение с разветвленной сетью ходов. По вертикали в пещерах выделяются несколько ярусов: сифонный ярус, постоянно затопленный водой, ярус современной проработки и один (иногда два) ярус древней проработки. Благодаря такому строению, условия накопления осадков в пещеры очень разнообразны, поэтому пещеры были разделены на зоны, основываясь на микроклимате и условиях седиментации осадков (Рис. 2.10).



### У с л о в н ы е о б о з н а ч е н и я

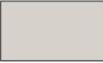
	Вмещающие породы	1а - Отложения, формирующиеся из временных водных потоков в холодной зоне
	Высыпка рыхлого материала под карстовыми воронками	1б - Отложения, формирующиеся из временных водных потоков в теплой зоне
	Озера	1в - Озерные отложения в холодной зоне
	Сифонный ярус	2а - Озерные отложения в теплой зоне
	Глыбы	2б - Отложения постоянных водных потоков в теплой зоне
		2в - Отложения гравитационных конусов под карстовыми воронками
		3 - Отложения коррозионных ниш (десквамационные отложения, переоткладывающиеся в озерных условиях)
		4 - Отложения сифонного яруса

Рис. 2.10. Схема микроклиматического и седиментационного зонирования пещер.

В настоящее время в пещерах преобладают озерные условия осадконакопления, при этом постоянные водные потоки соединяют между собой сифонно-озерные системы, расположенные на разных гипсометрических уровнях.

В привходовой зоне пещер микроклиматический режим отличается от остальной части – температура воздуха меняется в зависимости от температуры на поверхности. Так в зимний период во всех исследуемых пещерах в привходовых частях пещер зона сезонной мерзлоты (холодная зона). На рис.2.10 в зоне 1а в зимний период происходит промерзание, вспучивание и растрескивание грунта, на своде образуются ледяные кристаллы, реже натеки на стенах, на которых вследствие возгонки льда образуется криогенная мука. Временные водные потоки формируются во время паводков весной и осенью. Они несут небольшое количество терригенного материала и органическое вещество с поверхности. В настоящее время во время паводка в пещеры не вносится терригенный материал с поймы, но в прошлом это имело место в пещерах К-1 и К-2. В межень водные потоки пересыхают и отложения формируются только за счет обломков вмещающих пород, падающих со свода пещер образуя гравитационные отложения.

Иным случаем является формирование осадка в криогенных условиях (зона 1в), в результате смерзания припайного льда из высокоминерализованных озерных пещерных вод с осадками на дне. Такие водоемы зимой могут полностью или частично замерзнуть, либо находиться в зоне многолетней мерзлоты. После стаивания льда в этой зоне остаются криогенные минералы, но они могут быть смыты временными водными потоками, которые перераспределяют осадки внутри пещеры.

В теплой зоне температура воздуха всегда положительная и близка к постоянной, около +5°C. В зоне 1б осадконакопление осуществляется из временных водных потоков, формирующихся за счет паводковых вод весной и осенью. Характерной особенностью Кулогорских пещер является практически нулевое количество осадка попадающего в пещеру с паводковыми водами с поверхности. Поэтому, среди осадков встречаются, главным образом, алевриты с доломитовой дресвой и различными по размерности обломками гипса, упавшими со свода, редко органогенные илы.

В озерных условиях (зона 2а) осадконакопление в спокойной гидродинамической обстановке происходит постоянно. Осадок, по всей видимости, имеет гетерогенное происхождение: 1. материал, приносимый постоянными и временными водными потоками; 2. десквамационный гравитационный материал, 3. биохемогенный материал.

В зоне постоянных водных потоков (зона 2б) происходит переотложение более древних осадков, за счет активной гидродинамики, переотложение гравитационного и остаточного материалов.

В зоне 2в отложения формируются из терригенного материала, поступающего с поверхности через трещины и карстовые воронки. Часть отложений состоит из захваченных обломков вмещающих пород. Они образуют гравитационные конуса в пещерных ходах и являются источником терригенного материала.

В зоне 3 осадки формируются в озерных условиях, но с сильным преобладанием остаточно-десквамационных отложений – за что один из таких залов и назван Коррозионной камерой.

Отложения сифонного яруса в зоне 4 до сих пор являются не изученными, но очевидно, что их состав может иметь свои характерные черты.

Таким образом, в качестве «строительного материала» для ВМО могут быть следующие отложения:

1. Многократно перемываемый терригенный материал с поймы (не во всех пещерах); позднеосташковские – раннеголоценовые отложения из гравитационных конусов, сложенные песками с гравием, галькой, с редкими прослоями супесей; карбонатные красноцветные породы нижнеказанского подъяруса верхней перми, которые сохранились в трещинах массива после их денудации ледником с поверхности (Седова и др., 2020); органическое вещество – кусочки древесины, листочки, хвоя, хитин насекомых; антропогенные остатки свечей, мелкие кусочки пластика и др

2. Гравитационные отложения, главным образом доломитовые глыбы - доломит в водных условиях размягчается и переходит в карбонатную глину, а также другие породы пещерного профиля (обломки селенитов и небольшие кусочки мелкозернистого гипса, тонко-мелкозернистый песчаник и др.)

3. Остаточно-десквамационные отложения - мелкие кусочки гипсов, пелитовые глинистые частицы, комки красноцветных глинистых, аргиллитистых и тонко-песчаных пород, окаймляющих селенитовые прослой.

Для изучения современного состава ВМО в пространстве и времени в марте 2018г. в пещерной системе Кулогорская-Троя и пещере Водная было установлено 19 гидрологических ловушек в разных частях пещер (рис. 2.13, таб. 2.2), а также были отобраны керны водно-механических отложений (ВМО) с помощью специальных пробоотборников (рис. 2.14, рис.2.12, таб. 2.1). Также в работе использовались образцы 2017 г. (таб. 2.3).

Каждая гидроловушка (ГЛ) представляет собой вертикальную деревянную рейку, закрепленную между полом и сводом пещеры (Рис. 2.11). На ней закреплены 3-4 пробоотборника, стеклянные чашки Петри без крышек, на разных уровнях от пола. Нижняя чашка располагается на 5-10 см выше пола, средняя находится на середине пещерного хода – 50-60 см выше нижней чашки, верхняя располагается ниже свода пещеры на 15-20 см. В ходах более 2м высотой могут быть два средних пробоотборника. Они позволяют улавливать обломочный и глинистый материал, переносимый водными потоками. Параллельно с чашками Петри устанавливались бутылочки, предназначенные для изучения изотопного состава воды в разные сезоны года.

Отбор проб производится в меженное время, в январе, августе или марте. Из чашек Петри сначала с помощью шприца (без иглы) отбирается вода для изотопного анализа, затем остатки воды с осадком переливают в отдельные баночки (Франц и др., 2019).

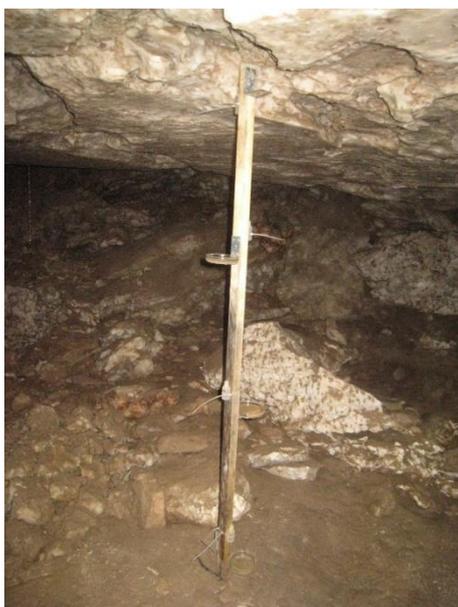


Рис. 2.11. Одна из гидроловушек (ГЛ) в пещере К-13 (Троя). (Фото Н.А.Франц)



Рис. 2.12 Процесс отбора керна ВМО с помощью пробоотборника (Фото И.Э. Вяххи).

Схема расположения гидрологических ловушек  
в пещерной системе Кулогорская-Троя и пещере Водная  
Март 2018г.

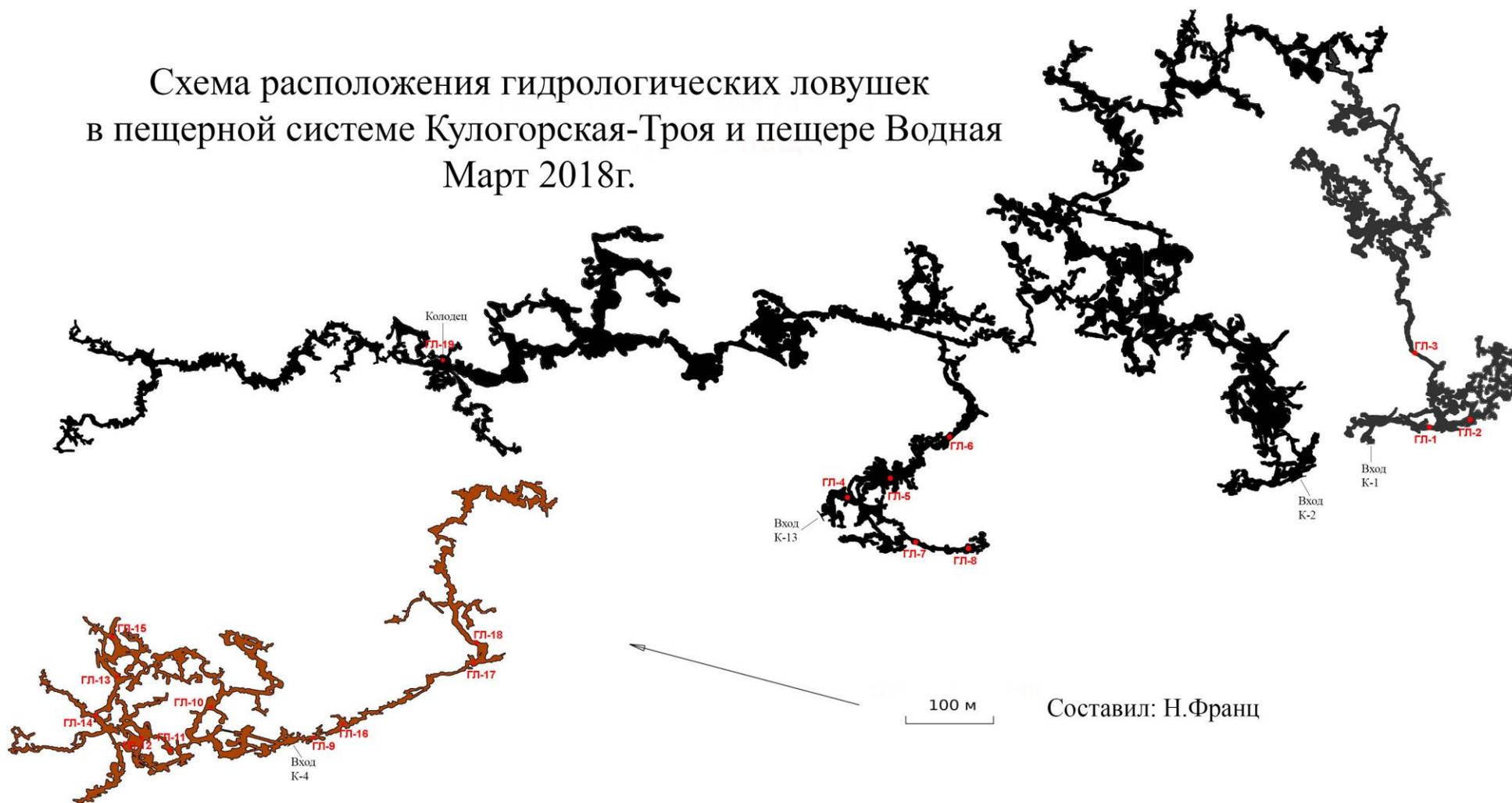


Рис. 2.13 Схема расположения гидрологических ловушек в пещерной системе Кулогорская-Троя и пещере Водная, март 2018.

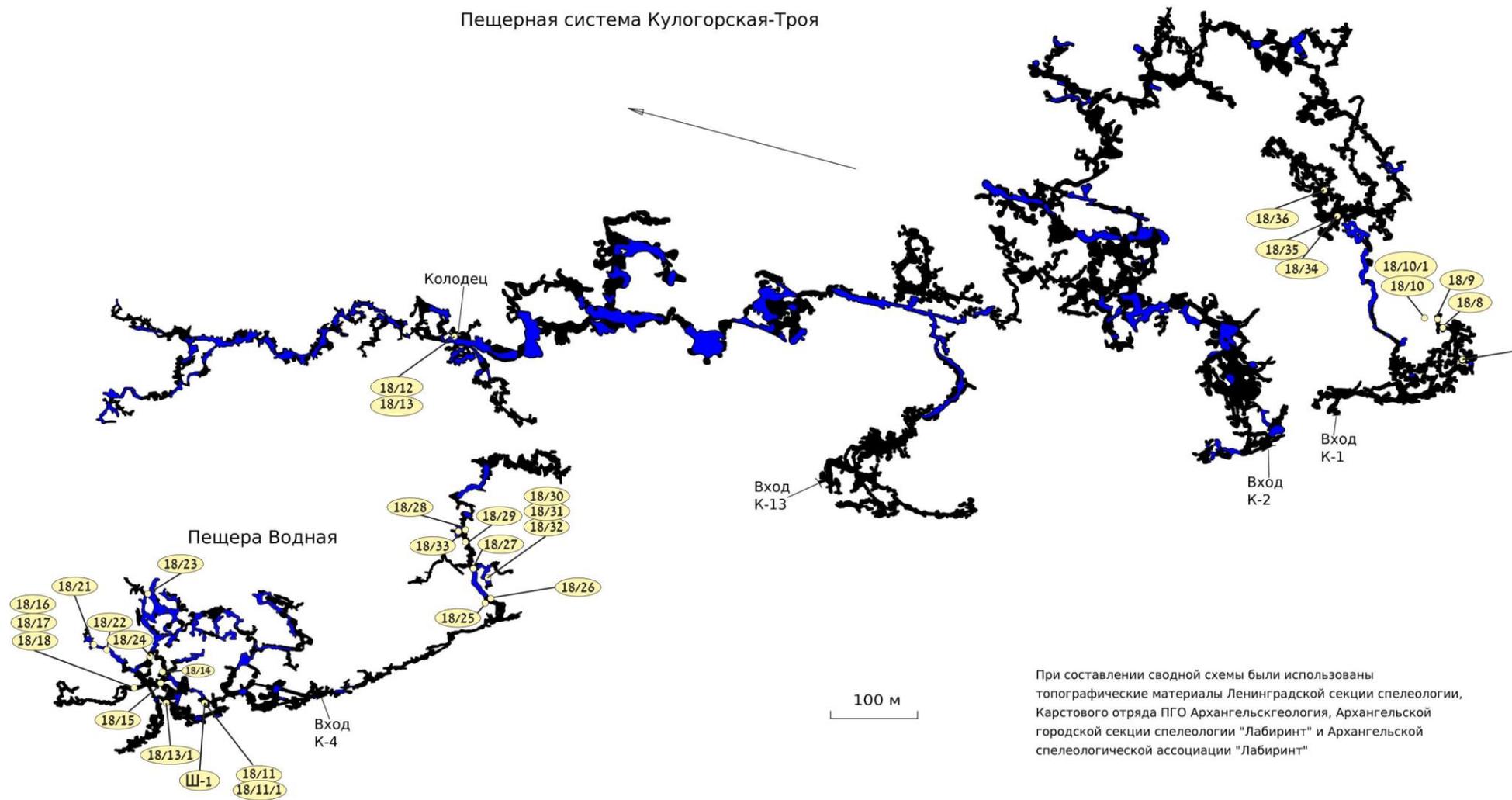


Рис.2.14. Схема отбора образцов ВМО, март 2018.

Таблица 2.1. Описание образцов ВМО.

№	№ обр	Место отбора	Зона	Описание образцов
1	III-1	Пещ. К-4, Коррозионная камера	3	тонкослоистая коричневая глина с мульдами красной и розовой глины
2	18\8	Пещ. К-1, полка	1б	грубослоистая коричневая глина с прослоями песчаника и белыми обломками доломита
3	18\9	Пещ. К-1, ниша в стене	3	ленточная коричневая глина с белыми комками доломита и волнистой слоистостью
4	18\10-1	Пещ. К-1, свод-полка между 1 и 2 ярусами	3	обломки белого доломита и красной глины в коричневом матриксе
5	18\10	Пещ. К-1, коррозионный зал с глиной	3	загорелый доломит с плесенью
6	18\11	Пещ. К-4, Коррозионная камера	3	ленточные глины с комками розового цвета
7	18\11_1	Пещ. К-4, Коррозионная камера	3	глина не слоистая
8	18\12	Пещ. К-13 колодец, Подколодезный зал, полка	3	остаточные отложения с полки, комковатая коричневая и красно-коричневая глина с белыми комками доломита
9	18\13	Пещ. К-13 колодец, Подколодезный зал, полка	2а	ленточная коричневая глина, два слоя, на поверхности белые выцветы
10	18\13_1	Пещ. К-4, Лагерный зал, конус	2в	щебнево-песчано-глинистый материал, грубозернистый с карбонатно-глинистым цементом песчаник цементирует брекчию, представленную доломитом, розовыми комками глины, иногда переходящей в цемент
11	18\14	Пещ. К-4, ход между Лагерным и Мычковским каналом	2в	комковатая коричневая глина с крупными комками красной глины и белого доломита
12	18\15	Пещ. К-4, ход между Лагерным и Мычковским каналом	1б	среднезернистый песчаник с карбонатно-глинистым цементом, пористый
13	18\16	Пещ. К-4, Северо-Западный меандр, полка	2а	ленточная глина с волнистой, мультобразной слоистостью, с комками красной глины и белыми комками
14	18\18	Пещ. К-4, Северо-Западный меандр	2а	светло-коричневая глина с неясной слоистостью и обломками белого доломита, рядом с ангидритом
15	18\21	Пещ. К-4, Северный меандр, полка	3 и 2в	комки красно-коричневой глины с мульдами розовой глины и в матриксе коричневой неслоистой глины с белыми комками доломита
16	18\22	Пещ. К-4, Северный меандр, полка	2а	ленточная глина с мелкими включениями белого доломита
17	18\23	Пещ. К-4, Беломорье	2а	ленточная глина с волнистой слоистостью и обломками белого доломита

18	18\24	Пещ. К-4, отмели на Мычковском канале	2б	песок
19	18\25	Пещ. К-4 Новый район, Коста-дорада	2а	отложения на полу, ленточная глина с волнистой, мутьдообразной слоистостью с комками белого доломита и красной глины
20	18\26	Пещ. К-4 Новый район, Коста-дорада, коррозионный канал	2б	массивная коричневая, более аргиллитистая глина с обломкаи белого доломита
21	18\27	Пещ. К-4 Новый район, Коста-дорада, коррозионная полость в потолке	3	ленточные глины с белыми обломками доломита
22	18\28	Пещ. К-4 Новый район, зал около озера	2а	отложения на полу, ленточные глины с комками розовой глины и белого доломита
23	18\29	Пещ. К-4 Новый район, зал Лежбище	2а	отложения на полу, ленточные глины
24	18\30	Пещ. К-4 Новый район, правый меандр, первый уровень	2а	глина с грубой слоистостью с обломками гипса, с белой поверхностью и доломитовыми (кальцитовые?) комками
25	18\31	Пещ. К-4 Новый район, правый меандр, второй уровень	2а	очень тонкое переслаивание красной и коричневой глины с крупными белыми и красными комками
	18\32	Пещ. К-4 Новый район, правый меандр, третий уровень	2а и 3	комковатая коричневая глина с крупными комками розовой и красной глины и белым доломитом; часть образца - ленточная глина
27	18\33	Пещ. К-4 Новый район, основной меандр	2а	ленточная глина с мелкими белыми вкраплениями (доломит?) и прослоем массивной розоватой глины покрытой загорелой коркой
28	18\34	Пещ. К-1, Дальняя часть, пол	2а	буро-красная глина с белыми тонкими прослоями
29	18\35	Пещ. К-1, Дальняя часть, возле потолка	1б	переслаивание мелкозернистых песчаных и глинистых слоев (1:2), с белыми крупными обломками доломита; слоистость волнистая
30	18\36	Пещ. К-1, Дальняя часть, полка	1б	переслаивание мелкозернистых песчаных и глинистых слоев (1:1), с редкими белыми вкраплениями доломита; слоистость волнистая

Таблицу составили: Седова А.М., Борисова В.А.

Таблица 2.2. Список образцов из гидрологических ловушек отобранных в марте 2018г.

№ пп	Пещера	№ ловушки	Вес, г	Диаметр емкости	Высота над полом, см	Наполненность, см	Минеральный осадок	Примечания	Зона
1	К-4	К4-9-1	5.56	Д	16	полная	Рыхлый, глинистый	Южный Тупик в К-4	1а
2	К-4	К4-9-2	4.42	Д	73	полная	Рыхлый глинистый	Южный Тупик в К-4	
3	К-4	К4-9-3	2.03	К	152	полная	Рыхлый глинистый	Южный Тупик в К-4	
4	К-4	0		К	218	пустая	Гипс 15x10x4 мм, конденсат	Южный Тупик в К-4	
5	К-1	К1-1-1	1.18	К	16	полная	Мелкодисперсный	Стойка висит над полом 3,5см. В чашке маленькая деревяшка. Граница холода и тепла.	1а
6	К-1	К1-1-2	2.24	Д	66	полная	Мелкодисперсный	В чашке большая деревяшка.	
7	К-1	К1-1-3		Д	123	полная	Мелкодисперсный		
8	К-1	К1-1-4		К	174	пустая	Конденсат		
9	К-1	К1-2-1	5.95	Д	15	полная	Глинистый	Куски свечки. Вода 1.9°С. На стойке немного белой плесени.	1а
10	К-1	К1-2-2		К	73	полная	Глинистый		
11	К-1	К1-2-3		Д	129	Частично заполнена	Конденсат		
12	К-1	К1-2-4		К	183	Несколько капель	Капель или конденсат.		
13	К-1	К1-3-1	6.52	Д	12	полная	Глинистый и кусочки породы	Темп. воды в плошке 5,2град. На стойке белая плесень.	2а
14	К-1	К1-3-2	9.39	К	70	полная	Глинистый и кусочки породы	Темп. воды в плошке 3.9 град	
15	К-1	К1-3-3	12.37	Д	127	полная	Глинистый и кусочки породы	Темп. воды в плошке 3.8 град	
16	К-4	К4-12-1	3.76	Д	8	полная	Глинистая и маленькие кусочки гипса	Темп воды в плошке 3,4 град	1б
17	К-4	К4-12-2	4.27	К	55	полная	Тот же	Темп воды в плошке 3,7 град	

18	К-4	К4-12-3	3.28	Д	123,5	полная	Тот же	Темп воды в плошке 4,0 град. В плошке кусок глины 2*2*1,5 см (выкинули) и палочка 2,5см (выкинули)	
19	К-4	К4-12-4		К	188	полная	Тот же	Темп воды в плошке 4,0 град.	
20	К-4	К4-10-1	2.69	К	5	пустая	глинистый	Гнутая галерея. Стойка наклонилась примерно под 50 град, повисла.	2а
21	К-4	К4-10-2	4.07	К	62	пустая	глинистый		
22	К-4	К4-10-3	2.21	Д	127	пустая	глинистый		
23	К-4	К4-10-4	2.71	Д	193	пустая	глинистый		
24	К-4	К4-14-1	4.48; 48.09; 35.9	Бутылка, диам 7см	61	10	Глинистый	Проба собрана в две емкости. Темп воды 4,7град	1б
25	К-4	К4-14-2	25.58; 2.85	Бутылка, диам 7см	158	12	Глинистый с кусками глины 1,5см, кот. упали сверху	В бутылку капля попадает. Темп воды 4,3град. Проба собрана в две банки.	
26	К-4	К4-13-1	3.4	Бутылка, диам ≈ 7см-7,5см	65	13	Осадка мало	Темп воды 4,1град	2а
27	К-4	К4-13-2	1.33; 1.63	Бутылка, диам ≈ 7см-7,5см	126	11		Темп воды 3,8град. Проба собрана в две банки.	
28	К-4	К4-11-1	2.88	Д	35	полная	Глинистый, равномерно по дну	Глубина воды под ловушкой 31см. Темп воды в плошке 3,1град.	3
29	К-4	К4-11-2	3.27	К	68	полная	Глинистый, равномерно по дну		
30	К-4	К4-11-3	3.1	Д	111	полная	Глинистый, равномерно по дну		
31	К-4	К4-11-4	2.58	К	158	полная	Глинистый, равномерно по дну		
32	К-13	К13-4-1		Д	Пол	полная		Очень мало воды	1а
33	К-13	К13-4-2		К	62	полная	Щепка, кристаллы		

							гипса		
34	К-13	К13-4-3	1.24	Д	111,5	полная	Гипсовая крошка		
35	К-13	К13-4-4	9.83		160			Плошки нет, примерная высота плошки.	
36	К-13	К13-5-1		К	6	полная	Крошки		1а
37	К-13	К13-5-2		К	55	полная	Крошки		
38	К-13	К13-5-3		Д	97	полная	Крошки		
39	К-13	К13-5-4		Д	130	полная	Мелкая глина, крупинки 4мм доломита и гипса.	Темп воды в плошке 3,5град. Стояла на глыбовом завале недалеко от фотопоста в сторону ловушки. Высота положения измерена относительно пола ловушки. После измерения плошку перенесли к ловушке.	
40	К-13	К13-6-1		Бутылка, диам ≈ 7см	57	16	Глинистый	Глубина воды под ловушкой 36см. Темп воды в плошке 5,9град	2а
41	К-13	К13-6-2		Бутылка, диам ≈ 7см	96,5	9,5	Глинистый, мало осадка.	Темп воды в плошке 4,5град	
42	К-13	К13-7-1	1.041	Бутылка, диам ≈ 7см	16	10	Глинистый и крупные куски глины, кот. растворились при манипуляциях.	Темп воды в плошке 3,9град	1б
43	К-13	К13-7-2	2.05; 2.233	Бутылка, диам ≈ 7см	71	10	Глинистый мелкодисперсный и крупные куски глины, которые растворились при манипуляциях.	Темп воды в плошке 4,0град. Образец в двух банках.	
44	К-4	К4-15-1	1.426						2а или 2б
45	К-4	К4-15-2	0.336						
46	К-4	К4-16-1	0.681						1а
47	К-4	К4-16-2	0.43						

48	К-4	К4-16-3	0.443						
49	К-4	К4-16-4	0.341						

Примечание: Д - дно чашки Петри, К - крышка чашки Петри. Таблицу составили: Вякхи И.Э., Франц Н.А., Борисова В.А.

Таблица 2.3. Список образцов 2017 г. (Седова, Франц, 2017).

№	№ обр.	Название породы	Место отбора
1	ТР-1	Карбонатная глина с коллоидно-тонкозернистой структурой с прослоями алевритистого материала, с комочками доломита, с органическими растительными остатками в виде гелифицированных сгустков (м.б. хвоя), с редкими зернами лейкоксена, с волнистой тонкослойчатой текстурой.	пещ. К-13, ход Западный приток (Вулкан)
2	ТР-2	Мергелистый материал, коллоидно-зернистая карбонатная порода с прослоями глинисто-карбонатного материала, коричневого цвета, обусловленного тонким растительным углефицированным и гелифицированным веществом, с комочками доломита, обуславливающими волнистую тонкослойчатость, с тонкой точечной лейкоксенизацией	пещ. К-13, ход Палеозаполнитель
3	А-6	Алевропесчаник с глинисто-карбонатным цементом с комочками доломита, с мелкими остатками органического вещества.	пещ. К-2. Карта. Около зала Аллигатор
4	А-10	Глинисто-карбонатная порода (карбонатная глина) с пятнами и прослоями коричневых колломорфных карбонатных глин с незначительной примесью зерен гипса, ангидрита, с зернами кварца и обломками кислых пород, с обломками натечной коры, корродированными зернами целестина и пироксена (?).	пещ. К-13. Начало Южной ветки. Дно галереи
5	А-7	Аргиллит с коллоидным карбонатным цементом тонкослоистый, с мелким растительным детритом и с комочками пелитизированного доломита.	пещ. К-2 Зал Аллигатор
6	К-4	Кальцитовый туф с ориентированными комками трех видов: 1) ярко коричневые комочки глины, 2) глинисто-карбонатные комки глины и 3) темно-коричневое органическое вещество. Туф неяснослоистый с несортированными обломками кварца различного формы, биотитом, хлоритом, мусковитом, обломками метаморфических пород	пещ. К-4
7	К-13	Доломитовый мергель с мелкими гидроокислами железа и тонкой вкрапленностью лейкоксена	пещ К-13, ход Палеозаполнитель
8	А-11	Цикличное переслаивание коллоидной глинисто-карбонатного материала и алевропесчаного материала с глинисто-карбонатным (сидеритовым?) цементом. Терригенный и обломочный материал распределен неравномерно, но параллельно слоистости и представлен кварцем, полевым шпатом и слюдой. На контакте прослоев иногда встречается зона хлоритизации	пещ. К-13. Южный конец Трещины.

9	A-8	Ожелезненная алевро-песчаная глинисто-карбонатная порода с коллоидно-тонкозернистой структурой карбоната, с кварцем, микроклином, плагиоклазом, мусковитом, биотитом, гипсом, ангидритом и хлоритизированными комками	пещ. К-2 Зал Аллигатор
10	A-12	Песчаник тонко-мелкозернистый с коллоидно-тонкозернистым карбонатным ожелезненным (сидерит?) цементом с зернами кварца, микроклина, плагиоклаза, мусковита, гипса, ангидрита	пещ. К-13.Южный конец Трещины.
11	A-3	Песчаник мелкозернистый с 1) пойкилитовым гипсовым цементом и колломорфными комочками сидерита и 2) глинисто-карбонатным ожелезненным (сидеритовым) коллоидным цементом; с пластинками слюды, с тонкой волнистой текстурой. Акцессорные минералы в виде прослоя: гранат, пироксен, магнетит и лейкоксен.	пещ. К-2 Зал Аллигатор
12	A-13	Натечная кальцитовая кора на алевропесчанике	пещ. К-4

### 2.3. Инструментальные исследования

В работе было использовано 90 образцов: 31 образец водно-механических отложений и 48 образцов осадка из гидроловущек. Они изучались с помощью таких методов как: оптическая микроскопия - 44 образца, электронная сканирующая микроскопия и рентгеноспектральный энергодисперсионный микроанализ (EDS) – 15 образцов, рентгенофазовый анализ – 21 образец, рентген-флуоресцентный анализ – 11 образцов.

Оптическая микроскопия – с помощью этого метода изучалась крупная фракция ( $>0.014$  мм) осадков из гидроловущек. В результате были выделены группы схожих по минеральному составу образцов, получена полуколичественная оценка содержания зерен минералов и изучена их морфология. Образцы анализировались с помощью бинокюляра и стереомикроскопа Leica M165 C в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования».

Электронная сканирующая микроскопия и EDS анализ - для проведения исследования были использованы полированные шайбы из эпоксидной смолы, напыленные углеродом и объемные образцы без напыления. 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 кВ, ток 1,7 нА. Также образцы исследовались в ресурсном центре СПбГУ «Геомодель» на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с аналитической приставкой Oxford Instruments X-Max 20 для энерго-дисперсионного анализа (ЭДС). Разрешение до 3 нм с ускоряющим напряжением 30 кВ, до 10 нм с ускоряющим напряжением 3 кВ. Обработка результатов проводилась с помощью программных комплексов AzTEC и INCA.

Рентгенофазовый анализ - с помощью этого метода проводилось исследование образцов из гидроловущек. Для анализа пробы из гидроловущек высушивались при комнатной температуре, затем часть пробы просеивалась. Для непросеянной части проводилась обзорная съемка. Фракция  $< 0,014$  мм использовалась для определения глинистых минералов. Анализ проводился на порошковом дифрактометре Rigaku MiniFlex II в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования».

Пробы для обзорного рентгенофазового анализа истиралась в агатовой ступке, полученный порошок помещался на круглое стекло диаметром 22 мм и с помощью спирта образец равномерно распределялся по стеклу. Затем стекло закреплялось в кювете,

поверхность образца выравнивалась с помощью специальной стеклянной пластины, и помещалось в прибор. Съемка проводилась с использованием излучения  $\text{CoK}\alpha$  при напряжении на рентгеновской трубке 30 kV и силе тока 15 mA. Диапазон сканирования от 5 до 90° с минимальным шагом 0,020 и со скоростью съемки 4°/мин. После рентгенограммы сравнивались с рентгенограммами известных минералов в картотеке PDXL2. Таким образом, были установлены основные фазы.

Для определения фазового состава глинистых минералов мелкая фракция просеянной части пробы помещалась в стеклянный стакан, заливалась дистиллированной водой и перемешивалась стеклянной палочкой, в течение часа полученный раствор отстаивался – во взвеси остается глинистая фракция. С поверхности шприцем отбиралась взвесь глинистой фракции и помещалась на предметное стекло. Полученные образцы высыхали естественным образом. Образцы снимались (с использованием излучения  $\text{CoK}\alpha$ , при напряжении на рентгеновской трубке 30 kV и силе тока 15 mA, при диапазоне 3 – 80° с минимальным шагом 0,020 и со скоростью съемки 2°/мин) в три этапа: 1. воздушно-сухой образец, 2. после насыщения этиленгликолем, 3. после отжига при 550°C.

Геохимические исследования – для определения химического состава вмещающих пород и одного образца ВМО был использован рентгено-флуоресцентный метод. Анализ проводился на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре Shimadzu 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.

**Кристаллизация гипса при высушивании проб.** Осадок из ГЛ был получен в баночках с закручивающейся крышкой, наполненных водой и осадком на дне (Рис.2.13). Для дальнейшей работы осадок был высушен при комнатной температуре. При высушивании, на стенках баночек образовались белые прозрачные кристаллики, которые были помещены в пробы при извлечении их из банок. При просеивании проб, эти кристаллы попали во фракцию <0.014 мм. При подготовке препаратов для определения глинистых минералов, пробы заливались дистиллированной водой, перемешивались и отстаивались в течение часа. Затем, при высыхании препаратов на некоторых предметных стеклах появлялся белый налет. При расшифровке рентгенограмм выяснилось, что этот налет оказался гипсом. Когда колбы, в которых отстаивались пробы, высохли естественным образом, на их стенках также образовались белые прозрачные кристаллы. Они были извлечены из колб и рассмотрены под биноклем вместе с аналогичными

кристаллами из баночек (Рис. 2.14-2.16). Кристаллы гипса, выпавшие из раствора, встречаются в виде ромбовидных кристаллов, иногда сдвойникованных, или в виде очень тонких и хрупких неровных пластинок.

Как известно, скорость растворения гипса в дистиллированной воде при температуре 5 – 8 С° равна  $10 - 12 \cdot 10^{-9}$  см/сек (или 3,1 – 3,7 см/год ) (Горбунова, 1977), а при комнатной температуре, в которых проходило растворение проб, эта скорость должна быть намного больше.

Формирование новообразованных кристаллов гипса связано с высоким пересыщением раствора и формированием зародышей на стенках или под влиянием гетерогенного механизма кристаллизации, когда вещество конденсируется на предварительно сформированных поверхностях (каких-то частицах, находящихся на стенках сосуда).

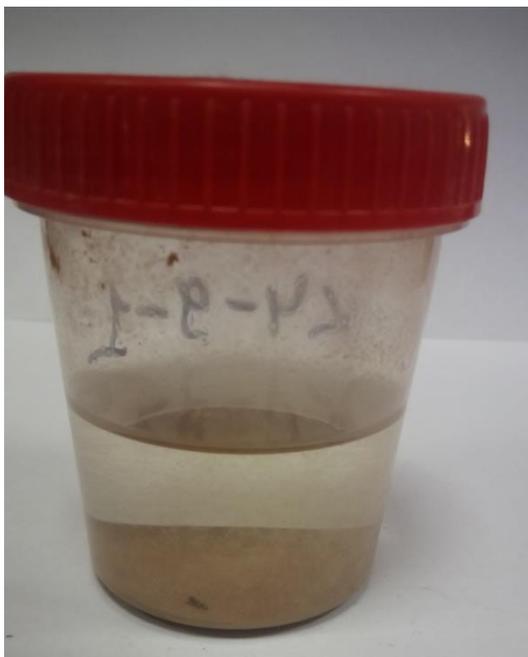


Рис. 2.13. Образец К4-9-1

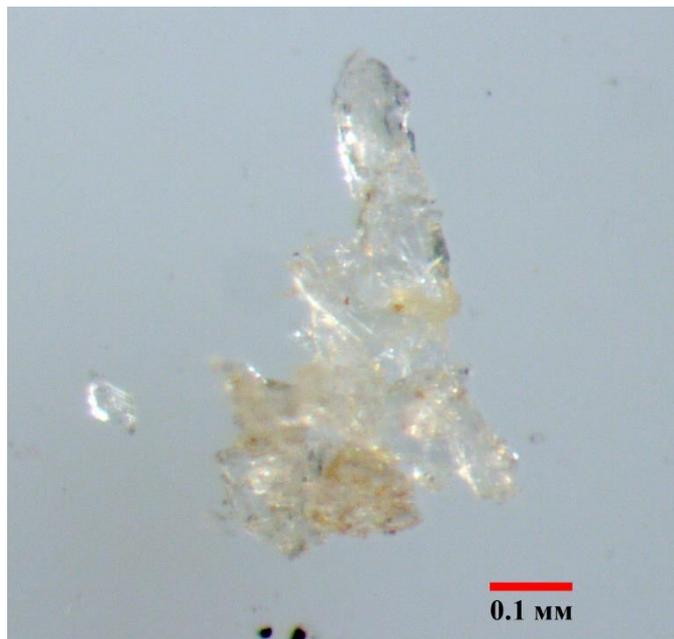


Рис. 2.14. Вторичные кристаллы со стенок колбы, обр. К4-9-1

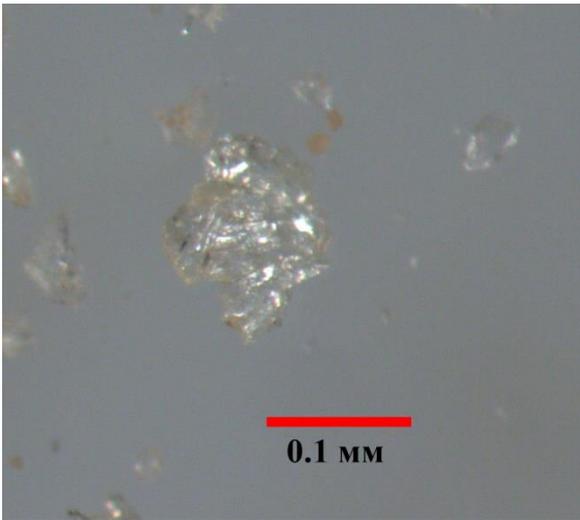


Рис. 2.15. Вторичные кристаллы со стенок колбы, обр. К4-9-1

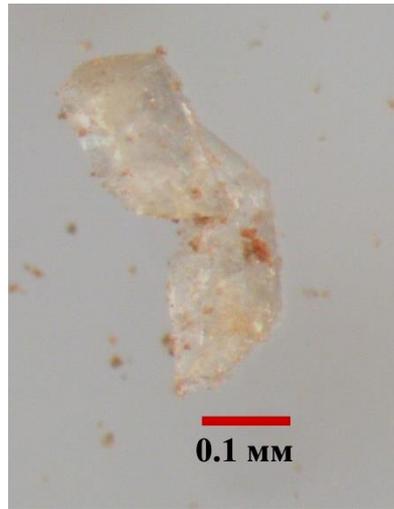


Рис. 2.16. «Первичные» кристаллы со стенок баночки, обр. К4-11-4

## Глава 3. Литологический обзор изученных пород.

### 3.1 Типизация образцов из кернов

Все керны ВМО отбирались из разных частей пещер К-1, К-4 и К-13 в различных зонах. Их строение, структура и текстура весьма разнообразны. Однако после детального описания всех образцов, можно выделить пять групп: 1 - грубослоистые, неяснослоистые и массивные глины с белыми обломками доломита (рис. 3.1); 2 - ленточные глины (рис. 3.2, рис. 3.3); 3 – комковатые глины (рис. 3.4); 4 – разномерные пески и песчаники; 5 – переслаивание песчаных и глинистых слоев.

В первую группу вошли шесть образцов (18\8, 18\10-1, 18/18, 18/26, 18/30, 18/11\_1) в основном из озерных отложений теплой зоны (2а) и отложений коррозионных ниш (3). Для этой группы характерна грубая, неясная слоистость или массивная текстура. Во всех образцах присутствуют белые обломки доломита, расположенные закономерно вдоль слоистости или же хаотично. Также в некоторых образцах присутствуют обломки гипса и красной глины. Цвет образцов варьирует от светло-коричневого до коричневого.

Вторая группа образцов самая многочисленная, в нее вошли четырнадцать образцов (18\9, 18/11, 18/13, 18/16, 18/22, 18/23, 18/25, 18/27, 18/28, 18/29, 18\31, 18/33, Ш-1, 18\34) отложений зон, где постоянно или временно были озерные условия (все зоны кроме зоны 1а и 2в). Для этой группы характерна очень тонкая слоистость, иногда мультислойная или волнистая. Довольно часто встречаются небольшие комки красноватой и розовой глины, белые обломки доломита. Цвет образцов светло-коричневый, встречаются участки красной глины.

В третью группу вошли четыре образца (18/12, 18/14, 18/21, 18/32) из отложений коррозионных ниш (3) и отложений гравитационных конусов (2в). Для глин этой группы характерна комковатая текстура. Часто встречаются комки красной, красно-коричневой и розовой глины, а также обломки белого доломита. Цвет образцов более разнообразный, глины имеют светло-, темно-коричневую и красно-коричневую окраску.

В четвертую группу вошли три образца (18/13\_1, 18/15, 18\24) из отложений постоянных (2б) и временных (1б) водных потоков теплой зоны и отложений гравитационных конусов (2в). Один образец представляет собой грубозернистый песчаник, цементирующий брекчию, состоящую из обломков доломита и комков розовой глины. Цемент песчаника карбонатно-глинистый. Второй образец представлен среднезернистым песчаником с карбонатно-глинистым цементом. Третий образец представлен среднезернистым песком.

В последнюю группу были выделены два образца (18/35, 18/36) из отложений временных водных потоков теплой зоны (16). Они представлены переслаиванием среднезернистых песчаных слоев с глинистыми в пропорциях 1:2 и 1:1. Глины имеют волнистую текстуру, встречаются крупные белые обломки доломита.



Рис.3.1. Коричневая глина с обломками доломита и красной глины и массивной текстурой. Обр. 18\10-1, группа 1.



Рис. 3.2. Тонкослоистая глина с комками розовой глины. Обр. 18\11, группа 2.



Рис. 3.3. Тонкослоистая глина с мульдами красной и розовой глины. Обр. Ш-1, группа 2



Рис. 3.4. Комковатая коричневая и красно-коричневая глина с белыми комками доломита. Обр. 18/12, группа 3.

### 3.2. Описание шлифов

Петрографические шлифы были сделаны из образцов вмещающих пород и ВМО, отобранных из вмещающих пород и из разных частей пещер из озерных отложений, отложений временных потоков теплой зоны (2а и 1б).

В трещинах гипсов вмещающих пород встречаются алевропесчаники с гипсовым цементом (обр. А-3) (рис. 3.5), а линзовидные прослои в селените сложены алевропесчаником с карбонатно-глинистым цементом (обр. А-8) (рис. 3.6). Кроме этого, во вмещающих породах встречаются небольшие прослои с циклическим переслаиванием алевропесчаников и доломита (обр. А-11) (рис. 3.7) и песчаники с карбонатно-глинистым цементом (обр. А-12)..

Отдельно от всех пород стоит кальцитовый туф (обр. К-4) (рис. 3.8). Он на 40% состоит из обломков кварца различной формы, на 10% из целестина в виде неокатанных обломков, глинистых минералов и хлорита содержится около 20%. Цемент состоит из кальцита и занимает примерно 30% от всей породы. Порода имеет неясную слоистость, обусловленную наличием глинистых, глинисто-карбонатных комков и органическим веществом. Условия образования этих древних туфов точно не известны, однако они должны были отличаться от современных условий (Борисова и др., 2018).

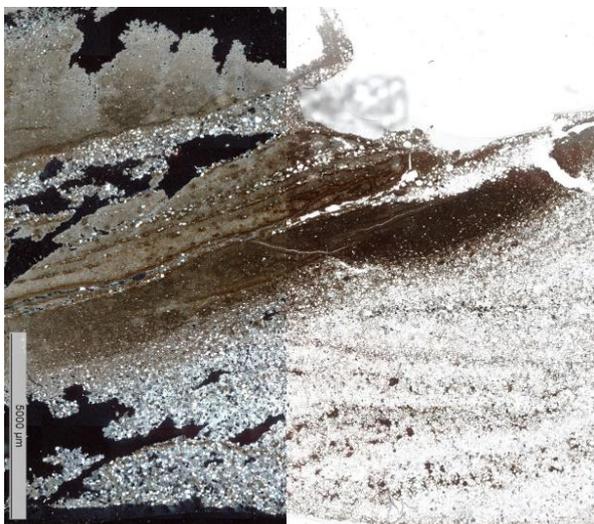


Рис.3.5. Алевропесчаник с гипсовым.  
Обр. А-3. Слева – в скрещенных николях,  
справа в проходящем свете

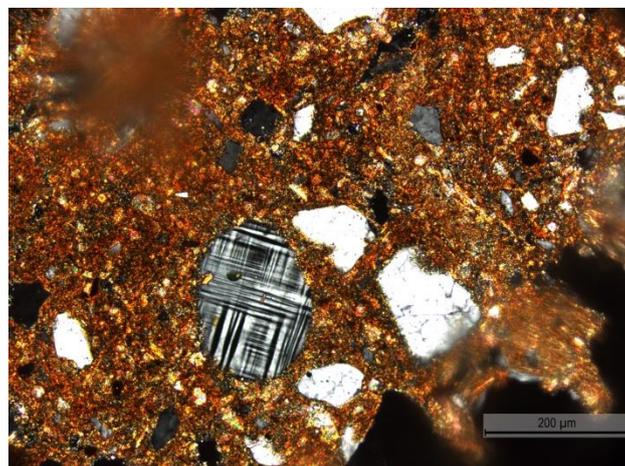


Рис.3.6. Алевропесчаник с карбонатно-глинистым цементом. Обр. А-8.  
В скрещенных николях.

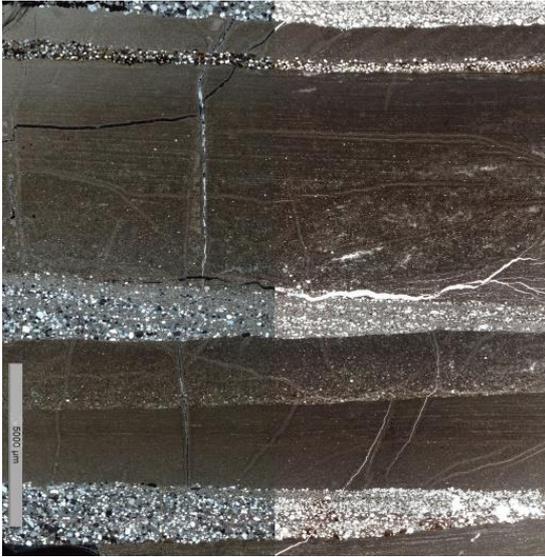


Рис. 3.7. Циклическое переслаивание алевропесчаника и доломита. Обр. А-11. Слева – в скрещенных николях, справа в проходящем свете

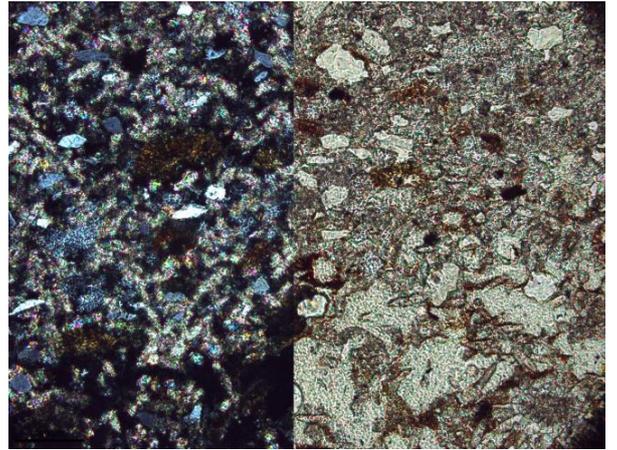


Рис. 3.8 Кальцитовый туф. Обр. К-4. Слева – в скрещенных николях, справа в проходящем свете

Среди пород зоны озерных отложений встречаются породы с переслаиванием тонкозернистого алевритистого материала с карбонатно-глинистым (обр. ТР-1). Также встречаются алевропесчаники и аргиллиты, на 60-80% состоящие из зерен кварца, микроклина с характерной микроклиновой решеткой, плагиоклаза, гипса и слюды. Цемент пород карбонатно-глинистый, иногда гипсовый (обр. А-7). В породах иногда встречаются доломитовые комочки и коричневые органические остатки (рис. 3.9-3.10).

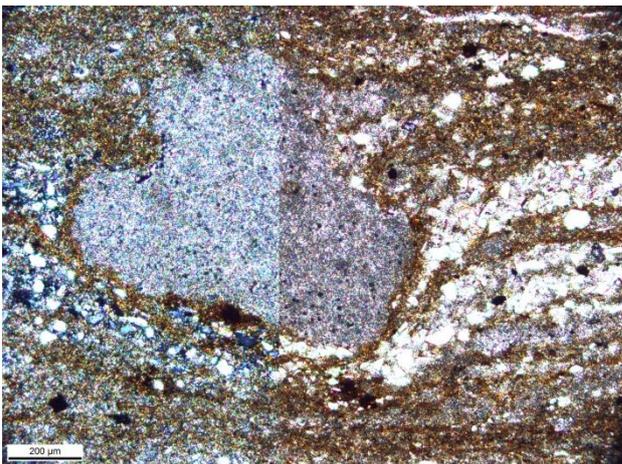


Рис.3.9. Доломит в переслаивающейся породе. Обр. ТР-1. Слева – в скрещенных николях, справа в проходящем свете

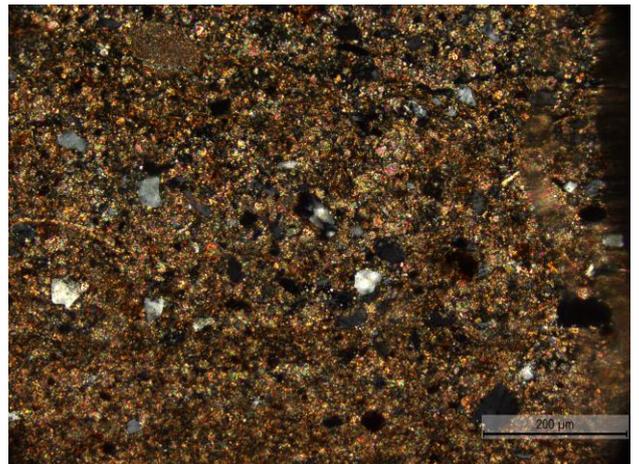


Рис. 3.10. Аргиллит с карбонатно-глинистым цементом. Обр. А-7 в скрещенных николях.

Среди пород зоны отложений временных водных потоков встречаются, песчаники и алевропесчаники (обр. А-6), мергели и тонокослоистые глинисто-карбонатные породы (обр. К-13, обр. ТР-2) и тонкослоистые карбонатные глины, образовавшиеся в результате размокания доломита под действием водных потоков (обр.А-10) (рис. 3.11). В составе песчаников и алевропесчаников преобладает кварц, составляющий 70-80% породы. Остальную часть обломочного материала представляют плагиоклаз, микроклин, гипс и слюда. Цемент пород карбонатный и карбонатно-глинистый. В некоторых образцах встречаются доломитовые комочки (рис. 3.12 – 3.13).

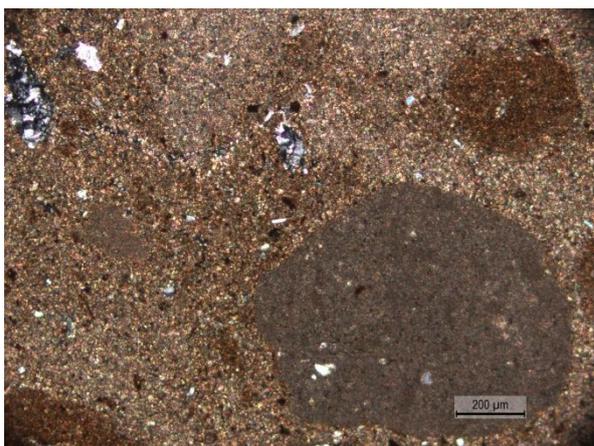


Рис. 3.11. Карбонатная глина. Обр. А-10 в скрещенных николях.

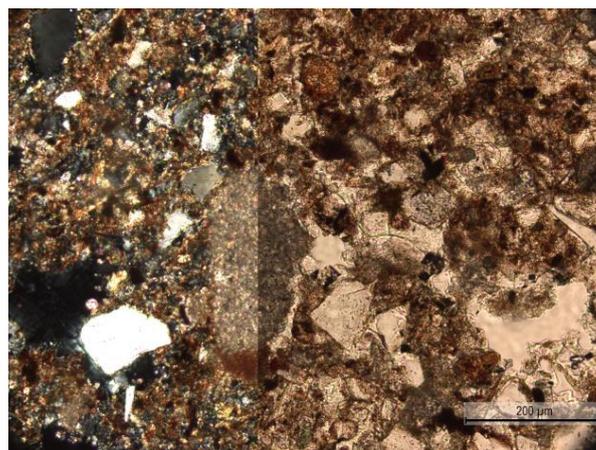


Рис. 3.12. Алевропесчаник с глинисто-карбонатным цементом. Обр. А-6, слева – в скрещенных николях, справа в проходящем свете

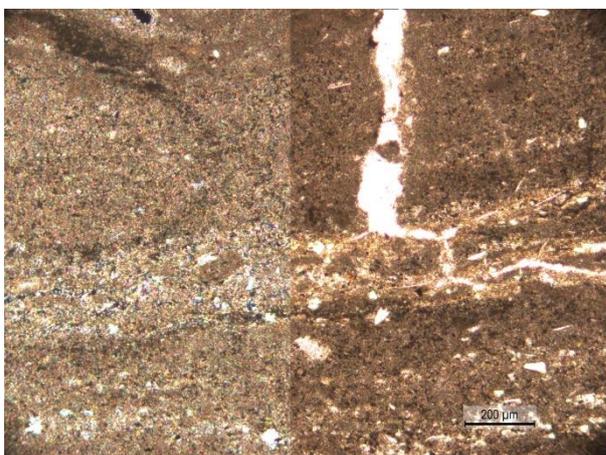


Рис. 3.13. Доломитовый мергель. Обр. К-13, слева – в скрещенных николях, справа в проходящем свете

В 2018 г. автором проводилось изучение содержания органического и карбонатного углерода разновозрастных ВМО из разных частей пещер (таб. 3.1) ацидиметрическим методом и методом Тюрина в модификации Б.А. Никитина. После распределения

образцов по зонам было выявлено, что содержание органического углерода распределено неравномерно в обеих группах, а содержание карбонатного углерода в образцах временных водных потоков теплой зоны (1б) выше, чем в образцах озерных отложений теплой зоны (2а).

Таблица 3.1. Соотношение углерода карбонатов и углерода органических соединений.

	CO <sub>2</sub> , мас.%	C <sub>орг</sub> , мас.%	Зона
A-10	40,1	0,6	1б
A-6	5,1	1,4	1б
TP-2	17,4	1,1	1б
K-13	32,8	0,7	1б
K-4	33,2	0,1	1б
A-11(роз)	37,0	0,2	1б
A-12	6,4	0,2	1б
TP-1	17,2	1,3	2а
A-7	8,3	1,5	2а
A-8	22,7	0,2	2а

## Глава 4. Минералогическая характеристика водно-механических отложений

### 4.1. Минеральный состав зерен из гидроловушек

Осадок из ГЛ был разделен на крупную ( $>0.014$  мм) и мелкую ( $<0.014$  мм) фракции. Для крупной фракции некоторых образцов была проведена полуколичественная оценка содержания зерен ( $>1$  мм) под биноклем. На основе этого анализа были построены гистограммы, на которых можно увидеть определенные закономерности в распределении минеральных зерен от пола к своду пещер.

**Проба №К1-1 (ГЛ-1, зона 1а):** в осадке из нижней чашки гидроловушки присутствуют части насекомых, обломки древесины, шишек, вторично минерализованные гипсом. Также присутствуют криогенные карбонатно-глинистые агрегаты (рис. 4.1-4.3). В средней чашке (К1-1-2) присутствуют обломки древесины, покрытые мелкими кристаллами гипса, обломки тонкозернистых гипсовых агрегатов со свода и окатанные зерна пироксена (?). Также присутствуют криогенные карбонатно-глинистые агрегаты (рис.4.4-4.7). Содержание легких обломков возрастает снизу вверх (рис.4.8).



Рис. 4.1. Остатки насекомого (обр. К1-1-1)



Рис. 4.2. Шишка с мелкими кристаллами гипса (обр. К1-1-1)



Рис. 4.3. Обломок селенита (обр. К1-1-1)

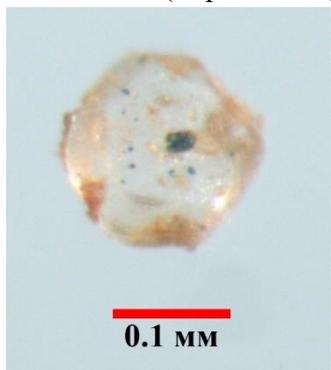


Рис. 4.4 Окатанное зерно кварца с черными включениями.  
Обр. К1-1-2

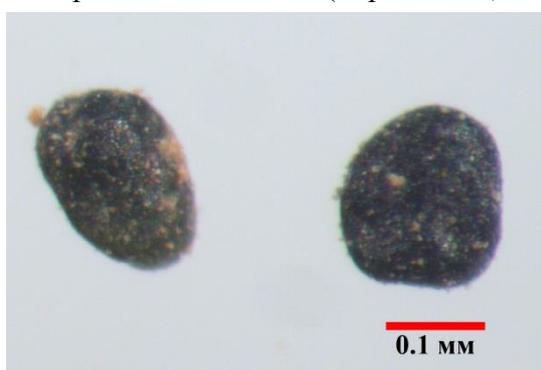


Рис. 4.5. Окатанные зерна пироксена.  
Обр. К1-1-2

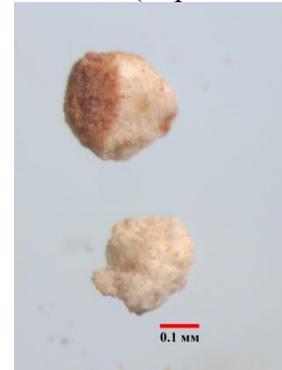


Рис. 4.6.  
Тонкозернистые агрегаты гипса.  
Обр. К1-1-2

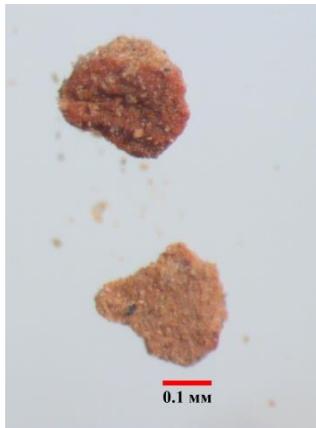


Рис. 4.7. Криогенные карбонатно-глинистые агрегаты (обр. К1-1-2)

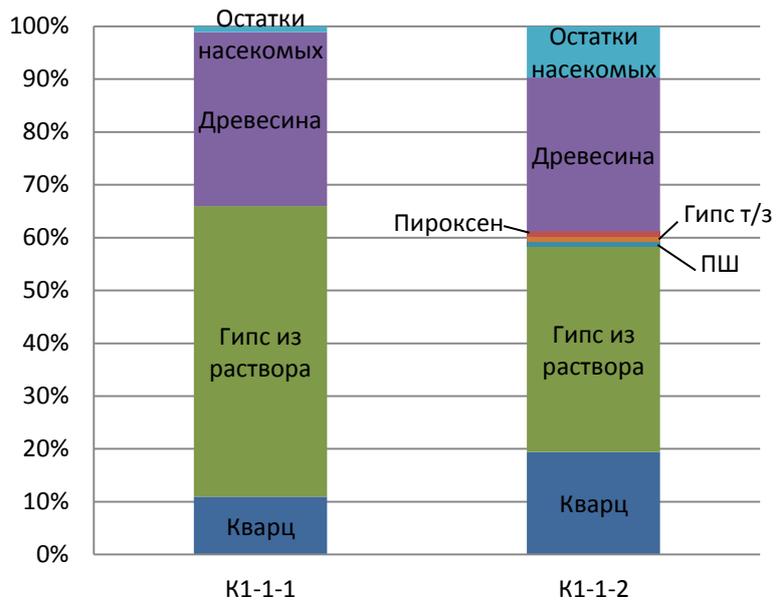


Рис.4.8. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К1-1. Гипс т/з – тонкозернистый гипс

**Проба №К1-3 (ГЛ-3, зона 2а):** в нижней чашке гидроловушки часто встречается хорошо окатанный мелкозернистый кварц и обломки тонкозернистого гипса. В средней чашке присутствуют выколки гипса второй генерации из вмещающих пород, чуть меньше кварца чем в нижней части. В верхней чашке отмечаются единичные выколки гипса второй генерации, кварца больше чем в средней части. Также присутствуют криогенные карбонатно-глинистые агрегаты (рис. 4.9-4.11). Содержание легких обломков возрастает снизу вверх, а содержание кварца уменьшается (рис.4.12).

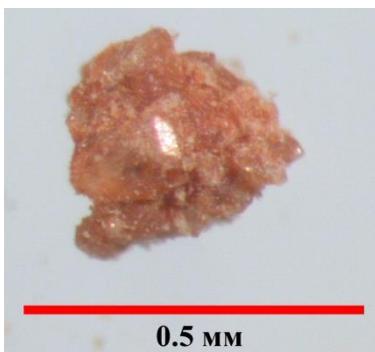


Рис.4.9. Сrostки гипсовых кристаллов (обр. К1-3-3)

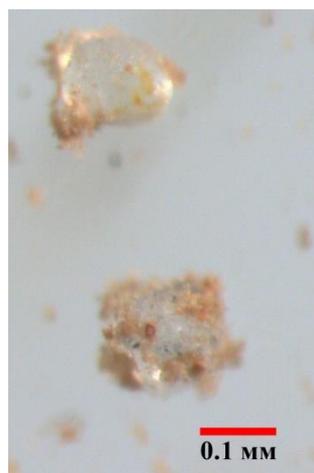


Рис. 4.10. Окатанные зерна кварца (обр. К1-3-3)



Рис. 4.11 Карбонатно-глинистые агрегаты (обр. К1-3-3)

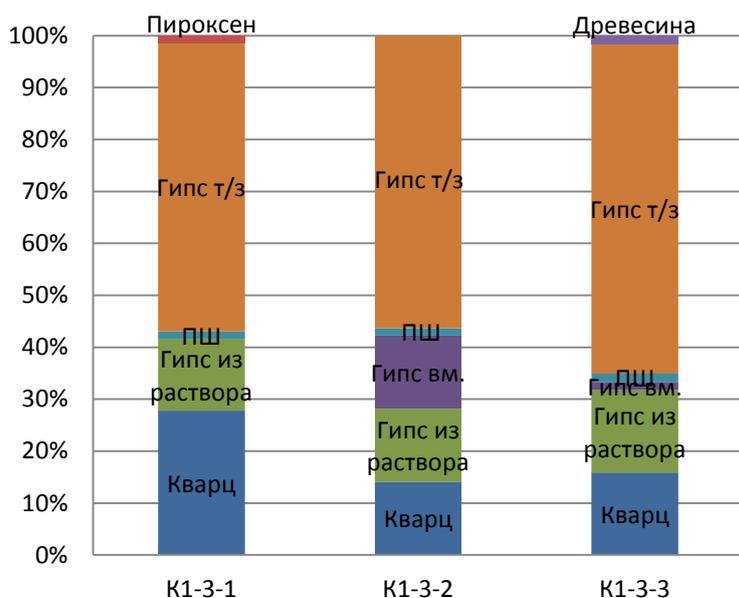


Рис.4.12. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К1-3. Гипс т/з – тонкозернистый гипс, гипс в.м. – гипс второй генерации из вмещающих пород

**Проба №К13-4 (ГЛ-4, зона 1а):** в средней чашке гидроловушки встречается небольшое количество мелкозернистого хорошо окатанного кварца, довольно много обломков мелкозернистого гипса и единичные зерна пироксена. В верхней чашке присутствует небольшое количество окатанных обломков кварца, заметно больше обломков тонкозернистого гипса. В небольших количествах присутствуют обломки древесины с мелкими кристаллами гипса на поверхности, и части насекомых (рис.4.13).

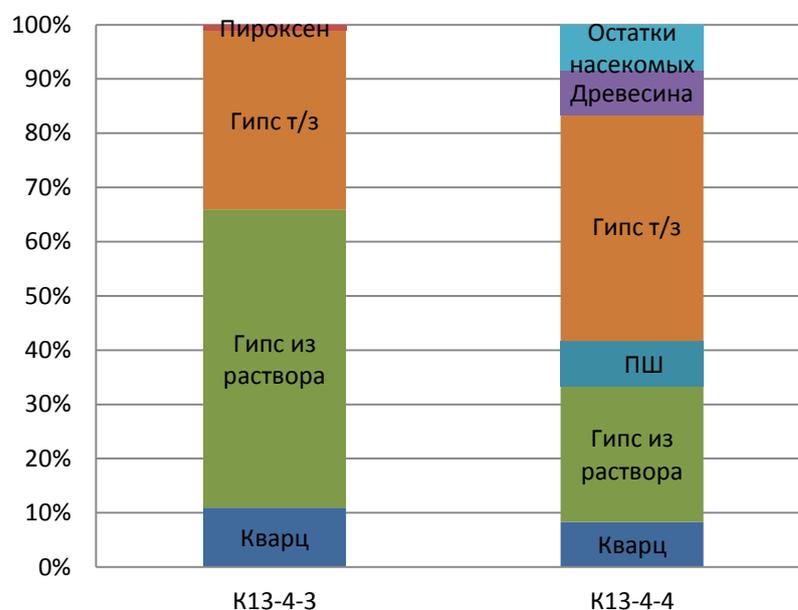


Рис 4.13. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К13-4. Гипс т/з – тонкозернистый гипс

**Проба №К13-7 (ГЛ-7, зона 1б):** в верхней чашке гидроловушки практически нет обломочных зерен, но отмечается заметное количество выколок гипса второй генерации (рис.4.14).

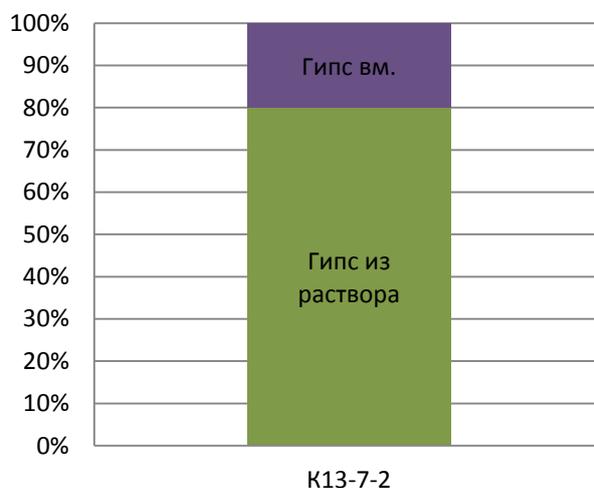


Рис.4.14. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К13-7. гипс вм. – гипс второй генерации из вмещающих пород

**Проба №К4-9 (ГЛ-9, зона 1а):** в осадке из верхней чашки гидроловушки находятся окатанные зерна кварца, криогенные карбонатно-глинистые агрегаты и большое количество выколок гипса второй генерации из вмещающих толщ (рис.4.15-4.17).

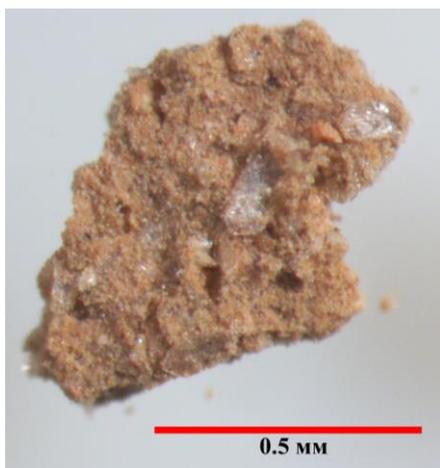


Рис. 4.15. Карбонатно-глинистый агрегат. Обр. К4-9-3

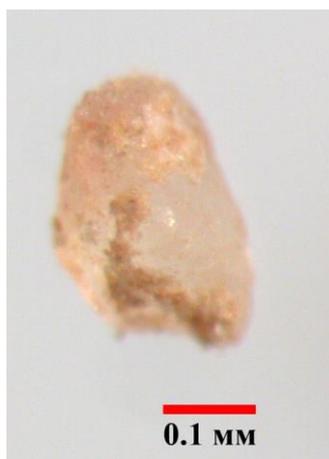


Рис.4.16. Окатанное зерно кварца. Обр. К4-9-3



Рис.4.17. Обломок гипса второй генерации из вмещающих толщ. Обр. К4-9-3

**Проба №К4-10 (ГЛ-10, зона 2а):** в нижней чашке гидроловушки встречаются окатанные зерна бесцветного кварца и полевого шпата, довольно много обломков тонкозернистого гипса со свода, единичные зерна пироксена, обломки древесины и остатки насекомых. В средней чашке кварца чуть меньше, нет древесины и остатков насекомых. В верхней чашке также находятся много окатанных зерен кварца и полевого шпата, заметно меньше обломков тонкозернистого гипса, есть единичные неокатанные зерна роговой обманки (рис.4.18 – 4.22). В этой гидроловушке наблюдается обратная закономерность распределения обломков: легкие обломки, древесина, части насекомых, и гипс из вмещающих толщ находятся в нижней части гидроловушки, а содержание кварца и полевого шпата растет снизу вверх (рис.4.23).



Рис.4.18. Окатанное зерно кварца. Обр. К4-10-1

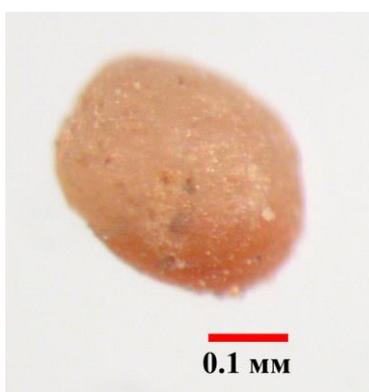


Рис.4.19. Окатанное зерно полевого шпата. Обр. К4-10-1

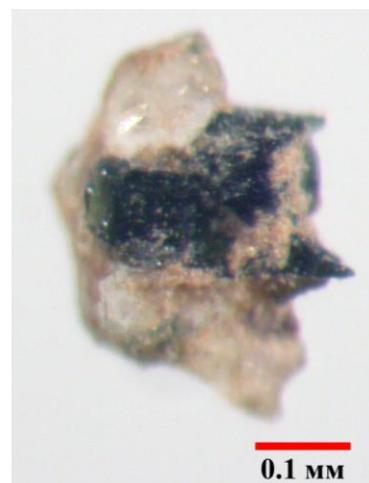


Рис.4.20. Сросток кварца и роговой обманки. Обр. К4-10-1



Рис.4.21. Тонкозернистый агрегат гипса. Обр. К4-10-1

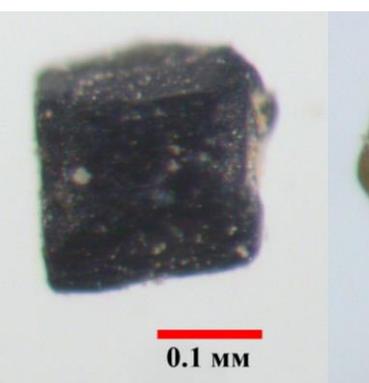


Рис.4.22. Неокатанное зерно роговой обманки. Слева – вид сбоку, справа – вид с торца. Обр. К4-10-4



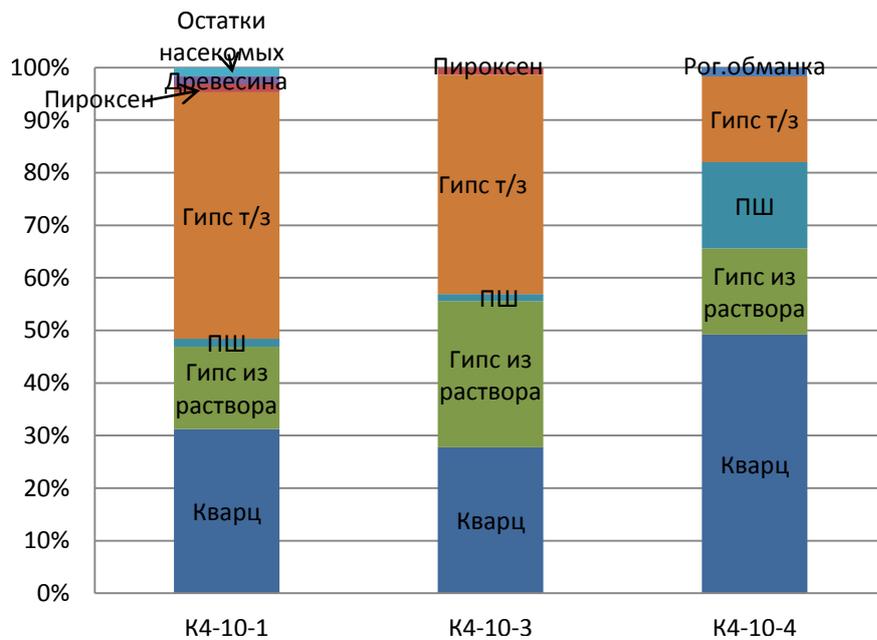


Рис.4.23. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К4-10. Гипс т/з – тонкозернистый гипс

**Проба №К4-11 (ГЛ-11, зона 3):** в нижней чашке гидроловушки находится большое количество выкопок гипса второй генерации из вмещающих толщ и единичные обломки кварца и древесины. В средне-нижней чашке (К4-11-2) практически нет обломочных зерен, встречаются лишь единичные обломки гипса второй генерации из вмещающих толщ. В средне-верхней чашке (К4-11-3) находятся единичные зерна кварца и обломки древесины, довольно много тонкозернистого гипса и обломков гипса второй генерации. В верхней чашке также встречаются единичные зерна кварца, много выкопок гипса второй генерации из вмещающих толщ и криогенных карбонатно-глинистых агрегатов (рис. 4.24 – 4.27).



Рис. 4.24. Обломок древесины. Обр. К4-11-4

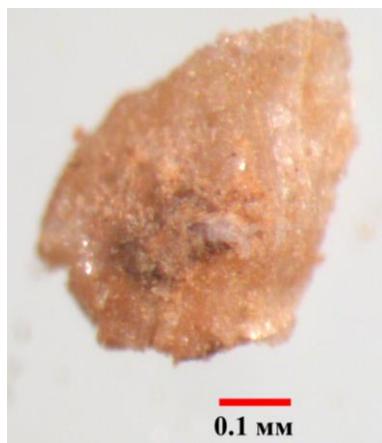


Рис. 4.25. Обломок гипса второй генерации из вмещающих толщ. Обр. К4-11-4



Рис. 4.26. Карбонатно-глинистый агрегат. Обр. К4-11-4

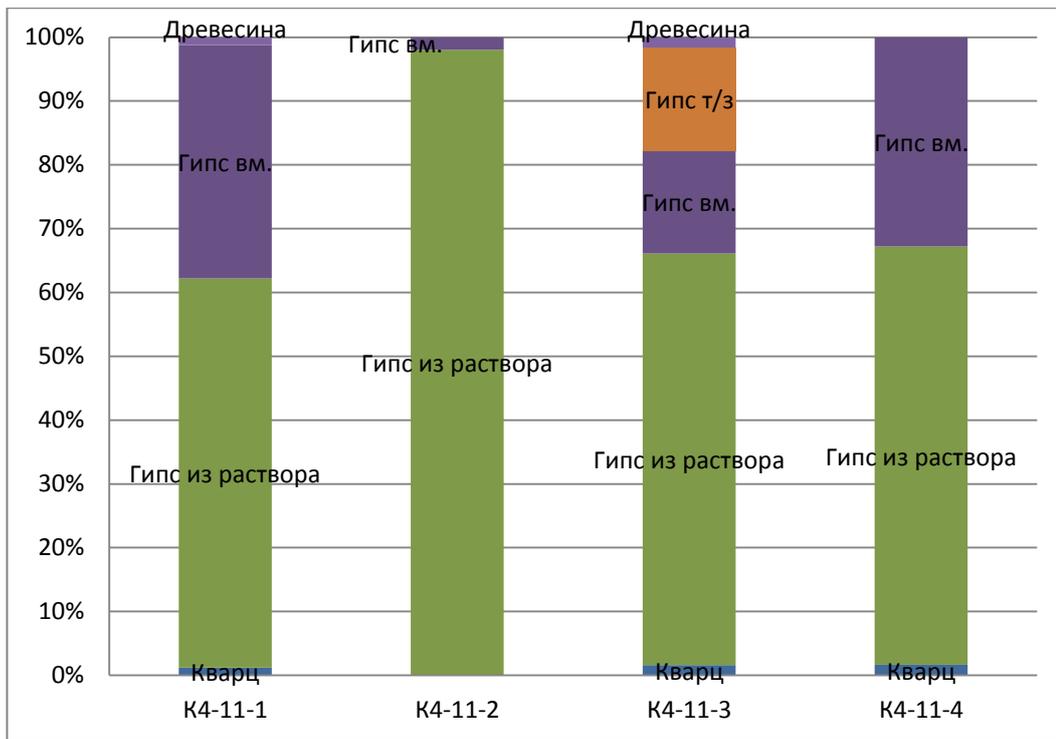


Рис.4.27. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К4-11. Гипс т/з – тонкозернистый гипс, гипс в.м. – гипс второй генерации из вмещающих пород

**Проба №К4-12 (ГЛ-12, зона 16):** в нижней чашке гидрловушки находятся окатанные зерна кварца, тонкозернистые агрегаты гипса, выколки гипса второй генерации из вмещающих толщ и единичные зерна полевого шпата. В средней чашке кварца и гипса второй генерации немного меньше, значительно больше тонкозернистых агрегатов гипса. В верхней чашке кварца содержится еще меньше и отсутствует гипс второй генерации (рис. 4.28-4.31).



Рис.4.28. Тонкозернистый агрегат гипса. Обр. К4-12-2

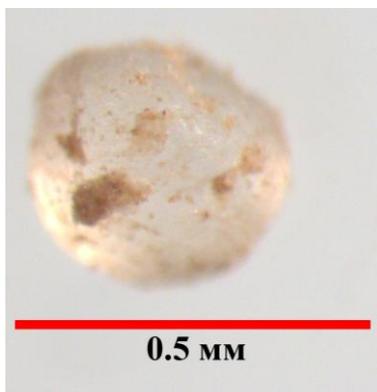


Рис.4.29. Окатанное зерно кварца. Обр. К4-12-2



Рис.4.30. Обломок гипса второй генерации. Обр. К4-12-2

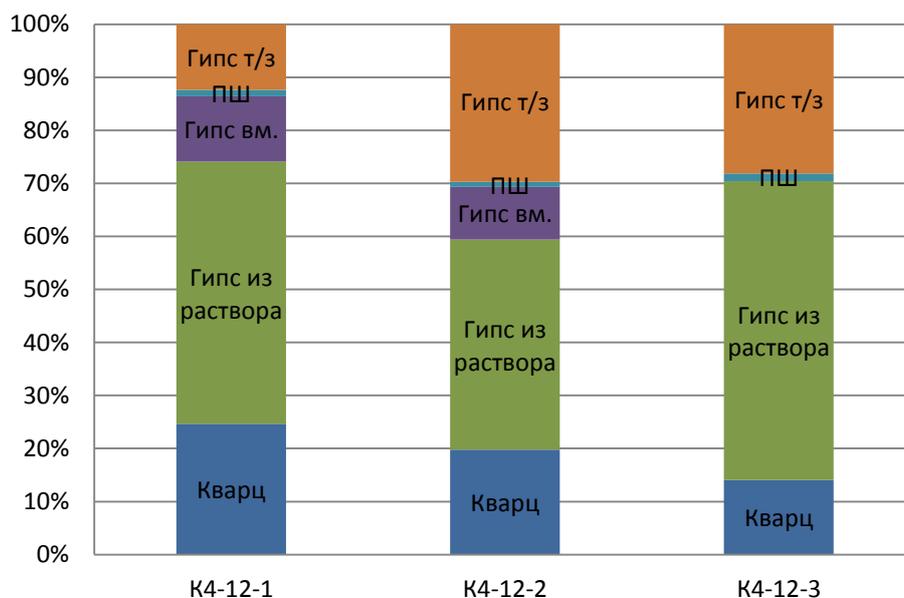


Рис.4.31. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К4-12. Гипс т/з – тонкозернистый гипс, гипс в.м. – гипс второй генерации из вмещающих пород

**Проба №К4-13 (ГЛ-13, зона 2а):** в нижней чашке присутствуют мелкозернистые хорошо окатанные зерна кварца, небольшое количество хорошо окатанных зерен полевого шпата, пластинок слюды. Отмечаются единичные зерна граната и пироксена. В верхней чашке кварца заметно меньше, отсутствуют гранат, слюда и пироксен (рис. 4.32).

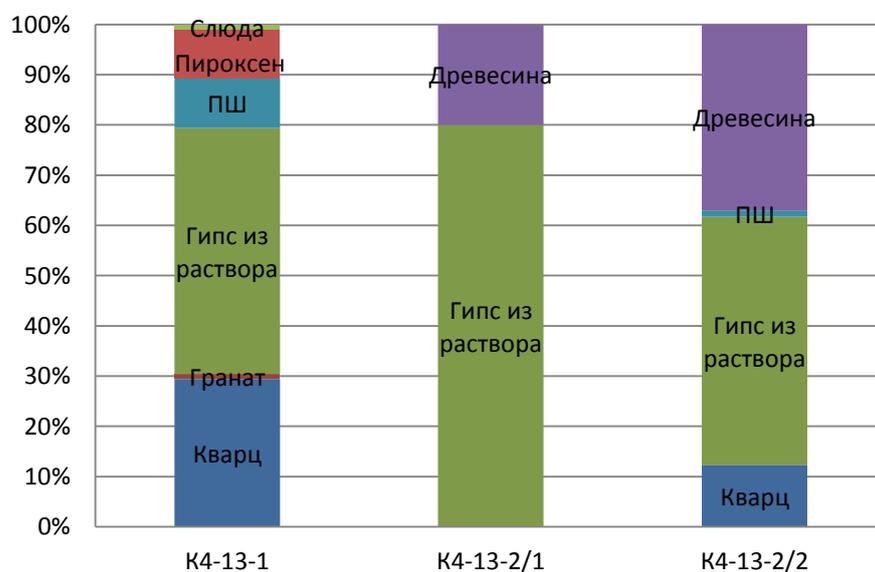


Рис.4.32. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К4-13

**Проба №К4-14 (ГЛ-14, зона 1б):** в нижней чашке гидроловушки отмечается большое количество хорошо окатанных зерен кварца и полевого шпата. В верхней чашке содержание кварца меньше, появляется значительное количество обломков тонкозернистых гипсовых агрегатов со свода и единичные зерна пироксена, выколки гипса второй генерации из вмещающих пород и небольшое количество древесины (рис.4.33).

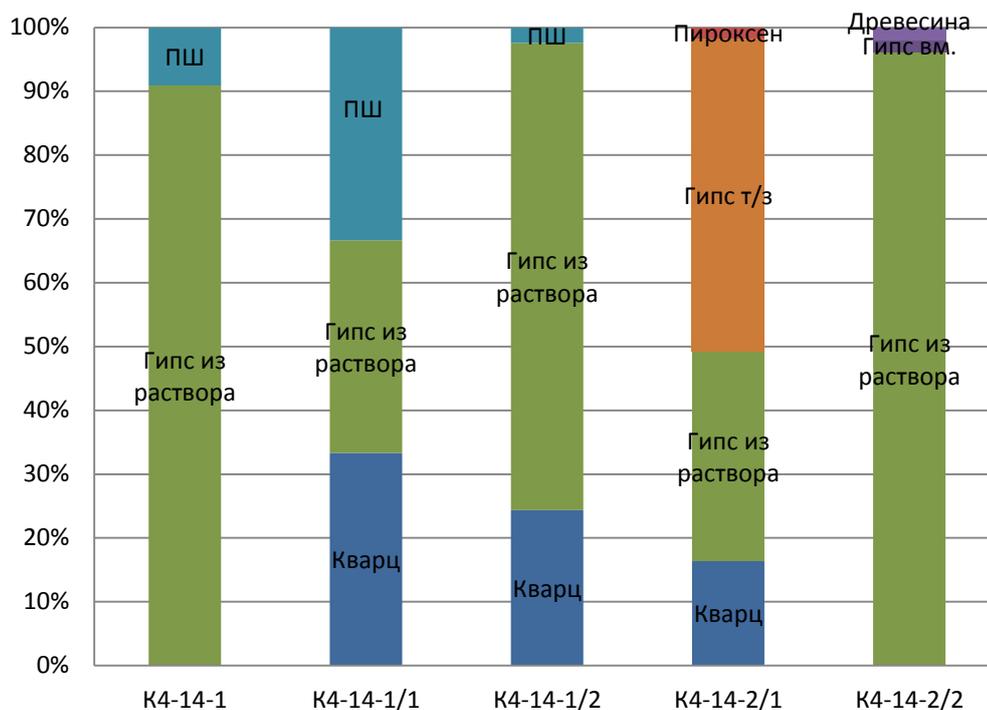


Рис.4.33. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К4-14. Гипс т/з – тонкозернистый гипс, гипс вл. – гипс второй генерации из вмещающих пород

**Проба №К4-15 (ГЛ-15, зона 2а, 2б):** в нижней чашке заметны окатанные зерна полевых шпатов, кварца, обломки ожелезненной древесины, селенита и тонкозернистого гипса из вмещающих пород. Также присутствуют криогенные карбонатно-глинистые агрегаты. В средней чашке гидроловушки также присутствуют зерна кварца, но нет зерен полевого шпата, селенита и древесины. Отмечаются единичные зерна пироксена (рис.4.34 – 4.39).

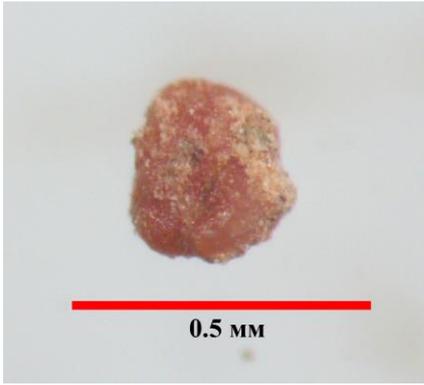


Рис. 4.34. Окатанное зерно полевого шпата. Обр. К4-15-1



Рис. 4.35. Окатанное зерно кварца. Обр. К4-15-1

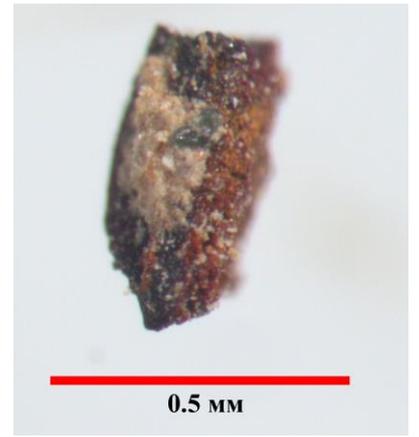


Рис. 4.36. Обломок ожелезненной древесины. Обр. К4-15-1



Рис.4.37. Обломок селенита. Обр. К4-15-1



Рис. 4.38. Обломок тонкозернистого гипса из вмещающих пород. Обр. К4-15-1

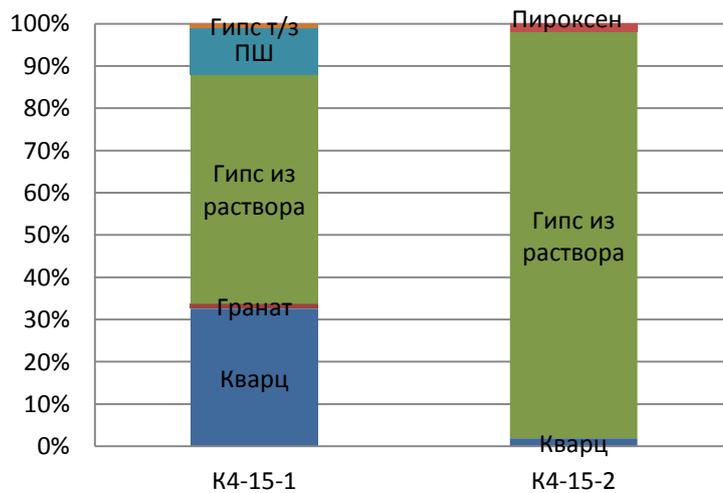


Рис.4.39. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К4-15. Гипс т/з – тонкозернистый гипс.

**Проба №К4-16 (ГЛ-16, зона 1а):** в нижней чашке гидроловушки заметны окатанные зерна кварца и небольшое количество тонкозернистого гипса и пироксена. В средне-нижней чашке (К4-16-2) также находятся зерна кварца и тонкозернистый гипс, пропадает пироксен и появляются единичные зерна граната. В средне-верхней чашке (К4-16-3) - присутствуют окатанные зерна кварца, выколки гипса второй генерации из вмещающих пород и небольшое количество тонкозернистого гипса. В верхней чашке отмечаются единичные зерна кварца и выколки гипса второй генерации из вмещающих пород. Содержание кварца уменьшается снизу вверх, а в верхних частях ГЛ появляется заметное количество обломков вмещающих пород (рис.4.40).

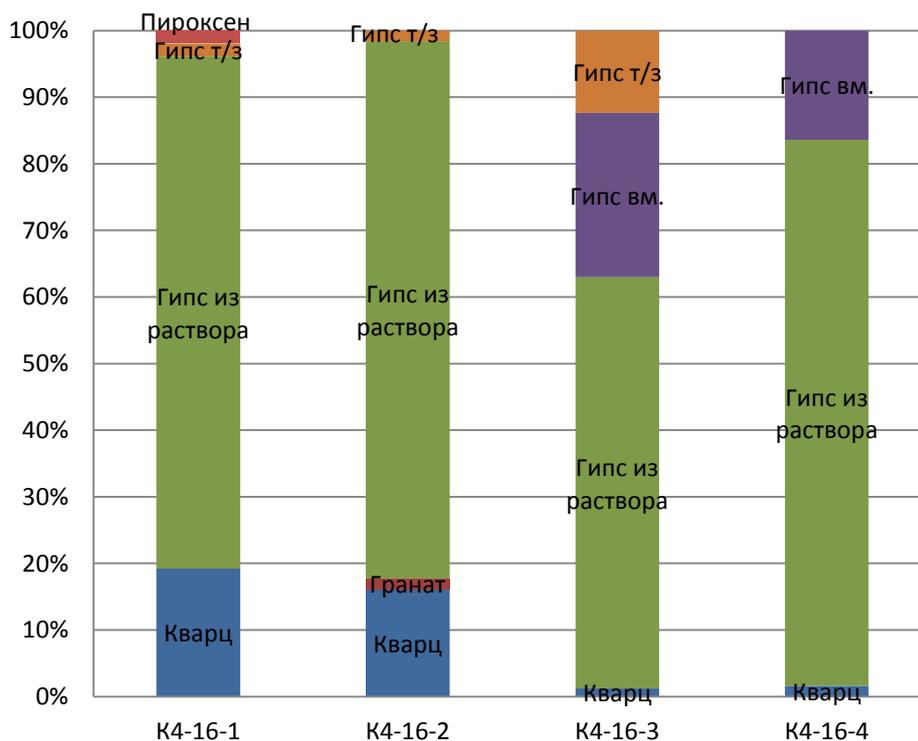


Рис.4.40. Относительное содержание зерен в крупной фракции (>1 мм). Проба К4-14. Гипс т/з – тонкозернистый гипс, гипс вм. – гипс второй генерации из вмещающих пород

Таким образом, в ГЛ есть несколько типов распределения зерен. Первый – это увеличение содержания зерен тонкозернистого гипса, выколок гипса второй генерации, обломков древесины и остатков насекомых вверх по профилю; уменьшение содержания зерен кварца, полевого шпата, граната и пироксена. Вторым типом – обратное распределение, по сравнению с первым типом. Третий тип – смешанный.

#### 4.2. Результаты рентгенофазового анализа.

В этой главе представлены результаты рентгенофазового анализа осадка из гидроловушек, описание которого можно найти в таблице 2.2. Кроме этого были

проанализированы два образца ВМО, отобранные в пещере К-4 в Коррозионной камере и Лагерном зале (зона 3, обр. 18\11 и зона 2в, обр.18\13).

По результатам обзорных съемок и полуколичественной оценки содержания зерен были составлены минералогические характеристики водно-механических отложений из гидроловушек.

**Проба №К1-1 (ГЛ-1, зона 1а):** Содержание гипса в чашках ГЛ уменьшается от нижней чашки к верхней. В нижней и средней чашке кварц преобладает над доломитом, а в верхней чашке доломита больше кварца. Также снизу вверх растет содержание кальцита. Альбит в довольно большом количестве содержится в средней части ГЛ, тогда как в верхней и нижней его заметно меньше. Содержание глинистых минералов (иллита и хлорита) увеличивается снизу вверх, а ангидрит отсутствует. (Рис.4.41).

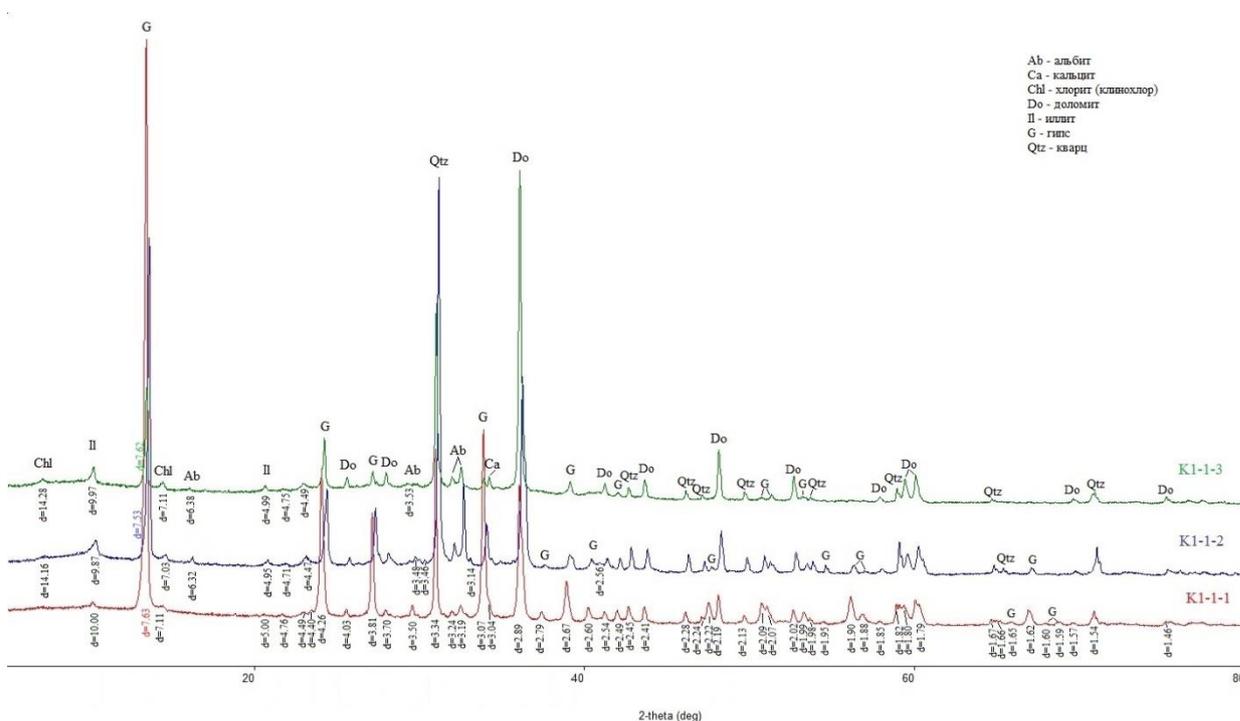


Рис. 4.41. Рентгенограммы образцов из ГЛ-1: нижняя чашка – К1-1-1, средняя – К1-1-2, верхняя - К1-1-3

**Проба №К1-3 (ГЛ-3, зон 2а):** В нижней и верхней чашках гидроловушки содержание основных минералов убывает по порядку - кварц, доломит, гипс. В средней чашке порядок убывания иной - доломит, гипс, кварц. В средней чашке пониженное содержание кварца объясняется более высокой гидродинамикой. Содержание глинистых

минералов (иллита и хлорита) возрастает от нижней чашки гидроловушки к верхней (Рис.4.42.).

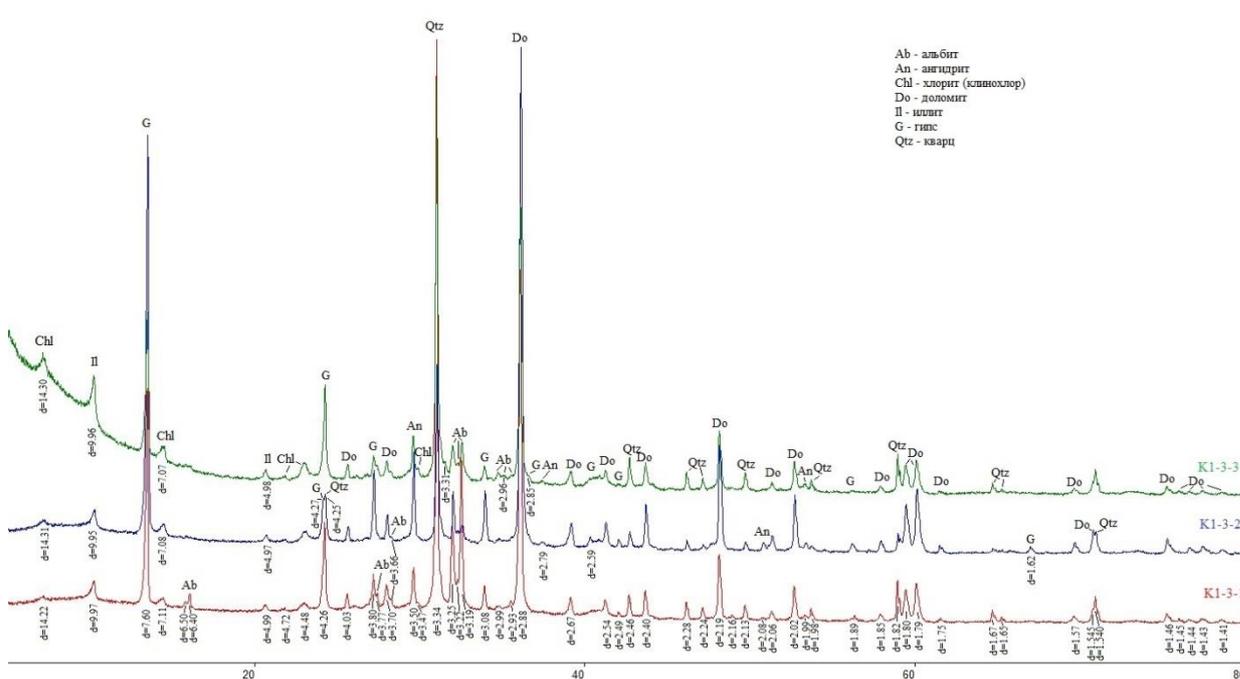


Рис. 4.42. Рентгенограммы образцов из ГЛ-3: нижняя чашка – K1-3-1, средняя – K1-3-2, верхняя - K1-3-3

**Проба №K13-4 (ГЛ-4, зона 1а):** Содержание доломита увеличивается вверх по гидроловушке, а гипса – уменьшается. Содержание кварца примерно одинаковое в нижней (средне-нижняя) и верхней чашке гидроловушки, но заметно уменьшается в средней части (средне-верхняя). Содержание ангидрита уменьшается вверх по гидроловушке, альбита – увеличивается. В верхней чашке появляется значительно количество целестина. Содержание глинистых минералов (иллита и хлорита) возрастает вверх по гидроловушке (Рис. 4.43).

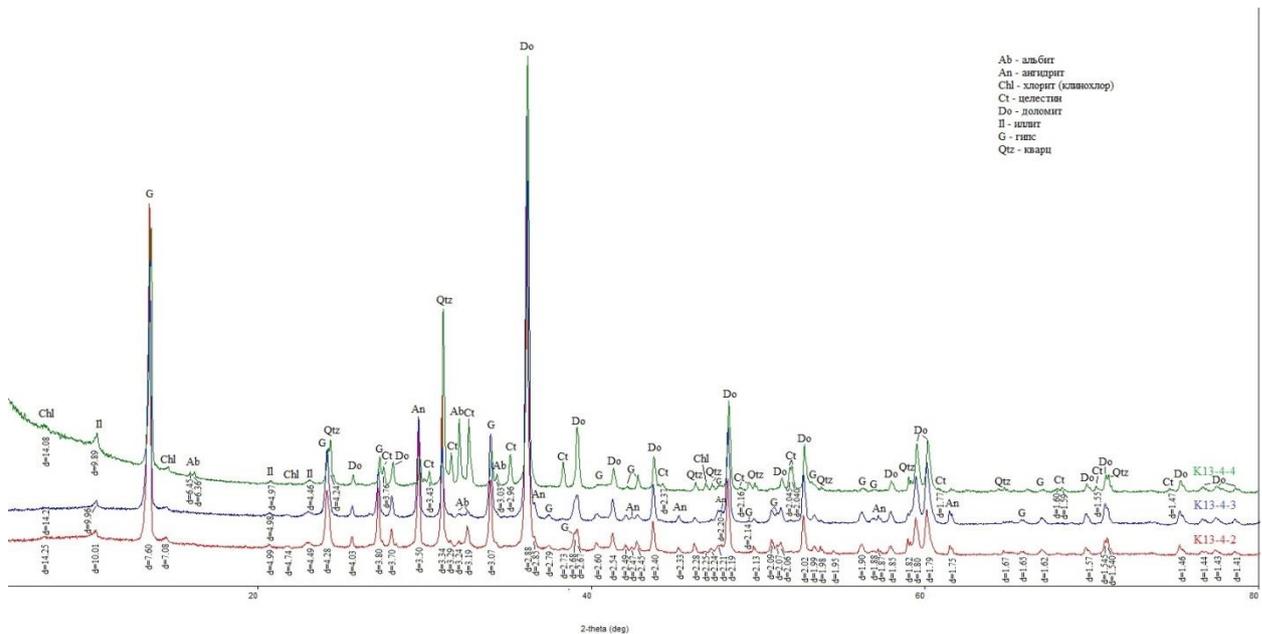


Рис. 4.43. Рентгенограммы образцов из ГЛ-4: средне-нижняя чашка – K13-4-2, средне-верхняя – K13-4-3, верхняя - K13-4-4

**Проба №K13-5 (ГЛ-5, зона 1а):** Содержание гипса резко уменьшается вверх от нижней к верхней чашке гидроловушки, в то время как содержание доломита немного увеличивается. Содержание кварца уменьшается снизу вверх. А содержание ангидрита примерно одинаковое. Содержание глинистых минералов (иллита и хлорита) низкое, уменьшается снизу вверх. Альбит отсутствует (Рис.4.44).

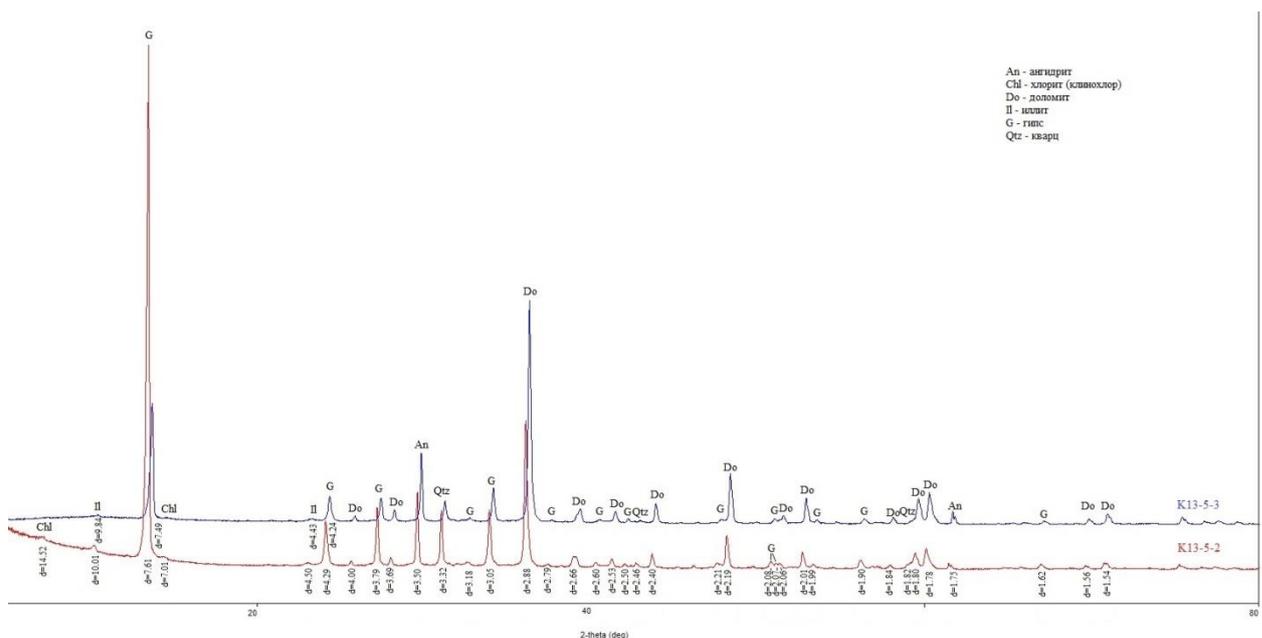


Рис. 4.44. Рентгенограммы образцов из ГЛ-5: средняя чашка – K13-5-2, верхняя - K13-5-3

**Проба №К13-7 (ГЛ-7, зона 1б):** В нижней и средней чашке преобладает доломит, его содержание увеличивается снизу вверх. В нижней чашке гипса больше чем кварца, однако в средней чашке содержание гипса резко уменьшается при сохранении содержания кварца. Содержание ангидрита и альбита возрастает снизу вверх. Содержание глинистых минералов (иллита и хлорита) немного возрастает вверх по гидроловушке (Рис.4.45).

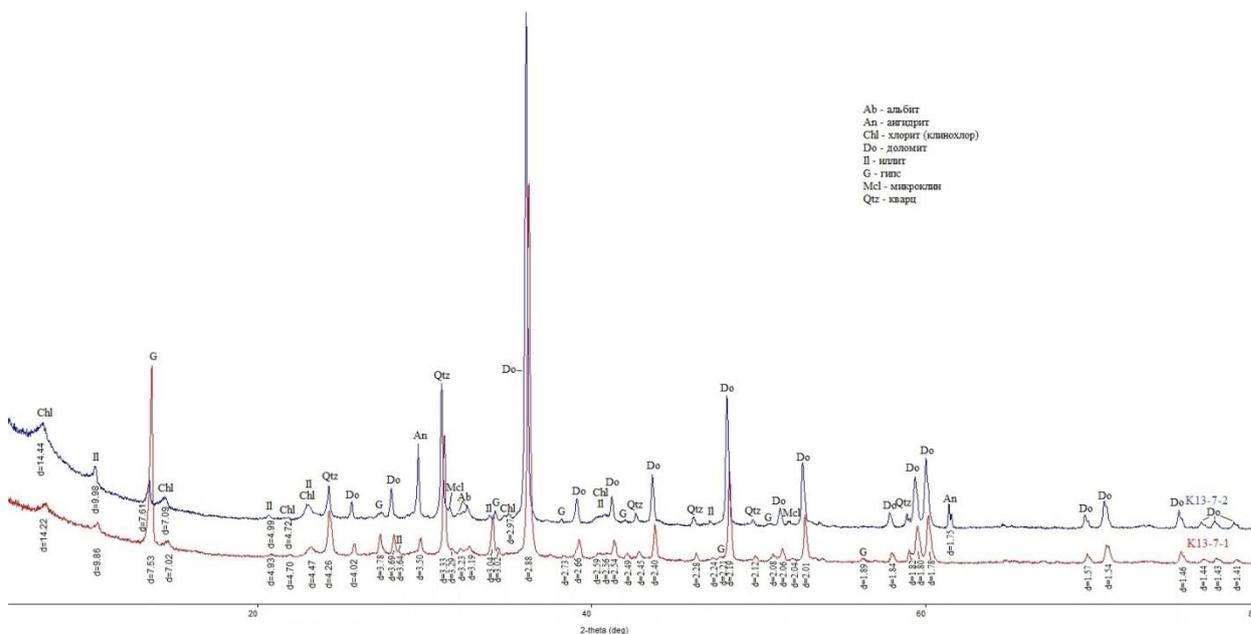


Рис. 4.45. Рентгенограммы образцов из ГЛ-7: нижняя чашка – К13-7-1, средняя - К13-7-2

**Проба №К4-13 (ГЛ-13, зона 2а):** В нижней чашке преобладает гипс и кварц, доломита заметно меньше. В средней - содержание гипса значительно больше чем в нижней, значительно уменьшается содержание кварца, а содержание доломита примерно одинаковое. Содержание ангидрита возрастает снизу вверх, а альбита – уменьшается. Содержание глинистых минералов (иллита и хлорита) одинаково низкое (рис.4.46).

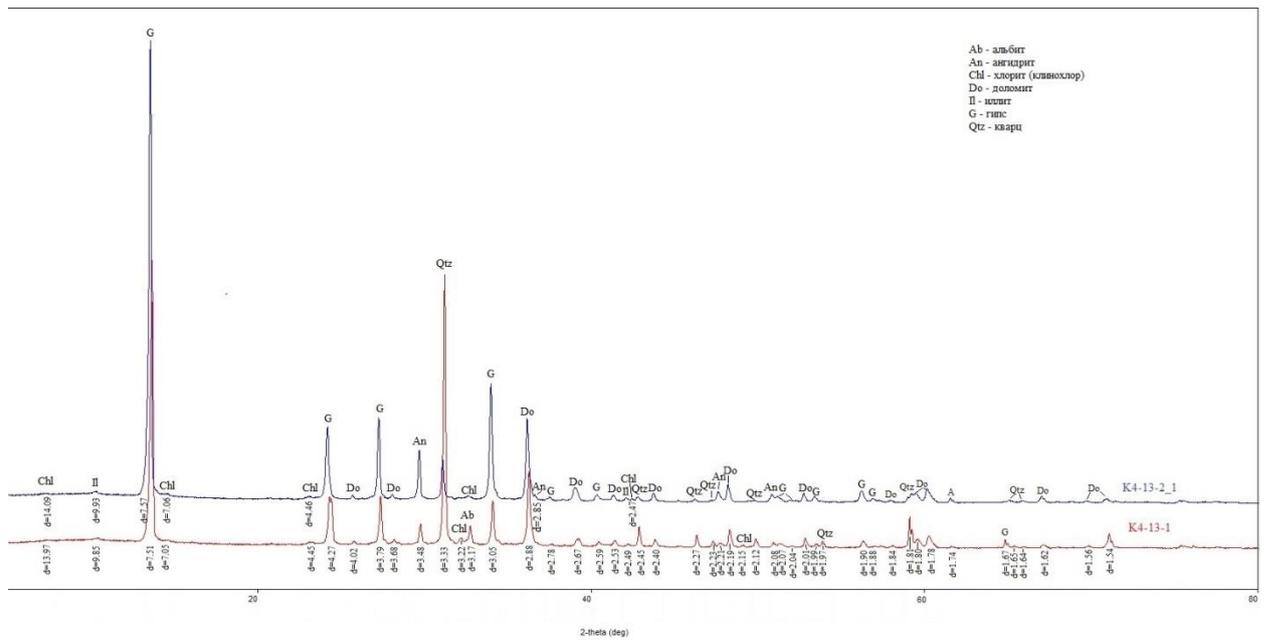


Рис. 4.46. Рентгенограммы образцов из ГЛ-13: нижняя чашка – K4-13-1, средняя – K4-13-2

**Проба №K4-14 (ГЛ-14, зона 1б):** в нижней чашке преобладает кварц, чуть меньше содержание доломита, гипс отсутствует. Довольно большое содержание альбита и очень мало флюорита. Среди глинистых минералов преобладает каолинит-монтмориллонит, чуть меньше хлорита, мусковита и иллита (Рис. 4.47).

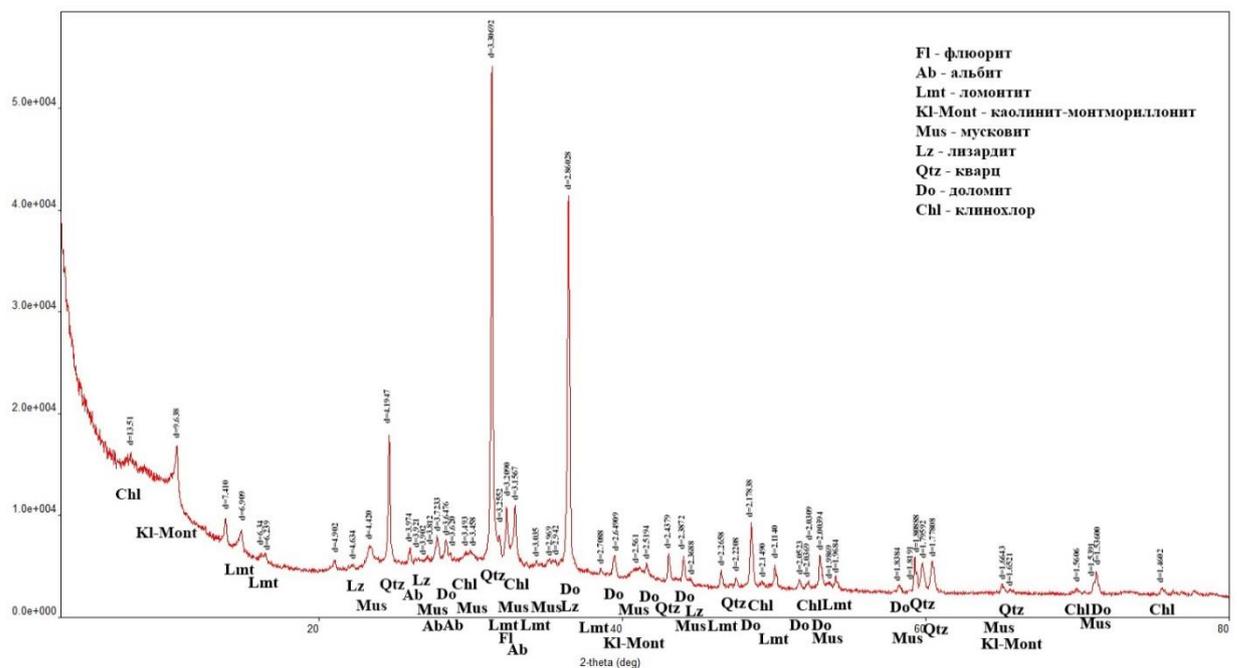


Рис. 4.47. Рентгенограмма образца из ГЛ-14: нижняя чашка - K4-14-1

**Проба №К4-15 (ГЛ-15, зона 2а, 2б):** в нижней чашке примерно одинаковое содержание гипса и кварца, чуть меньше доломита. В средней - заметно преобладает гипс, сильно меньше доломита и кварца. В нижней чашке ангидрита и альбита больше чем в средней. Содержание глинистых минералов (иллита и хлорита) одинаково низкое (Рис. 4.48).

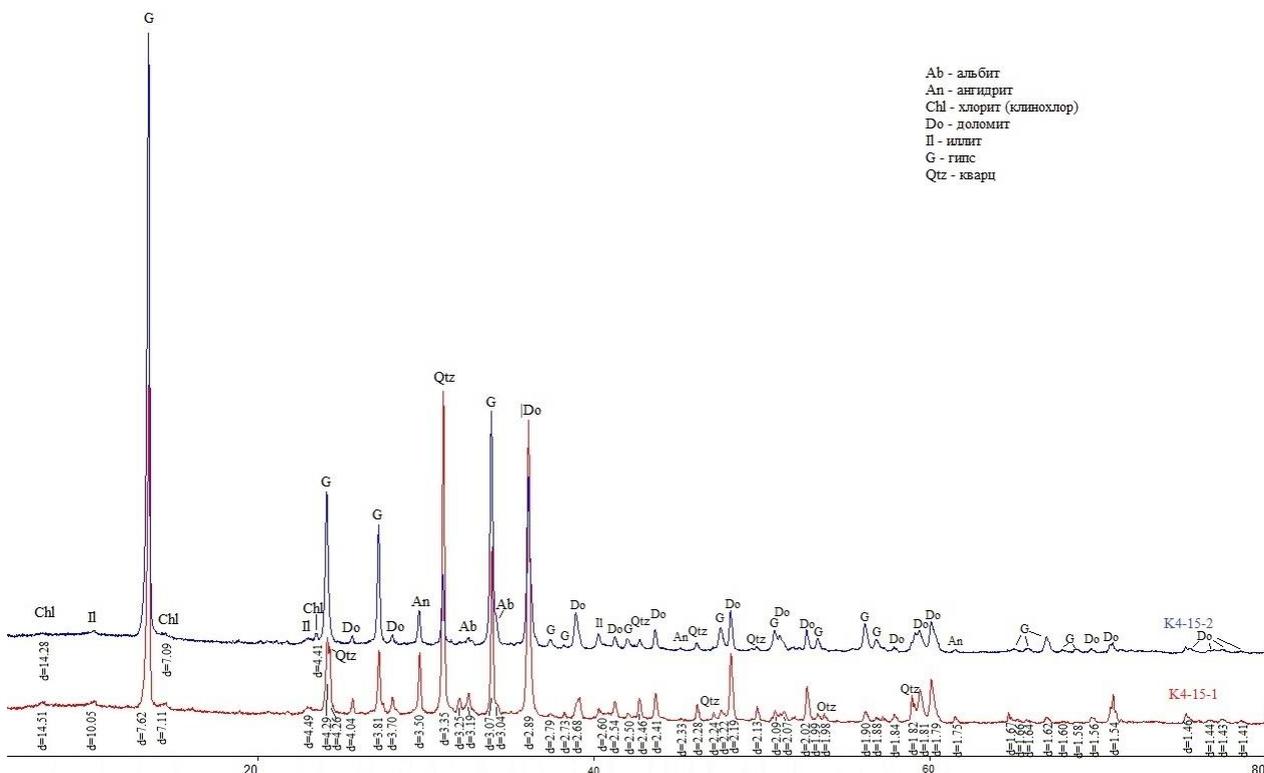


Рис. 4.48. Рентгенограммы образцов из ГЛ-15: нижняя чашка – K4-15-1, средняя – K4-15-2

**Проба №К4-16 (ГЛ-16, зона 1а):** содержание гипса в общем увеличивается снизу вверх, незначительно уменьшаясь в средне-нижней чашке (K4-16-2). Содержание доломита также одинаково высокое во всех частях гидроловушки, однако незначительно увеличивается в средне-нижней чашке. Содержание кварца неоднородно: наибольшее его количество в верхней и средне-нижней чашке, несколько меньше в нижней и средне-верхней. По всей гидроловушке гипс преобладает над доломитом, кроме средне-нижней чашки, и кварцем. Содержание ангидрита несколько увеличивается снизу вверх, значительно уменьшаясь в верхней чашке. Содержание кальцита уменьшается снизу вверх. Содержание альбита и глинистых минералов (хлорита и иллита) равномерное по всей гидроловушке, однако иллита больше хлорита (Рис. 4.49).

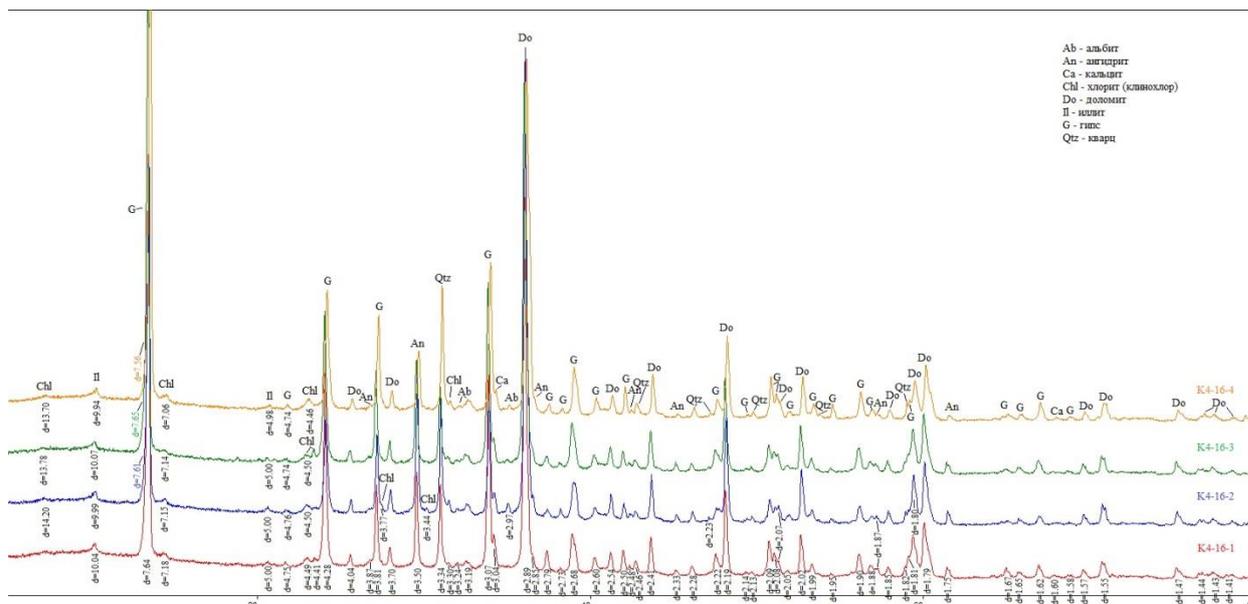


Рис. 4.49. Рентгенограммы образцов из ГЛ-16: нижняя чашка – K4-16-1, средне-нижняя – K4-16-2, средне-верхняя – K4-16-3, верхняя – K4-16-4

Образец 18\11 был отобран в пещере К-4 в Коррозионной камере. Основной фазой в нем является доломит, заметно меньше кварца и кальцита, практически нет гипса и альбита. Среди глинистых фаз присутствует хлорит и иллит. Кроме этого был обнаружен берлинит, минерал класса фосфатов. Образец 18\13\_1 был также отобран в пещере К-4, в Лагерном зале из гравитационного конуса. В этом образце основную фазу также составляет доломит, которого значительно больше чем в образце 18/11, и кварц. Альбита, гипса, хлорита и иллита мало, а кальцит практически отсутствует. Берлинит в этом образце обнаружен не был. Таким образом, отложения ВМО коррозионных ниш (зона 3) несколько отличаются от отложений гравитационных конусов (зона 2в) (рис.4.50).

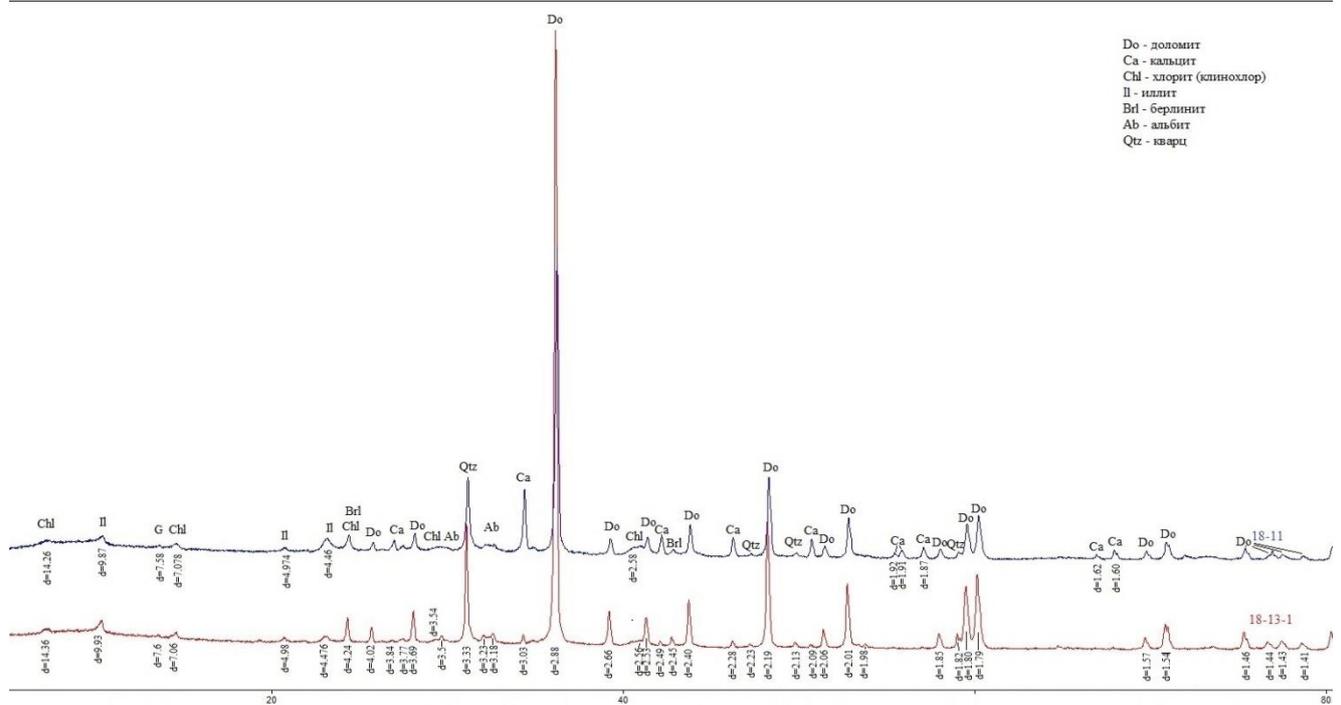


Рис. 4.50. Рентгенограммы образцов 18\11 и 18\13\_1.

Обобщив полученные результаты можно сделать некоторые выводы. В привходовой части пещер в составе ВМО присутствует кальцит, в некоторых местах отсутствует ангидрит. Содержание глинистых минералов в общем увеличивается снизу вверх, однако в некоторых случаях происходит незначительное уменьшение содержания. Содержание гипса в общем растет снизу вверх в пещере К4 и уменьшается снизу вверх в пещерах К1 и К13. Содержание доломита наоборот, увеличивается в пещерах К1 и К13 и уменьшается в пещере К4. Содержание кварца уменьшается или остается примерно одинаковым снизу вверх по гидроловушке. Содержание альбита уменьшается снизу вверх в пещерах К1 и К4 и увеличивается в пещере К13. Содержание ангидрита как уменьшается, так и увеличивается снизу вверх без преобладания какой-либо последовательности. Для гипса, доломита, кварца и альбита выявлено неравномерное (неупорядоченное) содержание чашкам гидроловушек. Такое поведение, а так же равномерное распределение по всем чашкам предположительно связано с более высокой гидродинамикой и влиянием на состав отложений вмещающих пород.

Для образцов K1-2-1, K4-9-1, K4-9-2, K4-9-3, K4-10-1 проводилось определение глинистых минералов.

В образце K1-2-1 основными фазами являются доломит и кварц, есть небольшое количество ангидрита, гипса и альбита. Среди глинистых фаз преобладает иллит ( $\approx 10\text{\AA}$ ), чуть меньше хлорита ( $\approx 14\text{\AA}$ ) и каолинита (исчезающий пик на  $7\text{\AA}$ ) (Рис. 4.51).

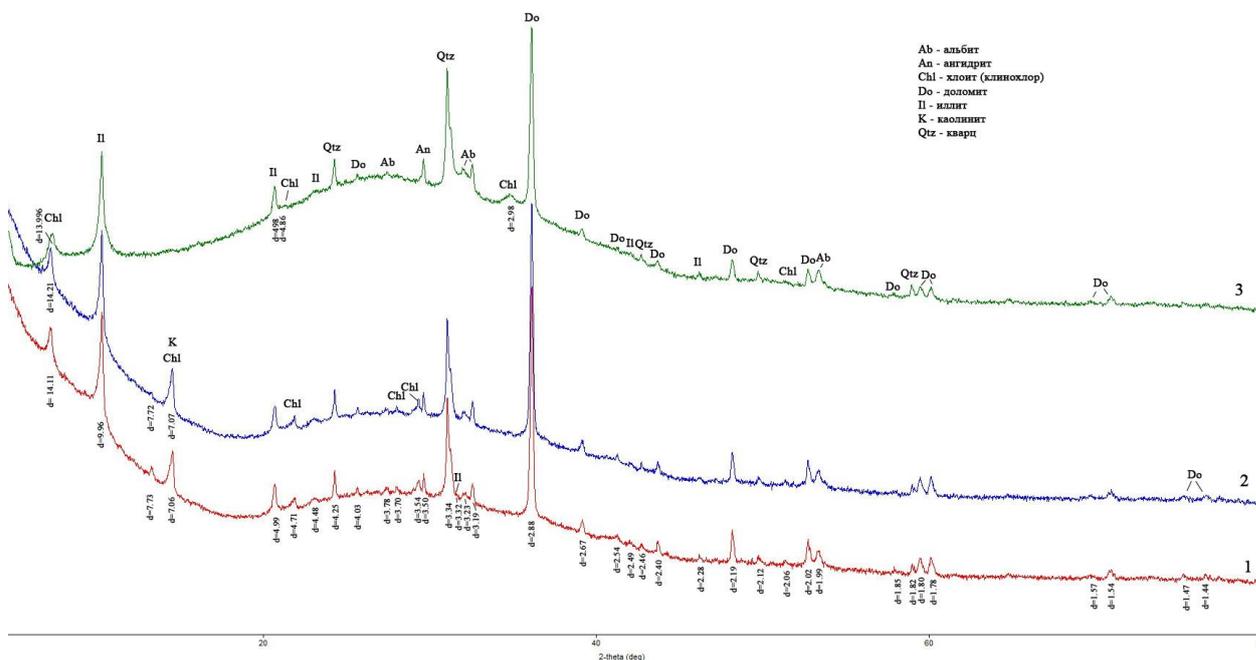


Рис. 4.51. Рентгенограмма образца K1-2-1. 1-воздушно-сухой, 2-насыщенный этиленгликолем, 3-нагрет до  $550^{\circ}\text{C}$ .

В образцах K4-9-1,2,3 преобладающей фазой является доломит. Кварца, ангидрита, альбита и гипса заметно меньше. Среди глинистых фаз преобладает иллит ( $\approx 10\text{\AA}$ ), чуть меньше содержится каолинита (исчезающий пик на  $7\text{\AA}$ ) и хлорита ( $\approx 14\text{\AA}$ ) (Рис. 4.52-4.54).

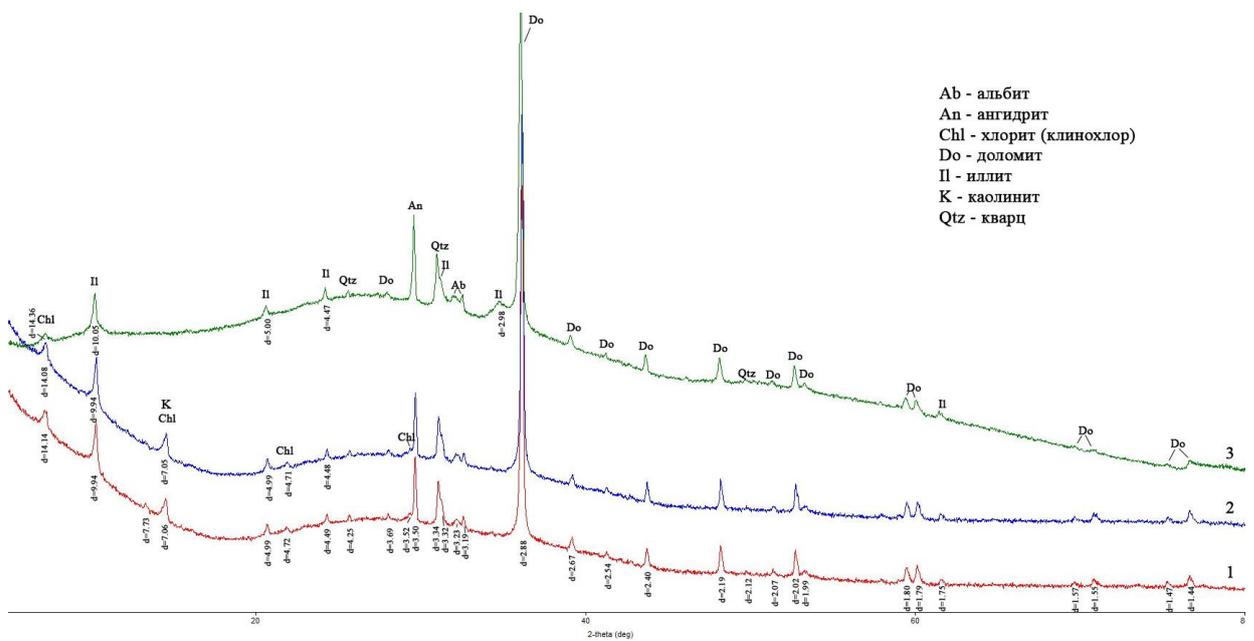


Рис. 4.52. Рентгенограмма образца К4-9-1. 1-воздушно-сухой, 2-насыщенный этиленгликолем, 3-нагрет до 550°C.

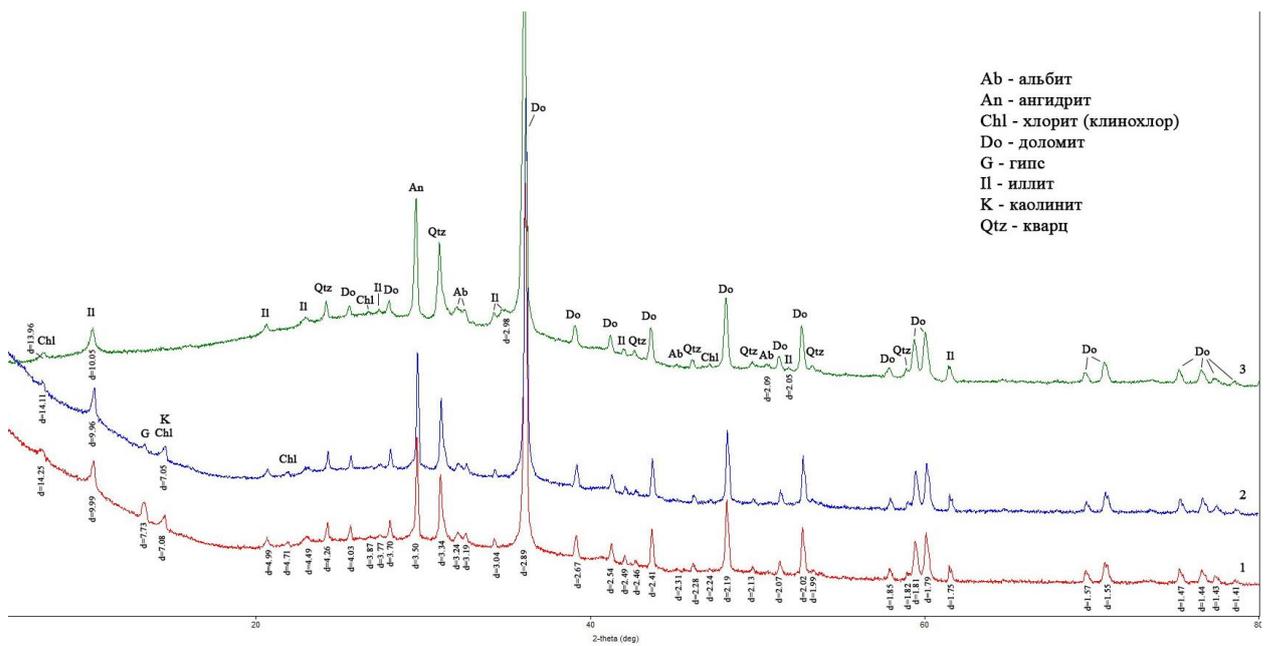


Рис.4.53. Рентгенограмма образца К4-9-2. 1-воздушно-сухой, 2-насыщенный этиленгликолем, 3-нагрет до 550°C.

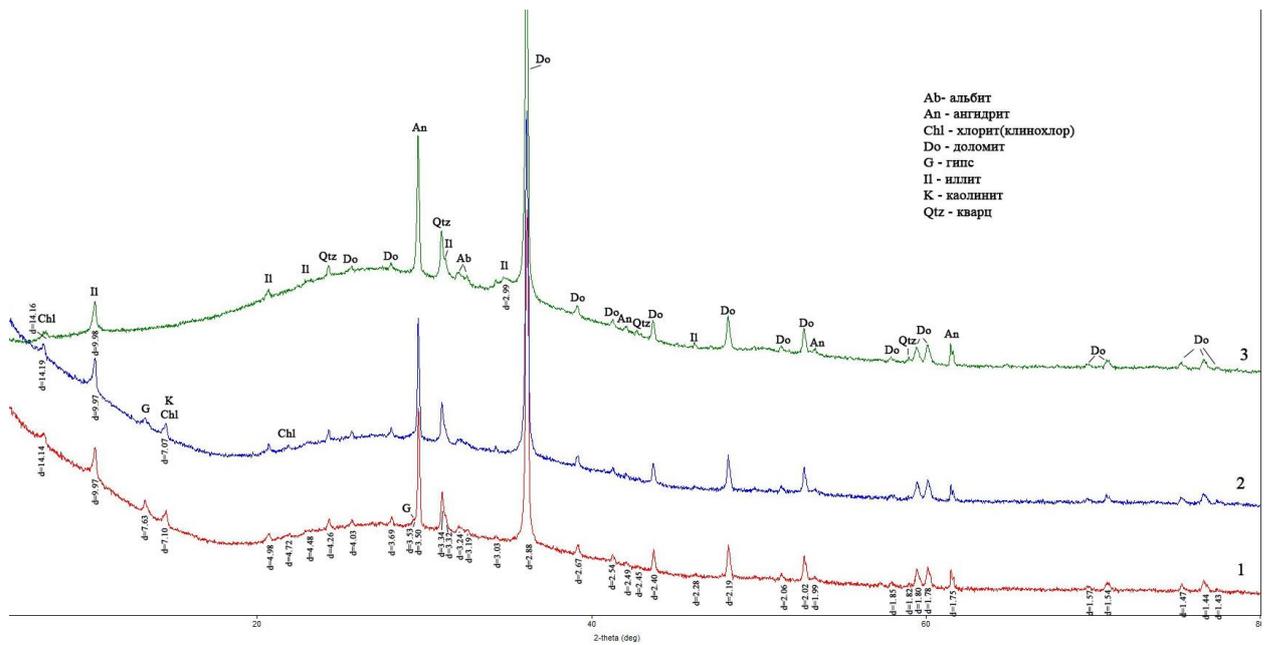


Рис. 4.54. Рентгенограмма образца К4-9-3. 1-воздушно-сухой, 2-насыщенный этиленгликолем, 3-нагрет до 550°C.

В образце К4-10-1 преобладающими фазами являются доломит и ангидрит, кварца и альбита заметно меньше. Гипс отсутствует. Среди глинистых фаз преобладает иллит ( $\approx 10\text{\AA}$ ), хлорита ( $\approx 14\text{\AA}$ ) и каолинита (исчезающий пик на  $7\text{\AA}$ ) заметно меньше (Рис.4.55).

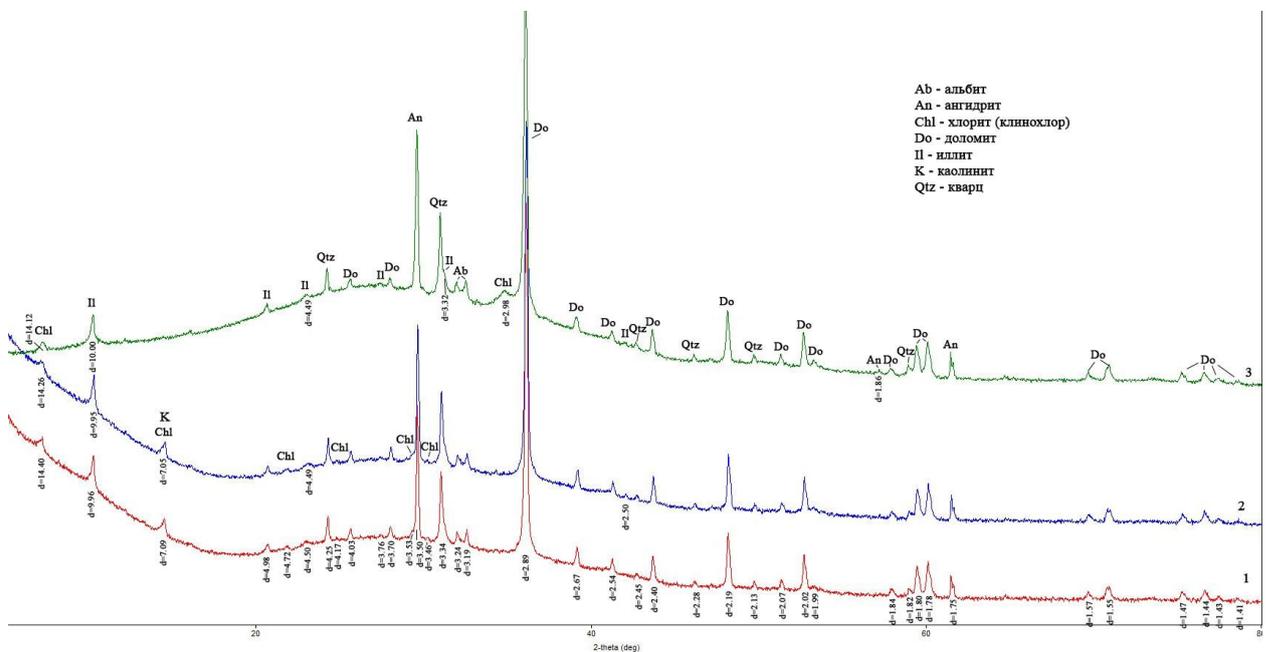


Рис.4.55. Рентгенограмма образца К4-10-1. 1-воздушно-сухой, 2-насыщенный этиленгликолем, 3-нагрет до 550°C.

Таким образом, для всех образцов основной фазой является доломит, кварц и ангидрит, хотя в образце К1-2-1 ангидрит практически отсутствует. Гипс присутствует в очень малых количествах, а в образце К4-10-1 он отсутствует вовсе. Во всех пробах среди глинистых фаз преобладает иллит, чуть меньше содержится хлорита и каолинита.

#### 4.3 Химический состав породообразующих минералов

##### 4.3.1 Подкласс слоистых силикатов

Этот подкласс представлен очень широко. В него входят минералы группы слюд, группы смектитов и группы хлоритов.

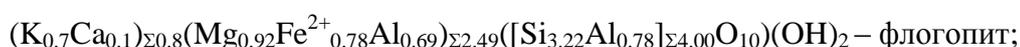
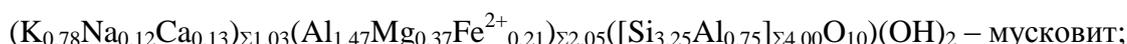
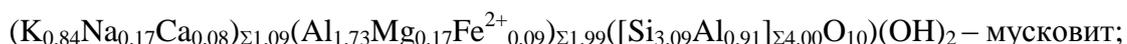
Слюды представлены мусковитом с небольшим содержанием Na, Ca, Mg и Fe и флогопитом с небольшим содержанием Ca, Fe и Al (таб.4.1). Кроме этого был обнаружен аннит, минерал группы биотита, в котором присутствуют изоморфные примеси Ca, Al, Mg, Ti и Mn.

Таблица 4.1. Состав (вес.%) минералов группы слюд.

Образец	18-32\2	18-32\2	18-32	18-12\2	18-12	18-12
Спектр	53	59	182	303	328	346
Минерал	Mus	Mus	Phl	Phl	Ann	Ann
SiO <sub>2</sub>	46.39	52.61	39.33	34.11	38.22	34.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.64	30.48	15.23	12.78	21.09	15.72
TiO <sub>2</sub>	-	-	1.68	-	2.48	2.03
FeO	1.65	4.05	11.45	5.91	14.86	27.4
MnO	-	-	-	-	-	0.47
MgO	1.67	4	7.53	5.99	10.21	2.36
CaO	1.18	1.93	1.1	6.09	0.57	0.66
Na <sub>2</sub> O	1.34	1.03	-	0.4	-	-
K <sub>2</sub> O	9.91	9.82	6.72	2.84	7.48	9.4
Сумма	95.79	103.92	83.04	68.12	94.91	92.4

«-» - ниже порога обнаружения.

Расчет кристаллохимических формул проводился по зарядам на 22 отрицательных зарядов. Все железо было принято за двухвалентное. Примеры формул минералов представлены ниже:



Гидрослюды представлены иллитом с изоморфными примесями Ca, Fe, Mg и Ti (таб.4.2).

Таблица 4.2. Состав (вес.%) минералов группы гидрослюд.

Образец	18-32\2	18-32\2
Спектр	12	24
SiO <sub>2</sub>	42.81	50.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.33	15.77
FeO	4.11	7.78
MnO	-	0.72
MgO	4.46	3.66
CaO	3.06	2.15
Na <sub>2</sub> O	0.36	0.9
K <sub>2</sub> O	5.64	2.35
Сумма	81.97	83.46

«-» - ниже порога обнаружения.

$(K_{0.69}Ca_{0.07})_{\Sigma 0.76}(Al_{1.48}Fe^{2+}_{0.32}Mg_{0.21}Ti_{0.03})_{\Sigma 2.04}([Si_{3.52}Al_{0.48}]_{\Sigma 4.00}O_{10})(OH)_2$  – иллит;

Смектиты представлены монтмориллонитом с небольшим содержанием Fe и K (таб. 4.3).

Таблица 4.3. Состав (вес.%) минералов группы смектита.

Образец	18-32\2	18-32\2	18-21	18-12\2
Спектр	17	22	207	294
SiO <sub>2</sub>	28.14	41.1	33.92	21.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.77	23.6	12.94	12.67
TiO <sub>2</sub>	1.31	-	-	-
FeO	13.05	13.46	6.49	18.44
MnO	0.48	-	-	-
MgO	11.2	12.27	3.72	7.52
CaO	3.55	-	4.27	3.51
Na <sub>2</sub> O	0.48	0.39	-	-
K <sub>2</sub> O	1.4	4.09	2.39	1.73
SO <sub>3</sub>	0.17	-	-	-
Cl	0.25	-	-	-
Сумма	72.8	94.91	63.73	65.09

«-» - ниже порога обнаружения.

Расчет кристаллохимических формул проводился по зарядам на 22 отрицательных зарядов. Все железо было принято за двухвалентное. Примеры формул минералов представлены ниже:

$(K_{0.37}Na_{0.05})_{\Sigma 0.42}(Mg_{1.29}Fe^{2+}_{0.79}Al_{0.85})_{\Sigma 2.93}([Si_{2.89}Al_{1.11}]_{\Sigma 4.00}O_{10})(OH,Cl)_2$

$(Ca_{0.47}K_{0.31})_{\Sigma 0.78}(Al_{1.02}Mg_{0.57}Fe^{2+}_{0.55})_{\Sigma 2.14}([Si_{3.46}Al_{0.54}]_{\Sigma 4.00}O_{10})(OH)_2$

Группа хлоритов представлена железистой разновидностью – шамозитом (таб.4.4).

Таблица 4.4. Состав (вес.%) минералов группы хлорита.

Образец	18-32\2	18-32	18-32	18-32	18-21
Спектр	68	101	130	163	210
SiO <sub>2</sub>	26.64	27.43	20.77	28.8	28.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.65	23.36	18.39	20.84	23.55
TiO <sub>2</sub>	4.15	-	-	-	-
FeO	9.46	20.03	20.59	19.2	25.53
MgO	12.26	17.78	10.82	19.4	15.56
CaO	5.11	0.36	4.89	-	-
Na <sub>2</sub> O	0.5	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	6.4	-	0.71	-	-
Сумма	74.17	88.96	76.17	88.16	92.92

«-» - ниже порога обнаружения.

Примечание: в недостаток суммы входит содержание ОН, которое автором не рассчитывалось

Расчет кристаллохимических формул проводился по зарядам на 28 отрицательных зарядов. Все железо было принято за двухвалентное, так как в минералах есть небольшой избыток зарядов и рассчитать Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> по электронейтральности не представлялось возможным. Примеры формул минералов представлены ниже:



#### 4.3.2 Полевой шпат

Полевые шпаты в ВМО встречаются в виде хорошо окатанных или слабо окатанных зерен (рис.4.56, рис. 4.57). Они представлены микроклином (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) и плагиоклазами №№0-30 ((Na, Ca)(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)), преимущественно альбитами, что было подтверждено рентгенофазовым анализом (рис 4.58). Расчет формул производился по анионам на 8 атомов кислорода (таб.4.5).

Таблица 4.5. Состав (вес.%) полевых шпатов.

Образец	18-32\2	18-32\2	18-32	18-32	18-21	18-21	18-12\2	18-12\2	18-12\2	18-12	18-12
Спектр	3	13	119	125	187	218	232	295	313	335	343
SiO <sub>2</sub>	63.16	65.01	65.04	64.38	64.96	64.82	69.45	66.6	64.45	64.31	64.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.07	18.26	18.93	18.11	18.13	18.28	19.31	18.85	18.13	18.45	18.44
CaO	5.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	-	17.32	16.02	17.51	16.91	15.38	-	10.92	16.76	17.24	16.31
Na <sub>2</sub> O	9.47	-	-	-	-	1.52	11.24	3.63	0.66	-	0.93
Сумма	101.93	100.59	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*

\*- нормированные анализы; «-» - ниже порога обнаружения

Примеры формул каждого минерала представлены ниже:

$(K_{0.94}Na_{0.08})(Al_{1.02}Si_{2.98}O_8)$  –микроклин;

$(Na_{0.98}Ca_{0.03})(Al_{1.03}Si_{2.97}O_8)$  – альбит.

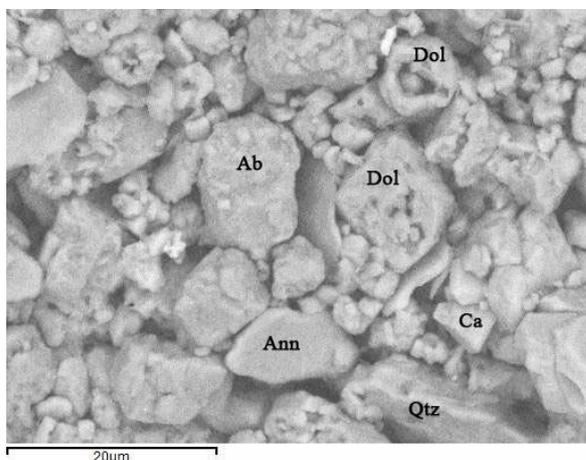


Рис.4.56.Изображение альбита в отраженных электронах (обр. 18-28\_8). Ab – альбит, Ann – аннит, Ca – кальцит, Dol – доломит, Qtz – кварц.

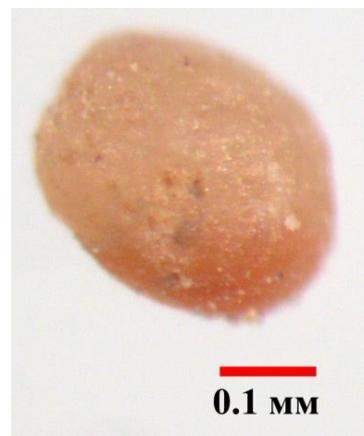


Рис. 4.57. Зерно микроклина (обр. К4-10-1)

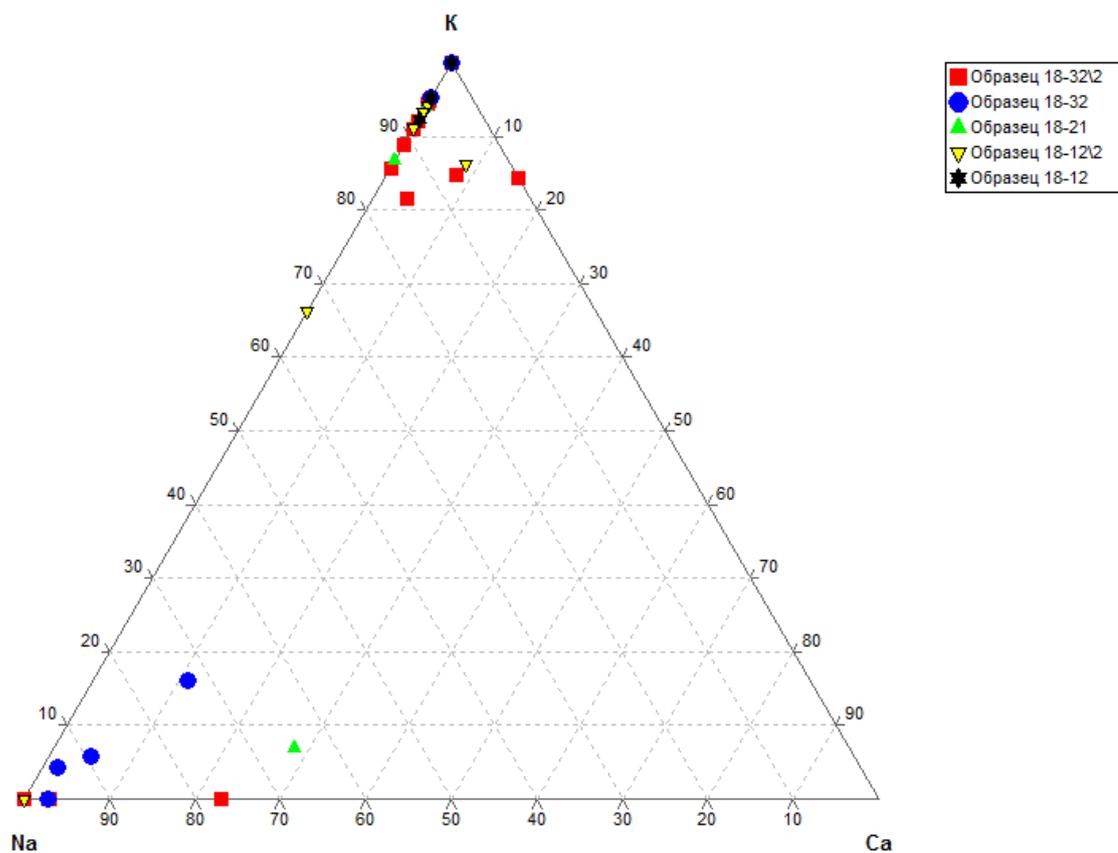


Рис. 4.58 Диаграмма составов полевых шпатов из ВМО, ф.е.

### 4.3.3 Кварц

Этот минерал есть во всех типах отложений. Чаще всего встречается в виде прозрачных или розоватых зерен неправильной формы с разной степенью окатанности (рис.4.9, рис.4.60).

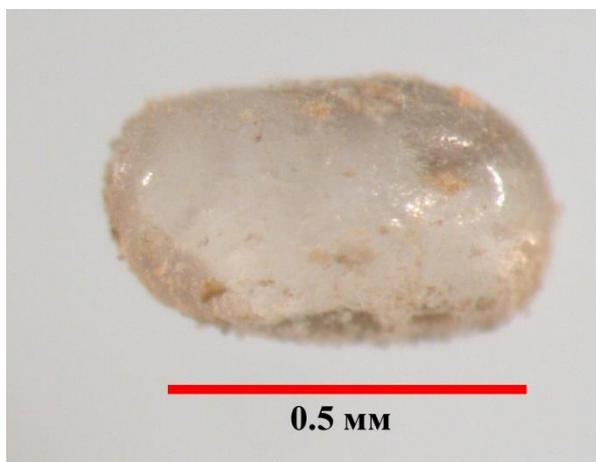


Рис. 4.59 Окатанное зерно кварца (обр. К4-10-1)

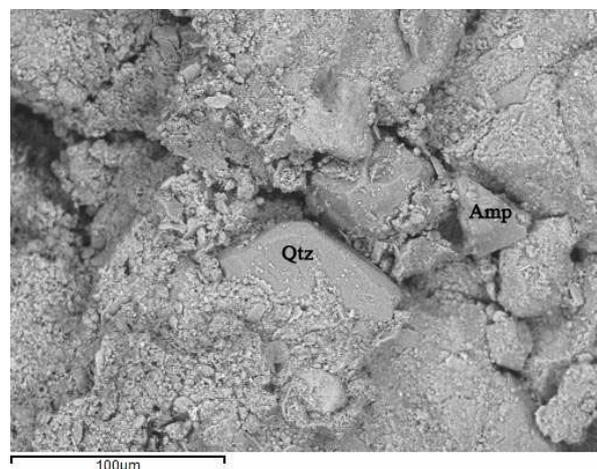


Рис. 4.60. Изображение кварца в отраженных электронах (обр. 18\14\_1). Amp – амфибол, Qtz – кварц

### 4.3.4 Доломит и кальцит

Доломит в отложениях ВМО представлен в каждом образце. Он встречается в виде неокатанных обломков ромбического облика, а также входит в состав цемента. Им сложены белые комочки в отложениях (рис.4.61). Вдоль трещин доломит имеет зональное строение, скорее всего он испытывал метасоматическое преобразование и обрастание (рис. 4.62). Кальцит встречается значительно реже в виде неокатанных обломков с хорошо заметной спайностью (рис. 4.63). По химическому составу доломиты близки к кальциту, вероятно из-за вторичных процессов (рис.4.64). Среди кальцита встречаются доломитизированные зерна (таб. 4.6).

Таблица 4.6. Состав (вес.%) кальцитов и доломитов.

Образец	18-32\2	18-32\2	18-32\2	18-32\2	18-32	18-32	18-32	18-32	18-21	18-12\2	18-12\2
Спектр	5	6	7	46	99	109	121	124	221	250	281
SiO <sub>2</sub>	-	0.48	1.64	3.63	-	0.94	-	-	2.88	6.44	1.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.23	0.61	1.33	-	0.61	-	-	1.36	3.27	0.55
MgO	-	20.37	21.34	20.92	-	20.24	-	20.13	18.93	16.36	17.00
CaO	52.74	30.18	29.68	27.33	53.81	29.27	51.65	30.49	28.76	23.27	25.6
FeO	-	-	-	0.76	-	-	-	-	0.54	1.53	0.68
K <sub>2</sub> O	-	-	-	0.3	-	-	-	-	0.28	0.69	-
SO <sub>3</sub>	0.93	-	-	-	-	-	1.18	-	0.33	-	-
Сумма	53.67	51.26	53.27	54.27	53.81	51.09	52.82	50.63	53.08	51.57	45.69

«-» - ниже порога обнаружения

Расчет формул производился на 1 и 2 катиона для кальцита и доломита соответственно. Формулы минералов представлены ниже:

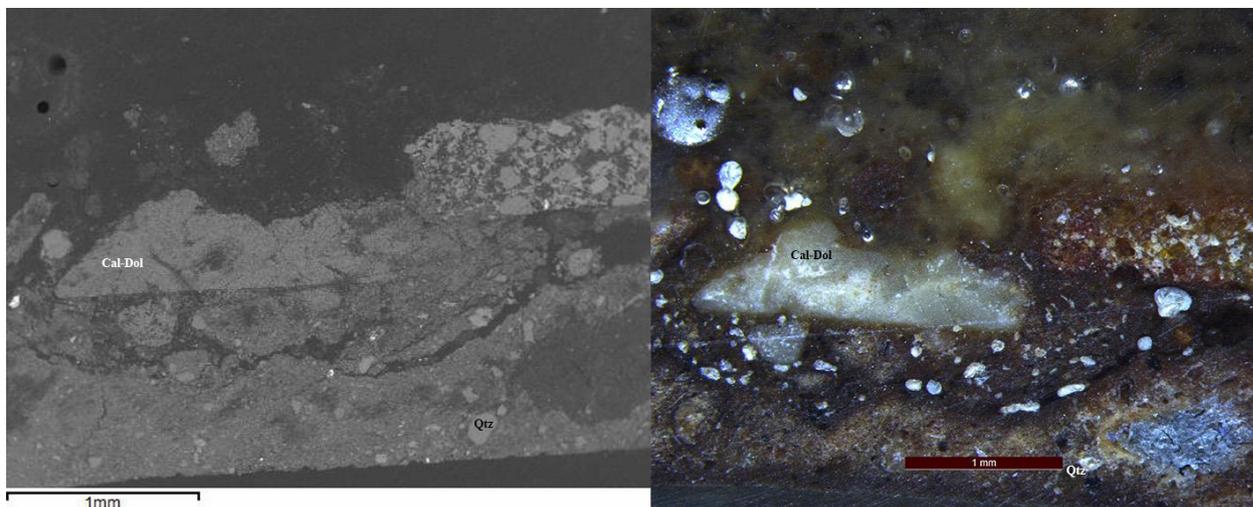


Рис. 4.61. Изображение доломита в отраженных электронах (обр.18\28). Cal-Dol – кальцито-доломит, Qtz – кварц

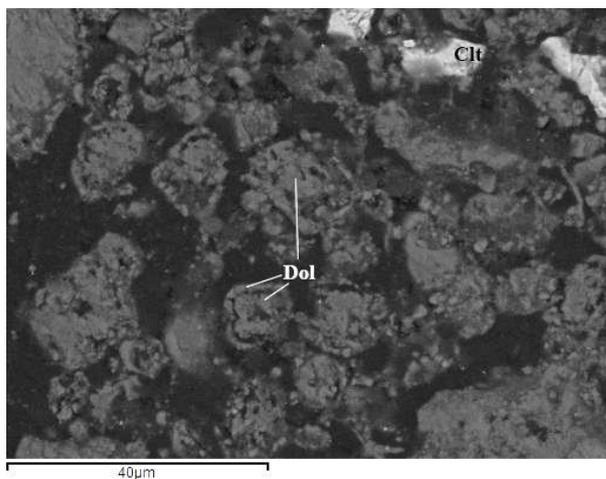


Рис.4.62. Изображение доломита в отраженных электронах (обр.18\27). Clt – целестин, Dol – доломит

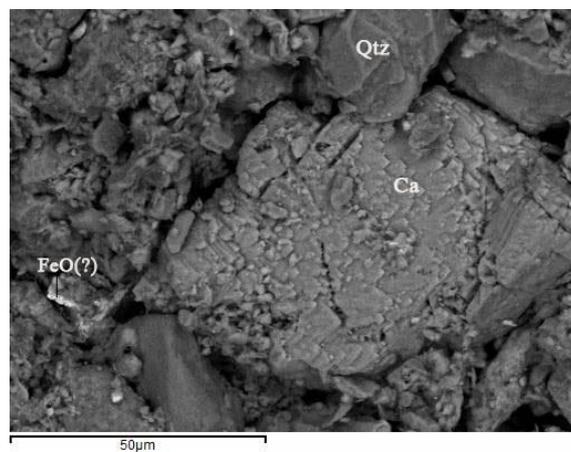


Рис. 4.63. Изображение кальцита в отраженных электронах (обр.18\14). Ca – кальцит, Qtz – кварц

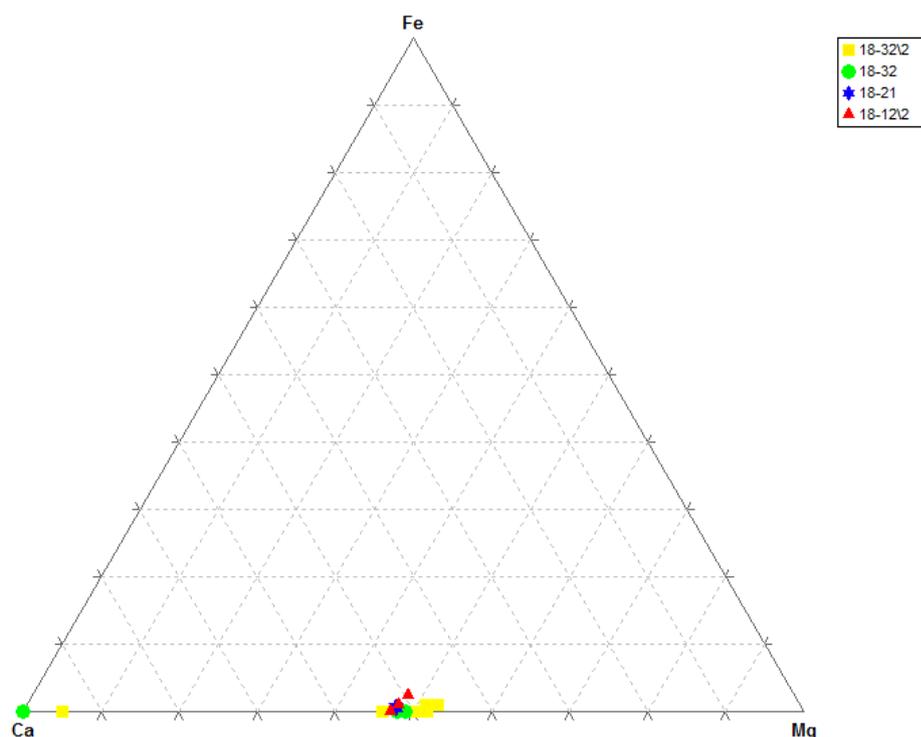


Рис. 4.64. Диаграмма составов доломитов и кальцитов из ВМО, ф.е.

#### 4.3.5 Группа барита.

В отложениях часто встречаются зерна целестина в виде обломков кристаллов идиоморфного облика и в виде расщепленных кристаллов (рис.4.65). В составе минерала присутствует небольшая примесь Са (таб. 4.7). Довольно редко встречаются зерна барита, имеющие ромбический облик (рис. 4.66).

Таблица 4. 7. Состав (вес.%) целестина.

Образец	18-21	18-21	18-21	18-12\2	18-12
Спектр	186	188	194	309	334
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.03	1.09	-	-	-
CaO	0.52	0.47	-	0.43	-
SrO	52.62	54.46	51.84	54.36	54.54
SO <sub>3</sub>	45.83	43.98	45.37	46.95	46.87
Сумма	100*	100*	97.2	101.74	101.41

\*-нормированные анализы; «-» - ниже порога обнаружения

Расчет формул производился на 2 катиона:

$(\text{Sr}_{0.95}\text{Ca}_{0.03})_{\Sigma 0.98}(\text{S}_{1.02}\text{O}_4)$  – целестин.

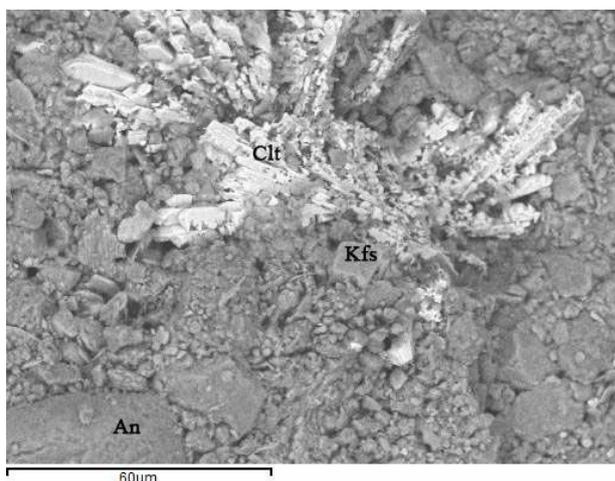


Рис. 4.65. Изображение целестиновой друзы в отраженных электронах (обр.18\16). An – анортит, Clt – целестин, Kfs – К-полевой шпат

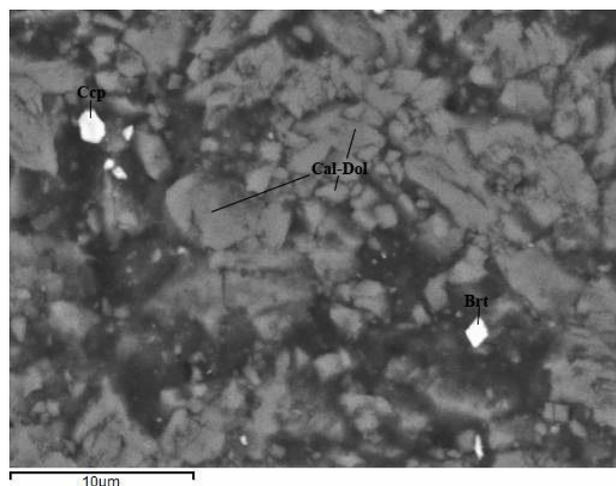


Рис. 4.66. Изображение барита в отраженных электронах (обр.18\10). Ccp – халькопирит, Cal-Dol – кальцито-доломит, Brt – барит

#### 4.3.6. Группа граната.

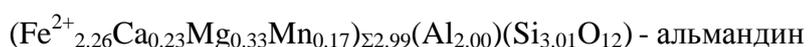
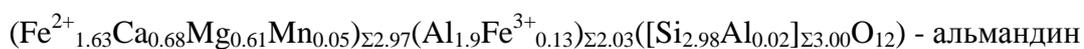
В образцах встречается в виде обломков кристаллов или среднеокатанных корродированных зерен (рис.4.67). Минерал представлен альмандином со значительной примесью пиропового и андрадитового минала, так же в составе присутствует небольшое количество спессартинового минала. Помимо альмандина были диагностированы гроссуляры со значительной примесью альмандинового минала и с небольшим содержанием спессартинового и пиропового миналов (таб.4.8).

Таблица 4.8. Состав (вес.%) гранатов

Образец	18-32\2	18-32\2	18-32	18-32	18-32	18-32	18-12\2	18-12
Спектр	2	32	135	136	152	158	246	345
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.26	21.39	20.95	21.41	21.19	22.08	22.94	23.32
SiO <sub>2</sub>	38.33	38.81	39.12	38.1	38.69	39.71	38.75	36.95
CaO	6.44	6.33	5.9	2.74	8.22	6.23	22.74	26.47
MgO	3.55	6.52	3.28	2.78	5.31	9.51	0.22	-
MnO	1.45	0.79	1.18	2.58	0.77	0.73	0.77	-
FeO	29.85	26.15	30.7	34.14	27.41	23.55	14.16	13.26
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	0.42	-
Сумма	99.89	100*	101.12	101.75	101.59	101.82	100*	100*

\*-нормированные анализы; «-» - ниже порога обнаружения

Формулы рассчитывались на 8 катионов, а Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> рассчитывалось по электронейтральности.



$(\text{Ca}_{1.88}\text{Fe}^{2+}_{0.91}\text{Mn}_{0.05}\text{Mg}_{0.03}\text{K}_{0.04})_{\Sigma 2.91}(\text{Al}_{2.08})([\text{Si}_{2.99}\text{Al}_{0.01}]_{\Sigma 3.00}\text{O}_{12})$  - гроссуляр

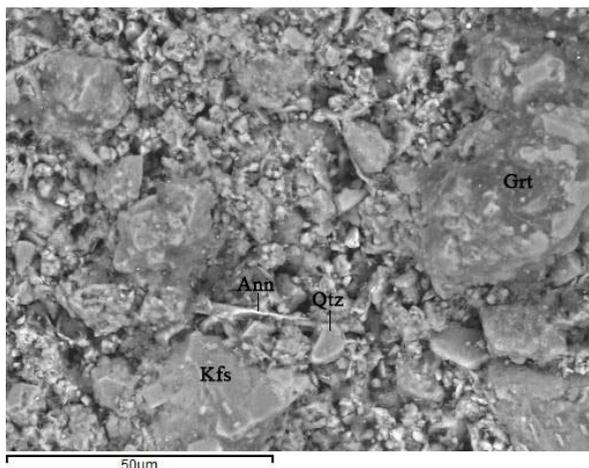


Рис. 4.67. Изображение альмандина в отраженных электронах (обр.18\28). Ann – аннит, Qtz – кварц, Kfs – К-полевой шпат, Grt – гранат

#### 4.3.7. Группа амфиболов

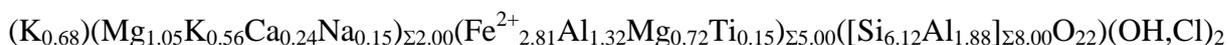
Минералы группы амфиболов встречаются в виде слабоокатанных или хорошо окатанных удлинённых зерен или обломков, иногда с заметной спайностью (рис. 4.68). По составу минералы относятся к магнезиально-железистым амфиболам со значительной примесью К и Al и небольшим количеством Ti (таб.4.9).

Таблица 4.9. Состав (вес.%) амфиболов.

Образец	18-21	18-21	18-21	18-12\2
Спектр	193	195	202	257
SiO <sub>2</sub>	40.64	51.49	36.95	38.13
TiO <sub>2</sub>	1.85	1.07	1.2	0.82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.01	29.79	16.39	14.12
FeO	18.47	5.96	20.32	16.12
CaO	0.38	-	1.33	11.29
MgO	13.65	1.99	7.18	7.8
K <sub>2</sub> O	8.61	11.74	5.87	1.23
Na <sub>2</sub> O	-	-	0.47	1.04
SO <sub>3</sub>	-	-	0.4	-
Cl	-	-	0.16	0.13
Сумма	99.61	102.04	90.27	90.68

«-» - ниже порога обнаружения

Кристаллохимические формулы рассчитывались по зарядам на 46 отрицательных зарядов, все железо было принято за двухвалентное. Пример формулы приведены ниже:



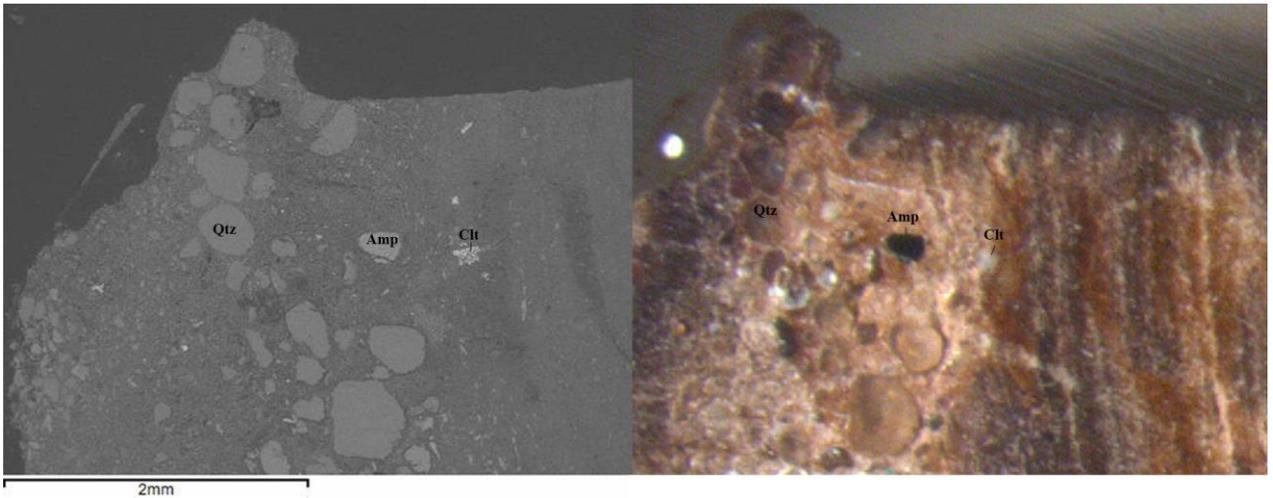


Рис.4.68. Изображение амфибола в отраженных электронах (обр. 18\27). Amp – амфибол, Clt – целестин, Qtz – кварц.

#### 4.3.8. Гипс

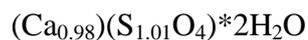
Гипс в породах встречается в виде неокатанных обломков, с хорошо заметной спайностью, а также встречается в цементе породы (рис. 4.69, рис. 4.70). Небольшая примесь оксидов Al и Si, скорее всего, обусловлена микровключениями глинистых минералов (таб.4.10).

Таблица 4.10. Состав (вес.%) гипсов

Образец	18-32\2	18-32\2	18-32\2	18-12	18-12
Спектр	21	282	298	354	356
SiO <sub>2</sub>	-	0.73	0.42	0.47	0.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.33	0.31	0.42	0.78
CaO	40.91	40.45	40.25	39.91	41.06
SO <sub>3</sub>	60.13	58.50	58.58	57.26	57.68
Сумма	101.04	100*	99.57	98.06	100*

\*-нормированные анализы; «-» - ниже порога обнаружения

Формулы минерала считались по кислородному методу на 4 атома кислорода. Пример эмпирической формулы минерала приведен ниже:



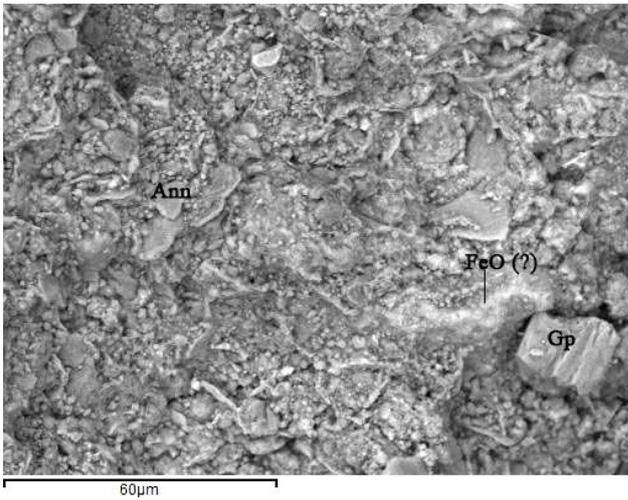


Рис. 4.69. Изображение обломка гипса в отраженных электронах (обр. 18\14). Ann – аннит, Gr – гипс.

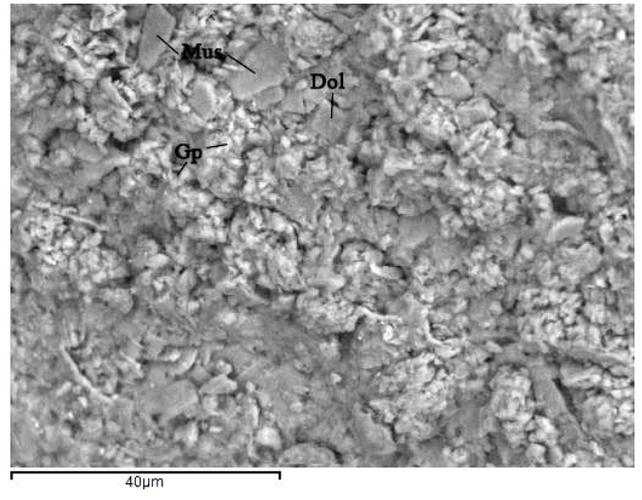


Рис.4.70. Изображение гипсового цемент в отраженных электронах (обр. 18\36). Mus – мусковит, Dol – доломит, Gr – гипс.

#### 4.3.9. Акцессорные минералы

Акцессорные минералы представлены ильменитом, рутилом, титанитом, апатитом, цирконом, пиритом и халькопиритом.

*Ильменит* встречается в виде окатанных или неокатанных вытянутых обломков (рис. 4.71). В его составе присутствует небольшая примесь  $Mn^{2+}$ , который изоморфно замещает  $Fe^{2+}$  (таб.11 спектр 4). Формулы минералов считались по кислородному методу на 3 атома кислорода.

*Рутил* в образцах встречается в виде включений в кварце, в сростках с ним или в виде отдельных обломочных зерен. В минерале есть небольшая примесь Fe, Ca (таб.11 спектр 79, 83). Формулы минералов считались по кислородному методу на 2 атома кислорода.

Зерна *титанита* неокатанные, имеют угловатую, призматическую форму (рис. 4.72). В составе присутствует примесь Al и Fe (таб.11 спектр 137). Формулы минералов считались по кислородному методу на 5 атома кислорода.

*Апатит* встречается в виде неокатанных обломков. По составу минерал соответствует фторпатиту (таб.11 спектр 149). Формулы минералов считались по кислородному методу на 13 атома кислорода.

Зерна *циркона* неокатанные, имеют изометричную форму. В составе есть небольшая примесь Hf (таб.11 спектр 301). Формулы минералов считались по кислородному методу на 4 атома кислорода.

Кроме вышеназванных минералов также были обнаружены единичные зерна *пирита* в качестве включений в кварце и *халькопирит* (рис. 4.73, рис.4.74).

Таблица 4.11. Таблица 4.5. Состав (вес.%) аксессуарных минералов.

Образец	18-32\2	18-32\2	18-32\2	18-32	18-32	18-12\2
Спектр	4	79	83	137	149	301
Минерал	Ilm	Rt	Rt	Ti	Ap	Zr
SiO <sub>2</sub>	-	2.02	2.8	32.32	-	33.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	1.61	-	1.20	-	-
CaO	-	1.68	0.95	27.80	53.56	-
TiO <sub>2</sub>	61.99	94.69	95.33	38.68	-	-
MnO	1.97	-	-	-	-	-
FeO	36.04	-	0.92	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	-	43.91	-
ZrO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	65.12
HfO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	1.83
F	-	-	-	-	2.54	-
Сумма	100*	100*	100*	100*	100*	100*

\*-нормированные анализы; «-» - ниже порога обнаружения; поправка на F – 0,0708

Примеры кристаллохимических формул представлены ниже:

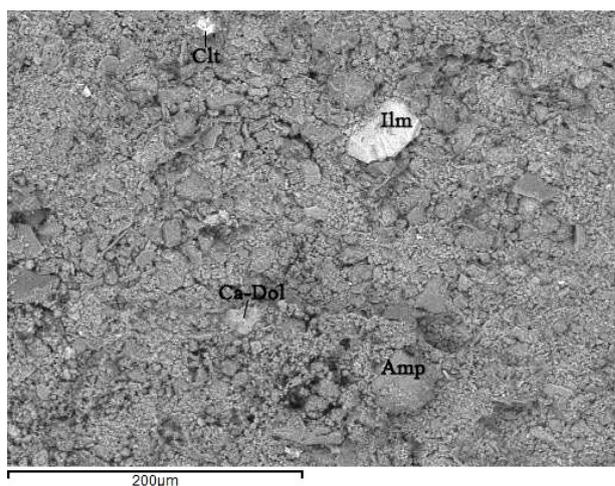
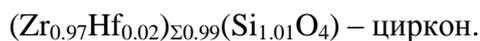
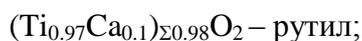


Рис.4.71. Изображение обломка ильменита в отраженных электронах (обр. 18\16). Ca-Dol – кальцито-доломит, Amp – амфибол, Clt – целестин, Ilm – ильменит.

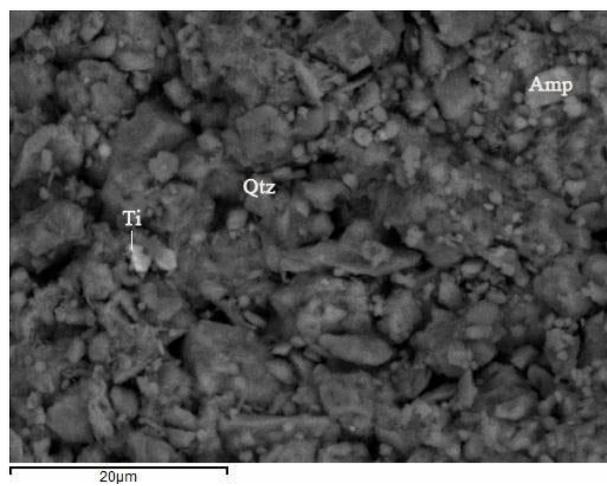


Рис.4.72. Изображение обломка титанита в отраженных электронах (обр.18\14). Amp – амфибол, Qtz – кварц, Ti – титанит.

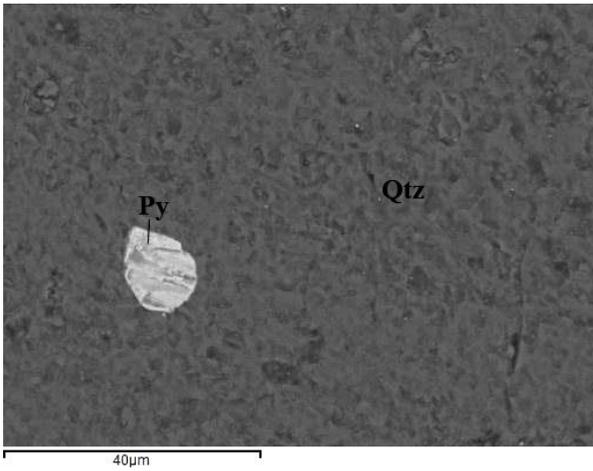


Рис. 4.73. Изображение пирита в кварце в отраженных электронах (обр. 18\27). Py – пирит, Qtz – кварц.

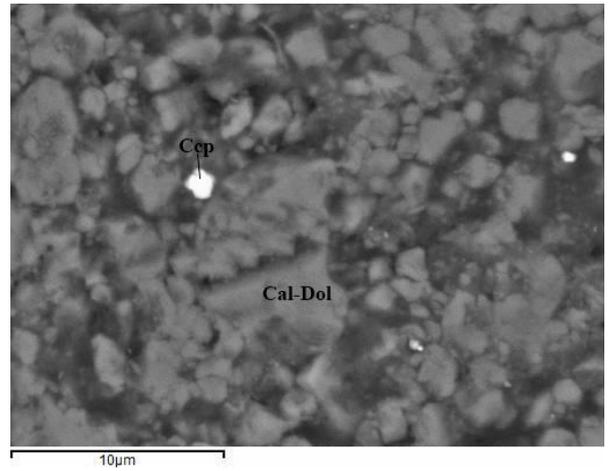


Рис.4.74. Изображение обломка халькопирита в отраженных электронах (обр. 18\28). Cal-Dol – кальцито-доломит, Ccp – халькопирит.

## Глава 5. Геохимическая характеристика водно-механических отложений.

Химический состав вмещающей толщи и водно-механических отложений (обр. А-6) был изучен в 2018 г. Нижняя часть разреза вмещающих пород состоит из гипсов и доломитов, а верхняя из озерно-ледниковых отложений (песками с гравием, галькой, с редкими прослоями супесей) (рис.5.1). После сравнения химического состава ВМО с составом вмещающих толщ был сделан вывод о том, что формирование водно-механических отложений происходит главным образом за счет пород верхней части разреза.

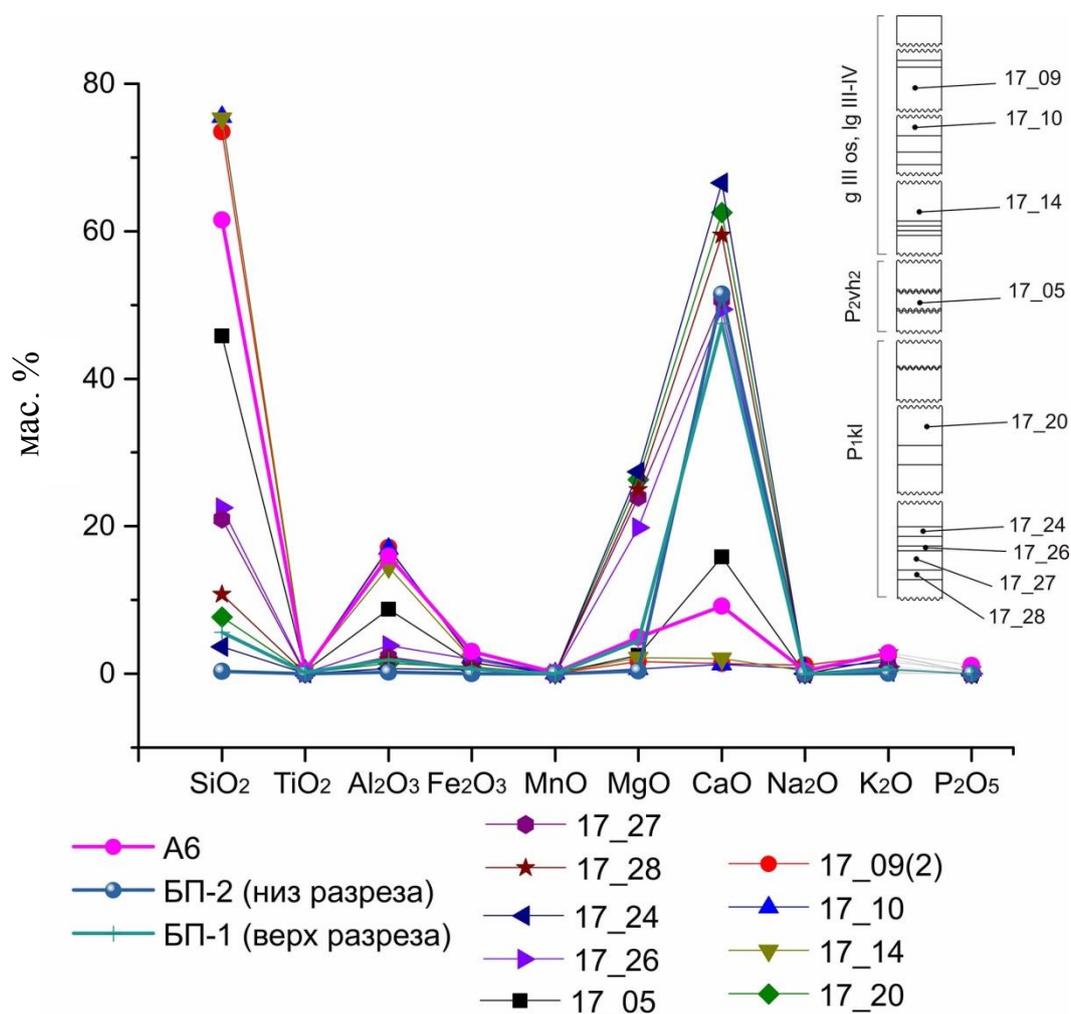


Рис.5.1. Валовый химический анализ бороздовой пробы и образца А-6.

Кроме этого, состав водно-механических отложений Кулогорских пещер был сопоставлен с составами отложений других пещер России с использованием данных Матреничева В. А. (2015)(рис. 5.2). В своей статье В.А.Матреничев (2015) заключил, что минеральный состав отложений пещер разных регионов России совпадает. Наши результаты хорошо согласуются с этими данными.

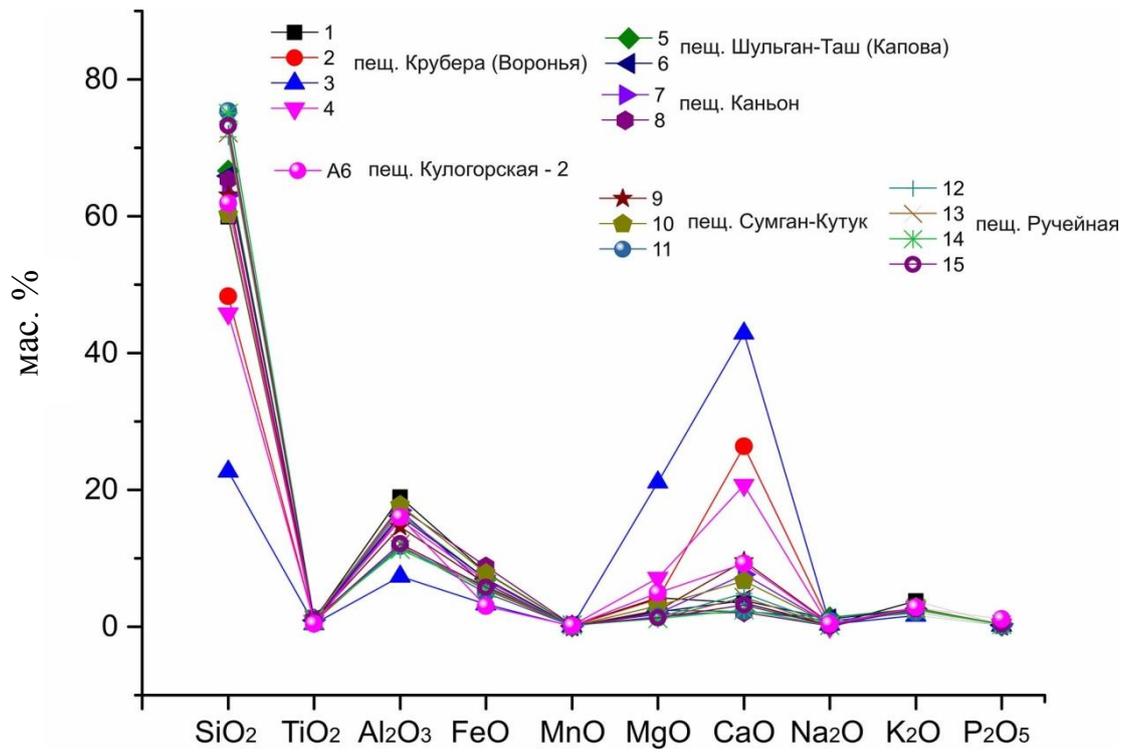


Рис. 5.2. Сравнение отложений Кулогорских пещер с отложениями пещер России по основным петрогенным элементам.

## Выводы

В ходе работы исследуемые пещеры были разделены на зоны по микроклиматическим и седиментационным признакам. В холодной привходовой части пещер выделились отложения, формирующиеся из временных водных потоков (1а) и озерные отложения (1в). В теплой части пещер были выделены отложения, формирующиеся из временных (1б) и постоянных (2б) водных потоков, озерные отложения (2а) и отложения коррозионных ниш (3). Кроме этого были отделены отложения гравитационных конусов под карстовыми воронками (2в) и отложения сифонного яруса (4). Водно-механические отложения, отобранные в каждой зоне (кроме зоны 4), после детального описания были распределены по группам (см. глава 3).

Изучение кернов водно-механических отложений и осадков, уловленных во время паводка, дало возможность сравнить их состав и понять насколько значительными для пещерных отложений являются паводковые процессы.

Изучение состава осадка из гидроловушек показала, что в действительности основным направлением является перераспределение уже существующих в пещере осадков: с пола пещеры поднимаются и флотируют на поверхности паводковой волны криогенные минералы холодной зоны, небольшое количество глинистых минералов и небольшое количество легких минералов: гипс, ангидрит и кварц. При этом довольно часто отмечается наличие органических остатков – хитин насекомых и кусочки древесины. В частях пещеры с высокой гидродинамикой легкие минералы и органические остатки могут находиться и возле пола. В тех местах пещеры, где на своде выходят красноцветные гипсы, переслаивание гипсов и глинисто-алевритовых пород или доломиты в гидроловушках отмечается повышенное количество осадка, что конечно связано с остаточно-деквамационными процессами.

Изучение отложений ВМО показало, что действительно существуют определенные закономерности вариаций состава отложений в зависимости от тех зон, где они откладывались. В привходовой части пещер в составе ВМО присутствует кальцит, в некоторых местах отсутствует ангидрит. В большинстве изученных образцов по разрезу условия формирования осадка не менялись кардинально. Наблюдается лишь закономерное чередование слоев, связанное с сезонными изменениями. Но в небольшой части образцов все же наблюдается изменение условий, что требует дополнительного рассмотрения.

С минералогической точки зрения в ВМО основными породообразующими минералами являются доломит, полевой шпат (альбит и микроклин), кварц и гранат (альмандинового состава), мусковит, амфиболы. Соотношение глинистых минералов в

разных зонах пещер варьирует. Содержание глинистых минералов в общем увеличивается снизу вверх, где они представлены иллитом, шамозитом и каолинитом. Среди аксессуарных отмечаются ильменит, рутил, титанит и гипс. Интересно отметить, что в качестве вторичного минерала очень часто встречается целестин, развивающийся видимо за счет высокоминерализованных межзерновых и поровых вод.

Таким образом, можно заключить, что отложения довольно чувствительно меняют свой состав в пространстве пещер, при этом изменение их состава во времени не существенно.

Автор выражает большую благодарность Седовой А.М. за руководство и поддержку, за проведение экспедиций и помощь в написании работы; спелеологам АСА «Лабиринт»; сотрудникам ресурсных центров «Микроскопии и микрозондового анализа», «Рентгенодифракционные методы исследования», «Инновационные технологии композитных наноматериалов» и «Геомодель» за помощь в проведении анализов.

## Список литературы

1. Борисова В.А. Минералогия отложений системы Кулогорских пещер (Пинежский район, Архангельская область). Выпускная квалификационная работа, Санкт-Петербург, 2018.
2. Борисова В.А., Седова А.М., Франц Н.А. Эпигенетические образования Кулогорских пещер (Пинежский р-он, Архангельская обл.)// Всероссийская молодежная геологическая конференция памяти В. А.Глебовицкого. Сборник тезисов докладов всероссийской молодежной геологической конференции памяти В. А. Глебовицкого. — СПб.: Изд-во ВВМ, 2020. – сс. 89-90.
3. Борисова В.А., Седова А.М., Верещагин О.С., Надпорожская М.А., Франц Н.А. Минералогия отложений системы Кулогорских пещер (Пинежский район, Архангельская область)// Современные исследования в геологии. Сборник тезисов докладов Молодежной научно-практической конференции и XVI конференции студенческого научного общества. — СПб.: Изд-во ВВМ, 2018. —сс. 42-44.
4. Горбунова К.А. Карст гипса СССР. Учебное пособие по спецкурсу. Изд. Пермского ун-та. 1977, 84 с.
5. 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.
6. Затульская Т.Ю., Бызова Н.М., Шаврина Е.В.. Особенности геологического строения Архангельской области. Поморский гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: Поморский университет, 2009.
7. 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.
8. Матреничев В. А., Климова Е. В. Глинистые отложения пещер. Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2015. Вып.4, с. 65-82.
9. Пучнина Л.В., Горячкин С.В., Вайсфельд М.А., Шаврина Е.В., Рыкова С.Ю., Рыков А.М. Компоненты экосистем и биоразнообразие карстовых территорий европейского севера России (на примере заповедника «Пинежский»). М-во природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральное гос. учреждение Гос. природный заповедник "Пинежский". - Архангельск: [б. и.], 2008. - 351 с.
10. 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.
11. 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.
  12. Седова А.М., Борисова В.А., Франц Н.А. Связь состава почв и водно-механических отложений пещер по результатам изучения глинистых минералов (Кулогорские пещеры, Пинежский р-он, Архангельская область)// Всероссийская молодежная геологическая конференция памяти В. А. Глебовицкого. Сборник тезисов докладов всероссийской молодежной геологической конференции памяти В. А. Глебовицкого.— СПб.: Изд-во ВВМ, 2020. – с. 178-181.
  13. Спиридонов А.И. Геоморфология европейской части СССР. Учеб. пособие для студентов-географов университетов. – М., Высш. школа, 1978. – 335 с., ил. Библиограф: 331-332 с.
  14. Шаврина Е.В. Проблемы экологической безопасности пещер Европейского Севера России // Комплексное использование и охрана подземных пространств: сб. тезисов междунар. науч.-практ. конф. – Пермь, 2014. – С. 79-81.
  15. Франц Н.А., Вякхи И.Э., Сорокин С.В., Сорокина И.В. Особенности водообмена пещер Кулогорского спелеомассива в половодный период / Пещеры. Пермь. вып.4., 2019. – С. 38-47.
  16. Информационно-поисковая система “Пещеры”, <https://speleoatlas.ru> (дата обращения: 22.04.2020)
  17. Интерактивная электронная карта недропользования Российской Федерации <https://map.mineral.ru/> (дата обращения: 12.05.2018)
  18. Реестр протяженных пещер <http://www.caverbob.com/gypcave.htm> (дата обращения: 22.04.2020)

#### Фондовая литература

1. Малков В.Н., Николаев Ю.И. Отчет по результатам поисков и обследования естественных полостей в пределах Беломорско-Кулойского плато (Карстовый отряд, 1974-1977 гг.)(в 2-х томах) Том 1., г. Архангельск, 1977 г.

2. Малков В.Н., Гуркало В.А. Отчет по проведению геолого-карстологических работ в междуречье Сотки-Пинеги масштаба 1:100 000 – 50 000 с картированием полостей на площади листов Q-38-111-Вг, -111-Гв, г, -123-Аб, г, -123-Б (Соткинский объект, 1990-95 гг.) в 2-х книгах. Книга 1. Текст отчета. Архангельск, 1995 г.